

IR-PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

**ANALISIS KESTABILAN DAN KONTROL OPTIMAL
MODEL PENYEBARAN MALWARE
PADA PERANGKAT WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN)**

SKRIPSI



HAYUNINGTYAS HUSODO SIWI

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

2022

**ANALISIS KESTABILAN DAN KONTROL OPTIMAL
MODEL PENYEBARAN MALWARE
PADA PERANGKAT *WIRELESS SENSOR NETWORK* (WSN)**

SKRIPSI



HAYUNINGTYAS HUSODO SIWI

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

2022

**ANALISIS KESTABILAN DAN KONTROL OPTIMAL
MODEL PENYEBARAN MALWARE
PADA PERANGKAT *WIRELESS SENSOR NETWORK* (WSN)**

SKRIPSI

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

Disetujui oleh:

Pembimbing I,



Dr. Miswanto, M.Si.
NIP. 196802041993031002

Pembimbing II,



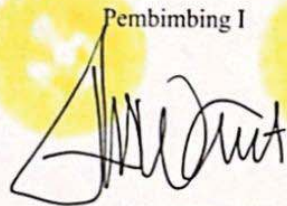
Cicik Alfiniyah, M.Si., Ph.D.
NIP. 198604122008122003

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI

Judul : Analisis Kestabilan dan Kontrol Optimal Model Penyebaran
Malware Pada Perangkat *Wireless Sensor Network* (WSN)
Penulis : Hayuningtyas Husodo Siwi
NIM : 081811233081
Pembimbing I : Dr. Miswanto, M.Si.
Pembimbing II : Cicik Alfiniyah, M.Si., Ph.D.
Tanggal Seminar : 3 Agustus 2022

Disetujui oleh:

Pembimbing I



Dr. Miswanto, M.Si.
NIP. 196802041993031002

Pembimbing II



Cicik Alfiniyah, M.Si., Ph.D.
NIP. 198604122008122003

Mengetahui,

Ketua Departemen dan Koordinator Program
Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga



Dr. Herry Suprajitno, S.Si., M.Si.
NIP. 196804041994031020

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

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

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Hayuningtyas Husodo Siwi
NIM : 081811233081
Program Studi : S-1 Matematika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Jenjang : Sarjana (S1)

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul:

“Analisis Kestabilan Dan Kontrol Optimal Model Penyebaran Malware Pada Perangkat Wireless Sensor Network (WSN)”

Apabila suatu saat nanti terbukti melakukan tindakan plagiat, maka saya akan menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 15 Agustus 2022


Hayuningtyas Husodo Siwi
NIM. 081811233082

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberi rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “***Analisis Kestabilan dan Kontrol Optimal Model Penyebaran Malware Pada Perangkat Wireless Sensor Network (WSN)***”. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang menjadi panutan seluruh umat manusia.

Keberhasilan dalam penulisan skripsi ini tentu tidak luput dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pihak yang membantu, mendukung dan membimbing penulis dalam penulisan skripsi ini, diantaranya:

1. Universitas Airlangga sebagai penyedia sarana dan prasarana untuk penulis menimba ilmu.
2. Dr. Herry Suprajitno, S.Si., M.Si. selaku Ketua Departemen Matematika dan Koordinator Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga.
3. Asri Bakti Pratiwi, S.Si., M.Si. selaku dosen wali yang telah banyak memberikan bimbingan, saran, arahan dan motivasi selama perkuliahan.
4. Dr. Miswanto, M.Si. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan berupa ilmu, arahan dan semangat dengan penuh kesabaran dan ketelitian.
5. Cicik Alfiniyah, M.Si., Ph.D. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan berupa ilmu, arahan dan semangat dengan penuh kesabaran dan ketelitian.
6. Seluruh dosen di Universitas Airlangga, khususnya di Departemen Matematika yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.

7. Keluarga besar Djojo Rigeno, khususnya kedua orang tua tercinta untuk mama Nusa Indah Sutanti, bapak dr. Suyatno dan nenek Mursijah yang telah memberikan kasih sayang dan doa untuk penulis,
8. Teman-teman HIMTIK (Biba, Eka, Putri, Fida) & Allaya yang selalu memberikan dukungan, saran dan banyak cerita indah selama perkuliahan.
9. Teman-teman Matematika Unair 2018 dan teman seperjuangan Pemodelan Sistem yang telah banyak membantu serta memberikan pengalaman selama perkuliahan.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat sebagai bahan pustaka dan menambah wawasan bagi mahasiswa Universitas Airlangga khususnya mahasiswa Matematika. Oleh karena itu, saran dan kritik dapat diterima oleh penulis demi perbaikan skripsi ini.

Surabaya, 30 Juni 2022

Penulis,

Hayuningtyas Husodo Siwi

Hayuningtyas Husodo Siwi, 2022, **Analisis Kestabilan dan Kontrol Optimal Model Penyebaran Malware Pada Perangkat Wireless Sensor Network (WSN)**. Skripsi ini dikerjakan di bawah bimbingan Dr. Miswanto, M.Si. dan Cicik Alfiniyah, M.Si., Ph.D., Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya.

ABSTRAK

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan suatu perangkat sistem yang di dalamnya terdapat banyak *sensor node* (SNs) yang berfungsi sebagai penangkap informasi dan data yang dilengkapi dengan peralatan sistem komunikasi yang terkoneksi dengan jaringan internet. WSN juga berpotensi menjadi sasaran dalam serangan *malware* karena mekanisme keamanan yang lemah. *Malware* atau *malicious software* adalah program yang dirancang untuk mengganggu sistem operasi sebuah perangkat serta mendapatkan akses ke dalam privat sistem perangkat yang menjadi target ancamannya. Pada skripsi ini dilakukan analisis kestabilan titik setimbang model penyebaran *malware* pada perangkat WSN dan penerapan kontrol optimal berupa pemasangan antivirus dan reparasi node untuk mengurangi penyebaran *malware*. Berdasarkan hasil dari analisis model tanpa kontrol diperoleh titik setimbang non endemik dan titik setimbang endemik yang bergantung pada nilai R_0 (*basic reproduction number*). Ketika $R_0 < 1$, maka penyebaran *malware* tidak terjadi pada perangkat WSN dan ketika $R_0 > 1$, maka terjadi penyebaran *malware* pada perangkat WSN. Selanjutnya, eksistensi dari variabel kontrol optimal ditentukan melalui Prinsip Maksimum Pontryagin. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penerapan kontrol berupa pemasangan antivirus dan reparasi *node* yang diberikan secara bersamaan dapat meminimumkan biaya sehingga lebih efektif dalam mengurangi jumlah perangkat yang terinfeksi *malware*.

Kata Kunci: Model Matematika, *Wireless Sensor Network* (WSN), *Malware*, Analisis Kestabilan, Kontrol Optimal.

Hayuningtyas Husodo Siwi, 2022, **Stability Analysis and Optimal Control of Malware Propagation Model in Wireless Sensor Network (WSN)**. This undergraduate thesis was supervised by Dr. Miswanto, M.Si. and Cicik Alfiniyah, M.Si., Ph.D., Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Universitas Airlangga, Surabaya.

ABSTRACT

Wireless Sensor Network (WSN) is a device system in which there are many *sensor nodes* (SNs) that function as a capture of information and data equipped with communication system connected to the internet network. WSN is also potentially targeted in *malware* attacks due to weak security mechanisms. Malware or malicious software is a program designed to interfere with the operation system of a device and gain access to the private system of the device that is the target of the threat. In this thesis, an analysis of the equilibrium point stability of the malware propagation model on WSN is carried out, also the application of optimal controls in the form of antivirus installation and node repair to reduce the spread of malware. Based on the analysis of the model without control, a non-endemic equilibrium point and an endemic equilibrium point are obtained which depend on the value of R_0 (basic reproduction number). When $R_0 < 1$ the spread of malware does not occur in the WSN devices and when $R_0 > 1$ the spread of malware occurs in WSN devices. Furthermore, the existence of the optimal control variable is determined through the Pontryagin's Maximum Principle. The simulation results show that the implementation of controls in the form of installing antivirus and repairing nodes that are given simultaneously can minimize costs so that it is more effective in reducing the number of devices infected with malware.

Keywords: Mathematical Model, Wireless Sensor Network (WSN), Malware, Stability Analysis, Optimal Control.

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI.....	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	iv
SURAT PERNYATAAN 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.....	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Malware</i> Pada Perangkat WSN.....	6
2.1.1 Jenis Serangan <i>Malware</i>	6
2.1.2 Penyebaran <i>Malware</i>	7
2.1.3 Pencegahan dan Penanganan Serangan <i>Malware</i>	8
2.2 Saturated Incidence Rate.....	8
2.3 Sistem Persamaan Diferensial.....	9

2.4 Kestabilan Sistem Linier	11
2.5 Kriteria Routh-Hurwitz	13
2.6 Bilangan Reproduksi Dasar (R_0)	15
2.7 Masalah Kontrol Optimal.....	16
2.8 Prinsip Maksimum Pontryagin.....	16
2.9 Analisis Sensitivitas Parameter	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
BAB IV PEMBAHASAN	21
4.1 Analisis Model Matematika Penyebaran <i>Malware</i> Pada Perangkat WSN	21
4.1.1 Model Matematika Penyebaran <i>Malware</i> Pada Perangkat WSN.....	21
4.1.2 Perhitungan Titik Setimbang Model Penyebaran <i>Malware</i> Pada Perangkat WSN	26
4.1.3 Analisis Kestabilan Lokal Titik Setimbang Model Matematika Penyebaran <i>Malware</i> WSN	30
4.2 Analisis Sensitivitas Parameter	36
4.3 Model Penyebaran <i>Malware</i> Dengan Kontrol	39
4.3.1 Penyelesaian Kontrol Optimal Model Penyebaran <i>Malware</i>	41
4.4 Simulasi dan Interpretasi Model Matematika Penyebaran <i>Malware</i> Pada WSN Dengan Kontrol dan Tanpa Kontrol	45
BAB V PENUTUP	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	55

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
4.1	Pendefinisian Variabel Penyebaran <i>Malware</i>	23
4.2	Pendefinisian Parameter Penyebaran <i>Malware</i>	23
4.3	Nilai Parameter Model Penyebaran <i>Malware</i> Perangkat WSN Untuk Kondisi Endemik	34
4.4	Nilai Awal Simulasi Numerik Titik Setimbang Endemik	35
4.5	Nilai Indeks Sensitivitas Parameter	36
4.6	Hubungan Perubahan pada Nilai Parameter terhadap Nilai R_0	37
4.7	Variabel dan Notasi Kontrol Optimal Penyebaran <i>Malware</i> pada Perangkat WSN	40
4.8	Perbandingan Populasi Perangkat Terinfeksi <i>Malware</i> pada Akhir Pengamatan	48
4.9	Perbandingan Populasi Perangkat Pulih Sementara <i>Malware</i> pada Akhir Pengamatan	49
4.10	Perbandingan Fungsi Ongkos	51

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
4.1	Diagram Transmisi Model Penyebaran <i>Malware</i>	24
4.2	Grafik Bidang Fase pada Populasi I dan R_1 pada Model Matematika Penyebaran <i>Malware</i>	35
4.3	Sensitivitas β terhadap R_0 dengan Tiga Nilai r yang Berbeda	38
4.4	Sensitivitas r terhadap R_0 dengan Tiga Nilai β yang Berbeda	39
4.5	Grafik Populasi Perangkat Terinfeksi <i>Malware</i> Sebelum dan Sesudah Diberi Kontrol	47
4.6	Grafik Populasi Perangkat Pulih Sementara <i>Malware</i> Sebelum dan Sesudah Diberi Kontrol	48
4.7	Grafik Profil Kontrol (u_1)	49
4.8	Grafik Profil Kontrol (u_2)	50
4.9	Grafik Profil Kontrol (u_1) dan (u_2)	50

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul Lampiran
1	Perhitungan Titik Setimbang Non Endemik (E_0)
2	Perhitungan Nilai R_0 dengan metode <i>Next Generation Matrix</i>
3	Perhitungan Titik Setimbang Endemik (E_1)
4	Analisis Kestabilan Titik Setimbang Non Endemik (E_0)
5	Analisis Kestabilan Titik Setimbang Endemik (E_1)
6	Kode Program Simulasi Numerik Bidang Fase
7	Kode Program Sensitivitas β terhadap R_0 dengan Tiga Nilai r yang Berbeda
8	Kode Program Sensitivitas r terhadap R_0 dengan Tiga Nilai β yang Berbeda
9	Program DOTcvp untuk Model Penyebaran <i>Malware</i> WSNs Tanpa Kontrol
10	Program DOTcvp untuk Model Penyebaran <i>Malware</i> WSNs dengan Variabel Kontrol u_1
11	Program DOTcvp untuk Model Penyebaran <i>Malware</i> WSNs dengan Variabel Kontrol u_2
12	Program DOTcvp untuk Model Penyebaran <i>Malware</i> WSNs dengan Variabel Kontrol u_1 dan u_2