



UNIVERSITAS PERTAHANAN REPUBLIK INDONESIA

**PENERAPAN KONSEP TEORI GRAF PADA
REKONSTRUKSI JARINGAN KANKER PAYUDARA
DENGAN PENDEKATAN MODEL BOOLEAN**

CHRISDIEGO CHRISANTO 320210302008

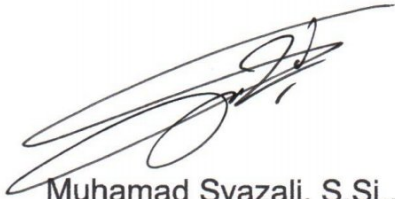
**Skripsi yang Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam
Mendapatkan Gelar Sarjana**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM MILITER
PROGRAM STUDI MATEMATIKA
BOGOR 2025**

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

Nama : Chrisdiego Chrisanto
NIM : 320210302008
Program Studi : Matematika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer
Judul Skripsi : Penerapan Konsep Teori Graf pada Rekonstruksi Jaringan Kanker Payudara dengan Pendekatan Model Boolean

Dosen Pembimbing I



Muhamad Syazali, S.Si., M.Si

Penda Tk. I III/c

NIP. 198611212022031001

Tanggal: 10 Juli 2025

Dosen Pembimbing II



Achmad Abdurrazzaq, Ph.D.

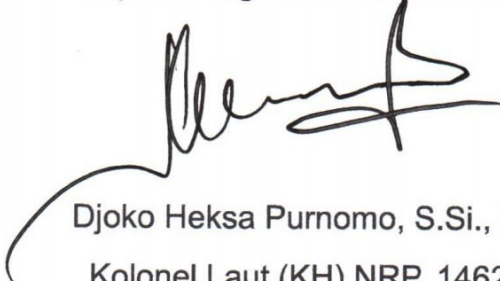
Penda Tk. I III/b

NIP. 199304032022031003

Tanggal: 28 Juli 2025

Mengetahui,

Kepala Program Studi Matematika



Djoko Heksa Purnomo, S.Si., M.Si.

Kolonel Laut (KH) NRP. 14628/P

Tanggal: 28 Juli 2025

Dekan Fakultas MIPA Militer



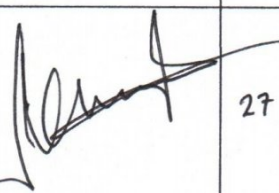
Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.Si

Pembina Utama Muda IV/c

Tanggal: 12/8-2025

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama : Chrisdiego Chrisanto
NIM : 320210302008
Program Studi : Matematika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan
Alam Militer
Judul Proposal Skripsi : Penerapan Graph Theory pada
rekonstruksi breast cancer network
dengan pendekatan model Boolean

No	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
1	Pembimbing I: Muhamad Syazali, S.Si., M.Si Penata III/c NIP. 198611212022031001		18 April 2025
2	Pembimbing II: Achmad Abdurrazzaq, S.Si., M.Sc., Ph.D. Penda Tk. I III/b NIP. 199304032022031003		27 Juli 2025
3	Penguji I: Djoko Heksa Purnomo, S.Si., M.Si. Kolonel Laut(KH) / 14628/P		27 Juli 2025
4	Penguji II: Aditya Tri Oktaviana, S.Si., M.Si Penda Tk. I III/b NIP. 199210082022031003		27 Juli 2025

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini, saya menyatakan bahwa skripsi ini tidak mengandung karya yang sebelumnya telah diajukan untuk meraih gelar sarjana pada jenjang apa pun di institusi pendidikan tinggi manapun. Selanjutnya, sepanjang pengetahuan saya, tidak ada istilah, frasa, kalimat, paragraf, subbab, atau bab dari karya lain yang pernah ditulis atau diterbitkan, kecuali yang secara eksplisit dicantumkan dalam naskah ini dan tercantum dalam Daftar Pustaka.

Jika di kemudian hari terbukti adanya tindakan plagiat dalam skripsi ini, saya bersedia untuk menerima sanksi sesuai dengan peraturan atau undang-undang yang berlaku.

Bogor, 7 Agustus 2025



Chrisdiego Chrisanto

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Pertahanan Republik Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Chrisdiego Chrisanto

NIM : 320210302008

Program Studi : Matematika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Militer

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pertahanan Republik Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Penerapan Konsep Teori Graf pada Rekonstruksi Jaringan Kanker Payudara dengan Pendekatan Model Boolean

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pertahanan Republik Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya saya buat dengan sebenarnya

Bogor, 7 Agustus 2025



Chrisdiego Chrisanto

KATA PENGANTAR

Puji syukur dengan rahmat dan karunia Tuhan Yang Maha Esa, penulis menyampaikan puji syukur atas selesainya penyusunan skripsi ini yang berjudul "Penerapan Konsep Teori Graf pada Rekonstruksi Jaringan Kanker Payudara dengan Pendekatan Model Boolean". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika di Universitas Pertahanan.

Penyusunan skripsi ini menjadi suatu perjalanan intelektual yang menantang, namun penuh dengan pengalaman berharga. Selama proses penelitian, penulis mendapatkan banyak dukungan, bimbingan, dan inspirasi dari berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Djoko Heksa Purnomo, S.Si., M.Si., selaku kepala program studi matematika yang telah memberikan dukungan penuh, baik dalam hal administrasi maupun motivasi kepada penulis, sehingga proses penyusunan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar dan tepat waktu.
2. Bapak Muhamad Syazali, S.Si., M.Si., selaku pembimbing pertama, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi selama penulis menyusun skripsi ini.
3. Bapak Achmad Abdurrazzaq, S.Si., M.Sc., Ph.D., selaku pembimbing kedua, yang telah memberikan masukan konstruktif dan saran yang sangat berharga dalam penyusunan skripsi.
4. Keluarga penulis, yang senantiasa memberikan dukungan moril dan spiritual, serta menjadi sumber inspirasi dalam menyelesaikan skripsi ini.

5. Teman-teman seperjuangan di Program Studi Matematika, yang memberikan semangat, diskusi, dan dukungan sosial selama proses penelitian.
6. Semua pihak yang turut serta dalam penelitian ini, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang telah memberikan kontribusi dalam berbagai bentuk.

Semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi kecil dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi bahan referensi yang bermanfaat. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan keterbatasan dalam penelitian ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan penelitian di masa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap bahwa skripsi ini dapat memberikan manfaat dan inspirasi bagi pembaca yang berkepentingan. Terima kasih atas perhatian dan doa restu dari semua pihak. Semoga Tuhan Yesus senantiasa memberikan rahmat, karunia, dan kesuksesan bagi kita semua.

Bogor, 7 Agustus 2025



Chrisdiego Chrisanto

ABSTRAK

Penerapan Konsep Teori Graf pada Rekonstruksi Jaringan Kanker Payudara dengan Pendekatan Model Boolean

Kanker payudara merupakan salah satu penyakit dengan angka kematian tinggi yang memerlukan pendekatan komprehensif untuk memahami mekanisme molekulernya. Penelitian ini bertujuan untuk merekonstruksi jaringan interaksi molekuler kanker payudara menggunakan pendekatan teori graf dan model Boolean. Teori graf diterapkan untuk memodelkan interaksi antar protein atau gen sebagai *vertex* dan *edges* sebagai penghubungnya, sementara model Boolean digunakan untuk menganalisis dinamika aktivasi/inaktivasi komponen jaringan. Data interaksi protein diperoleh dari database KEGG dan SIGNOR, kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak Cytoscape untuk visualisasi jaringan dan identifikasi protein kunci seperti BRCA1, TP53, EGFR, dan AKT1 yang memiliki sentralitas tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa klusterisasi jaringan dengan algoritma *Markov Cluster Algorithm* (MCL) berhasil mengelompokkan protein berdasarkan fungsi biologisnya, serta mengidentifikasi *attractor* (pola stabil) yang terkait dengan proliferasi sel dan resistensi apoptosis. Simulasi model Boolean mengungkapkan bahwa manipulasi status protein kunci dapat memengaruhi penyebaran kanker. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam memahami dinamika jaringan kanker payudara secara lebih mendalam serta menawarkan potensi target terapi baru. Kombinasi teori graf dan model Boolean terbukti efektif untuk analisis sistem biologis kompleks dan dapat diaplikasikan dalam penelitian biomedis lainnya.

Kata Kunci: Kanker payudara, Teori Graf, Model Boolean, dan Cytoscape.

ABSTRACT

Application of Graph Theory Concepts in Breast Cancer Network Reconstruction Using a Boolean Model Approach

Breast cancer is one of the leading causes of death and requires a comprehensive approach to understand its molecular mechanisms. This study aims to reconstruct the molecular interaction network of breast cancer using graph theory and Boolean modeling approaches. Graph theory is applied to model interactions between proteins or genes as vertices and edges as connectors, while Boolean models are used to analyze the activation/inactivation dynamics of network components. Protein interaction data were obtained from the KEGG and SIGNOR databases and analyzed using Cytoscape software for network visualization and identification of key proteins such as BRCA1, TP53, EGFR, and AKT1 with high centrality. The results of the study show that network clustering using the Markov Cluster Algorithm (MCL) successfully grouped proteins based on their biological functions and identified attractors (stable patterns) associated with cell proliferation and apoptosis resistance. Boolean model simulations revealed that manipulation of key protein status can influence cancer spread. This study contributes to a deeper understanding of breast cancer network dynamics and offers potential new therapeutic targets. The combination of graph theory and Boolean modeling has proven effective for analyzing complex biological systems and can be applied to other biomedical research.

Keywords: *Breast cancer, Graph Theory, Boolean Modeling, and Cytoscape.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR BAGAN.....	xiv
DAFTAR SINGKATAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Landasan Teori.....	8
2.1.1 Teori Graf	8
2.1.2 Kanker	12
2.1.3 Model Boolean.....	13
2.1.4 Breast Cancer Network.....	16
2.1.5 Markov Cluster Algorithm.....	20
2.1.6 Koefisien Klasterisasi.....	21
2.2 Hasil Penelitian Terdahulu.....	23
2.3 Kerangka Berpikir.....	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	38

3.1 Metode dan Alur Penelitian.....	38
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	40
3.3 Alat dan Bahan.....	41
3.3.1 Alat.....	41
3.3.2 Bahan.....	41
3.4 Prosedur Penelitian.....	42
3.5 Metode Analisis.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1 Hasil.....	47
4.1.1 Dataset dan Preprocessing	48
4.1.2 Process	50
4.1.3 Postprocess.....	59
4.2 Pembahasan.....	62
BAB V PENUTUP	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN 1	70
LAMPIRAN 2	71
LAMPIRAN 3	73
LAMPIRAN 4	74
LAMPIRAN 5	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Graf G dengan Lima Titik dan Tujuh Sisi	9
Gambar 2.2 Graf yang sama	11
Gambar 2.3 Sisi e dan f Tidak Berpotongan	11
Gambar 2.4 Bagian dari Graf tak Hingga	12
Gambar 2.5 Network Structure	15
Gambar 2.6 Graf Transisi Keadaan	16
Gambar 4.1 Jaringan Interaksi Protein TP53 (A) dan EGFR (B)	48
Gambar 4.2 Jaringan Interaksi Protein BRCA1 (A) dan AKT1 (B)	49
Gambar 4.3 Nilai Edge Betweenness BRCA1	51
Gambar 4.4 Inhibisi dan Aktivasi terhadap protein BRCA1	52
Gambar 4.5 Nilai Edge Betweenness AKT1	53
Gambar 4.6 Inhibisi dan Aktivasi AKT1	54
Gambar 4.7 Nilai Edge Betweenness EGFR	55
Gambar 4.8 Inhibisi dan Aktivasi EGFR	56
Gambar 4.9 Nilai Edge Betweenness TP53	57
Gambar 4.10 Aktivasi dan Inhibisi TP53	58
Gambar 4.11 Markov Clustering BRCA1, AKT1, EGFR, dan TP53	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Kebenaran	16
Tabel 2.2 Hasil Penelitian Terdahulu	23
Tabel 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	40
Tabel 4.1 Pendekatan Model Boolean	60

DAFTAR BAGAN

Bagan 2.1 Gambaran Umum Skematis Identifikasi Subjaringan	19
Bagan 2.2 Kerangka Berpikir	36
Bagan 3.1 Alur Penelitian	38
Bagan 3.2 Prosedur Penelitian	42

DAFTAR SINGKATAN

DNA	: <i>Deoxyribonucleic Acid</i>
IARC	: <i>International Agency for Research on Cancer</i>
WHO	: <i>World Health Organization</i>
KEGG	: <i>Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes</i>
SIGNOR	: <i>SIGNaling Network Open Resource</i>
DFS	: <i>Disease-Free Survival</i>
OS	: <i>Overall Survival</i>
MDS	: <i>Myelodysplastic Syndrome</i>
AML	: <i>Acute Myelogenous Leukemia</i>
G-CSF	: <i>Granulocyte Colony-Stimulating Factors</i>
NSABP	: <i>National Surgical Adjuvant Breast and Bowel Project</i>
NCCN	: <i>National Comprehensive Cancer Network</i>
SEER	: <i>Surveillance, Epidemiology, and End Results</i>
GO	: <i>Gene Ontology</i>
BM _s	: <i>Brain Metastases</i>
HR	: <i>Hormone Receptor</i>
HER2	: <i>Human Epidermal growth factor Receptor 2</i>
KNN	: <i>K-Nearest Neighbor</i>
P53	: <i>Tumor Protein p53</i>
BRCA1	: <i>Breast Cancer gene 1</i>
EGFR	: <i>Epidermal Growth Factor Receptor</i>
GPU	: <i>Graphics Processing Unit</i>