

SKRIPSI

**PEMODELAN ASURANSI KEAMANAN SIBER
MENGUNAKAN FUNGSI KOPULA ARCHIMEDES**



Nasya Kanya Puteri

NPM: 6161801036

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2022**

FINAL PROJECT

**MODELING CYBERSECURITY INSURANCE USING
ARCHIMEDEAN COPULA FUNCTIONS**



Nasya Kanya Puteri

NPM: 6161801036

**DEPARTMENT OF MATHEMATICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCES
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMODELAN ASURANSI KEAMANAN SIBER MENGUNAKAN FUNGSI KOPULA ARCHIMEDES

Nasya Kanya Puteri

NPM: 6161801036

Bandung, 12 Januari 2022

Menyetujui,

Pembimbing 1



Farah Kristiani, Ph.D.

Pembimbing 2



Felivia Kurnadi, M.Act.Sc., ASAI

Ketua Tim Penguji



Benny Yong, Ph.D.

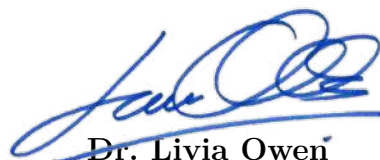
Anggota Tim Penguji



Rizky Reza Fauzi, D.Phil.Math

Mengetahui,

Ketua Program Studi



Dr. Livia Owen

PERNYATAAN

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

PEMODELAN ASURANSI KEAMANAN SIBER MENGGUNAKAN FUNGSI KOPULA ARCHIMEDES

adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung segala risiko dan sanksi yang dijatuhkan kepada saya, apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non-formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini.

Dinyatakan di Bandung,
Tanggal 12 Januari 2022



Nasya Kanya Puteri
NPM: 6161801036

ABSTRAK

Kemajuan teknologi membawa tidak hanya dampak positif bagi kehidupan manusia, tetapi juga dampak negatif, khususnya peningkatan kejahatan di dunia maya seperti peretasan data dan informasi perusahaan. Salah satu cara perusahaan melakukan perlindungan adalah memiliki asuransi keamanan siber, sehingga pasar asuransi keamanan siber mulai berkembang. Namun, asuransi keamanan siber tidak memiliki sistem dasar pengukuran seperti tabel aktuarial standar. Dalam skripsi ini, akan dibahas pemodelan asuransi keamanan siber di mana perangkat elektronik akan direpresentasikan sebagai suatu simpul dalam sebuah sistem jaringan. Model yang akan dibahas adalah model non-Markov dengan adanya kasus ketergantungan pada risiko keamanan siber yang dimodelkan dengan fungsi kopula Archimedes, yaitu Clayton, Frank, dan Gumbel. Fungsi ini memanfaatkan tingkat ketergantungan untuk memodelkan distribusi gabungan. Berdasarkan simulasi perhitungan, dapat disimpulkan bahwa simpul yang terhubung dengan lebih banyak simpul lain akan lebih sering terinfeksi dibandingkan dengan simpul yang terhubung dengan sedikit simpul lain. Pemodelan waktu infeksi antarsimpul menggunakan fungsi kopula Gumbel menghasilkan besar premi yang lebih besar dibandingkan dua fungsi kopula lainnya, sehingga pemodelan asuransi keamanan siber untuk periode kontrak asuransi tahun pertama sebaiknya menggunakan fungsi kopula Gumbel karena perusahaan bertanggung jawab akan lebih tertarik untuk memperpanjang kontrak jika besar premi yang dibebankan pada tahun berikutnya lebih kecil atau sama dengan tahun sebelumnya. Disimpulkan juga bahwa nilai parameter waktu infeksi antarsimpul yang diperkecil maupun diperbesar tidak menyebabkan rata-rata banyaknya infeksi, besar kerugian, dan besar premi mengalami perubahan yang signifikan.

Kata-kata kunci: Asuransi Keamanan Siber, non-Markov, Simpul, Infeksi, Pemulihan, Jaringan Komputer, Kopula Archimedes, Ketergantungan

ABSTRACT

The advancement of technology not only has positive impacts, but also negative impacts, in particular an increase in cyber crime such as hacking of corporate data and information. One way for companies to do protection is to have cybersecurity insurance, which caused the cybersecurity insurance market starts to develop. Nevertheless, cybersecurity insurance still does not have a standard measurement system such as a standard actuarial table. In this thesis, the modeling of the cybersecurity insurance will be discussed, where an electrical device is represented as a node in a network system. The model that will be discussed is non-Markov model with dependence between cybersecurity risks, which is modeled by the Archimedean copula function, namely Clayton, Frank, and Gumbel. The copula function utilize dependence structure to model the joint distribution. Based on the simulation, it can be concluded that a node connected with a number of nodes will be more likely to be infected than a node connected with fewer number of nodes. Modeling infection times between nodes using Gumbel copula function generates higher premiums than other copula functions, so it is better to use Gumbel copula function for modeling cybersecurity insurance in the first contract period because insured companies will be more interested in extending the contract if the next year's charged premium less than or equal to previous year's premium. In addition, a decrease or increase in parameter of times-to-infections from neighbors doesn't cause a significant change in expected number of infections, expected losses, and charged premiums.

Keywords: Cybersecurity Insurance, non-Markov, Infection, Recovery, Computer Network, Archimedean Copula, Dependence

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus karena berkat penyertaan-Nya penulis dapat memulai, mengerjakan, dan menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Pemodelan Asuransi Keamanan Siber Menggunakan Fungsi Kopula Archimedes” sebagai salah satu syarat wajib untuk menyelesaikan studi Strata-1 Program Studi Matematika, Fakultas Teknologi Informasi dan Sains, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dalam menambah wawasan dan pengetahuan bagi para pembaca.

Selama masa studi dan penulisan skripsi, penulis mendapatkan banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga penulis dapat menghadapi segala rintangan yang ada. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

- Mama, Papa, Koko, Aimee yang selalu ada untuk memberikan doa, dukungan, nasihat untuk penulis selama 21 tahun terutama saat masa penulisan skripsi.
- Ibu Farah Kristiani, Ph.D. selaku dosen pembimbing utama dan Ibu Felivia Kusnadi, M.Act.Sc. selaku dosen pembimbing pendamping yang sudah bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam penulisan skripsi ini, memberikan saran dan solusi ketika penulis menghadapi masalah, dan pengajarannya selama masa studi di Program Studi Matematika UNPAR.
- Bapak Benny Yong, Ph.D dan Bapak Rizky Reza Fauzi, D.Phil.Math selaku dosen penguji yang telah yang telah menguji, memberikan saran untuk perbaikan dan pengembangan skripsi ini, serta pengajarannya selama masa perkuliahan penulis.
- Bapak Liem Chin, M.Si. selaku koordinator skripsi yang sudah membantu mempersiapkan penulis selama satu semester dan pengajarannya selama masa studi di Program Studi Matematika UNPAR.
- Bapak Iwan Sugiarto, M.Si. selaku dosen wali dari penulis yang telah membantu penulis dalam penyusunan rencana studi, membimbing dan membagi ilmunya kepada penulis selama masa perkuliahan penulis.
- Seluruh dosen FTIS khususnya dosen Program Studi Matematika yang telah membagi ilmu dan pengalamannya kepada penulis selama masa studi di Program Studi Matematika UNPAR.
- Seluruh staf Tata Usaha FTIS yang telah memberikan bantuan dalam bidang administrasi selama masa perkuliahan.
- Seluruh staf pekarya FTIS yang telah merawat dan memelihara sarana dan prasarana di gedung 9 dan 10 selama masa perkuliahan.
- Elbert sebagai rekan skripsi dan sahabat yang selalu ada untuk mendengarkan keluh kesah penulis, memberikan saran, dan selalu membantu penulis mencari solusi terbaik selama penulisan skripsi.
- Bryan sebagai sahabat yang selalu mendengarkan dan memberikan semangat ketika penulis kesulitan selama masa studi maupun penulisan skripsi dan rekan gereja selama di Bandung.
- Ko Ivander sebagai kakak tingkat yang membimbing penulis saat awal penulisan skripsi, memberikan semangat kepada penulis, dan selalu bersedia menjawab pertanyaan-pertanyaan penulis dengan sabar.
- Teman-teman JKT18: Elbert, Bryan, Kevin, Patrick, Chihan, Vellina, Audrey, Andrew, Laurentco, Chihan, Ko Felix, Santo, Nadia, dan Mikhael yang menemani, menghibur, dan membantu selama masa perkuliahan.

- Teman-teman Congkak: Wilona, Viola, Sabrina, Lyvi, Aiwen, Tesha, Gisel yang selalu ada untuk mendukung dan menyemangati penulis.
- Teman-teman ECWC: Wilona, Viola, Sabrina, Lyvi, Aiwen, Tesha, Gisel, Justin, Albert, Brian, Hilton, David, Fandi yang selalu memberikan dukungan dan hiburan untuk penulis.
- Keluarga besar penulis yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan kepada penulis.
- Teman-teman Divisi Dekorasi KOMAT: Vellina, Audrey, Laurentco, Patrick Christama, Kisha yang mewarnai masa kuliah penulis.
- Teman-teman Jurusan Matematika Angkatan 2018 yang menemani masa perkuliahan.
- Seluruh kakak tingkat dan adik tingkat Jurusan Matematika UNPAR yang tidak dapat disebutkan satu per satu.
- Seluruh pihak yang telah mendoakan, memberikan dukungan, dan membantu penulis dalam penulisan skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna karena adanya keterbatasan ilmu dan pengalaman yang dimiliki. Oleh karena itu, penulis dengan terbuka mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi para pembaca yang ingin mempelajari maupun mendalami topik asuransi keamanan siber dan mengembangkan topik tersebut.

Bandung, Januari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Sistematika Pembahasan	3
2 LANDASAN TEORI	5
2.1 Teori Graf	5
2.2 Perhitungan Ekspektasi	6
2.3 Proses Pembaharuan	7
2.4 Fungsi Bertahan Hidup dan <i>Joint Survival Status</i>	7
2.5 Beberapa Jenis Distribusi Peluang	8
2.5.1 Distribusi Lognormal	8
2.5.2 Distribusi Beta	10
3 MODEL PENYEBARAN	13
3.1 Model Non-Markov	13
3.2 Fungsi Kopula	15
3.2.1 Kopula Clayton	16
3.2.2 Kopula Gumbel	16
3.2.3 Kopula Frank	17
3.2.4 Perbedaan Kopula Clayton, Gumbel, dan Frank	18
3.2.5 Koefisien Tau Kendall	19
3.3 Fungsi Kerugian	20
3.4 Prinsip Perhitungan Premi	22
3.4.1 Prinsip Premi Standar Deviasi	22
3.4.2 Prinsip Premi Utilitas Eksponensial	23
4 SIMULASI DAN PERHITUNGAN HARGA PREMI	25
4.1 Hasil Simulasi Menggunakan Fungsi Kopula Clayton, Gumbel, dan Frank	27
4.1.1 Perhitungan Banyaknya Infeksi yang Terjadi dan Kerugian yang Dialami Perusahaan	27
4.1.2 Perhitungan Besar Premi	30
4.2 Analisis Perubahan Parameter Waktu Infeksi Antarsimpul terhadap Hasil Simulasi	31

5 KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	37
DAFTAR REFERENSI	39

DAFTAR GAMBAR

2.1	Contoh Dua Simpul Bertetangaan	5
2.2	Contoh Graf Sederhana dan Multigraf	5
2.3	Contoh Graf Sederhana	6
4.1	Sistem Jaringan Komputer Suatu Perusahaan	25

DAFTAR TABEL

3.1	Tabel Ketergantungan Ekor Kopula Clayton, Gumbel, dan Frank	18
3.2	Tabel Nilai $u''(\omega)$ untuk Parameter $\gamma \neq 0$	23
4.1	Tabel Banyaknya Infeksi untuk Ketiga Kopula dengan $\tau_1 = \frac{1}{2}$	27
4.2	Tabel Banyaknya Infeksi untuk Ketiga Kopula dengan $\tau_2 = \frac{10}{11}$	28
4.3	Tabel Besar Kerugian yang Dialami Perusahaan untuk Ketiga Kopula dengan $\tau_1 = \frac{1}{2}$	29
4.4	Tabel Besar Kerugian yang Dialami Perusahaan untuk Ketiga Kopula dengan $\tau_2 = \frac{10}{11}$	29
4.5	Tabel Besar Premi untuk Ketiga Fungsi Kopula dengan $\tau_1 = \frac{1}{2}$	30
4.6	Tabel Besar Premi untuk Ketiga Fungsi Kopula dengan $\tau_2 = \frac{10}{11}$	31
4.7	Tabel Nilai Parameter μ_1 untuk Dua Nilai $\mathbb{E}[Y_{vj}]$ yang Berbeda	32
4.8	Tabel Perubahan Persentase Rata-Rata Banyaknya Infeksi	32
4.9	Tabel Perubahan Persentase Rata-Rata Besar Kerugian	33
4.10	Tabel Perubahan Persentase Besar Premi P_1	34
4.11	Tabel Perubahan Persentase Besar Premi P_2	34

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang sangat pesat dalam era globalisasi ini telah membawa banyak dampak positif dalam kehidupan manusia, khususnya pada masa pandemi COVID-19 yang bermula pada awal tahun 2020. Contohnya adalah komunikasi tatap muka yang sekarang dapat dilakukan secara virtual, pengiriman pesan dan dokumen menggunakan surat elektronik, dan transaksi jual beli yang dapat dilakukan secara daring. Di sisi lain, perkembangan teknologi juga membawa dampak negatif, yaitu meningkatnya kejahatan di dunia maya atau kejahatan siber, khususnya *ransomware* yang menyebabkan terjadinya peretasan data dan informasi penting perusahaan. Oleh karena itu, perusahaan-perusahaan perlu memikirkan strategi agar dapat melindungi keamanan data mereka dari serangan kejahatan siber tersebut. Salah satu perlindungan yang dapat dilakukan adalah dengan memiliki asuransi keamanan siber. Beberapa asuransi keamanan siber yang sudah ada di Indonesia adalah polis *CyberEdge* yang diterbitkan oleh PT AIG Insurance Indonesia [1] dan polis *Cyber Enterprise Risk Management* yang diterbitkan oleh PT Chubb General Insurance Indonesia [2].

Banyaknya perusahaan yang membutuhkan pengalihan risiko keamanan siber menyebabkan pasar asuransi keamanan siber mulai meluas. Namun, asuransi keamanan siber tidak memiliki sistem dasar pengukuran atau tabel aktuarial standar. Hal ini terjadi karena risiko keamanan siber yang tergolong baru dan data historis terkait serangan siber yang ada belum mencukupi, sehingga tingkat risiko terinfeksi sistem jaringan dari perusahaan bertanggung jawab tidak dapat diketahui. Lebih lanjut, perusahaan-perusahaan memilih untuk tidak melaporkan terjadinya serangan siber karena dapat menyebabkan penurunan pangsa pasar, reputasi perusahaan menjadi buruk, dan kerugian lainnya [3]. Oleh karena itu, perusahaan asuransi membutuhkan strategi untuk menghitung besar premi asuransi keamanan siber.

Untuk mendukung hal tersebut, dalam skripsi ini akan dibahas metode untuk memodelkan asuransi keamanan siber. Metode yang pernah digunakan salah satunya dibahas oleh Schwartz dan Sastry [4] yang mengembangkan pengelolaan risiko keamanan siber pada jaringan interdependen skala besar. Namun, model yang mereka bahas menggunakan asumsi peluang infeksi bernilai konstan yang kurang cocok untuk digunakan karena perangkat yang terhubung dengan lebih banyak perangkat lain umumnya memiliki peluang infeksi yang lebih besar. Metode lain adalah metode Markov yang dibahas oleh Xu dan Hua dalam makalahnya [3]. Namun, model Markov tidak dapat digunakan jika proses infeksi dan proses pemulihan tidak berdistribusi eksponensial. Dalam makalah yang sama, dibahas juga mengenai model non-Markov dengan kasus independen di mana risiko keamanan siber antarperangkat (yang direpresentasikan sebagai simpul dalam jaringan) diasumsikan saling bebas. Sayangnya dalam kehidupan nyata, infeksi suatu jaringan dalam komputer dapat menyebar ke jaringan lain, yang berarti asumsi kebebasan model non-Markov tersebut kurang tepat.

Sebelumnya sudah ada penelitian yang membahas tentang penentuan besar premi asuransi keamanan siber yang belum memperhitungkan adanya ketergantungan dalam risiko keamanan siber [5]. Penelitian tersebut mengembangkan metode dari Xu dan Hua [3] dengan menerapkan distribusi Gauss Invers dan memperbaiki program perhitungannya dengan menggunakan perangkat

lunak MATLAB, sehingga perhitungannya dapat dilakukan lebih cepat. Pada skripsi ini, akan diperdalam metode lain yang juga dibahas oleh Xu dan Hua [3] yaitu penggunaan fungsi kopula untuk memodelkan adanya ketergantungan dalam risiko keamanan siber. Pada makalah tersebut, fungsi kopula yang digunakan adalah fungsi kopula Gauss dan Clayton, sedangkan fungsi kopula yang akan dibahas pada skripsi ini merupakan kopula kelas Archimedes yang terdiri dari kopula Clayton, Gumbel, dan Frank. Kopula kelas Archimedes akan digunakan karena bentuknya yang sudah eksplisit, sehingga mudah diterapkan, serta sifatnya yang tidak selalu simetris menyebabkan kopula kelas Archimedes sering digunakan di industri keuangan [6]. Perbedaan ketiga fungsi kopula tersebut terletak pada karakteristik ketergantungan ekor yang dapat dilihat dari tingkat risiko perusahaan.

1.2 Rumusan Masalah

Pada skripsi ini, akan dibahas pemodelan asuransi keamanan siber dengan adanya ketergantungan dalam risiko keamanan siber menggunakan fungsi kopula dengan rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana memodelkan hubungan waktu infeksi yang saling bergantung pada proses infeksi jaringan?
2. Bagaimana memodelkan banyaknya infeksi yang terjadi dan besar kerugian yang dialami suatu perusahaan tertanggung?
3. Bagaimana menaksir besar premi asuransi keamanan siber?
4. Bagaimana menentukan besar premi yang tepat untuk diterapkan pada kontrak tahun pertama?
5. Bagaimana sensitivitas perubahan banyaknya infeksi, besar kerugian, dan besar premi akibat perubahan parameter waktu infeksi antarsimpul?

1.3 Tujuan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut.

1. Memodelkan hubungan waktu infeksi pada sistem jaringan yang saling bergantung dengan menerapkan fungsi kopula Clayton, Gumbel, dan Frank.
2. Menerapkan fungsi kopula dan metode simulasi Monte Carlo untuk memodelkan kejadian infeksi yang terjadi dan besar kerugian yang dialami oleh suatu perusahaan tertanggung.
3. Menerapkan prinsip premi standar deviasi dan utilitas eksponensial untuk menaksir besar premi asuransi keamanan siber.
4. Membandingkan besar premi untuk fungsi kopula Clayton, Gumbel, dan Frank untuk melihat kopula yang cocok digunakan pada kontrak tahun pertama.
5. Menganalisis dampak perubahan salah satu parameter waktu infeksi antarsimpul terhadap hasil simulasi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada skripsi ini adalah sebagai berikut.

1. Simpul yang dapat terserang proses infeksi adalah simpul yang masih berada dalam keadaan belum terinfeksi.
2. Setiap simpul dalam jaringan komputer perusahaan tertanggung diasumsikan memiliki tingkat keamanan yang sama.
3. Proses infeksi dari dalam dan luar jaringan, serta proses pemulihan untuk setiap simpul diasumsikan memiliki distribusi yang identik.
4. Struktur jaringan komputer perusahaan tertanggung diasumsikan tidak mengalami perubahan sebelum kontrak asuransi jatuh tempo.

1.5 Sistematika Pembahasan

Skripsi ini terbagi menjadi lima bab, yaitu:

- **Bab 1: Pendahuluan**
Dalam bab ini, akan dibahas latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika pembahasan skripsi.
- **Bab 2: Landasan Teori**
Dalam bab ini, akan dibahas teori-teori yang dijadikan dasar dalam pengembangan metode pada skripsi ini.
- **Bab 3: Model Penyebaran**
Dalam bab ini, akan dibahas model penyebaran infeksi yaitu model non-Markov dengan adanya ketergantungan risiko pada proses infeksi yang dimodelkan menggunakan fungsi kopula.
- **Bab 4: Simulasi dan Perhitungan Besar Premi**
Dalam bab ini, akan dibahas simulasi menggunakan fungsi kopula dan perhitungan besar premi asuransi keamanan siber menggunakan prinsip premi standar deviasi dan utilitas eksponensial.
- **Bab 5: Kesimpulan dan Saran**
Dalam bab ini, akan dibahas kesimpulan yang diperoleh dari pengerjaan skripsi dan saran untuk pengembangan yang dapat dilakukan pada pengerjaan skripsi-skripsi berikutnya.