



Estimasi Premi Reasuransi Menggunakan Teori Nilai Ekstrem dengan Penyesuaian Keterlambatan Pembayaran Klaim

Putri Isnaini Cahyaning Baiti^{1*}, Tiara Yulita¹, Aldila Nur Indah Berliana Ratam¹, Marisa¹

¹ Program Studi Sains Aktuaria, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sumatera

*putri.baiti@at.itera.ac.id

Abstract

Extreme losses are an important consideration in reinsurance premium determination, particularly for excess-of-loss contracts. This study aims to estimate reinsurance premiums using Extreme Value Theory (EVT) through the Peaks Over Threshold (POT) approach with the Generalized Pareto Distribution (GPD), and to evaluate premium sensitivity to claim payment delays. The dataset consists of 107 claims, with occurrence dates ranging from July 9, 2023, to June 10, 2025, and payment dates extending to June 30, 2025. The POT threshold was set at the 90th percentile, amounting to IDR 11,539,483, yielding 11 exceedances. The GPD parameters were estimated using Maximum Likelihood Estimation (MLE), resulting in a shape parameter ($\hat{\xi}$) of 0.1696462 and a scale parameter ($\hat{\beta}$) of 4,689,953. The estimated EVT premiums at the 95th, 97th, and 99th percentile retention levels were IDR 176,884.84, IDR 122,928.86, and IDR 71,798.62, respectively. The mean payment delay was 46.46 days for all claims and 59 days for extreme claims. These figures were used to construct a delay-weighting function and evaluate premium sensitivity. At a sensitivity parameter of 0.05, the adjusted premiums were IDR 188,116.73, IDR 130,734.63, and IDR 76,357.71, respectively. This study combines POT-GPD-based premium estimation with a sensitivity analysis incorporating claim payment delay information. However, the weighting function is an illustrative approach and has not been calibrated against actual financial costs associated with delayed claim payments.

Keywords: Extreme Value Theory, Generalized Pareto Distribution, Payment Delay, Reinsurance Premium, Tail Risk

Abstrak

Kerugian ekstrem merupakan salah satu pertimbangan penting dalam penentuan premi reasuransi, khususnya pada kontrak *excess-of-loss*. Penelitian ini bertujuan mengestimasi premi reasuransi menggunakan *Extreme Value Theory* (EVT) melalui pendekatan *Peaks Over Threshold* (POT) dengan distribusi *Generalized Pareto* (GPD), serta mengevaluasi sensitivitas premi terhadap keterlambatan pembayaran klaim. Data penelitian terdiri atas 107 klaim dengan tanggal kejadian dari 9 Juli 2023 hingga 10 Juni 2025 dan tanggal pembayaran hingga 30 Juni 2025. Ambang POT ditetapkan pada persentil ke-90 sebesar Rp11.539.483, sehingga diperoleh 11 klaim ekstrem. Parameter GPD diestimasi menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE), dengan parameter bentuk ($\hat{\xi}$) sebesar 0,1696462 dan parameter skala ($\hat{\beta}$) sebesar 4.689.953. Premi EVT pada tingkat retensi persentil ke-95, ke-97, dan ke-99 masing-masing sebesar Rp176.884,84, Rp122.928,86, dan Rp71.798,62. Rata-rata keterlambatan pembayaran seluruh klaim adalah 46,46 hari, sedangkan rata-rata keterlambatan pada klaim ekstrem adalah 59 hari. Informasi tersebut digunakan untuk membentuk fungsi pembobot keterlambatan dan mengevaluasi sensitivitas premi. Pada parameter sensitivitas sebesar 0,05,

premi yang disesuaikan masing-masing menjadi Rp188.116,73, Rp130.734,63, dan Rp76.357,71. Penelitian ini mengintegrasikan estimasi premi berbasis POT-GPD dengan analisis sensitivitas yang mempertimbangkan informasi keterlambatan pembayaran. Namun, fungsi pembobot yang digunakan merupakan pendekatan ilustratif dan belum dikalibrasi berdasarkan biaya finansial aktual akibat keterlambatan pembayaran klaim.

Kata Kunci: Teori Nilai Ekstrem, Distribusi *Generalized Pareto*, Keterlambatan Pembayaran, Premi Reasuransi, Risiko Ekor.

1. PENDAHULUAN

Reasuransi merupakan instrumen manajemen risiko yang memungkinkan perusahaan asuransi mengalihkan sebagian risiko kerugian kepada perusahaan reasuransi (Huang, Cui, & Peng, 2024). Salah satu bentuknya adalah kontrak *excess-of-loss*, yaitu kontrak yang memberikan perlindungan atas bagian klaim yang melampaui batas retensi yang disepakati. Dalam kontrak ini, perusahaan asuransi menanggung klaim hingga batas retensi, sedangkan kelebihan klaim menjadi tanggungan perusahaan reasuransi sesuai dengan ketentuan kontrak. Oleh karena itu, penentuan premi reasuransi perlu mempertimbangkan karakteristik kerugian yang menjadi objek perlindungan agar estimasi premi mencerminkan eksposur risiko yang ditanggung (Shi, Landriault, & Liu, 2026); (Yao, Yang, Xu, Li, & Wang, 2026).

Salah satu tantangan dalam penentuan premi reasuransi adalah pemodelan kerugian bernilai besar yang berada pada bagian ekor distribusi (Marixq & Bishop, 2025). Data klaim dapat memiliki distribusi yang menceng ke kanan, yaitu ketika sebagian besar klaim bernilai relatif kecil, tetapi terdapat sejumlah klaim dengan nilai jauh lebih besar. Namun, kemencengan distribusi tidak dengan sendirinya membuktikan adanya *heavy tail*. Karakteristik ekor perlu dievaluasi menggunakan pendekatan yang secara khusus memodelkan kejadian ekstrem. *Extreme Value Theory* (EVT) menyediakan kerangka statistik untuk menganalisis perilaku ekstrem tersebut, termasuk dalam estimasi risiko kerugian dan premi reasuransi (McNeil, 1997). Salah satu pendekatan EVT adalah *Peaks Over Threshold* (POT), yang memodelkan nilai klaim yang melampaui suatu ambang menggunakan distribusi *Generalized Pareto* (GPD). Penerapan pendekatan ini memerlukan pemilihan ambang dan pemeriksaan diagnostik agar hasil estimasi tidak hanya bergantung pada asumsi model (Baiti & Effendie, 2025).

Dalam penelitian aktuaria, EVT telah digunakan untuk mengembangkan estimasi premi dengan mempertimbangkan karakteristik risiko pada bagian ekor distribusi. Geoghebeur et al. (2008), misalnya, membahas estimasi premi risiko bersyarat menggunakan EVT, sedangkan Baiti dan Effendie (2025) mengembangkan estimasi premi reasuransi dengan menggabungkan metode EVT dan pendekatan Bayesian untuk mengakomodasi ketidakpastian parameter. Selain berfokus pada estimasi premi, penelitian mengenai optimasi reasuransi juga membahas penentuan struktur kontrak dan prinsip premi berdasarkan ukuran risiko tertentu (Geoghebeur, Beirlant, & Wet, 2008); (Boonen & Ghossoub, 2021); (Liang, Liang, & Young, 2020). Secara keseluruhan, penelitian-

penelitian tersebut menunjukkan bahwa estimasi premi reasuransi dapat dikaji melalui pemodelan risiko ekstrem maupun optimasi desain kontrak. Akan tetapi, kedua fokus tersebut berbeda dari kajian mengenai penggunaan informasi waktu penyelesaian klaim sebagai dasar analisis sensitivitas premi.

Selain besarnya klaim, tanggal kejadian dan tanggal pembayaran memberikan informasi mengenai durasi penyelesaian klaim. Informasi tersebut relevan untuk dikaji karena keterlambatan pembayaran dapat berkaitan dengan pengelolaan arus kas dan likuiditas perusahaan. Meskipun demikian, durasi keterlambatan saja tidak cukup untuk mengukur besarnya dampak finansial yang ditimbulkan. Pengukuran dampak tersebut memerlukan informasi tambahan, seperti biaya pendanaan atau biaya lain yang secara langsung berkaitan dengan keterlambatan.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan mengestimasi premi reasuransi *excess-of-loss* menggunakan pendekatan POT-GPD dalam EVT serta mengevaluasi sensitivitas premi terhadap keterlambatan pembayaran klaim melalui fungsi pembobot dengan beberapa skenario parameter. Kontribusi penelitian terletak pada kerangka analisis sensitivitas yang menghubungkan estimasi premi berbasis risiko ekstrem dengan informasi keterlambatan pembayaran. Namun, fungsi pembobot yang digunakan bersifat ilustratif dan belum dikalibrasi secara empiris, sehingga hasilnya menjadi dasar bagi penelitian lanjutan yang mengaitkan keterlambatan dengan dampak finansial aktual.

2. METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan memanfaatkan *Extreme Value Theory* (EVT) untuk memodelkan risiko klaim ekstrem dan mengestimasi premi reasuransi *excess of loss*. Pendekatan EVT dipilih karena mampu memodelkan perilaku distribusi pada bagian ekor (*tail distribution*), sehingga lebih sesuai untuk menganalisis data klaim asuransi yang memiliki karakteristik *heavy tailed* dibandingkan metode parametrik konvensional (McNeil, 1997), (Beirlant, Geoghebeur, Segers, & Teugels, 2004). Penelitian ini mengembangkan model estimasi premi dengan menambahkan faktor keterlambatan pembayaran klaim sebagai bentuk penyesuaian terhadap risiko operasional yang timbul selama proses penyelesaian klaim.

2.1. Data Penelitian

Data yang digunakan berupa data klaim individu perusahaan asuransi yang memuat informasi mengenai tanggal terjadinya klaim, tanggal pembayaran klaim, serta besarnya klaim yang telah dibayarkan. Berdasarkan data tersebut, diperoleh dua variabel utama yaitu *claim severity* sebagai representasi besarnya kerugian finansial akibat klaim dan *claim payment delay* sebagai selisih waktu antara tanggal terjadinya klaim dengan tanggal pembayaran klaim. Seluruh proses pengolahan data dan analisis statistik

dilakukan menggunakan *software* R karena memiliki berbagai paket yang mendukung analisis data ekstrem dan estimasi parameter distribusi *Generalized Pareto* (Charpentier, 2015). Secara matematis, data pengamatan dinyatakan sebagai

$$\{(T_i^{(o)}, T_i^{(p)}, X_i), i = 1, 2, \dots, n\}$$

dengan $T_i^{(o)}$ tanggal terjadinya klaim, $T_i^{(p)}$ tanggal pembayaran klaim, dan X_i besar klaim yang dibayarkan (*claim severity*). Selanjutnya keterlambatan pembayaran klaim dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$D_i = T_i^{(p)} - T_i^{(o)}, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

dengan D_i menyatakan lama keterlambatan pembayaran klaim (hari) (McNeil, 1997), (Beirlant, Geoghebeur, Segers, & Teugels, 2004), (Davis & Mikosch, 2008).

2.2. Pemodelan Risiko Ekstrem Menggunakan *Extreme Value Theory* (EVT)

Penelitian ini menerapkan pendekatan *Peak Over Threshold* (POT) dalam kerangka *Extreme Value Theory* (EVT). Pendekatan POT hanya memanfaatkan observasi yang melebihi suatu nilai ambang (*threshold*) sehingga lebih efektif dalam memodelkan kejadian ekstrem dibandingkan pendekatan *block maxima* (Geoghebeur, Beirlant, & Wet, 2008). Apabila dipilih suatu nilai ambang u , maka nilai kelebihan (*excess loss*) didefinisikan sebagai

$$F_u(y) = P(X - u \leq y | X > u), y \geq 0 \quad (2)$$

Menurut Teorema Pickand Bakema de Haan, distribusi kelebihan (*exceedances*) di atas ambang yang cukup tinggi akan mendekati *Generalized Pareto Distribution* (GPD). Oleh karena itu, fungsi distribusi kumulatif GPD digunakan untuk memodelkan data ekstrem sebagai berikut:

$$G(y; \xi, \beta) = 1 - \left(1 + \xi \frac{y}{\beta}\right)^{-\frac{1}{\xi}}, y \geq 0 \quad (3)$$

Dengan ξ merupakan parameter bentuk (*shape parameter*) yang menggambarkan ketebalan ekor distribusi dan σ merupakan parameter skala (*scale parameter*). Nilai $\xi > 0$ menunjukkan bahwa distribusi memiliki karakteristik *heavy tailed*, yang umum dijumpai pada data klaim asuransi (Boonen & Ghossoub, 2021).

2.3. Penentuan Nilai Ambang (*Threshold*)

Berdasarkan pendekatan POT, distribusi data yang melampaui nilai ambang (*threshold*) yang cukup tinggi dapat didekati oleh GPD. Jika u menyatakan nilai *threshold*, maka nilai kelebihan (*excess*) dirumuskan sebagai berikut:

$$Y_i = X_i - u | X_i > u \quad (4)$$

Threshold u dipilih menggunakan fungsi *mean excess*

$$\hat{\Pi}(R) = \frac{\beta + \xi(R - u)}{1 - \xi} (1 - \hat{F}(R)), \xi > 0 \quad (5)$$

$$e(u) = E[X - u | X > u] \quad (6)$$

Secara empiris, penentuan nilai ambang dilakukan menggunakan *mean excess plot* yaitu grafik yang menggambarkan rata-rata nilai kelebihan di atas berbagai kandidat

threshold. Nilai *threshold* dipilih pada daerah yang menunjukkan pola meningkat secara linier sehingga memenuhi asumsi GPD (Baiti & Effendie, 2025), (Klugman, Panjer, & Willmot, 2012). Berdasarkan analisis tersebut, nilai *threshold* ditentukan pada kuantil tinggi dari distribusi *claim severity*. Persamaan (4) digunakan untuk mentransformasikan data klaim yang melebihi nilai ambang menjadi data *excess loss*, sedangkan Persamaan (5) digunakan sebagai pendekatan grafis untuk mengidentifikasi nilai *threshold* yang optimal. Pemilihan *threshold* yang tepat sangat penting karena *threshold* yang terlalu rendah akan menghasilkan bias estimasi, sedangkan *threshold* yang terlalu tinggi menyebabkan jumlah data ekstrem menjadi sangat sedikit sehingga meningkatkan variansi estimasi parameter (Beirlant, Geogebeur, Segers, & Teugels, 2004).

2.4. Estimasi Premi Reasuransi Berbasis EVT

Pertimbangkan sebuah kontrak reasuransi *excess of loss* dengan retensi $R > u$. Dalam prinsip premi bersih, premi reasuransi didefinisikan sebagai

$$\Pi(R) = E[(X - R)^+] \quad (7)$$

Menggunakan pendekatan EVT dan POT, distribusi ekor dari *claim severity* bisa diaproksimasi dengan

$$\hat{F}(x) = 1 - \frac{N_u}{n} \left(1 + \xi \frac{x - u}{\beta} \right)^{-\frac{1}{\xi}}, x > u \quad (8)$$

dengan N_u adalah jumlah dari kelebihan (*exceedances*) di atas *threshold*. Persamaan (5) tersebut mengombinasikan frekuensi empiris *exceedance* dengan model *fitted* GPD untuk mengaproksimasi ekor atas distribusi severity (Klugman, Panjer, & Willmot, 2012).

Selanjutnya mengacu pada rumus premi risiko bersyarat berbasis EVT yang dikemukakan oleh (Baiti & Effendie, 2025), premi reasuransi dapat dihitung dengan pendekatan sebagai berikut.

$$\hat{\Pi}(R) = \frac{\beta + \xi(R - u)}{1 - \xi} (1 - \hat{F}(R)), \xi < 1 \quad (9)$$

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penentuan premi reasuransi dengan pendekatan EVT memberikan estimasi yang lebih akurat terhadap kondisi kerugian ekstrem dibandingkan pendekatan parametrik klasik. Selain itu, metode ini juga telah dikembangkan melalui penerapan inferensi Bayesian untuk mengokodasi ketidakpastian dalam estimasi parameter (Baiti & Effendie, 2025)

2.5. Estimasi Parameter

Parameter GPD ξ dan β diestimasi menggunakan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Prosedur ini dilakukan terhadap seluruh data *excess loss* yang diperoleh setelah *threshold* ditentukan. Misalkan $y_1, \dots, y_m$ dinotasikan sebagai *excess loss* yang diobservasi. Fungsi densitas GPD untuk y_i dinyatakan sebagai:

$$f(y_i; \xi, \beta) = \frac{1}{\beta} \left(1 + \frac{\xi y_i}{\beta}\right)^{\frac{1}{\xi}-1}$$

dengan $\beta > 0$ dan $1 + \frac{\xi y_i}{\beta} > 0$. Untuk m pengamatan ekstrem yang diasumsikan saling independen, fungsi *loglikelihood*-nya adalah

$$\ell(\xi, \beta) = -m \log \beta - \left(1 + \frac{1}{\xi}\right) \sum_{i=1}^m \log \left(1 + \xi \frac{y_i}{\beta}\right) \quad (10)$$

Selanjutnya dengan memaksimalkan Persamaan (10) yaitu $(\hat{\xi}, \hat{\beta}) = \arg \max_{\xi, \beta} \ell(\xi, \beta)$

menghasilkan estimator parameter $\hat{\xi}$ dan $\hat{\beta}$ (Zhang, Meng, & Zeng, 2016). Proses ini menghasilkan estimasi parameter distribusi ekor yang efisien sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam pemodelan risiko ekstrem.

2.6. Penyesuaian Premi Berdasarkan Keterlambatan Pembayaran Klaim

Sebagian penelitian mengenai penentuan premi reasuransi berbasis *Extreme Value Theory* (EVT) berfokus pada pemodelan tingkat keparahan klaim (*claim severity*) untuk mengestimasi risiko kerugian ekstrem (Huang, Cui, & Peng, 2024). Dalam penelitian ini, informasi keterlambatan penyelesaian klaim (*claim settlement delay*) turut dipertimbangkan sebagai faktor penyesuaian premi karena waktu pembayaran merupakan aspek operasional yang dapat berkaitan dengan pengelolaan arus kas perusahaan asuransi. Untuk mengkaji sensitivitas premi terhadap keterlambatan tersebut, penelitian ini menggunakan fungsi pembobot keterlambatan (*delay weighting function*). Fungsi ini dipilih sebagai pendekatan sederhana untuk merepresentasikan penyesuaian premi berdasarkan rasio rata-rata keterlambatan pembayaran pada klaim ekstrem terhadap rata-rata keterlambatan seluruh klaim. Dengan demikian, fungsi pembobot ini bukan merupakan formula baku EVT, melainkan pendekatan yang digunakan dalam analisis sensitivitas. Fungsi tersebut dirumuskan sebagai berikut.

$$\omega(D_i) = 1 + \alpha \frac{D_i}{\bar{D}}, \alpha \geq 0 \quad (11)$$

dengan $\bar{D}$ menyatakan rata-rata keterlambatan pembayaran klaim, sedangkan α merupakan parameter yang mengendalikan tingkat sensitivitas premi terhadap keterlambatan pembayaran klaim. Rata-rata keterlambatan pembayaran klaim dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \quad (12)$$

Premi reasuransi setelah dilakukan penyesuaian terhadap keterlambatan pembayaran klaim dinyatakan sebagai berikut.

$$\hat{\Pi}^*(R) = \omega(D_i) \hat{\Pi}(R) \quad (13)$$

Persamaan (16) menunjukkan bahwa premi reasuransi berbasis EVT disesuaikan secara proposional berdasarkan besarnya keterlambatan pembayaran klaim melalui fungsi pembobot $\omega(D_i)$. Dengan demikian, semakin besar keterlambatan pembayaran klaim,

semakin tinggi premi reasuransi yang dihasilkan sebagai kompensasi atas meningkatnya risiko operasional yang dihadapi perusahaan asuransi maupun perusahaan reasuransi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil empiris yang diperoleh dari penerapan kerangka EVT sesuai dengan penyesuaian terhadap keterlambatan pembayaran klaim. Seluruh proses analisis data dilakukan menggunakan *software R* (Charpentier, 2015).

3.1 Statistika Deskriptif

Sebelum menerapkan kerangka EVT, dilakukan analisis statistika deskriptif terhadap variabel *claim severity* dan keterlambatan pembayaran klaim. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas 107 klaim, dengan tanggal kejadian klaim pada periode 9 Juli 2023 hingga 10 Juni 2025 dan tanggal pembayaran hingga 30 Juni 2025. Data mencakup besaran klaim (*claim severity*) dan keterlambatan pembayaran (*claim settlement delay*), yang dihitung berdasarkan selisih antara tanggal kejadian dan tanggal pembayaran klaim.

Tabel 1. Statistika Deskriptif dari *Claim Severity*

Variabel	Jumlah Observasi	Mean	Median	St. Dev	Maksimum
Severity (IDR)	107	4.949.873	3.311.000	4.531.514	24.766.250
Delays (days)	107	46,46	41	32,78	246

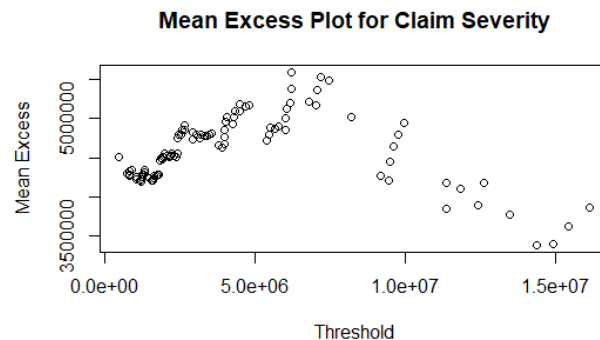
Berdasarkan Tabel 1, rata-rata besaran klaim tercatat sebesar Rp4.949.873, dengan median Rp3.311.000 dan simpangan baku Rp4.531.514. Nilai klaim maksimum mencapai Rp24.766.250. Rata-rata besaran klaim yang lebih tinggi daripada mediannya, disertai rentang nilai yang cukup lebar, menunjukkan bahwa data memiliki indikasi kemencengan ke kanan. Namun, karakteristik tersebut belum cukup untuk menyimpulkan bahwa distribusi klaim memiliki ekor berat (*heavy tail*). Oleh karena itu, pemodelan EVT dilakukan untuk menganalisis bagian ekor distribusi klaim secara lebih khusus. Sementara itu, keterlambatan pembayaran klaim memiliki rata-rata sebesar 46,46 hari, median 41 hari, dan simpangan baku 32,78 hari. Keterlambatan maksimum mencapai 246 hari. Perbedaan antara rata-rata dan median serta rentang keterlambatan yang lebar menunjukkan adanya variasi waktu penyelesaian klaim.

Hasil statistik deskriptif menunjukkan bahwa besaran klaim dan keterlambatan pembayaran memiliki variasi yang perlu dipertimbangkan dalam analisis. Meskipun demikian, kedua variabel tersebut merepresentasikan aspek yang berbeda. Besaran klaim berkaitan dengan besarnya kerugian finansial, sedangkan keterlambatan pembayaran merepresentasikan durasi penyelesaian klaim. Oleh sebab itu, penelitian ini menggunakan besaran klaim untuk memodelkan risiko kerugian ekstrem melalui pendekatan EVT, sedangkan informasi keterlambatan digunakan pada tahap penyesuaian premi.

3.2 Pemilihan *Threshold* dan *Excess Losses*

Gambar berikut ini menyajikan *mean excess plot* untuk variabel *claim severity* yang dibangun berdasarkan Persamaan (9), yaitu fungsi yang menggambarkan rata-rata kelebihan kerugian (*mean excess loss*) di atas suatu nilai ambang (*threshold*) u . *Mean excess plot* merupakan salah satu alat diagnostik yang umum digunakan dalam

pendekatan POT untuk mengevaluasi kesesuaian penggunaan GPD sekaligus menentukan nilai *threshold* yang paling sesuai dalam pemodelan data ekstrem.



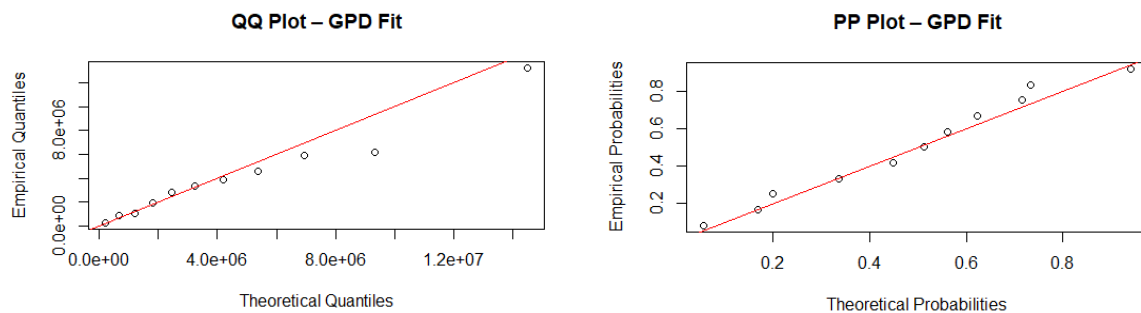
Gambar 1. Plot *Mean Excess* untuk *Claim Severity*

Berdasarkan Gambar 1, *mean excess plot* menunjukkan pola yang meningkat linier pada rentang *threshold* tertentu. Pola ini mengindikasikan bahwa distribusi *claim severity* memiliki karakteristik *heavy tailed*. Menurut EVT, kondisi tersebut menunjukkan bahwa nilai *excesses* dapat didekati dengan baik menggunakan GPD dengan parameter bentuk (*shape parameter*) bernilai positif. Sehingga EVT sesuai digunakan untuk memodelkan distribusi ekor atas (*upper tail*) dari *claim severity*.

Pada nilai *threshold* yang rendah, fungsi *mean excess* dapat dipengaruhi oleh bagian utama distribusi. Sebaliknya, pada *threshold* yang sangat tinggi, grafik cenderung kurang stabil karena jumlah observasi yang melampaui ambang semakin sedikit sehingga variabilitas sampel meningkat. Berdasarkan pola *mean excess plot* dan pertimbangan jumlah observasi, *threshold* dipilih pada persentil ke-90 dari distribusi *claim severity*, yaitu sebesar Rp11.539.483, yang menghasilkan 11 *exceedances*. Pemilihan tersebut mempertimbangkan keseimbangan antara penggunaan ambang yang cukup tinggi untuk memodelkan bagian ekor distribusi dan jumlah observasi yang tersedia untuk mengestimasi parameter GPD. Oleh karena itu, pemilihan *threshold* persentil ke-90 tidak secara langsung menjamin terpenuhinya asumsi GPD, melainkan merupakan pilihan berdasarkan pertimbangan grafis dan ketersediaan data.

3.3 Estimasi Parameter GPD

Berdasarkan data *excess loss* yang diperoleh dari Persamaan (4), parameter GPD diestimasi dengan memaksimumkan fungsi *log-likelihood* pada Persamaan (10). Hasil estimasi menunjukkan bahwa parameter bentuk (ξ) bernilai 0.1696462, yang mengindikasikan bahwa distribusi *claim severity* memiliki karakteristik *heavy tailed* dengan nilai harapan (mean) yang tetap terbatas.



Gambar 2. QQ plot dan PP plot perbandingan kuantil empiris *excess loss* dengan kuantil teoritis model GPD

Berdasarkan Gambar 2, PP plot menunjukkan bahwa sebagian besar titik berada di sekitar garis referensi 45^o sedangkan QQ plot menunjukkan bahwa kuantil empiris *excess loss* mengikuti kuantil teoritis GPD dengan baik. Hasil ini menunjukkan bahwa model GPD mampu merepresentasikan distribusi dan besarnya *excess loss* secara memadai. Sedikit penyimpangan pada bagian ekor merupakan hal yang wajar karena terbatasnya jumlah data yang melebihi nilai *threshold* dan tidak menunjukkan adanya kesalahan spesifikasi model.

3.4 Aproksimasi Distribusi Ekor

Setelah model GPD dikonfirmasi berdasarkan hasil estimasi parameter dan uji diagnostik, distribusi ekor (*tail distribution*) *claim severity* didekati menggunakan Persamaan (8). Pendekatan ini menggabungkan dua komponen utama, yaitu $\frac{N_u}{n}$ yang merepresentasikan peluang terjadinya klaim melebihi nilai *threshold* serta fungsi GPD yang memodelkan distribusi kondisional *excess loss* di atas nilai *threshold*. Kombinasi kedua komponen tersebut menghasilkan pendekatan terhadap *tail distribution* tak bersyarat dari *claim severity*.

Berdasarkan distribusi tersebut, premi reasuransi berbasis EVT dihitung menggunakan *Net Premium Principle*. Premi kontrak *excess of loss* dengan tingkat retensi R ditentukan berdasarkan Persamaan (7) dan didekati melalui Persamaan (9) dengan mengintegrasikan fungsi survival dari model GPD. Syarat $\hat{\xi} < 1$ menunjukkan bahwa nilai ekspektasi *excess loss* bersifat *finite*, sehingga estimasi premi dapat dilakukan. Secara ekonomi, besarnya premi reasuransi dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu tingkat ketebalan ekor distribusi yang direpresentasikan oleh $\hat{\xi}$ serta peluang kerugian melebihi tingkat retensi yang dinyatakan oleh $1 - \hat{F}(R)$.

3.5 Premi Reasuransi berbasis EVT

Premi reasuransi berbasis EVT dihitung pada tingkat retensi yang sesuai dengan persentil ke-95, 97, dan 99 dari distribusi *claim severity*. Hasil perhitungan dituliskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Premi Reasuransi Berbasis EVT

Retention Level	Retention (IDR)	Premium (IDR)
95%	14,732,000	176,884.84
97%	15,989,143	122,928.86
99%	17,729,532	71,798.62

Tabel 2 menyajikan nilai retensi dan estimasi premi dasar reasuransi *excess-of-loss* yang dihitung menggunakan pendekatan EVT melalui metode POT-GPD. Nilai retensi ditentukan berdasarkan persentil ke-95, ke-97, dan ke-99 dari distribusi *claim severity*. Pada persentil 95, nilai retensi sebesar Rp14.732.000 menghasilkan premi dasar sebesar Rp176.884,84. Pada persentil 97, nilai retensi meningkat menjadi Rp15.989.143, dengan premi sebesar Rp122.928,86. Sementara itu, pada persentil 99, nilai retensi mencapai Rp17.729.532 dan premi dasar turun menjadi Rp71.798,62. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai retensi, semakin rendah premi reasuransi yang diestimasi. Hal ini terjadi karena pada kontrak *excess-of-loss*, perusahaan reasuransi menanggung bagian klaim yang melampaui nilai retensi yang disepakati. Ketika retensi meningkat, peluang klaim melampaui retensi menjadi lebih kecil sehingga nilai harapan pembayaran oleh reasuradur dan premi dasar yang dihitung juga menurun.

Dari sisi perusahaan asuransi, retensi yang lebih tinggi dapat mengurangi biaya premi reasuransi, tetapi meningkatkan bagian kerugian yang harus ditanggung sendiri. Sebaliknya, retensi yang lebih rendah memberikan perlindungan reasuransi pada rentang klaim yang lebih luas, tetapi menghasilkan premi yang lebih tinggi. Oleh karena itu, nilai retensi perlu dipertimbangkan bersama kemampuan perusahaan menanggung risiko sendiri dan kebutuhan perlindungan reasuransi. Hasil pada tabel ini merupakan estimasi premi berdasarkan model EVT dan belum memperhitungkan penyesuaian keterlambatan pembayaran klaim yang dibahas pada analisis berikutnya.

3.6 Premi Reasuransi dengan Keterlambatan Pembayaran Klaim

Premi reasuransi berbasis EVT pada Persamaan (9) telah mempertimbangkan risiko akibat *claim severity*, model tersebut belum memperhitungkan karakteristik operasional dalam proses penyelesaian klaim. Dalam praktiknya, keterlambatan pembayaran klaim dapat mempengaruhi arus kas, pembentukan cadangan, dan likuiditas perusahaan asuransi. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan model premi yang disesuaikan dengan keterlambatan pembayaran klaim yang dirumuskan pada Persamaan (11)-(13). Model ini menyesuaikan premi EVT berdasarkan besarnya keterlambatan pembayaran klaim. Ketika $\alpha = 0$, model menghasilkan premi EVT standar, sedangkan peningkatan nilai α mencerminkan semakin besarnya pengaruh keterlambatan terhadap premi.

Premi reasuransi dihitung untuk tiga nilai α , yaitu $\alpha = 0$, $\alpha = 0.5$, dan $\alpha = 1$. Hasil perhitungannya dituliskan pada Tabel 3.

Tabel 3. Premi Reasuransi dengan Penyesuaian Keterlambatan Pembayaran Klaim

Retention Level	$\alpha = 0$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 1$
95%	176,884.84	265,327.27	353,769.69
97%	122,928.86	184,393.29	245,857.72
99%	71,798.62	107,697.93	143,597.23

Berdasarkan Tabel 3, premi reasuransi meningkat seiring dengan bertambahnya nilai parameter sensitivitas α pada setiap tingkat retensi. Pola ini terjadi karena fungsi pembobot keterlambatan yang digunakan dalam penelitian ini meningkatkan premi dasar EVT melalui faktor pengali yang bergantung pada parameter sensitivitas dan rasio rata-rata keterlambatan pembayaran klaim ekstrem terhadap rata-rata keterlambatan seluruh klaim. Dengan demikian, semakin besar nilai α , semakin besar penyesuaian premi yang dihasilkan. Hasil ini merepresentasikan sensitivitas estimasi premi terhadap

asumsi pembobot keterlambatan, bukan bukti langsung bahwa keterlambatan pembayaran menyebabkan peningkatan risiko kerugian atau biaya reasuransi.

Temuan ini sejalan dengan Baiti dan Effendie (2025), yang menerapkan *Extreme Value Theory* (EVT) untuk mengestimasi premi reasuransi berdasarkan karakteristik kerugian ekstrem dan probabilitas klaim yang melampaui ambang batas. Penelitian tersebut berfokus pada pemodelan distribusi klaim dan estimasi premi dengan pendekatan Bayesian, sedangkan penelitian ini menggunakan pendekatan POT-GPD dengan estimasi parameter melalui metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE), kemudian mengevaluasi penyesuaian premi berdasarkan informasi keterlambatan pembayaran klaim. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa penelitian ini memperluas analisis estimasi premi dengan memasukkan informasi operasional keterlambatan pembayaran ke dalam suatu skenario penyesuaian premi.

Dengan demikian, kontribusi penelitian ini terletak pada pengembangan kerangka analisis yang menggabungkan estimasi premi dasar berbasis EVT dengan evaluasi sensitivitas terhadap keterlambatan pembayaran klaim. Untuk menilai apakah penyesuaian tersebut mencerminkan tambahan biaya atau risiko finansial secara empiris, diperlukan informasi tambahan mengenai biaya pendanaan, dampak terhadap arus kas, serta hubungan antara durasi penyelesaian klaim dan kerugian yang ditanggung reasuradur.

4. SIMPULAN

Penelitian ini mengembangkan kerangka EVT untuk mengestimasi premi reasuransi *excess of loss* dengan mengintegrasikan pemodelan *claim severity* ekstrem dan penyesuaian berdasarkan *claim payment delay*. Melalui pendekatan POT dan GPD, distribusi *claim severity* terbukti memiliki karakteristik *heavy tailed*, sehingga EVT sesuai digunakan untuk memodelkan risiko klaim ekstrem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa premi reasuransi berbasis EVT menurun seiring meningkatnya tingkat retensi, sesuai dengan semakin kecilnya peluang terjadinya klaim yang melebihi batas retensi. Selain itu, penambahan faktor *claim payment delay* menghasilkan premi yang lebih tinggi pada seluruh tingkat retensi, yang menunjukkan bahwa keterlambatan penyelesaian klaim merupakan risiko operasional yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan premi reasuransi. Dengan mengintegrasikan risiko ekstrem dan risiko operasional, model yang diusulkan memberikan estimasi premi yang lebih sensitif terhadap risiko dibandingkan pendekatan EVT konvensional yang hanya mempertimbangkan *claim severity*. Namun penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena penyesuaian keterlambatan menggunakan fungsi pembobot linier dan belum mempertimbangkan struktur ketergantungan antara *claim severity* dan *claim payment delay*.

5. REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian, perusahaan asuransi dapat menggunakan estimasi premi berbasis GPD sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan retensi kontrak reasuransi *excess-of-loss*, dengan tetap mempertimbangkan kemampuan finansial dan toleransi risiko perusahaan. Informasi keterlambatan pembayaran klaim juga dapat

dimanfaatkan untuk mengevaluasi proses penyelesaian klaim dan kebutuhan likuiditas. Namun, faktor penyesuaian premi berdasarkan keterlambatan dalam penelitian ini masih berupa analisis sensitivitas sehingga perlu dikalibrasi menggunakan data biaya finansial aktual sebelum diterapkan. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data klaim yang lebih banyak dan periode pengamatan yang lebih panjang, serta mengevaluasi pemilihan ambang batas dan kecocokan GPD agar estimasi premi yang dihasilkan lebih andal.

7. REFERENSI

- Baiti, P. I., & Effendie, A. R. (2025). Estimating reinsurance premiums using Pareto conjugate priors and extreme value methods: Studies case of fire insurance claims in Denmark. *Jurnal Matematika, Statistika, dan Komputasi*, 219-231.
- Beirlant, J., Geoghebeur, Y., Segers, J., & Teugels, J. L. (2004). *Statistics of Extremes: Theory and Applications*. Chichester, England: John Wiley & Sons.
- Boonen, T. J., & Ghossoub, M. (2021). Optimal Reinsurance with Multiple Reinsurers: Distortion Risk Measures, Distortion Premium Principles, and Heterogeneous Beliefs. *Insurance: Mathematics and Economics*, 23-37.
- Charpentier, A. (2015). *Computational Actuarial Science with R*. USA: CRS Press.
- Chi, Y. (2012). Optimal Reinsurance Under Variance Related Premium Principles. *Insurance: Mathematics and Economics*, 310-321.
- Davar, P., Godin, F., & Garrido, J. (2025). Catastrophic Risk-Aware Reinforcement Learning with Extreme Value Theory Based Policy Gradients. *The Journal of Finance and Data Science*, 100165.
- Davis, R. A., & Mikosch, T. (2008). Extreme value theory for space-time processes with heavy-tailed distributions. *Stochastic Processes and their Applications*, 560-584.
- Geoghebeur, Y., Beirlant, J., & Wet, T. d. (2008). Extreme value estimation of the conditional risk premium. *Insurance: Mathematics and Economics*, 454-466.
- Huang, P., Cui, B., & Peng, W. (2024). An Extreme Value Estimation Method of Wind Pressures Based on Change Point Theory. *Journal of Building Engineering*, 109860.
- Klugman, S. A., Panjer, H. H., & Willmot, G. E. (2012). *Loss Models: Form Data to Decisions 4th Ed*. USA: Society of Actuaries.
- Liang, X., Liang, Z., & Young, V. R. (2020). Optimal Reinsurance under the Mean-Variance Premium Principle to Minimize the Probability of Ruin. *Insurance: Mathematics and Economics*, 128-146.
- Marixq, M., & Bishop, G. A. (2025). Extreme Value Theory Analysis of High Emitter Trends Across Four US Cities from 1995 to 2021. *Science of the Total Environment*, 177873.
- McNeil, A. J. (1997). Estimating the tails of loss severity distributions using extreme value theory. *ASTIN Bulletin*, 117-137.
- Shi, Z., Landriault, D., & Liu, F. (2026). Performance-based Variable Premium Scheme and Reinsurance Design. *Insurance: Mathematics and Economics*, 103169.
- Yao, D., Yang, B., Xu, X., Li, Y., & Wang, Y. (2026). Optimal Dividend and Scale of Business Strategies with Reinsurance and Premium Pricing for Insurance Company. *European Journal of Operational Research*, 694-703.

- Zhang, X., Meng, H., & Zeng, Y. (2016). Optimal investment and reinsurance strategies for insurers with generalized mean–variance premium principle and no-short selling. *Insurance: Mathematics and Economics*, 125-132.