

## PERBANDINGAN AKURASI MACK CHAIN LADDER DAN BENKTANDER DALAM ESTIMASI CADANGAN KLAIM MARINE AND AVIATION INSURANCE

**Firma Aryani**

Program Studi S1 Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia.

E-mail: [firmaaryani.21022@mhs.unesa.ac.id](mailto:firmaaryani.21022@mhs.unesa.ac.id)

**Affiati Oktaviarina**

Program Studi S1 Sains Aktuaria, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia.

E-mail: [affiatioktaviarina@unesa.ac.id](mailto:affiatioktaviarina@unesa.ac.id) \*

### Abstrak

Estimasi cadangan klaim merupakan tantangan utama bagi perusahaan asuransi karena ketidakpastian klaim di masa depan. Pada sektor kelautan dan penerbangan, estimasi cadangan klaim sangat dibutuhkan karena seringkali dipengaruhi akibat bencana alam ataupun faktor cuaca. Pada penelitian ini menggunakan metode *Mack Chain Ladder* dan *Benktander* dalam menghitung estimasi cadangan klaim pada asuransi kelautan dan penerbangan dengan tujuan untuk membandingkan hasil akurasi dari kedua metode tersebut. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data berupa data klaim historis pada sektor kelautan dan penerbangan tahun 2018-2022. Hasilnya metode *Benktander* merupakan metode yang paling baik dibandingkan dengan metode *Mack Chain Ladder* berdasarkan hasil akurasi yang dihitung menggunakan prediksi eror MSE.

**Kata Kunci:** cadangan klaim, *Mack Chain Ladder*, *Benktander*, asuransi kelautan dan penerbangan, MSE.

### Abstract

*Claim reserve estimation is a major challenge for insurance companies due to the uncertainty of future claims. In the marine and aviation sectors, claim reserve estimation is particularly crucial as it is often influenced by natural disasters or weather factors. This study applies the Mack Chain Ladder and Benktander methods to estimate claim reserves in marine and aviation insurance, with the aim of comparing the accuracy of the two methods. A quantitative approach is used, employing historical claim data from the marine and aviation sectors for the period 2018–2022. The results show that the Benktander method performs better than the Mack Chain Ladder method, based on accuracy measured using Mean Squared Error (MSE) prediction.*

**Keywords:** claim reserves, *Mack Chain Ladder*, *Benktander*, marine and aviation insurance, MSE.

### PENDAHULUAN

Industri asuransi merupakan salah satu sektor keuangan yang berperan penting dalam mitigasi risiko. Asuransi berupa perlindungan finansial terhadap potensi kerugian yang dialami, baik individu maupun Perusahaan (Rejda dan McNamara, 2017).

Di Indonesia, terdapat berbagai macam bidang asuransi, salah satunya adalah asuransi di bidang kelautan dan penerbangan. Asuransi kelautan dan penerbangan memiliki peran penting khususnya dalam melindungi risiko yang terjadi pada transportasi perkapalan dan udara. Asuransi dalam

bidang kelautan melindungi risiko dari kerugian kelautan seperti kerusakan pada kapal, kargo, serta aktivitas pelayaran yang berpotensi menghadapi bahaya laut (Pamungkas dkk., 2025). Sedangkan dalam asuransi penerbangan berfungsi melindungi risiko dari kerusakan pesawat, penumpang, serta gangguan operasional yang terjadi dalam aktivitas penerbangan (Arafah dkk., 2024).

Kedua sektor ini sangat bergantung pada estimasi cadangan klaim yang akurat, yaitu jumlah dana yang harus disiapkan oleh perusahaan asuransi untuk membayar klaim yang muncul di masa depan. Ketidakakuratan dalam perhitungan cadangan klaim dapat menyebabkan masalah keuangan bagi perusahaan, baik akibat kekurangan dana dalam

memenuhi kewajiban klaim maupun karena alokasi modal yang tidak efisien. Selain itu, ketidakpastian dalam besaran dan waktu pembayaran klaim menjadi tantangan utama dalam penyusunan laporan keuangan serta kepatuhan terhadap regulasi (Wuthrich dan Merz, 2008).

Dalam industri asuransi, cadangan klaim merupakan elemen krusial dalam laporan keuangan dan penentuan solvabilitas perusahaan. Berdasarkan laporan *Swiss Re Institute* tahun 2023, total klaim tahunan yang dibayarkan di sektor asuransi kelautan dan penerbangan mencapai lebih dari USD 40 miliar, dengan tingkat pertumbuhan sekitar 5% per tahun seiring dengan meningkatnya perdagangan global dan perjalanan udara. Oleh karena itu, diperlukan metode estimasi yang akurat guna menghindari potensi risiko finansial akibat kesalahan perhitungan cadangan klaim.

Estimasi cadangan klaim merupakan tantangan utama bagi aktuaria dan perusahaan asuransi, terutama karena ketidakpastian klaim di masa depan. Beberapa klaim dapat memakan waktu bertahun-tahun untuk terselesaikan, terutama dalam kasus insiden besar seperti kecelakaan pesawat atau tumpahan minyak dari kapal tanker. Selain itu, volatilitas pasar asuransi, perubahan regulasi, serta fluktuasi nilai tukar turut mempengaruhi besaran klaim yang harus dibayarkan (England & Verrall, 2002). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mempertimbangkan berbagai sumber ketidakpastian agar estimasi cadangan lebih akurat.

Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk mengestimasi cadangan klaim, di antaranya *Mack Chain Ladder* dan *Benktander*. Metode *Mack Chain Ladder* merupakan pengembangan dari metode *Chain Ladder* konvensional yang mempertimbangkan variabilitas statistik dalam estimasi, sehingga menghasilkan interval kepercayaan untuk prediksi cadangan klaim. Di sisi lain, metode *Benktander* merupakan pendekatan gabungan antara metode *Chain Ladder* dan *Bornhuetter Ferguson* yang mengombinasikan informasi historis dengan ekspektasi awal klaim (Mack, 1993)

Sektor asuransi kelautan dan penerbangan menghadapi tantangan unik dalam estimasi cadangan klaim. Klaim pada sektor ini sering kali dipengaruhi oleh bencana alam seperti badai yang menyebabkan kapal tenggelam, kecelakaan penerbangan besar, serta faktor geopolitik seperti embargo dan konflik internasional. Selain itu, volatilitas harga suku cadang pesawat dan biaya perbaikan kapal juga turut mempengaruhi besaran klaim yang harus dibayarkan oleh perusahaan asuransi.

Dalam beberapa tahun terakhir, regulator keuangan seperti OJK di Indonesia, *Solvency II* di Eropa, dan *National Association of Insurance Commissioners* (NAIC) di Amerika Serikat semakin memperketat aturan mengenai kecukupan cadangan klaim. Regulasi ini mendorong perusahaan asuransi untuk mengadopsi metode aktuaria yang lebih akurat dan berbasis data dalam memperkirakan cadangan klaim mereka.

Meskipun metode *Mack Chain Ladder* dan *Benktander* telah banyak digunakan dalam perhitungan cadangan klaim, penelitian yang membandingkan keakuratan keduanya dalam konteks asuransi kelautan dan penerbangan masih terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada asuransi kendaraan bermotor dan kesehatan, yang memiliki karakteristik klaim berbeda dibandingkan dengan sektor kelautan dan penerbangan (Wuthrich dan Merz, 2008).

Mengisi kesenjangan ini menjadi krusial mengingat kompleksitas klaim dalam industri marine and aviation. Dengan melakukan perbandingan empiris menggunakan data aktual dari perusahaan asuransi, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru mengenai metode estimasi yang lebih akurat untuk sektor tersebut. Selain itu, penelitian ini akan berkontribusi dalam pengembangan ilmu aktuaria dengan menyajikan analisis kuantitatif mengenai keunggulan dan kelemahan masing-masing metode dalam industri *marine and aviation insurance*.

Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu perusahaan asuransi dalam meningkatkan efisiensi perhitungan cadangan

klaim, mengurangi risiko solvabilitas, serta meningkatkan transparansi dan akuntabilitas dalam pelaporan keuangan. Dengan metode yang lebih akurat, perusahaan dapat mengalokasikan modal dengan lebih efisien dan meningkatkan daya saing mereka di pasar asuransi global.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan akurasi metode *Mack Chain Ladder* dan *Benktander* dalam estimasi cadangan klaim pada industri asuransi kelautan dan penerbangan. Perbandingan dilakukan berdasarkan berbagai indikator statistik, termasuk tingkat kesalahan prediksi, deviasi standar, dan tingkat kepercayaan hasil estimasi.

Dengan semakin kompleksnya tantangan dalam industri ini, penelitian ini hadir untuk memberikan solusi berbasis data guna meningkatkan keakuratan perhitungan cadangan klaim dan berkontribusi bagi perusahaan asuransi dalam praktik industri asuransi secara lebih luas.

**KAJIAN TEORI**

***RUN OFF TRIANGLE***

Dalam estimasi cadangan klaim biasanya menggunakan data historis dalam bentuk *run off triangle*. *Run off triangle* merupakan suatu cara untuk merepresentasikan grafis klaim dari tahun ke tahun yang direpresentasikan dalam bentuk tabel segitiga, dengan kolom yang menunjukkan umur klaim (bulan atau tahun sejak klaim dilaporkan) dan baris yang menunjukkan tahun kejadian klaim.

Dalam *run off triangle*, data yang digunakan berupa data klaim yang telah dibayarkan. Data tersebut tersaji dalam bentuk data *run off triangle* inkremental dan kumulatif. Peubah acak besarnya klaim inkremental dimisalkan sebagai  $D_{i,j}$  untuk menyatakan klaim yang terjadi pada periode kejadian ke  $i$  dan diselesaikan pada periode penundaan ke  $-j$  dengan  $1 \leq i \leq n$  dan  $1 \leq j \leq n$ . Jumlah periode waktu dari data klaim historis untuk mengestimasi cadangan klaim dinotasikan dengan  $n$ . Data *run off triangle* inkremental tersebut biasanya dapat diperoleh dari perusahaan yang bersangkutan. Berikut ini merupakan struktur susunan data *run off triangle* inkremental.

Tabel 1. *Run off Triangle* Inkremental

Tahun Kejadian	Tahun Penundaan			
	1	...	$n - 1$	$n$
1	$D_{1,1}$	...	$D_{1,n-1}$	$D_{1,n}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$n$	$D_{n-1,1}$	...	$D_{n-1,n-1}$	$D_{n-1,n}$
$n - 1$	$D_{n,1}$	...	$D_{n,n-1}$	$D_{n,n}$

Pada *run off triangle* kumulatif dapat dibentuk berdasarkan *run off triangle* inkremental ( $D_{i,j}$ ). *Run off triangle* kumulatif ( $C_{i,j}$ ) merupakan total besar klaim yang terjadi pada periode  $i$  dan diselesaikan hingga periode penundaan  $j$  dengan cara menjumlahkan kolom-kolom *run off triangle* inkremental pada setiap baris periode kejadian  $i$  sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$C_{i,j} = \sum_{j=1}^n D_{i,j} \tag{1}$$

Tabel struktur susunan data *run off triangle* kumulatif adalah sebagai berikut.

Tabel 2. *Run off Triangel* Kumulatif

Tahun Kejadian	Tahun Penundaan			
	1	...	n - 1	n
1	$C_{1,1}$	...	$C_{1,n-1}$	$C_{1,n}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	$C_{n-1,1}$	...	$C_{n-1,n-1}$	$C_{n-1,n}$
n - 1	$C_{n,1}$	...	$C_{n,n-1}$	$C_{n,n}$

**METODE CHAIN LADDER**

Metode *Chain Ladder* merupakan salah satu metode yang umum digunakan dalam estimasi cadangan klaim. Metode ini dilakukan dengan menghitung rasio pembayaran klaim dari tahun ke tahun untuk memproyeksikan jumlah klaim yang belum dibayar. Data yang digunakan dalam metode ini biasanya dalam bentuk *run off triangle*.

Dalam menghitung estimasi cadangan klaim menggunakan metode *Chain Ladder*, langkah pertama adalah mengubah *run off triangle* inkremental menjadi bentuk *run off triangle* kumulatif untuk mengetahui besarnya nilai klaim kerugian yang harus dibayarkan pada periode penundaan. Total klaim kumulatif yang terjadi pada periode kejadian ke- $i$  dan dibayarkan pada periode penundaan ke- $j$  didefinisikan sebagai  $C_{i,j}$  dengan  $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ .

Dalam metode ini, diperlukan faktor pengembangan yang merepresentasikan perkembangan klaim berdasarkan data historis. Faktor pengembangan ( $\hat{f}_j$ ) dapat diperoleh dengan persamaan berikut (England dan Verral, 2002).

$$\hat{f}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n-j} C_{i,j+1}}{\sum_{i=1}^{n-j} C_{i,j}} \tag{2}$$

Dari persamaan di atas, faktor pengembangan ( $\hat{f}_j$ ) dihitung dari jumlah klaim kumulatif yang terjadi pada periode penundaan ke- $j + 1$ , dibagi dengan jumlah klaim kumulatif ( $C_{i,j}$ ) yang terjadi pada periode penundaan ke- $j$  dengan  $1 \leq i \leq n - j$ .

Hasil dari perhitungan faktor perkembangan digunakan untuk memperkirakan total klaim kumulatif pada periode berikutnya atau klaim kumulatif pada bagian segitiga bawah dengan persamaan sebagai berikut.

$$\widehat{C}_{i,j} = C_{i,j-1} \cdot \widehat{f}_{j-1} \tag{3}$$

Dimana  $C_{i,j}$  merupakan estimasi total pembayaran klaim kumulatif dari tahun ke- $i$  pada periode perkembangan ke- $j$ , dan  $\widehat{f}_{j-1}$  merupakan faktor pengembangan pada periode  $j - 1$ .

Nilai estimasi total klaim kumulatif tersebut digunakan dalam menentukan nilai estimasi cadangan klaim *Chain Ladder* pada periode kejadian ke- $i$  atau biasa dinotasikan sebagai  $\widehat{R}_i^{CL}$ .

$$\widehat{R}_i^{CL} = \widehat{C}_{i,n} - C_{i,n-i+1} \tag{4}$$

dengan  $\widehat{C}_{i,n}$  merupakan nilai ultimate claims yang terjadi pada periode kejadian  $i$  dan periode penundaan ke- $n$ . Dalam menghitung estimasi nilai *ultimate claims* ( $\widehat{C}_{i,n}$ ) dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\widehat{C}_{i,n} = C_{i,n-i+1} \cdot \widehat{f}_{n-i+1} \cdot \dots \cdot \widehat{f}_{n-1} \tag{5}$$

Nilai total cadangan klaim *Chain Ladder* ( $R^{CL}$ ) dapat dihitung dengan menjumlahkan semua hasil dari nilai estimasi cadangan klaim dengan persamaan berikut.

$$R^{CL} = \sum_{i=2}^n \widehat{R}_i^{CL} \tag{6}$$

**METODE MACK CHAIN LADDER**

Metode *Mack Chain Ladder* merupakan pengembangan dari metode *Chain Ladder* yang diperkenalkan oleh Thomas Mack pada tahun 1993. Metode ini dikembangkan dengan adanya perhitungan *standard error* sebagai ukuran ketidakpastian (*varians*) dalam data. *Standard error* juga berfungsi untuk melihat perbedaan antara hasil dari metode *Chain Ladder* dengan metode lainnya (Mack, 1993).

Menurut Mack (1999), dapat diasumsikan bahwa:

1. Konstanta dari  $f_j > 0$  untuk setiap periode penundaan ( $j$ ) disebut sebagai *Loss Development Factor* (LDF), yang mencerminkan ekspektasi perkembangan klaim periode  $j$  ke  $j + 1$ .

2. Ekspektasi klaim kumulatif untuk tahun kejadian ke-  $i$  dan periode penundaan ke-  $j$  diberikan oleh:

$$E(F_{i,j}|C_{i,1}, \dots, C_{i,j}) = f_j \quad (7)$$

Dimana  $f_j$  merupakan *Loss Development Factor* (LDF), dan faktor pengembangan individual ( $F_{i,j}$ ) dihitung dengan:

$$F_{i,j} = \frac{C_{i,j}}{C_{i,j-1}} \quad (8)$$

Selain itu, terdapat konstanta  $\sigma_j^2 > 0$  untuk  $0 \leq i \leq n$ ,  $0 \leq j < n - i$ , dan  $i + j \leq n$ , sehingga diperoleh:

$$Var(F_{i,j}|C_{i,1}, \dots, C_{i,j}) = \frac{\sigma_j^2}{\omega_{i,j} C_{i,j}^\alpha} \quad (9)$$

Dengan bobot  $\omega_{i,j} \in [0, 1]$  yang mencerminkan pengaruh klaim. Nilai varians tersebut bergantung pada  $\omega_{i,j}$ . Apabila klaim  $C_{i,j}$  memiliki nilai lebih besar, maka nilai variansnya cenderung kecil. Sehingga, varians dengan nilai yang lebih besar dianggap lebih stabil dan dapat dipercaya. Sedangkan untuk parameter  $\alpha \in \{0, 1, 2\}$  digunakan untuk menentukan jenis regresi. Jika  $\alpha = 0$ , maka faktor perkembangan individu  $F_{i,j}$  dihitung sebagai rata-rata sederhana. Untuk  $\alpha = 1$ , digunakan pendekatan historis *age-to-age factor* dari model *Chain Ladder*, dimana klaim dengan nilai lebih besar akan memiliki bobot lebih besar dalam estimasi. Sementara itu, jika  $\alpha = 2$ , maka faktor pengembangan dihitung dengan regresi linier biasa, dimana  $C_{i,j+1}$  sebagai variabel dependen dan  $C_{i,j}$  sebagai variabel independen. Dengan dipilihnya  $\alpha = 1$  sebagai derajat ketergantungan, maka estimasi faktor pengembangan dapat menggunakan estimasi pada metode *Chain Ladder*, di mana bobot  $\alpha = 1$  lebih proporsional terhadap nilai klaim.

3. Tahun kejadian ( $C_{i,1}, \dots, C_{i,j}$ ) dimana  $j = 1, 2, \dots, n$  diasumsikan bersifat independen.

Sehingga nilai *ultimate claims* juga dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\widehat{C}_{i,n} = C_{i,n-i+1} \cdot \widehat{f}_j \quad (10)$$

untuk  $1 \leq i \leq n$ , dan  $1 \leq j \leq I - 1$ .

Nilai *ultimate claims* yang telah didapatkan selanjutnya akan digunakan untuk menghitung estimasi Cadangan klaim metode *Mack Chain Ladder*.

$$\widehat{R}_i^{MCL} = \widehat{C}_{i,n} - C_{i,n-i+1} \quad (11)$$

Kemudian didapatkan nilai total estimasi Cadangan klaim metode *Mack Chain Ladder* dengan menggunakan persamaan berikut.

$$R^{MCL} = \sum_{i=2}^n \widehat{R}_i^{MCL} \quad (12)$$

### METODE BENKTANDER

Metode *Benktander* merupakan kombinasi dari metode *Chain Ladder* dan *Bornhuetter Ferguson*. Metode *Benktander* menggunakan faktor kredibilitas ( $c_i$ ) untuk mengurangi kesalahan prediksi dan variasi dalam hasil estimasi cadangan klaim.

Dalam metode *Bornhuetter Ferguson*, rasio kerugian ( $m_j$ ). Rasio kerugian ( $m_j$ ) digunakan untuk merepresentasikan jumlah klaim inkremental dari ekspektasi klaim yang sudah dibayarkan pada setiap periode penundaan. *Loss ratio* ( $m_j$ ) didapatkan dari jumlah nilai klaim inkremental ( $D_{i,j}$ ) dibagi dengan nilai premi ( $v_i$ ). Nilai rasio kerugian didapatkan dari persamaan berikut.

$$m_j = \frac{\sum_{i=1}^{n-j+1} D_{i,j}}{\sum_{i=1}^{n-j+1} v_i}, \text{ untuk } j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

Setelah memperoleh nilai rasio kerugian untuk setiap tahun penundaan, hasil penjumlahan nilai rasio kerugian untuk seluruh periode penundaan akan digunakan untuk melakukan perhitungan estimasi *Expected Loss Ratio* (ELR) atau rasio kerugian yang diharapkan. ELR dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$ELR = \sum_{j=1}^n m_j \quad (14)$$

*Burning cost* ( $U_i^{BC}$ ) merupakan nilai estimasi dari jumlah biaya yang ditanggung untuk menyelesaikan klaim berdasarkan nilai premi yang diperoleh dengan  $i = 1, 2, \dots, n$ . Perhitungan estimasi *burning*

cost untuk periode ke-  $i$  dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$U_i^{BC} = v_i \sum_{j=1}^n m_j \quad (15)$$

Karena ELR merupakan jumlah total dari nilai *loss ratio* ( $m_j$ ), maka persamaan (15) ekuivalen dengan persamaan (16) berikut ini.

$$U_i^{BC} = v_i \cdot ELR \quad (16)$$

Dalam metode *Bornhuetter Ferguson* juga dibutuhkan *loss ratio payout factor* ( $p_i$ ) yaitu jumlah beban klaim yang sudah terealisasi atau terbayarkan dari pendapatan premi. *Loss ratio payout factor* ( $p_i$ ) menghitung seberapa besar dari total klaim yang telah dibayar dibandingkan dengan premi yang diperoleh.

$$p_i = \frac{v_i \sum_{j=1}^{n-i+1} m_j}{U_i^{BC}} \quad (17)$$

Nilai dari *loss ratio payout factor* ( $p_i$ ) yang telah didapatkan, selanjutnya digunakan untuk menghitung *loss ratio reserve factor* ( $q_i$ ) yaitu klaim yang harus dibayarkan terhadap premi yang diperoleh.  $q_i$  diperoleh dari persamaan berikut.

$$q_i = 1 - p_i \quad (18)$$

Dengan demikian, nilai estimasi cadangan klaim untuk setiap periode kejadian  $i$  dengan menggunakan metode *Bornhoutter Ferguson* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\widehat{R}_i^{BF} = q_i \cdot v_i \cdot ELR \quad (19)$$

Sehingga nilai total estimasi cadangan klaim metode *Bornhuetter Ferguson* untuk seluruh tahun kejadian ( $i$ ) diperoleh persamaan berikut.

$$R^{BF} = \sum_{i=2}^n \widehat{R}_i^{BF} \quad (19)$$

Setelah didapatkan nilai estimasi cadangan klaim dari metode *Mack Chain Ladder* dan *Bornhuetter Ferguson*, maka dapat dilakukan perhitungan untuk metode *Benktander*. Metode *Benktander* menggunakan faktor kredibilitas ( $c_i$ ) untuk mengurangi kesalahan prediksi dan variasi dalam

hasil estimasi cadangan klaim.  $c_i$  didapatkan dari persamaan berikut.

$$c_i = \frac{p_i}{p_i + \sqrt{p_i}} \quad (20)$$

Nilai  $c_i$  yang telah didapatkan, dapat digunakan untuk menghitung nilai estimasi cadangan klaim metode *Benktander* sebagai berikut.

$$\widehat{R}_i^B = c_i \widehat{R}_i^{CL} + (1 - c_i) \widehat{R}_i^{BF} \quad (21)$$

Sehingga total nilai estimasi cadangan klaim metode *Benktander* adalah sebagai berikut.

$$R^B = \sum_{i=2}^n \widehat{R}_i^B \quad (22)$$

### MSE

Prediksi eror *Mean Squared Error* (MSE) dipilih karena lebih sederhana. Hasil dari MSE lebih stabil karena nilai MSE tidak terlalu dipengaruhi oleh nilai-nilai ekstrem. Berikut ini merupakan persamaan yang umum digunakan untuk menghitung MSE.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_i - \widehat{C}_i)^2 \quad (23)$$

dimana  $n$  merupakan jumlah total data,  $C_i$  merupakan nilai aktual data klaim pada tahun kejadian ke- $i$ , dan  $\widehat{C}_i$  merupakan nilai prediksi data klaim pada tahun ke- $i$  yang sudah terjadi.

Namun, karena nilai yang diprediksi belum terjadi (masa depan) maka  $C$  merupakan variabel acak merupakan angka yang belum diketahui. Sehingga dalam menghitung MSE pada penelitian ini menggunakan persamaan berikut.

$$MSE = E \left[ (C_i - \widehat{C}_i)^2 \right] \quad (24)$$

Persamaan di atas dapat diartikan sebagai rata-rata kuadrat selisih dari nilai aktual  $C_i$  dan nilai prediksi  $\widehat{C}_i$ .

Menurut Zohry, dkk. (2020), dalam menghitung MSE pada metode *Mack Chain Ladder* dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\widehat{MSE}(\widehat{R}_i^{MCL}) = \widehat{C}_{i,l}^2 \sum_{k=l-i+1}^{l-1} \frac{\widehat{\sigma}_k^2}{\widehat{f}_k^2} \left( \frac{1}{C_{l,k}} + \frac{1}{\sum_{j=1}^{l-k} C_{j,k}} \right) \quad (25)$$

Dalam menghitung MSE *Mack Chain Ladder* diperlukan estimasi parameter varians, maka dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\widehat{\sigma}_k^2 = \frac{1}{I-k-1} \sum_{i=1}^{I-k} C_{i,k} \left( \frac{C_{i,k+1}}{C_{i,k}} - \widehat{f}_k \right), \quad 1 \leq k \leq I-2 \quad (26)$$

Dari persamaan (26), masih kurang informasi mengenai estimator  $\sigma_{I-1}$ . Jika  $f_{I-1} = 1$  dan pengembangan klaim dipercaya akan selesai setelah  $I-1$  tahun, maka dapat dituliskan  $\widehat{\sigma}_{I-1} = 0$ . Namun jika tidak, maka untuk  $I-1$  dapat menggunakan persamaan (27).

$$\widehat{\sigma}_{I-1}^2 = \min \left( \left( \frac{\sigma_{I-2}^4}{\sigma_{I-3}^2} \right), \left( \frac{\sigma_{I-3}^2}{\sigma_{I-2}^2} \right) \right) \quad (27)$$

Menurut Mack (1993) varians berasal dari dua sumber yaitu ketidakpastian alami dari proses klaim (*process variance*) dan ketidakpastian karena kita tidak tahu pasti nilai parameter (*parameter variance*). Karena MSE merupakan total ketidakpastian prediksi maka dapat diartikan menjadi *prediction variance = process variance + parameter variance* Sehingga dalam menghitung MSE metode *Mack Chain Ladder* dapat menggunakan persamaan (27).

Pada metode *Benktander*, bias tidak bernilai nol. Sehingga dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\widehat{MSE}(\widehat{R}_t^B) = (1 - c^2) \widehat{MSE}(\widehat{R}_t^{BF}) + c^2 \widehat{MSE}(\widehat{R}_t^{CL}) + 2c(1 - c) \cdot Cov(\widehat{R}_t^{BF}, \widehat{R}_t^{CL}) \quad (28)$$

**ASURANSI**

Menurut Otoritas Jasa Keuangan (2018), asuransi merupakan perjanjian antara perusahaan asuransi dan pemegang polis di mana tertanggung membayar sejumlah premi yang telah ditetapkan dalam polis atau surat perjanjian asuransi untuk mendapatkan pertanggungan atas risiko kerusakan, tanggung jawab hukum kepada pihak ketiga yang mungkin diderita oleh tertanggung, menerima pembayaran yang didasarkan pada meninggal atau hidupnya tertanggung dengan manfaat yang besarnya telah ditetapkan dan/atau didasarkan pada hasil pengelolaan dana.

**MARINE AND AVIATION INSURANCE**

*Marine and Aviation Insurance* merupakan jenis asuransi yang melindungi kerugian atau kerusakan pada kapal, kargo, dan pesawat, serta risiko terkait transportasi laut dan udara.

Asuransi *Marine* meliputi asuransi kapal, kargo, dan pelayaran, sedangkan asuransi *Aviation* meliputi asuransi pesawat, penumpang, dan kargo udara. Faktor-faktor seperti cuaca ekstrem, kecelakaan, perang, dan kerusakan mesin mempengaruhi risiko asuransi ini. Oleh karena itu, prinsip-prinsip asuransi seperti risiko, kepentingan, dan premi harus diterapkan untuk mengelola risiko secara efektif.

**CADANGAN KLAIM**

Cadangan klaim adalah jumlah uang yang harus disisihkan oleh perusahaan asuransi untuk memenuhi kewajiban pembayaran klaim yang belum dibayar. Cadangan klaim adalah salah satu komponen penting dalam manajemen risiko dan keuangan Perusahaan asuransi. Cadangan klaim merupakan dana yang disisihkan oleh perusahaan asuransi untuk menutup kewajiban pembayaran klaim yang belum terselesaikan atau klaim yang mungkin akan muncul di masa mendatang. Tujuan utama dari cadangan klaim adalah untuk memastikan bahwa perusahaan asuransi memiliki dana yang cukup untuk memenuhi kewajiban kepada pemegang polis, sehingga menjaga stabilitas keuangan perusahaan (Bachtiar, 2016).

**PREMI**

Premi asuransi merupakan sejumlah uang yang dibayarkan oleh tertanggung kepada perusahaan asuransi sebagai imbalan atas perlindungan yang diberikan terhadap risiko yang diasuransikan. Besaran premi ditentukan berdasarkan berbagai faktor, termasuk tingkat risiko yang ditanggung, karakteristik polis asuransi, profil pelanggan, serta metode aktuarial yang digunakan untuk menghitung ekspektasi klaim di masa depan.

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan data klaim *Marine and Aviation Insurance* pada periode 2018-2022 yang diperoleh dari perusahaan asuransi Amerika Serikat. Jenis penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yang bertujuan untuk membandingkan akurasi dua metode dalam mengestimasi cadangan klaim, yaitu metode *Mack Chain Ladder* dan *Benktander*. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan data historis klaim untuk mengukur akurasi masing-masing metode melalui perhitungan MSE.

Beberapa variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Tabel 3. Variabel Penelitian

No.	Variabel	Penjelasan
1.	$D_{i,j}$	Data Klaim Inkremental
2.	$C_{i,j}$	Data Klaim Kumulatif
3.	$v_i$	Data Premi

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam penelitian ini, data yang digunakan adalah data sekunder. Data ini terdiri dari data klaim asuransi yang telah dibayarkan dan data premi asuransi yang didapatkan. Data tersebut berasal dari asuransi kelautan dan penerbangan (*marine and aviation insurance*) pada periode 2018-2022.

Data historis klaim yang telah dibayarkan biasa disebut dengan data *paid claims*. Pada data *paid claims*, memuat informasi tentang klaim yang telah dibayarkan berdasarkan tahun kejadian klaim (*accident year*) dan tahun penundaan (*development year*). Data *paid claims* yang digunakan pada penelitian ini adalah data tahunan pada periode 2018-2022 yang berbentuk *run off triangle inkremental*. Data tersebut disajikan seperti pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Data historis klaim inkremental (dalam satuan juta dolar)

Tahun Kejadian	Tahun Penundaan				
	1	2	3	4	5
2018	47,525	170,959	330,907	504,574	690,029
2019	54,028	157,281	303,208	474,580	
2020	44,655	129,046	235,449		
2021	26,924	96,611			

2022	30,101
------	--------

Data *earned premium* merupakan data premi asuransi yang telah didapatkan oleh perusahaan asuransi selama periode 2018-2022. Data *earned premium* yang diperoleh pada periode tersebut dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Data Premi (dalam satuan juta dolar)

Tahun	Data Premi
2018	367,763
2019	330,111
2020	361,183
2021	431,470
2022	478,878

Langkah awal sebelum menghitung estimasi cadangan klaim baik metode *Mack Chain Ladder* maupun metode *Benktander* adalah membentuk *run off triangle* inkremental menjadi bentuk kumulatif. Dari hasil perhitungan pada persamaan (1), didapatkan *run off triangle* kumulatif seperti pada tabel berikut.

Tabel 6. *Run off Triangle* Kumulatif (dalam satuan juta dolar)

Tahun Kejadian	Tahun Penundaan				
	1	2	3	4	5
2018	47,525	218,484	549,391	1,053,965	1,743,994
2019	54,028	211,309	514,517	989,097	
2020	44,655	173,701	409,150		
2021	26,924	123,535			
2022	30,101				

Pada metode *Mack Chain Ladder*, selain *Run off Triangle* kumulatif juga diperlukan faktor pengembangan. Berikut merupakan tabel hasil perhitungan faktor pengembangan pada periode penundaan pertama hingga periode penundaan keempat.

Tabel 7. Faktor Pengembangan

$j$	1	2	3	4
$f_j$	4.20	2.44	1.92	1.65

Pada tabel di atas, dapat dilihat bahwa faktor pengembangan dari periode pertama ke periode kedua ( $f_1$ ) sebesar 4.20, untuk  $f_2$  sebesar 2.44 dan terus menurun seiring berjalannya periode penundaan.

Setelah dilakukan perhitungan faktor pengembangan, selanjutnya menghitung estimasi nilai klaim masa depan pada segitiga bagian bawah yang belum diketahui nilainya. Dengan menggunakan persamaan (3) maka didapatkan hasil *run off triangle* kumulatif secara keseluruhan sebagai berikut.

Tabel 8. Data *Run off Triangle* Kumulatif Keseluruhan

Tahun Kejadian	Tahun Penundaan				
	1	2	3	4	5
2018	47,525	218,484	549,391	1,053,965	1,743,994
2019	54,028	211,309	514,517	989,097	1,636,657
2020	44,655	173,701	409,150	785,706	1,300,106
2021	26,924	123,535	301,534	579,048	958,149
2022	30,101	126,402	308,533	592,488	980,389

Dari Tabel 8 di atas, maka didapatkan nilai *ultimate claims* pada tahun kejadian 2018 hingga 2022 sebagai berikut.

Tabel 9. *Ultimate Claims*

Tahun	<i>Ultimate Claims</i>
2018	1,743,994
2019	1,636,657
2020	1,300,106
2021	958,149
2022	980,389

Dari tabel di atas, didapatkan nilai *ultimate claims* pada tahun kejadian 2018 sebesar 1,743,994, tahun 2019 sebesar 1,636,657, tahun 2020 sebesar 1,300,106, tahun 2021 sebesar 958,149, dan tahun 2022 sebesar 980,389. Hasil nilai *ultimate claims* tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menghitung estimasi cadangan klaim metode *Mack Chain Ladder* pada setiap periode dan total cadangan klaimnya. Perhitungan estimasi cadangan klaim metode *Mack Chain Ladder* didapatkan hasil seperti pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Hasil Estimasi Cadangan Klaim Metode *Mack Chain Ladder* (dalam satuan juta dolar)

<i>i</i>	Estimasi Cadangan Klaim <i>Mack Chain Ladder</i>
1	-
2	647,560.04
3	890,956.19
4	834,614.28
5	950,288.09
<b>Total:</b>	<b>3,323,418.60</b>

Dari perhitungan estimasi cadangan klaim metode *Mack Chain Ladder*, didapatkan hasil dari total estimasi cadangan klaimnya sebesar 3,323,418.60 juta dolar.

MSE pada metode *Mack Chain Ladder* memerlukan suatu varians parameter ( $\sigma_j^2$ ). Didapatkan nilai dari varians parameter untuk  $1 \leq j \leq 4$  adalah sebagai berikut.

Tabel 11. Estimasi varians parameter ( $\sigma_j^2$ )

<i>j</i>	1	2	3	4
$\sigma_j^2$	6,787.88	1,230.16	4.16	0.00

Setelah proses perhitungan estimasi cadangan klaim metode *Mack Chain Ladder* selesai, selanjutnya dilakukan perhitungan estimasi cadangan klaim pada metode *Benktander*. Metode *Benktander* merupakan metode gabungan antara *metode Chain Ladder* dan *Bornhuetter Ferguson*. Karena hasil estimasi cadangan klaim dari *Chain Ladder* sama dengan metode *Mack Chain Ladder*, maka hanya perlu menghitung estimasi cadangan klaim metode *Bornhuetter Ferguson*.

Langkah awal dari perhitungan metode *Bornhuetter Ferguson* adalah menghitung nilai *loss ratio*. Didapatkan hasil *loss ratio* sebagai berikut.

Tabel 12. *Loss Ratio*

<i>j</i>	1	2	3	4	5
$m_j$	0.10	0.37	0.82	1.40	1.88

*Loss ratio* ( $m_j$ ) merupakan rasio kerugian pada periode penundaan ke-*j* atau disebut sebagai rasio kerugian untuk setiap periode penundaan. Total nilai keseluruhan dari *loss ratio* disebut dengan *Expected Loss Ratio* (ELR). Jumlah nilai ELR yang didapatkan sebesar 4.58.

Dengan menggunakan nilai premi yang diperoleh perusahaan asuransi dan ELR, maka dapat diperoleh estimasi *Burning Cost* ( $U_i^{BC}$ ).

Tabel 13. Estimasi Nilai *Burning Cost*

<i>i</i>	<i>Burning Cost</i> ( $U_i^{BC}$ )
1	1,682,596.77
2	1,510,330.57
3	1,652,491.82
4	1,974,070.33

5 2,190,972.38

Selain *loss ratio*, ELR, dan *burning cost*, dalam metode Bornhuetter Ferguson juga diperlukan *loss ratio payout factor* ( $p_i$ ). Kemudian, hasil yang didapatkan dari *loss ratio payout factor* ( $p_i$ ) akan digunakan untuk menghitung nilai dari *loss ratio reserve factor* ( $q_i$ ) dan factor kredibilitas ( $c_i$ ). Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 14 berikut.

Tabel 14. *Loss ratio payout factor*, *reserve factor*, dan faktor kredibilitas

$i$	$p_i$	$q_i$	$c_i$
1	1.00	-	0.50
2	0.59	0.41	0.43
3	0.28	0.72	0.35
4	0.10	0.90	0.24
5	0.02	0.98	0.13

Langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai estimasi cadangan klaim metode *Bornhuetter Ferguson*. Dalam menghitung nilai estimasi cadangan klaim metode *Bornhuetter Ferguson* dilakukan perhitungan pada setiap periode kejadian ke- $i$  dan didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 15. Hasil Estimasi Cadangan Klaim Metode

$i$	<i>Bornhuetter Ferguson</i>
	<i>Bornhuetter Ferguson</i>
1	-
2	619,383.04
3	1,184,441.81
4	1,769,205.51
5	2,141,554.50

Dari hasil perhitungan estimasi cadangan klaim metode *Mack Chain Ladder* dan *Bornhuetter Ferguson*, didapatkan hasil estimasi cadangan klaim metode *Benktander* sebagai berikut.

Tabel 15. Hasil Perhitungan Metode *Benktander*

$i$	<i>Bornhuetter Ferguson</i>	<i>Mack Chain Ladder</i>	<i>Benktander</i>
1	-	-	-
2	619,383.04	647,560.04	631,623.28
3	1,184,441.81	890,956.19	1,082,501.19
4	1,769,205.51	834,614.28	1,541,488.87
5	2,141,554.50	950,288.09	1,986,006.23
<b>Total:</b>			<b>5,241,619.57</b>

Pada Tabel 15 di atas, didapatkan hasil perhitungan total estimasi cadangan klaim metode *Benktander* sebesar 5,241,619.57 juta dolar.

Langkah selanjutnya yaitu perhitungan MSE pada metode *Mack Chain Ladder* dan *Benktander*, diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 16. Hasil Perhitungan MSE

$i$	MSE		
	<i>Bornhuetter Ferguson</i>	<i>Mack Chain Ladder</i>	<i>Benktander</i>
1	-	-	-
2	0.00	0.00	0.00
3	2,871,480.53	5,589,295.21	1,897,471.97
4	1,338,989,543.52	1,667,039,394.17	864,949,295.86
5	13,861,969,604.38	14,509,100,333.63	10,725,661,134.33
<b>Total:</b>			<b>16,181,729,023.03 11,592,507,902.16</b>

Berdasarkan Tabel 16, nilai MSE yang diperoleh pada metode *Mack Chain Ladder* adalah sebesar 16,181,729,023.03 dan MSE pada metode *Benktander* sebesar 11,592,507,902.16. Ini menunjukkan bahwa MSE pada metode *Benktander* lebih kecil dan metode *Benktander* merupakan metode yang paling baik daripada metode *Mack Chain Ladder* dilihat dari nilai hasil estimasi cadangan klaim pada metode *Benktander* lebih tinggi. Ini menunjukkan bahwa metode *Benktander* lebih konservatif. Selain itu, dengan hasil MSE yang lebih rendah, maka metode *Benktander* jauh lebih stabil dalam memperkirakan ketidakpastian prediksi.

**PENUTUP**

**SIMPULAN**

Perhitungan estimasi cadangan klaim metode *Mack Chain Ladder* hanya menggunakan data klaim inkremental, sedangkan metode *Benktander* menggunakan data klaim inkremental dan data premi. Pada metode *Mack Chain Ladder* diperoleh total estimasi cadangan klaim untuk metode ini adalah sebesar 3,323,418.60 juta dolar dengan nilai MSE sebesar 16,181,729,023.03. Sedangkan pada metode *Benktander* diperoleh total nilai estimasi Cadangan klaim sebesar 5,241,619.57 juta dolar dan nilai MSE sebesar 11,592,507,902.16.

Berdasarkan hasil estimasi dan nilai MSE, metode *Benktander* memberikan cadangan yang lebih tinggi namun dengan ketidakpastian yang lebih rendah, menjadikannya pilihan yang lebih konservatif dan stabil dalam konteks *reserving*. Sebaliknya, metode *Mack Chain Ladder* menghasilkan cadangan yang

lebih rendah namun dengan risiko prediksi yang lebih besar, sehingga lebih cocok untuk analisis granular namun perlu kehati-hatian dalam penggunaannya.

#### SARAN

Untuk penelitian selanjutnya, dapat menggunakan data dengan rentang waktu lebih panjang untuk mengetahui keefektifan dari masing-masing metode *Mack Chain Ladder* dan *Benktander*. Selain itu, dapat menggunakan prediction error lain seperti MAPE, RMSE, *bootstrap*, dan sebagainya.

Zohry, A. A. & Ahmed, M. A. (2020). The Prediction Error of the Chain Ladder Method (With Application to Real Data). *International Journal of Economics and Finance*, 12, 10.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arafah, A. R., Putro, Y. R., Bais, A. N., Solita, S., & Prakasa. (2024). Legal consequences of voyage rights in Indonesian tourism and aviation legislation. *Cogent Social Sciences*, 10(1), 2.
- Buchwalder, M., Bühlmann, Merz, Wüthrich, & Mario. (2006). The mean square error of prediction in the chain ladder reserving method (Mack and Murphy revisited). *ASTIN BULLETIN*, 36(2).
- England, P. D., & Verrall, R. J. (2002). Stochastic claims reserving in general insurance. *British Actuarial Journal*, 8(4), 443–544.
- Leksono, A. N., Rahman, T. A., Khaifatullah, M. J., Soleh, A. Z., & Noviyanti, L. (2023). Penerapan benktander dengan modifikasi kredibilitas dalam mengestimasi cadangan klaim asuransi kendaraan bermotor. *BIAStatistics: Jurnal Statistika Teori dan Aplikasi*.
- Mack, T. (1993). Distribution-free calculation of the standard error of chain ladder reserve estimates. *ASTIN Bulletin*, 23(2), 213–225.
- Mack, T. (2000). Credible claim reserves: The Benktander method. *ASTIN Bulletin*, 30(2), 333–347.
- Otoritas Jasa Keuangan. (2018). Mengenal perusahaan asuransi. Accessed: 24 September 2024. URL <https://sikapiuangmu.ojk.go.id>
- Pamungkas, S. L., Gurning, R., & Handani, D. W. (2025). Exploration of premium factors for passenger vessels in Indonesia. *International Journal of Marine Engineering and Research*, 10(1), 275–286.
- Rejda, G. E., & Mc Namara, M. J. (2017). Principles of Risk Management and Insurance, Global Edition. *Pearson Education*, 13 ed.
- Sloma, P. (2021). Generalized Mack chain-ladder model of reserving with robust estimation. *CASUALTY ACTUARIAL SOCIETY*, 12(2).
- Wuthrich, M. V., & Merz, M. (2008). Stochastic claims reserving methods in insurance.