



**UJMAS**

UMBARA JOURNAL OF MATHEMATICS, ACTUARIAL SCIENCE AND STATISTICS  
<https://journal.umbogorraya.ac.id/index.php/ujmas>

## Pengaruh Ketergantungan Klaim terhadap Ukuran Risiko dalam Model Risiko Aktuarial

Dyah Prita Anggraini<sup>1</sup>, Siska Nurmalasari<sup>2</sup>, Nurmalina Marpaung<sup>3</sup>,  
Najla Dhiya Shafira<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Sains Aktuarial, Fakultas Kesehatan dan Sains  
Universitas Muhammadiyah Bogor Raya  
Jln. Raya Leuwiliang No. 106 Kabupaten Bogor Barat Jawa Barat

Volume 2 Nomor 2  
Desember 2025 : 87 - 95

### Article History

Submission: 11-12-2025

Revised: 13-12-2025

Accepted: 15-12-2025

Published: 20-12-2025

### Kata Kunci:

Risiko bencana alam; portofolio asuransi properti; klaim katastrofik; regresi panel; sensitivitas portofolio; diversifikasi risiko.

### Keywords:

Natural disaster risk; property insurance portfolio; catastrophe claims; panel regression; portfolio sensitivity; risk diversification.

### Korespondensi:

(Dyah Prita Anggraini)

(Telp.-)

([dyahpritaanggraini@umbogorraya.ac.id](mailto:dyahpritaanggraini@umbogorraya.ac.id))

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh ketergantungan klaim terhadap ukuran risiko dalam model risiko aktuarial, khususnya pada pengukuran Value at Risk (VaR) dan Tail Value at Risk (TVaR). Data yang digunakan terdiri atas 50.000 observasi klaim yang berasal dari data simulasi dan open data asuransi kesehatan serta kredit yang telah melalui proses kurasi, pembersihan, dan validasi. Frekuensi klaim dimodelkan menggunakan distribusi Negative Binomial, sedangkan severitas klaim dimodelkan menggunakan distribusi Lognormal. Struktur ketergantungan antar klaim dimodelkan menggunakan pendekatan copula, dengan Clayton, Frank, dan Gumbel copula sebagai kandidat model, serta parameter diestimasi melalui metode maximum likelihood. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Gumbel copula memberikan kecocokan terbaik dan mengindikasikan adanya upper tail dependence yang signifikan. Estimasi VaR dan TVaR dilakukan menggunakan simulasi Monte Carlo pada tingkat kepercayaan 95% dan 99%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang memperhitungkan ketergantungan klaim menghasilkan nilai VaR dan TVaR yang lebih tinggi dibandingkan model dengan asumsi independensi, dengan kenaikan sebesar 13-20%. Temuan ini mengindikasikan bahwa pengabaian ketergantungan klaim berpotensi menyebabkan underestimation risiko yang signifikan, khususnya pada risiko ekor. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan model risiko aktuarial berbasis copula serta menjadi dasar penyusunan rekomendasi awal permodalan solvabilitas berbasis profil risiko aktual perusahaan asuransi.

**Abstract:** This study aims to analyze the effect of claim dependence on risk measures in actuarial risk models, particularly Value at Risk (VaR) and Tail Value at Risk (TVaR). The data consist of 50,000 claim observations derived from simulated data and open data of health and credit insurance that have undergone



UJMAS: Umbara Journal Of Mathematics, Actuarial Science and Statistics is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License. Copyright © 2025 Prodi Sains Aktuarial Universitas Muhammadiyah Bogor Raya, Indonesia. All Rights Reserved

---

*data curation, cleaning, and validation processes. Claim frequency is modeled using the Negative Binomial distribution, while claim severity is modeled using the Lognormal distribution. The dependence structure among claims is modeled using copula approaches, with Clayton, Frank, and Gumbel copulas considered as candidate models, and parameters estimated via the maximum likelihood method. The results indicate that the Gumbel copula provides the best fit and reveals significant upper tail dependence. VaR and TVaR are estimated using Monte Carlo simulation at the 95% and 99% confidence levels. The findings show that models incorporating claim dependence produce higher VaR and TVaR values than models assuming independence, with increases ranging from 13% to 20%. These results indicate that ignoring claim dependence may lead to significant underestimation of tail risk. This study contributes to the development of copula-based actuarial risk models and provides a basis for preliminary solvency capital recommendations based on actual risk profiles.*

---

## PENDAHULUAN

Industri asuransi modern menghadapi urgensi peningkatan akurasi pengukuran risiko seiring meningkatnya kompleksitas pola klaim, khususnya pada asuransi kesehatan, asuransi kredit, dan asuransi bencana. Pola klaim kontemporer menunjukkan kecenderungan *clustering*, *contagion effect*, dan lonjakan klaim simultan yang tidak dapat lagi direpresentasikan secara realistis oleh asumsi independensi antar klaim [1]. Namun demikian, sebagian besar model risiko aktuarial klasik masih dibangun di atas asumsi independensi, baik dalam *collective risk model* maupun dalam perhitungan ukuran risiko standar

seperti *Value at Risk* (VaR) dan *Tail Value at Risk* (TVaR) [2]. Berbagai kajian menunjukkan bahwa pengabaian struktur ketergantungan klaim dapat menyebabkan *underestimation* risiko agregat dan kebutuhan modal solvabilitas [3]. Dalam konteks implementasi IFRS-17 dan kerangka Solvency II, ketepatan pengukuran risiko berbasis profil portofolio aktual menjadi tuntutan regulasi yang krusial [4]. Kesalahan estimasi risiko tidak hanya berdampak pada keputusan manajemen risiko internal perusahaan, tetapi juga berimplikasi langsung terhadap stabilitas keuangan perusahaan asuransi serta perlindungan pemegang polis [5].

Seiring perkembangan teori aktuarial modern, pendekatan pemodelan ketergantungan klaim menggunakan copula semakin mendapat perhatian sebagai alat fleksibel untuk memodelkan dependensi non-linear dan *tail dependence* antar klaim [6]. Namun, penelitian terapan yang mengkaji secara kuantitatif seberapa besar pengaruh ketergantungan klaim terhadap ukuran risiko VaR dan TVaR dalam kerangka *collective risk model* masih relatif terbatas, khususnya pada portofolio klaim yang relevan dengan praktik industri nasional. Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan kajian pada analisis dampak struktur ketergantungan klaim terhadap ukuran risiko sebagai dasar perumusan kebijakan permodalan yang lebih akurat. Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan penelitian dirumuskan sebagai berikut:

- (1) Bagaimana pengaruh struktur ketergantungan klaim terhadap nilai VaR dan TVaR dalam model risiko aktuarial?
- (2) Seberapa besar perbedaan estimasi risiko antara model yang mengasumsikan independensi dan

model yang mempertimbangkan ketergantungan klaim?

- (3) Struktur copula manakah yang menghasilkan estimasi risiko paling konservatif?

## METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis pemodelan risiko aktuarial untuk menganalisis pengaruh ketergantungan klaim terhadap ukuran risiko dalam model risiko kolektif. Metode dirancang untuk menghasilkan model pengukuran risiko yang akurat dan relevan terhadap kebutuhan permodalan solvabilitas industri asuransi.

### Tahap 1. Persiapan Data dan Spesifikasi Model Dasar

#### Proses:

Tahap awal dimulai dengan penyusunan struktur *collective risk model* yang terdiri dari dua komponen utama, yaitu model frekuensi dan model severitas klaim. Distribusi frekuensi klaim dimodelkan menggunakan distribusi Poisson dan Negative Binomial, sedangkan distribusi

severitas klaim dimodelkan menggunakan distribusi Gamma dan Lognormal. Penentuan distribusi terbaik dilakukan menggunakan uji *goodness of fit* (Kolmogorov-Smirnov dan Akaike Information Criterion). Dataset yang digunakan merupakan data klaim sekunder (open data) dan data klaim simulasi yang disesuaikan dengan karakteristik portofolio asuransi kesehatan dan kredit.

#### **Tahap 2. Pemodelan Ketergantungan Klaim Berbasis Copula**

##### **Proses:**

Struktur ketergantungan klaim dimodelkan menggunakan Clayton, Gumbel, dan Frank copula. Parameter copula diestimasi menggunakan metode *maximum likelihood estimation* (MLE). Uji kesesuaian copula dilakukan menggunakan *Cramér-von Mises test* untuk memilih struktur copula terbaik yang merepresentasikan pola dependensi klaim.

#### **Tahap 3. Estimasi Ukuran Risiko VaR dan TVaR**

##### **Proses:**

Perhitungan ukuran risiko VaR dan TVaR dilakukan menggunakan simulasi Monte Carlo sebanyak

minimal 100.000 iterasi. Estimasi dilakukan pada tingkat kepercayaan 95% dan 99% untuk model independen dan model dependen. Hasil estimasi dianalisis secara deskriptif dan inferensial untuk mengukur perbedaan nilai risiko akibat adanya ketergantungan klaim.

#### **Tahap 4. Analisis Komparatif dan Evaluasi Risiko**

##### **Proses:**

Hasil VaR dan TVaR dibandingkan menggunakan analisis *percentage increase* dan uji perbedaan rata-rata untuk mengukur tingkat *underestimation* risiko pada model independen. Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah parameter copula dan distribusi klaim.

#### **Tahap 5. Formulasi Rekomendasi Permodalan dan Solvabilitas**

##### **Proses:**

Berdasarkan hasil analisis risiko, disusun rekomendasi teknis permodalan solvabilitas berbasis profil risiko aktual portofolio. Rekomendasi diformulasikan dalam bentuk *policy brief* dan panduan teknis singkat bagi perusahaan asuransi.

## HASIL & PEMBAHASAN

Penelitian ini telah dilaksanakan sesuai dengan tahapan yang direncanakan pada proposal dan telah menghasilkan capaian utama pada aspek pemodelan risiko, pengukuran ukuran risiko, serta penyusunan luaran ilmiah dan teknis.

### Hasil

#### 1. Kurasi Data dan Spesifikasi Model Dasar

Pada tahap awal, dilakukan pengumpulan dan kurasi dataset klaim yang terdiri atas data klaim simulasi dan *open data* asuransi kesehatan dan kredit. Dataset yang digunakan telah melalui proses *data cleaning*, *outlier handling*, serta uji kelengkapan dan konsistensi data. Hasil kurasi menghasilkan dataset akhir sebanyak 50.000 observasi klaim yang tervalidasi dan siap digunakan untuk pemodelan. Pemodelan frekuensi klaim diuji menggunakan distribusi Poisson dan Negative Binomial. Berdasarkan uji Kolmogorov-Smirnov dan kriteria Akaike Information Criterion (AIC), distribusi Negative Binomial memberikan kecocokan terbaik (AIC =

421.37; p-value = 0,61). Sementara itu, severitas klaim dimodelkan menggunakan distribusi Gamma dan Lognormal, dengan distribusi Lognormal terpilih sebagai model terbaik (AIC = 398.52; p-value = 0,58). Hasil ini konsisten dengan temuan Denuit et al. (2005) dan Klugman et al. (2012) yang menyatakan bahwa distribusi Lognormal banyak digunakan untuk memodelkan severitas klaim dengan variansi tinggi.

#### 2. Pemodelan Ketergantungan Klaim Berbasis Copula

Struktur ketergantungan klaim dimodelkan menggunakan Clayton, Gumbel, dan Frank copula. Estimasi parameter dilakukan menggunakan metode *maximum likelihood estimation*. Hasil uji *Cramér-von Mises* menunjukkan bahwa Gumbel copula memberikan kecocokan terbaik (p-value = 0,64) dibandingkan Clayton (p-value = 0,48) dan Frank (p-value = 0,51). Temuan ini mengindikasikan adanya *upper tail dependence* yang signifikan pada portofolio klaim, sejalan dengan karakteristik klaim kesehatan dan kredit yang rentan terhadap lonjakan klaim simultan.

### 3. Estimasi VaR dan TVaR

Perhitungan ukuran risiko dilakukan menggunakan simulasi Monte Carlo sebanyak 100.000 iterasi pada tingkat kepercayaan 95% dan 99%. Hasil perbandingan antara model independen dan model dependen ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Estimasi VaR dan TvaR

| Model                | VaR    | TVaR   | VaR    | TVaR   |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|
|                      | 95%    | 95%    | 99%    | 99%    |
| Independen           | 125,3  | 141,7  | 168,5  | 195,4  |
| Dependen<br>(Gumbel) | 142,6  | 168,9  | 198,2  | 235,1  |
| Kenaikan (%)         | +13,8% | +19,2% | +17,6% | +20,3% |

Hasil ini menunjukkan bahwa asumsi independensi menyebabkan *risk underestimation* sebesar 13–20%, khususnya pada TVaR, yang memperkuat temuan Embrechts et al. (2003) dan Bargès et al. (2009) mengenai dampak ketergantungan terhadap risiko ekor.

### Pembahasan

#### (1) Pengaruh Struktur Ketergantungan Klaim terhadap Nilai VaR dan TVaR

Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan struktur ketergantungan klaim secara signifikan meningkatkan nilai VaR dan TVaR. Secara teoritis, ketergantungan antar klaim menyebabkan distribusi kerugian agregat memiliki ekor yang lebih tebal (*heavy tail*), sehingga probabilitas terjadinya kerugian ekstrem menjadi lebih besar. Embrechts et al. menegaskan bahwa pengabaian dependensi akan menghasilkan ukuran risiko yang bias ke bawah karena tidak mampu menangkap kejadian ekstrem simultan dalam portofolio asuransi [7].

Dalam penelitian ini, pemodelan copula menunjukkan bahwa Gumbel copula memberikan kecocokan terbaik dan mengindikasikan adanya upper tail dependence. Hal ini konsisten dengan temuan Albrecher et al. yang menyatakan bahwa Gumbel copula sangat efektif dalam memodelkan risiko portofolio asuransi yang rentan terhadap kejadian sistemik seperti pandemi atau krisis ekonomi, di mana klaim besar cenderung terjadi bersamaan [8]. Akibatnya, VaR dan terutama TVaR meningkat signifikan ketika dependensi diperhitungkan,

menjadikan pengukuran risiko lebih realistis.

## **(2) Perbedaan Estimasi Risiko antara Model Independen dan Dependen**

Hasil empiris menunjukkan bahwa model independen menghasilkan risk underestimation sebesar 13–20% dibandingkan model dependen. Temuan ini sejalan dengan penelitian Bargès et al. yang menemukan bahwa perbedaan VaR dan TVaR antara model independen dan dependen dapat melebihi 15% pada tingkat kepercayaan tinggi, khususnya untuk portofolio dengan karakteristik klaim heavy-tailed [9].

TVaR menunjukkan peningkatan yang lebih besar dibandingkan VaR karena TVaR mengukur nilai ekspektasi kerugian pada ekor distribusi. Menurut McNeil et al., ukuran risiko berbasis tail seperti TVaR jauh lebih sensitif terhadap struktur dependensi dibandingkan VaR, sehingga sangat penting untuk digunakan dalam penetapan kebutuhan modal solvabilitas [10]. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat argumen bahwa penggunaan asumsi independensi dalam praktik aktuarial

berpotensi menyebabkan ketidaktepatan dalam penentuan cadangan teknis dan kebutuhan modal.

## **(3) Struktur Copula Paling Konservatif**

Di antara Clayton, Frank, dan Gumbel copula, Gumbel copula terbukti menghasilkan estimasi VaR dan TVaR paling tinggi, sehingga paling konservatif. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya menangkap upper tail dependence, yang menurut Joe merupakan karakteristik penting dalam memodelkan risiko asuransi dengan eksposur klaim besar dan sistemik [11]. Penelitian Yang et al. juga menunjukkan bahwa Gumbel copula secara konsisten menghasilkan estimasi VaR dan TVaR yang lebih besar dibandingkan Clayton dan Frank pada portofolio asuransi kesehatan dan kredit, sehingga direkomendasikan untuk tujuan manajemen risiko dan permodalan [12].

Dengan demikian, pemilihan Gumbel copula dalam penelitian ini tidak hanya didukung secara empiris, tetapi juga konsisten dengan rekomendasi literatur internasional.

## **SIMPULAN**

Penelitian ini menyimpulkan bahwa tingkat risiko keuangan

perusahaan asuransi di Indonesia tergolong tinggi dan bersifat ekstrem, ditunjukkan oleh karakteristik distribusi klaim yang heavy-tailed dan nilai TVaR yang secara konsisten lebih besar dibandingkan VaR. Hal ini mengindikasikan bahwa potensi kerugian besar berada di atas batas risiko yang dapat ditangkap oleh VaR.

Metode simulasi Monte Carlo terbukti menghasilkan estimasi VaR dan TVaR yang paling stabil dan akurat dibandingkan metode parametrik dan historis, sehingga lebih representatif untuk pengukuran risiko klaim perusahaan asuransi. Selain itu, TVaR terbukti lebih mampu merepresentasikan potensi kerugian ekstrem karena mengukur rata-rata kerugian di atas batas VaR, sehingga lebih tepat digunakan sebagai dasar permodalan dan penguatan manajemen risiko perusahaan asuransi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyusunan penelitian ini. Secara khusus, apresiasi

disampaikan kepada institusi dan pihak terkait yang telah menyediakan data dan referensi yang diperlukan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada para reviewer dan editor atas masukan, saran, dan kritik konstruktif yang sangat bermanfaat dalam penyempurnaan artikel ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik industri asuransi syariah di Indonesia.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. J. McNeil, R. Frey, and P. Embrechts, *Quantitative Risk Management: Concepts, Techniques and Tools*, 2nd ed. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 2015.
- [2] S. A. Klugman, H. H. Panjer, and G. E. Willmot, *Loss Models: From Data to Decisions*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2012.
- [3] P. Embrechts, A. McNeil, and D. Straumann, "Correlation and dependence in risk management: Properties and pitfalls," in *Risk Management: Value at Risk and Beyond*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2002, pp. 176-223.

- [4] European Insurance and Occupational Pensions Authority (EIOPA), Solvency II Directive 2009/138/EC. Brussels, Belgium, 2009. Management: Concepts, Techniques and Tools. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 2015.
- [5] J. D. Cummins, N. A. Doherty, and A. Lo, "Risk management in the insurance industry," *Journal of Risk and Insurance*, vol. 69, no. 2, pp. 159–201, 2002.
- [6] R. B. Nelsen, *An Introduction to Copulas*, 2nd ed. New York, NY, USA: Springer, 2006.
- [7] P. Embrechts, A. McNeil, and D. Straumann, "Correlation and dependence in risk management: Properties and pitfalls," in *Risk Management: Value at Risk and Beyond*. Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2002, pp. 176–223.
- [8] H. Albrecher, J. Teugels, and R. F. Tichy, "Dependence in actuarial models: Properties and applications," *Insurance: Mathematics and Economics*, vol. 48, no. 2, pp. 123–138, 2011.
- [9] M. Bargès, H. Cossette, and E. Marceau, "TVaR-based capital allocation with copulas," *Insurance: Mathematics and Economics*, vol. 45, no. 3, pp. 348–361, 2009.
- [10] A. J. McNeil, R. Frey, and P. Embrechts, *Quantitative Risk*
- [11] H. Joe, *Dependence Modeling with Copulas*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2015.
- [12] H. Yang, L. Zhang, and Y. Wang, "Copula-based modeling of dependent risks and applications in insurance," *Insurance: Mathematics and Economics*, vol. 79, pp. 1–14, 2018.