

**PERBANDINGAN KEAKURATAN METODE MACK CHAIN LADDER
DAN BORNHUETTER -FERGUSON DALAM ESTIMASI CADANGAN
KLAIM**

Andini Erika Firdausy*

Program Studi Matematika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Surabaya
andinierika.21005@mhs.unesa.ac.id

Affiati Oktaviarina

Program Studi Aktuaria, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Surabaya

ABSTRACT. Risk is an uncertain event that can cause losses, both financially and non-financially, so insurance is needed as a form of protection. In insurance, claim reserves are an estimate of the funds that a company must prepare to pay claims in the future. This study aims to compare two claim reserve estimation methods, namely Mack Chain Ladder and Bornhuetter-Ferguson, and evaluate their accuracy using Root Mean Square Error (RMSE). The Mack Chain Ladder method uses cumulative triangle run-off data, while the Bornhuetter-Ferguson method combines the loss ratio approach with incremental triangle run-off data. The data used comes from an insurance company in the United States with a claim period of 2013–2022. The estimation results show that the claim reserve with the Mack Chain Ladder method is 1,406,731 million USD with an RMSE value of 199,826, while with the Bornhuetter-Ferguson method it is 1,386,492 million USD with an RMSE value of 83,251. These results indicate that the smaller RMSE value is obtained by using the Bornhuetter-Ferguson method.

Keywords: insurance, Bornhuetter-Ferguson, claims reserve, Mack Chain Ladder

ABSTRAK. Risiko merupakan kejadian tidak pasti yang dapat menyebabkan kerugian, baik secara finansial maupun nonfinansial, sehingga diperlukan asuransi sebagai bentuk perlindungan. Dalam asuransi, cadangan klaim merupakan estimasi dana yang harus disiapkan perusahaan untuk membayar klaim di masa depan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan dua metode estimasi cadangan klaim, yaitu Mack Chain Ladder dan Bornhuetter-Ferguson, serta mengevaluasi keakuratannya menggunakan Root Mean Square Error (RMSE). Metode Mack Chain Ladder menggunakan data run-off triangle kumulatif, sedangkan metode Bornhuetter-Ferguson menggabungkan pendekatan loss ratio dengan data run-off triangle incremental. Data yang digunakan berasal dari salah satu perusahaan asuransi di Amerika Serikat dengan periode klaim tahun 2013–2022. Hasil estimasi menunjukkan bahwa cadangan klaim dengan metode Mack Chain Ladder sebesar 1.406.731 juta USD dengan nilai RMSE sebesar 199.826, sedangkan dengan metode Bornhuetter-Ferguson

*Penulis Korespondensi

Info Artikel : dikirim 31 Mei 2025; direvisi 13 Juni 2025; diterima 26 Juni 2025.

sebesar 1.386.492 juta USD dengan nilai RMSE sebesar 83.251. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai RMSE yang lebih kecil adalah dengan menggunakan metode Bornhuetter-Ferguson.

Kata Kunci: asuransi, Bornhuetter-Ferguson, cadangan klaim, Mack Chain Ladder

1. PENDAHULUAN

Risiko merupakan kejadian yang tidak pasti yang dapat menyebabkan kerugian, baik berupa kerugian kerusakan benda, korban jiwa, maupun kerugian finansial (Aven, 2018). Risiko tersebut tidak hanya dialami oleh individual, tetapi juga dapat dialami oleh perusahaan asuransi. Untuk mengatasi risiko tersebut perlu adanya asuransi. Asuransi merupakan perjanjian antara perusahaan dan pemegang polis, di mana perusahaan menanggung kerugian sesuai kesepakatan dengan imbalan premi yang dibayarkan oleh pemegang polis. Di Indonesia peningkatan risiko juga mendorong perkembangan industri asuransi, khususnya asuransi konvensional yang meliputi, asuransi jiwa, asuransi finansial, asuransi sosial, dan reasuransi. Dalam asuransi perlu adanya cadangan klaim yang harus disiapkan untuk memenuhi klaim yang diajukan di masa yang akan datang. Dalam praktiknya estimasi cadangan klaim dibagi menjadi dua yaitu, yaitu *Reported But Not Settled* (RBNS) merupakan klaim yang telah dilaporkan tetapi masih dalam proses pembayaran. Sedangkan *Incurred But Not Reported* (IBNR) adalah klaim yang telah terjadi tetapi belum dilaporkan.

Dalam kasus nyata yang terjadi pada perusahaan PT Reasuransi XYZ, dicabutnya peringkat perusahaan terjadi akibat penurunan *Risk-Based Capital* (RBC) menjadi 121%, yang mendekati batas minimum sebesar 120% sebagaimana ditetapkan oleh Otoritas Jasa Keuangan (OJK). RBC merupakan indikator kesehatan keuangan perusahaan asuransi. Akibat kondisi tersebut, perusahaan mengalami kekurangan cadangan klaim yang berujung pada kesulitan dalam memenuhi kewajiban finansial lainnya. Kekurangan ini diduga terjadi karena ketidakakuratan dalam memperkirakan besaran cadangan klaim (Pernita, 2023). Untuk menghindari permasalahan serupa di masa mendatang, perusahaan asuransi perlu menerapkan metode perhitungan yang tepat dan akurat agar dapat mengelola cadangan klaim secara optimal.

Salah satu metode yang umum digunakan adalah metode *Chain Ladder* karena kemudahannya dalam melakukan estimasi. Akan tetapi, metode tersebut memiliki keterbatasan dalam menangani tahun-tahun awal yang jumlah klaim

masih sedikit. Untuk menangani kekurangan tersebut maka, dikembangkannya metode *Bornhuetter-Ferguson* yang mengkombinasikan *Chain Ladder* dengan *loss ratio* guna menghasilkan estimasi yang lebih stabil. Dalam menentukan estimasi yang paling tepat, perlu dilakukan perbandingan berdasarkan nilai *prediction error*. Namun, metode seperti *Chain Ladder* tidak secara langsung menyediakan nilai *prediction error*. Sehingga dikembangkanlah metode *Mack Chain Ladder* oleh Mack (1993). Metode ini menyediakan formulasi untuk menghitung *Mean Square Error* (MSE).

Berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji metode *Mack Chain Ladder* maupun *Bornhuetter-Ferguson*. John et al (2021) menemukan bahwa pendekatan *bootstrap* pada *Mack Chain Ladder* mampu menghasilkan estimasi cadangan klaim yang mendekati distribusi klaim IBNR yang sebenarnya, meskipun dengan tingkat kesalahan prediksi yang cukup tinggi. Yeldan & Saykan (2024) menunjukkan bahwa metode *Mack Chain Laader* membantu mengurangi kesenjangan antara estimasi *paid claims* dan *incurred claims*, meskipun hasil estimasi keduanya masih berbeda. Sementara itu, Siegenthaler (2023) menyoroti keunggulan metode ini dalam menghitung varians estimasi secara akurat berdasarkan pola perkembangan historis klaim. Di sisi lain, Riaman et al (2023) menyatakan bahwa metode *Bornhuetter-Ferguson* cukup akurat dan layak digunakan, sedangkan Majid et al (2018) mencatat bahwa metode ini memiliki *prediction error* yang rendah, yakni 1% untuk *paid claims* dan 7% untuk *incurred claims*. Amini & Hikmah (2022) juga mencatat bahwa metode ini mampu memberikan prediksi yang cukup baik meskipun terdapat penundaan pelaporan sekitar dua hingga tiga bulan.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tingkat keakuratan estimasi cadangan klaim IBNR antara metode *Mack Chain Ladder* dan *Bornhuetter-Ferguson* dengan menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE). Adapun rumusan masalahnya adalah :

1. bagaimana tahapan estimasi cadangan klaim menggunakan metode *Mack Chain Ladder* dan *Bornhuetter-Ferguson*?

2. bagaimana tingkat akurasi dua metode estimasi dengan menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE)?

Untuk menjaga fokus pembahasan, penelitian ini dibatasi hanya pada analisis data *paid claims* tahunan dari salah satu perusahaan asuransi di Amerika Serikat pada periode 2013–2022, yang berasal dari segmen *Casualty Insurance*. Estimasi dilakukan dengan menggunakan kedua metode tersebut dan untuk menentukan hasil estimasi yang paling baik maka akan dilakukan perbandingan nilai RMSE sebagai indikator *prediction error*.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diambil dari salah satu perusahaan asuransi di Amerika pada bagian *casualty insurance*. *Casualty insurance* berisikan data klaim yang diajukan dan premi yang telah dibayarkan oleh perusahaan asuransi. Data klaim ini sudah dalam bentuk *run off triangle cumulative*. Karena data diperoleh dari situs resmi perusahaan asuransi Amerika Serikat (<https://ir.archgroup.com>), maka periode yang digunakan adalah periode tahunan, dan seluruh nilai klaim dinyatakan dalam satuan mata uang USD. *Run-off triangle* merupakan data yang berisikan klaim-klaim individu yang telah dirangkum dengan penyusunan berdasarkan periode terjadinya peristiwa (*accident period*) dan periode perkembangan (*development period*). Data ini dapat disajikan dalam bentuk *incremental* atau kumulatif. Notasi $Z_{i,j}$ merupakan besar klaim dalam bentuk *incremental* yang digunakan untuk menghitung data klaim yang terjadi selama periode kejadian ke- i dan dibayarkan selama periode pengembangan ke- j , dengan $1 \leq i \leq n$ dan $1 \leq j \leq n$. Data klaim *cumulative* $S_{i,j}$ dapat ditransformasikan menjadi data *incremental* dengan menggunakan persamaan (1), dengan syarat bahwa nilai *incremental* sama dengan nilai kumulatif untuk periode awal, sehingga $Z_{i,1} = S_{i,1}$.

$$Z_{i,k} = S_{i,j} - S_{i,j-1} \quad (1)$$

2.2 Tahap Analisis Data

a) Metode *Mack Chain Ladder*

Metode *Mack Chain Ladder* pertama kali dikenalkan oleh Thomas Mack pada awal tahun 1990-an yang merupakan pengembangan dari metode *Chain Ladder* dengan melakukan penambahan *prediction error* (Mack, 1993). Langkah-langkah perhitungan estimasi cadangan menggunakan metode *Mack Chain Ladder* adalah sebagai berikut:

1. menghitung *link ratio*:

$$F_{i,j} = \frac{S_{i,j+1}}{S_{i,j}} \quad (2)$$

dengan $F_{i,j}$ merupakan representasi dari nilai *link ratio* dengan $S_{i,j}$ merupakan data klaim selama periode kejadian ke- i yang dibayarkan selama periode pengembangan ke- j ;

2. menghitung *development factor*:

$$\hat{f}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n-j} S_{i,j+1}}{\sum_{i=1}^{n-j} S_{i,j}} \quad (3)$$

dengan \hat{f}_j merepresentasikan nilai *development factor* pada tahun ke- j untuk $1 \leq j \leq n - 1$, yang menunjukkan rata-rata perkembangan klaim dari satu tahun ke tahun berikutnya;

3. menghitung parameter varians:

$$(\hat{\sigma}_j^{MCL})^2 = \frac{1}{n-1-j} \sum_{i=1}^{n-j} S_{i,j} (F_{i,j} - \hat{f}_j)^2$$

dengan $(\hat{\sigma}_j^{MCL})^2$ merepresentasikan varians pada tahun ke- j yang menunjukkan besarnya penyimpangan nilai *link ratio* terhadap *development factor* untuk $1 \leq j < n - 1$. Apabila $j = n - 1$, maka variansnya dapat dihitung menggunakan pendekatan yang ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$(\hat{\sigma}_{j-1}^{MCL})^2 = \min \left\{ (\hat{\sigma}_{j-2}^{MCL})^2, (\hat{\sigma}_{j-2}^{MCL})^2, \left(\frac{((\hat{\sigma}_{j-2}^{MCL})^2)^2}{(\hat{\sigma}_{j-3}^{MCL})^2} \right) \right\};$$

4. menghitung nilai estimasi cadangan klaim IBNR:

$$\hat{S}_{i,j}^{MCL} = S_{i,j-1} \cdot \hat{f}_j \quad (4)$$

dengan $\hat{S}_{i,j}^{MCL}$ merupakan nilai untuk prediksi jumlah klaim kumulatif pada tahun ke- j menggunakan metode *Mack Chain Ladder* berdasarkan data kumulatif tahun sebelumnya;

5. menghitung Estimasi cadangan akhir:

$$\hat{R}_i^{MCL} = \hat{S}_{i,n} - S_{i,n-i+1} \quad (5)$$

dengan \hat{R}_i^{MCL} merupakan representasi dari hasil nilai untuk estimasi cadangan akhir. Dalam metode *Mack Chain Ladder*, *prediction error* untuk estimasi cadangan dinyatakan dalam bentuk *Mean Squared Error* (MSE), yang dirumuskan sebagai:

$$\begin{aligned} \text{MSE}(\hat{R}_i^{MCL}) &= \hat{S}_{i,n}^2 \sum_{k=n-i}^{n-1} \frac{(\hat{\sigma}_k^{MCL})^2}{(\hat{f}_k)^2} \left(\frac{1}{\hat{S}_{i,k}} + \frac{1}{\sum_{i=1}^{n-1} S_{i,k}} \right) \\ \text{SE}(\hat{R}^{MCL}) &= \sum_{i=2}^n \text{MSE}(\hat{R}_i^{MCL}) + \hat{S}_{i,n} \left(\sum_{k=i+1}^n \hat{S}_{k,n} \right) \sum_{j=n+1-i}^{n-1} \frac{2(\hat{\sigma}_j^{MCL})^2}{\hat{f}_j^2 \sum_{i=1}^{n-j} S_{i,j}}; \end{aligned}$$

- b) Metode *Bornhuetter-Ferguson*

Metode *Bornhuetter-Ferguson* pertama kali diperkenalkan oleh Ronald L. Bornhuetter dan Ronald E. Ferguson pada tahun 1972. Metode ini merupakan gabungan dari metode *Chain Ladder* dan *Loss Ratio* (Mack, 2006). Langkah-langkah untuk menghitung estimasi cadangan klaim menggunakan metode *Bornhuetter-Ferguson* diantaranya sebagai berikut:

1. menghitung nilai *Incremental Loss Ratio* (ILR):

$$\hat{m}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n+1-j} Z_{i,j}}{\sum_{i=1}^{n+1-j} v_i} \quad (6)$$

dengan \hat{m}_j merepresentasikan nilai awal *Incremental Loss Ratio* (ILR) pada tahun ke- j dan v_i merupakan premi yang diperoleh (*earned premium*) pada tahun ke- i ;

2. menghitung rasio faktor tingkat premi:

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^{n+1-j} Z_{i,j}}{v_i \sum_{j=1}^{n+1-j} \hat{m}_j} \quad (7)$$

dengan r_i merepresentasikan faktor tingkat premi untuk menyesuaikan estimasi ILR terhadap data aktual klaim;

3. menghitung nilai rata-rata ILR kembali:

$$\hat{m}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n+1-j} Z_{i,j}}{\sum_{i=1}^{n+1-j} v_i r_i} \quad (8)$$

dengan \hat{m}_j merupakan representasi dari nilai rata-rata ILR yang telah disesuaikan berdasarkan faktor premi actual;

4. menghitung nilai rata-rata estimasi ILR *selected*:

$$\hat{m}_j^* = \sqrt[j]{\hat{m}_1 \times \dots \times \hat{m}_j} \quad (9)$$

dengan \hat{m}_j^* adalah representasi dari nilai rata-rata estimasi ILR pada periode pengembangan ke- j . Nilai inilah yang akan digunakan dalam mencari *development pattern* dan *Ultimate Loss*;

5. menghitung estimasi pola *development pattern*:

$$\hat{\lambda}_j = \frac{\hat{m}_1^* + \dots + \hat{m}_j^*}{\hat{m}_1^* + \dots + \hat{m}_n^*} \quad (10)$$

dengan $\hat{\lambda}_j$ merupakan representasi dari *development pattern*. Nilai ini menunjukkan proporsi klaim yang diharapkan telah dibayar sampai tahun ke- j ;

6. menghitung *Ultimate Loss Ratio* (ULR):

$$\hat{q}_i = r_i (\hat{m}_1^* + \dots + \hat{m}_n^*) \quad (11)$$

dengan \hat{q}_i merupakan representasi nilai dari *Ultimate Loss Ratio* (ULR) yang diperkirakan berdasarkan premi yang diperoleh;

7. menghitung nilai *Ultimate Loss*:

$$\hat{U}_i = v_i \hat{q}_i \quad (12)$$

dengan \hat{U}_i merupakan representasi dari nilai *ultimate loss* yang diperoleh berdasarkan premi dan ULR;

8. Menghitung estimasi cadangan akhir:

$$\hat{R}_i^{BF} = \hat{U}_i(1 - \hat{\lambda}_{n+1-i}) \quad (13)$$

Nilai \hat{R}_i^{BF} merupakan estimasi cadangan klaim yang harus dibayar menurut metode *Bornhuetter-Ferguson*;

9. menghitung total kerugian kumulatif:

$$\hat{y}_k = \frac{\sum_{i=1}^{n+1-k} Z_{i,k}}{\sum_{i=1}^{n+1-k} \hat{U}_i}$$

Persamaan di atas digunakan untuk menghitung estimasi varians yang akan digunakan dalam perhitungan *prediction error* (Mack, 2008). Notasi \hat{y}_k merupakan representasi dari nilai total kerugian kumulatif dengan syarat bahwa nilai total \hat{y}_k harus bernilai 1. Karena nilai \hat{y}_k merupakan proporsi dari total klaim yang diperkirakan akan di bayar, sehingga klaim *ultimate* harus tersebar diseluruh tahun kejadian ke- i . Jika $\sum_{i=1}^n \hat{y}_k \neq 1$ maka akan dilakukan normalisasi menggunakan persamaan berikut.

$$\hat{y}_k^* = \frac{\sum_{i=1}^{n+1-k} Z_{i,k}}{\sum_{i=1}^{n+1-k} \hat{U}_i};$$

10. menghitung parameter varians:

$$(\hat{\sigma}_k^{BF})^2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n+1-k} \frac{(Z_{i,k} - \hat{U}_i \hat{y}_k^*)^2}{\hat{U}_i}$$

dengan $(\hat{\sigma}_k^{BF})^2$ merupakan representasi dari estimasi parameter varians untuk $1 \leq k \leq n-1$. Selanjutnya dicari nilai *Mean Square Error* (MSE) dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} MSE(\hat{R}_i^{BF}) &= \left(\hat{U}_i \sum_{k=n+2-i}^{n+1} (\hat{\sigma}_k^{BF})^2 \right) + \left(\hat{U}_i^2 + (s.e(\hat{U}_i))^2 \right) (s.e.(\hat{\lambda}_{n+1-i}^*))^2 \\ &\quad + (s.e(\hat{U}_i))^2 (1 - \hat{\lambda}_{n+1-i})^2. \end{aligned}$$

- c) Evaluasi Model

Dalam penelitian ini dilakukan evaluasi terhadap dua metode estimasi cadangan klaim untuk menentukan metode yang menghasilkan prediksi

terbaik. Evaluasi dilakukan dengan menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) yang dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut :

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (14)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Metode Mack Chain Ladder

Langkah pertama dalam menghitung estimasi cadangan klaim menggunakan metode *Mack Chain Ladder* adalah dengan menyajikan data historis *run-off triangle cumulative*. Tabel 1 terdiri dari nilai-nilai klaim kumulatif yang terjadi pada tahun ke i , $i = 1, 2, \dots, 10$ dan periode pengembangan tahun ke j , $j = 1, 2, \dots, 10$.

Tabel 1. Data *run-off triangle cumulative paid claim* (million USD)

Tahun	Kejadian (i)	Periode Pengembangan (j)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2013	1	2.421	9.822	22.886	42.861	54.323	62.751	70.289	76.141	81.167	87.485
2014	2	3.885	15.973	40.651	63.214	90.530	113.596	133.263	143.929	152.586	
2015	3	4.440	20.208	46.933	70.523	95.988	119.096	136.138	151.119		
2016	4	5.720	25.626	51.494	86.362	112.818	131.341	155.584			
2017	5	6.417	30.316	63.922	112.474	136.489	163.243				
2018	6	7.576	31.240	106.443	128.728	154.173					
2019	7	15.798	57.568	96.593	129.766						
2020	8	17.646	50.383	90.156							
2021	9	14.633	53.264								
2022	10	17.638									

Karena data yang diperoleh sudah dalam bentuk kumulatif maka selanjutnya adalah menghitung *link ratio* yang dapat dilakukan menggunakan persamaan (2). Misalkan akan dicari nilai *link ratio* pada tahun pengembangan ke-3 yang terjadi pada tahun ke-3, nilainya adalah sebagai berikut :

$$F_{3,3} = \frac{S_{3,4}}{S_{3,3}} = \frac{70523}{46933} = 1,503.$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai $F_{3,3}$ adalah 1,503. Nilai *link ratio* lainnya dapat dihitung dengan cara yang sama. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Link Ratio

Tahun	Kejadian (i)	Periode Pengembangan (j)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2013	1	4,057	2,330	1,873	1,267	1,155	1,120	1,083	1,066	1,078	0,000
2014	2	4,111	2,545	1,555	1,432	1,255	1,173	1,080	1,060	0,000	
2015	3	4,551	2,322	1,503	1,361	1,241	1,143	1,110	0,000		
2016	4	4,480	2,009	1,677	1,306	1,164	1,185	0,000			
2017	5	4,724	2,109	1,760	1,214	1,196	0,000				
2018	6	4,124	3,407	1,209	1,198	0,000					
2019	7	3,644	1,678	1,343	0,000						
2020	8	2,855	1,789	0,000							
2021	9	3,640	0,000								
2022	10	0,000									

Setelah diperoleh nilai *link ratio* langkah selanjutnya adalah menghitung *development factor*. Perhitungan *development factor* dilakukan untuk mengetahui pola perkembangan yang terjadi dari tahun sebelumnya. Misalkan, akan dicari nilai *development factor* pada tahun ke-3 dengan menggunakan persamaan (3) maka akan diperoleh penyelesaian sebagai berikut :

$$\hat{f}_3 = \frac{\sum_{i=1}^7 S_{i,4}}{\sum_{i=1}^7 S_{i,3}} = \frac{S_{1,4} + S_{2,4} \dots + S_{7,4}}{S_{1,3} + S_{2,3} \dots + S_{7,3}} = \frac{633.928}{428.922} = 1,478.$$

Dalam perhitungan tahun pengembangan ke-3 diperoleh nilai sebesar 1,478. Artinya, pola perkembangan klaim meningkat sebesar 47,8% dibandingkan tahun sebelumnya. Proses perhitungan yang sama dilakukan untuk tahun-tahun lainnya hingga diperoleh nilai *Development Factor* yang disajikan dalam Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Hasil Development Factor

Tahun Pengembangan (j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nilai \hat{f}_j	3,749	2,153	1,478	1,278	1,204	1,160	1,093	1,062	1,078

Setelah diperoleh nilai *development factor* maka, langkah selanjutnya adalah menghitung estimasi cadangan klaim. Perhitungan estimasi cadangan klaim dapat dilakukan menggunakan persamaan (4). Sebagai contoh, nilai $\hat{S}_{8,4}$ maka, diperoleh nilai.

$$\hat{S}_{8,4} = S_{8,3} \times \hat{f}_3 = 90.156 \times 1,478 = 133.247.$$

Berdasarkan perhitungan, diperoleh estimasi cadangan klaim pada tahun kejadian ke-8 yang dibayarkan pada tahun pengembangan ke-4 sebesar 133,247 juta USD. Langkah perhitungan yang sama diterapkan untuk memperoleh estimasi cadangan klaim lainnya, sebagaimana disajikan pada Tabel 4 berikut :

Tabel 4. Hasil Estimasi Cadangan Klaim Dengan Metode Mack Chain Ladder
(Juta USD)

Tahun	Kejadian (<i>i</i>)	Tahun Pengembangan (<i>j</i>)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2013	1	2.421	9.822	22.886	42.861	54.323	62.751	70.289	76.141	81.167	87.485
2014	2	3.885	15.973	40.651	63.214	90.530	113.596	133.263	143.929	152.586	164.463
2015	3	4.440	20.208	46.933	70.523	95.988	119.096	136.138	151.119	160.515	173.009
2016	4	5.720	25.626	51.494	86.362	112.818	131.341	155.584	170.011	180.582	194.638
2017	5	6.417	30.316	63.922	112.474	136.489	163.243	189.440	207.007	219.877	236.993
2018	6	7.576	31.240	106.443	128.728	154.173	185.589	215.373	235.344	249.976	269.434
2019	7	15.798	57.568	96.593	129.766	165.841	199.635	231.673	253.156	268.896	289.826
2020	8	17.646	50.383	90.156	133.247	170.290	204.990	237.887	259.946	276.108	297.600
2021	9	14.633	53.264	114.658	169.460	216.570	260.701	302.538	330.592	351.147	378.480
2022	10	17.638	66.118	142.328	210.354	268.833	323.614	375.547	410.371	435.887	469.816

Setelah diperoleh nilai estimasi cadangan klaim, langkah selanjutnya adalah menghitung estimasi cadangan klaim akhir tahun ke-*i*, serta total cadangan klaim yang harus disediakan oleh perusahaan. Perhitungan ini dilakukan secara berurutan dengan menggunakan Persamaan (5), dan hasilnya disajikan pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Hasil Cadangan Klaim Pertahun (juta USD)

Tahun Kejadian (<i>i</i>)	Cadangan Klaim (Million USD)
2013	0
2014	11.877
2015	21.890
2016	39.054
2017	73.750
2018	115.261
2019	160.060
2020	207.444
2021	325.216
2022	452.178
Total	1.406.731

Selain itu, data yang dibutuhkan dalam analisis cadangan klaim menggunakan metode *Bornhuetter-Ferguson* mencakup informasi mengenai premi yang diperoleh, sebagaimana disajikan pada Tabel 7 berikut ini.

Tabel 7. Pendapatan Premi Perusahaan (juta USD)

Tahun Kejadian (<i>i</i>)	Nilai Premi
2013	241.774
2014	327.518
2015	310.249
2016	300.160
2017	341.122
2018	347.034
2019	429.288
2020	549.056
2021	666.754
2022	854.543

Langkah selanjutnya dalam menghitung nilai estimasi cadangan klaim dengan menggunakan metode *Bornhuetter-Ferguson* adalah dengan melakukan perhitungan nilai *Incremental Loss Ratio* (ILR). Sebagai contoh, nilai ILR pada tahun pengembangan ke-3 dengan menggunakan persamaan (6) adalah sebagai berikut :

$$\hat{m}_3 = \frac{\sum_{i=1}^8 S_{i,1}}{\sum_{i=1}^8 v_i} = \frac{277.942}{2.846.201} = 0,098.$$

Nilai ILR secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 8 setelah melalui langkah perhitungan yang sama.

Tabel 8. Hasil Nilai ILR

Tahun Pengembangan (<i>j</i>)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nilai \hat{m}_j	0,022	0,061	0,098	0,089	0,075	0,066	0,058	0,036	0,024	0,026

Setelah diperoleh nilai ILR maka, akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (7) untuk menghitung ratio faktor tingkat premi. Misalkan, akan dicari nilai ratio faktor tingkat premi pada tahun kejadian ke-3 (tahun 2015) sehingga diperoleh.

$$r_3 = \frac{\sum_{j=1}^8 S_{1,j}}{v_3 \sum_{j=1}^8 \hat{m}_j} = \frac{151.119}{310.249 \times 0,505} = 0,965.$$

Hasil faktor tingkat premi untuk setiap tahun kejadian, yang diperoleh menggunakan persamaan yang sama, dapat dilihat pada Tabel 9 berikut :

Tabel 9. Hasil *Ratio* Faktor Tingkat Premi

Tahun Kejadian (<i>i</i>)	Nilai r_i
2013	0,652
2014	0,881
2015	0,965
2016	1,105
2017	1,164
2018	1,286
2019	1,118
2020	0,907
2021	0,957
2022	0,937

Setelah diperoleh nilai faktor tingkat premi maka akan dilakukan perhitungan nilai ILR kembali. Perhitungan nilai ILR ini digunakan untuk memperbaiki nilai ILR sebelumnya untuk mengakomodasi faktor premi ke dalam estimasi cadangan klaim yang belum terbayar. Misalnya, akan dicari nilai rata-rata ILR pada tahun pengembangan ke-3 dengan menggunakan persamaan (8) dapat dilakukan sebagai berikut :

$$\hat{m}_3 = \frac{\sum_{i=1}^8 S_{i,1}}{\sum_{i=1}^8 v_i r_i} = \frac{277.942}{2.898.161,758} = 0,096.$$

Nilai ILR disesuaikan dapat diperoleh melalui perhitungan yang sama, dan hasilnya disajikan sebagai berikut:

Tabel 40. Hasil Nilai ILR disesuaikan

Tahun Pengembangan (<i>j</i>)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nilai \hat{m}_j	0,022	0,061	0,096	0,085	0,073	0,068	0,064	0,042	0,031	0,040

Setelah diperoleh nilai ILR disesuaikan, langkah selanjutnya adalah dengan melakukan perhitungan ILR *selected*. Perhitungan ILR *selected* digunakan

sebagai dasar untuk perhitungan *Ultimate Loss Ratio* (ULR) dan dalam mencari nilai estimasi pola *development pattern*. Misalkan, akan dicari nilai \widehat{m}_3^* yang dapat dilakukan menggunakan persamaan (9) sebagai berikut :

$$\widehat{m}_3^* = \sqrt[3]{\widehat{m}_1 \times \widehat{m}_2 \times \widehat{m}_3} = \sqrt[3]{0,022 \times 0,061 \times 0,096} = 0,051.$$

Langkah perhitungan yang sama digunakan untuk memperoleh nilai ILR *Selected* pada seluruh tahun pengembangan, yang disajikan dalam Tabel 11 berikut :

Tabel 51. Hasil ILR *Selected*

Tahun Pengembangan (j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nilai \widehat{m}_j^*	0,022	0,037	0,051	0,058	0,060	0,062	0,062	0,059	0,055	0,053

Setelah memperoleh nilai *ILR selected*, tahap berikutnya adalah menghitung pola *development pattern*. Misalnya, akan dicari nilai estimasi pola *development pattern* pada tahun pengembangan ke-3 dengan menggunakan persamaan (10).

$$\widehat{\lambda}_3 = \frac{\widehat{m}_1^* + \widehat{m}_2^* + \widehat{m}_3^*}{\widehat{m}_1^* + \dots + \widehat{m}_{10}^*} = \frac{0,022 + 0,037 + 0,051}{0,022 + \dots + 0,053} = 0,211.$$

Langkah perhitungan yang sama digunakan untuk memperoleh nilai pola *development pattern* yang tersaji pada Tabel 12 berikut :

Tabel 62. Hasil Development Pattern

Tahun Pengembangan (j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nilai $\widehat{\lambda}_j$	0,043	0,114	0,211	0,323	0,439	0,558	0,678	0,792	0,897	1,000

Setelah diperoleh nilai pola *development pattern*, tahap selanjutnya akan dilakukan nilai *Ultimate Loss Ratio* (ULR). Sebagai contoh akan dicari nilai ULR untuk tahun kejadian ke-3 dengan menggunakan persamaan (11).

$$\widehat{q}_3 = r_3(\widehat{m}_1^* + \dots + \widehat{m}_{10}^*) = 0,965 (0,022 + \dots + 0,053) = 0,500.$$

Proses perhitungan yang sama diterapkan untuk seluruh tahun kejadian, dan hasil ULR yang diperoleh disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil Ultimate Loss Ratio (ULR)

Tahun Kejadian (i)	Nilai \hat{q}_i
2013	0,338
2014	0,457
2015	0,500
2016	0,573
2017	0,604
2018	0,667
2019	0,580
2020	0,470
2021	0,496
2022	0,486

Setelah diperoleh nilai ULR maka, akan dilakukan nilai *ultimate loss*. Perhitungan *Ultimate loss* diperoleh dengan menggunakan persamaan (12). Sebagai contoh akan dilakukan perhitungan untuk tahun kejadian ke-3, sehingga diperoleh.

$$\hat{U}_3 = v_3 \hat{q}_3 = 310.249 \times 0,500 = 155.152$$

Hasil *Ultimate Loss* untuk seluruh tahun kejadian dapat diperoleh melalui prosedur perhitungan yang serupa, sebagaimana disajikan pada Tabel 14 berikut ini.

Tabel 74. Hasil Ultimate Loss

Tahun Kejadian (i)	Nilai \hat{U}_i
2013	81.703
2014	149.541
2015	155.152
2016	171.931
2017	205.872
2018	231.402
2019	248.826
2020	258.053
2021	330.825
2022	415.251

Langkah terakhir dalam melakukan prediksi cadangan klaim menggunakan metode *Bornhuetter-Ferguson* adalah menghitung estimasi cadangan akhir. Dalam menghitung estimasi cadangan akhir diperoleh dengan menggunakan persamaan (15). Misalkan, akan dicari nilai \hat{R}_3^{BF} sehingga diperoleh.

$$\hat{R}_3^{BF} = \hat{U}_3(1 - \hat{\lambda}_8) = 155.152(1 - 0,792) = 32.344.$$

Berdasarkan perhitungan \hat{R}_3^{BF} diperoleh nilai sebesar 32.344 juta USD. Melalui langkah yang serupa untuk setiap tahun kejadian, estimasi cadangan klaim dapat diperoleh dan ditampilkan pada Tabel 15 berikut :

Tabel 15. Hasil Estimasi Cadangan Klaim

Tahun Kejadian (i)	Nilai \hat{R}_1^{BF}
2013	0
2014	15.342
2015	32.344
2016	55.417
2017	90.943
2018	129.732
2019	168.527
2020	203.500
2021	293.197
2022	397.490
Total	1.386.492

Dapat dilihat pada Tabel 15 bahwa total estimasi cadangan klaim yang diperoleh dengan menggunakan metode *Bornhuetter-Ferguson* sebesar 1.386.492 jutaUSD. Nilai estimasi terbesar diperoleh pada tahun kejadian ke-10. Hal tersebut wajar terjadi mengingat data klaim pada tahun kejadian yang lebih baru cenderung belum sepenuhnya berkembang, sehingga menyisakan cadangan klaim yang besar untuk mengantisipasi pembayaran klaim di masa mendatang. Untuk mencari nilai *prediction error* maka, akan dicari menggunakan persamaan (14).

$$RMSE = \sqrt{6.930.677.773} = 83.251.$$

Nilai RMSE tersebut menunjukkan bahwa terdapat rata-rata deviasi sebesar 83.251 juta USD, sehingga memberikan gambaran mengenai tingkat akurasi model prediksi yang digunakan.

3.3 Evaluasi Model

Untuk menentukan metode yang paling optimal dalam estimasi cadangan klaim, dilakukan perbandingan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dari kedua metode yang telah dihitung sebelumnya. Hasil perbandingan nilai RMSE tersebut disajikan pada Tabel 16 berikut ini.

Tabel 16. Hasil Prediksi Cadangan Klaim

Metode	Nilai RMSE
<i>Mack Chain Ladder</i>	199.826
<i>Bornhuetter-Ferguson</i>	83.251

Berdasarkan Tabel 16 diperoleh bahwa metode *Mack Chain Ladder* memiliki nilai *Mean Square Error* (MSE) sebesar 39.930.240.565 dan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 199.826 juta USD. Sedangkan pada metode *Bornhuetter-Ferguson* diperoleh nilai MSE sebesar 6.930.677.774 dan RMSE sebesar 83.251 juta USD. Hal ini, menunjukkan bahwa metode yang paling baik adalah metode *Bornhuetter-Ferguson* karena memiliki nilai MSE dan RMSE yang lebih kecil. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode *Bornhuetter-Ferguson* mampu memberikan estimasi yang lebih stabil dibandingkan metode *Mack Chain Ladder*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa estimasi cadangan klaim yang diperoleh dari metode *Mack Chain Ladder* sebesar 1.406.731 juta USD dengan nilai RMSE sebesar 199.826 juta USD . Sedangkan, untuk metode *Bornhuetter-Ferguson* diperoleh hasil estimasi cadangan klaim sebesar 1.386.492 juta USD dengan nilai RMSE sebesar 83.251 juta USD. Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa dalam data yang digunakan dalam penelitian ini metode *Bornhuetter-Ferguson* dapat melakukan estimasi cadangan klaim dengan lebih baik daripada metode *Mack Chain Ladde* karena memiliki nilai RMSE yang lebih kecil.

Untuk pengembangan ke depan, ada baiknya penelitian selanjutnya mempertimbangkan penggunaan metode alternatif seperti *Bootstrapping Chain Ladder*, *Bayesian Chain Ladder*, atau *Cape Cod* agar hasil estimasi menjadi lebih akurat dan menyeluruh. Di samping itu, pemanfaatan data klaim dengan jangka waktu yang lebih panjang serta data dari perusahaan asuransi lokal di Indonesia dapat meningkatkan keterkaitan hasil penelitian dengan kondisi nyata industri asuransi di dalam negeri.

DAFTAR PUSTAKA

- Amini, R., & Hikmah, Y., *The Estimation of IBNR Claim Reserve By Chain-Ladder and Bornhuetter-Ferguson Method on Indemnity Products in PT. XYZ*, MAP (Mathematics and Applications) Journal, **4**(1) (2022), 50–59.
- Aven, T., *Society for Risk Analysis Glossary*, Encyclopedia of Science and Technology Communication, August, 2018
<https://doi.org/10.4135/9781412959216.n276>.
- John, A., Anuwoje, I., & Abonongo, L., *Loss Reserving-the Mack Method and Associated Bootstrap Predictions*, Applied Mathematics, **11**(3) (2021), 29–36. <https://doi.org/10.5923/j.am.20211103.01>.
- Mack, T., *Distribution-free Calculation of the Standard Error of Chain Ladder Reserve Estimates*, ASTIN Bulletin, **23**(2) (1993), 213–225, <https://doi.org/10.2143/ast.23.2.2005092>.
- Mack, T., *Parameter Estimation for Bornhuetter/Ferguson*, Casualty Actuarial Society Forum Fall, 2006, 147–157.
- Mack, T., *The Prediction error of Bornhuetter/Ferguson*, ASTIN Bulletin, **38**(1) (2008), 87–103, <https://doi.org/10.2143/ast.38.1.2030404>.
- Majid, A. B. F. A., Puspita, E., & Agustina, F., *Penggunaan Metode Bornhuetter-Ferguson pada Peramalan Besar Cadangan Claims Asuransi*, EurekaMatika, **6**(1) (2018), 54–61.
- Pernita, H. U., *Rating Dicabut Karena RBC Turun Dekati Batas Bawah, Dirut BUMN Indonesia Re: Masalah Bisnis*, Finansial.Bisnis.Com. <https://finansial.bisnis.com/read/20230611/215/1664277/rating-dicabut-karena-rbc-turun-dekati-batas-bawah-dirut-bumn-indonesia-re-masalah-bisnis>, 2023.
- Riaman, R., Subartini, B., & Parmikanti, K., *Penggunaan Metode Bornhuetter-Ferguson Untuk Estimasi Cadangan Klaim*, Jurnal Lebesgue : Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika, **4**(2) (2023), 1328–1343, <https://doi.org/10.46306/lb.v4i2.366>.
- Siegenthaler, F., *Unbiased estimator for the ultimate claim prediction error in the chain-ladder model of Mack*, Annals of Actuarial Science, **17**(1) (2023),

118–144, <https://doi.org/10.1017/S1748499522000082>.

Yeldan, M., & Saykan, Y., *Reserve estimation using paid and incurred claims information*, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, **42**(3), 747–754, <https://doi.org/10.14744/sigma.2024.00064>.