

## Analisis Tabel Mortalitas Penduduk Indonesia (TMPI) 2023: Pendekatan Survival, Valuasi Aktuaria, dan Evaluasi *Actual-to-Expected* (A/E) Ratio

M. Shadri Ismaun Lubis<sup>1✉</sup>, Hafiz Khalik Lubis<sup>2</sup>, Gizka Triyunita Sinaga<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan,  
Jl. William Iskandar Ps. V, Medan, Indonesia  
shadriismaun123@gmail.com

### Abstract

Accurate mortality assumptions are the foundation of life insurance premium and reserve calculations; however, no study has simultaneously linked survival modelling, comprehensive actuarial valuation, and empirical quality evaluation using Indonesia's latest mortality table. This study analyses the 2023 Indonesian Population Mortality Table (TMPI 2023), published by BPJS Kesehatan, through an integrated six-stage framework covering: survival function  $S(x)$  and force of mortality  $\mu_x$  modelling; valuation of discrete and continuous life annuities ( $\ddot{a}_x, \bar{a}_x$ ); valuation of whole-life insurance ( $A_x, \bar{A}_x$ ); net premium derivation via the equivalence principle; surrender value formulation; and prospective reserve  ${}_tV_x$  computation via Thiele's recursion with Actual-to-Expected (A/E) Ratio stress testing. An interest rate  $i = 6.00\%$  consistent with the BI Rate of December 2023 and a Uniform Distribution of Deaths assumption are applied throughout. Female life expectancy ( $e_0 = 78.37$  years) exceeds males ( $e_0 = 73.74$  years) by 4.63 years, yielding  $A_{35}^F = 0.1075$  versus  $A_{35}^M = 0.1287$  and a net-premium gap of 22.6% (IDR 6,818.78 vs. IDR 8,360.86 per IDR 1,000,000). A/E Ratio analysis over 2018-2022 reveals persistent neonatal excess mortality (peak 2020: male 2.76, female 2.80) and a five-year aggregate mean below one for both genders, indicating systemic longevity risk. Stress-test deviations reach -5.57% at policy year 29, confirming that TMPI 2023 without experience adjustment tends to over-reserve in the long term while under-reserving for neonatal ages. These findings provide a practical basis for mortality table calibration and solvency assessment in the Indonesian life insurance industry.

**Keywords:** TMPI 2023, Survival Function, Actuarial Valuation, Prospective Reserves, Actual-to-Expected Ratio

### Abstrak

Asumsi mortalitas yang tepat merupakan fondasi perhitungan premi dan cadangan asuransi jiwa; namun belum ada penelitian yang secara bersamaan menghubungkan pemodelan survival, valuasi aktuaria komprehensif, dan evaluasi kualitas tabel menggunakan TMPI 2023. Penelitian ini bertujuan menganalisis TMPI 2023 yang diterbitkan BPJS Kesehatan melalui kerangka enam tahap terintegrasi mencakup pemodelan fungsi survival  $S(x)$  dan force of mortality  $\mu_x$ ; valuasi anuitas jiwa diskrit dan kontinu ( $\ddot{a}_x, \bar{a}_x$ ); valuasi asuransi jiwa seumur hidup ( $A_x, \bar{A}_x$ ); pembentukan premi bersih berdasarkan prinsip ekuivalens; formulasi nilai tebus; serta perhitungan cadangan prospektif  ${}_tV_x$  via 2 rekursi Thiele dengan stress test berbasis Actual-to-Expected (A/E) Ratio. Data sekunder TMPI 2023 dianalisis menggunakan Python dengan asumsi suku bunga  $i = 6,00\%$  (BI Rate Desember 2023) dan asumsi UDD (Uniform Distribution of Deaths). Usia harapan hidup perempuan ( $e_0 = 78,37$  tahun) lebih tinggi 4,63 tahun dari laki-laki ( $e_0 = 73,74$  tahun), menghasilkan selisih premi bersih 22,6% (Rp 6.818,78 vs. Rp 8.360,86 per Rp 1.000.000). Evaluasi A/E Ratio 2018-2022 mengungkap excess mortality neonatal yang persisten (puncak 2020: LK=2,76; PR=2,80) dan rata-rata A/E lima tahun di bawah satu untuk kedua gender, mengindikasikan longevity risk sistemik. Stress test menghasilkan deviasi cadangan hingga -5,57% pada tahun polis ke-29, mengonfirmasi bahwa TMPI 2023 tanpa kalibrasi pengalaman aktual cenderung over-reserved jangka panjang namun under-reserved pada usia neonatal, dengan implikasi langsung bagi kecukupan solvabilitas industri asuransi jiwa Indonesia.

**Kata kunci:** TMPI 2023, fungsi survival, valuasi aktuaria, cadangan prospektif, actual-to-expected ratio

Copyright (c) 2026 M. Shadri Ismaun Lubis, Hafiz Khalik Lubis, Gizka Triyunita Sinaga

✉ Corresponding author: M. Shadri Ismaun Lubis

Email Address: shadriismaun123@gmail.com (Jl. William Iskandar Ps. V, Medan, Indonesia)

Received 21 June 2025, Accepted 04 August 2025, Published 27 August 2025

DoI: <https://doi.org/10.31004/cendekia.v10i2.4915>

## PENDAHULUAN

Ketika sebuah perusahaan asuransi jiwa menetapkan premi, ia sesungguhnya sedang bertaruh pada berapa lama seseorang akan hidup. Kekeliruan dalam asumsi mortalitas meski hanya beberapa basis poin dalam  $q_x$  dapat terakumulasi selama puluhan tahun menjadi kekurangan cadangan yang mengancam kewajiban klaim jangka panjang (Villegas et al., 2018). Kebutuhan ini mendorong BPJS Kesehatan menerbitkan Tabel Mortalitas Penduduk Indonesia (TMPI) 2023, yang dibangun dari basis data klaim nasional jauh lebih luas dibandingkan TMI sebelumnya dan menjadi referensi aktuarial terkini untuk populasi Indonesia.

Secara global, pemodelan mortalitas telah bergerak dari tabel deterministik menuju model stokastik yang mampu mengkuantifikasi ketidakpastian mortalitas secara eksplisit. Hunt & Blake (2021) mengklasifikasikan struktur model mortalitas modern dan menegaskan bahwa validasi empiris berbasis data pengalaman aktual merupakan syarat minimum sebelum suatu tabel digunakan dalam kalkulasi cadangan. Villegas et al. (2018) mengembangkan StMoMo kerangka pemodelan mortalitas stokastik terstandar yang memfasilitasi komparasi model dan menunjukkan bahwa analisis deterministik berbasis tabel perlu dilengkapi *experience study* yang berkala. Di Indonesia, Putra (2025) membuktikan parameter mortalitas TMPI 2023 mengikuti distribusi Gompertz pada kelompok usia dewasa, melanjutkan kajian yang sama terhadap TMI 2011 oleh Putra et al. (2019). Widhiatmoko (2024) menggunakan model PLAT untuk memproyeksikan mortalitas laki-laki Indonesia, menegaskan perlunya analisis ketidakpastian mortalitas sebagai pelengkap pendekatan tabel.

Aspek valuasi aktuarial berbasis TMPI telah menjadi fokus produktif dalam literatur terkini. Lestari & Dzakiya, (2023) membandingkan premi asuransi *joint life* menggunakan asumsi kebebasan mortalitas dan metode kopula, menemukan bahwa dependensi mortalitas antar pasangan berdampak signifikan pada premi. Ramadhan & Lestari (2025) mengembangkan cadangan premi dwiguna dengan metode *premium sufficiency* dan asumsi usia pecahan, sementara Jabbarudin & Sudding (2025) mengkaji cadangan *whole life insurance* metode Fackler. Kamila et al. (2024) membandingkan model Vasicek dan CIR untuk cadangan asuransi jiwa berjangka, dan Rahmawati & Martadona (2024) serta Putri et al. (2023) mengaplikasikan *Gross Premium Valuation* dengan kajian sensitivitas suku bunga. Utomo (2021) secara statistik membandingkan TMI Indonesia dengan tabel CSO dan menemukan selisih yang berpotensi menyebabkan premi tidak adil dan cadangan tidak memadai.

Meskipun literatur di atas telah menyentuh berbagai aspek mortalitas dan valuasi aktuarial, terdapat kesenjangan yang belum terpenuhi. Setiap penelitian yang ada hanya menyentuh satu atau dua komponen dari rantai entah hanya pemodelan mortalitas, atau hanya perhitungan premi, atau hanya cadangan tanpa menghubungkan semuanya dalam satu kerangka yang konsisten. Di luar itu, evaluasi kualitas TMPI 2023 melalui A/E Ratio berbasis data pengalaman aktual 2018-2022 sebagai mekanisme validasi empiris sekaligus alat *stress test* cadangan belum pernah dilakukan, padahal Imani & Hikmah (2022) menegaskan bahwa *experience study* adalah instrumen wajib dalam manajemen risiko mortalitas jangka panjang. Selain itu, implikasi perbedaan gender dalam seluruh rantai perhitungan

dari  $S(x)$  hingga cadangan Thiele belum dieksplorasi secara sistematis menggunakan TMPI 2023, meski data BPJS Kesehatan menyediakan tabel terpisah per gender.

Data TMPI 2023 sendiri menunjukkan rata-rata A/E lima tahun (2018-2022) di bawah 1,0 untuk kedua gender, mengindikasikan *longevity risk* sistemik, sementara A/E usia neonatal melampaui 2,5 di seluruh tahun pengamatan heterogenitas risiko yang tidak dapat diabaikan dalam penetapan cadangan (Imani & Hikmah, 2022). Kondisi ini menuntut kerangka evaluasi yang menghubungkan data pengalaman aktual dengan kecukupan cadangan secara kuantitatif.

Penelitian ini mengusulkan kerangka analitik enam tahap terintegrasi menggunakan TMPI 2023: pemodelan profil mortalitas dengan fungsi survival, valuasi anuitas dan asuransi jiwa (diskrit dan kontinu), pembentukan premi bersih dan nilai tebus, komputasi cadangan prospektif via rekursi Thiele, hingga evaluasi dan *stress test* berbasis A/E Ratio historis 2018-2022 (Dickson et al., 2020).

Tujuan penelitian ini adalah: (1) membangun profil mortalitas lengkap berbasis TMPI 2023 untuk kedua gender menggunakan pendekatan survival; (2) menghitung valuasi aktuaria komprehensif mencakup anuitas, asuransi jiwa, premi bersih, nilai tebus, dan cadangan prospektif dalam kerangka yang konsisten secara matematis; dan (3) mengevaluasi kualitas TMPI 2023 melalui A/E Ratio serta mengukur dampak deviasi mortalitas aktual terhadap kecukupan cadangan melalui stress test.

## METODE

### *Data dan Asumsi*

Penelitian ini menggunakan data sekunder TMPI 2023 yang diterbitkan BPJS Kesehatan, mencakup kolom  $x, E_x, d_x, q_x, p_x,$  dan  $e_x$  untuk rentang usia 0-111 tahun pada kelompok laki-laki dan perempuan, serta data A/E Ratio per usia dan gender untuk tahun 2018-2022. TMPI 2023 merupakan tabel mortalitas paling mutakhir yang tersedia untuk populasi Indonesia dan telah diverifikasi parameternya mengikuti pola Gompertz (Putra, 2025). Asumsi aktuaria yang ditetapkan konsisten di seluruh analisis adalah: suku bunga  $i = 6,00\%$  (BI Rate Desember 2023) (Jabbarudin & Sudding, 2025; Ramadhan & Lestari, 2025); faktor diskonto  $v = 1/(1 + i) = 0,943396$ ; *force of interest*  $\delta = \ln(1 + i) = 0,058269$ ; uang pertanggungan SA = Rp 1.000.000; serta asumsi *Uniform Distribution of Deaths* (UDD) antar usia bilangan bulat (Ramadhan & Lestari, 2025; Siswono et al., 2021). Seluruh komputasi dilaksanakan dalam Python menggunakan pustaka NumPy, Pandas, dan Matplotlib.

### *Pemodelan Survival*

Dari  $q_x$  TMPI 2023 dengan radix  $\ell_0 = 100.000$  dibangun jumlah hidup dan fungsi survival sebagai berikut (Hermawan et al., 2019; Putra, 2025):

$$\ell_{x+1} = (1 - q_x)\ell_x, \quad S(x) = \frac{\ell_x}{\ell_0} = {}_x p_0 \quad (1)$$

*Force of mortality*  $\mu_x$  diturunkan dari  $q_x$  melalui asumsi UDD (Siswono et al., 2021):

$$\mu_x \approx -\ln(p_x) = -\ln(1 - q_x) \quad (2)$$

### Valuasi Anuitas dan Asuransi Jiwa

Anuitas diskrit (*whole life annuity-due*) (Dickson et al., 2020; Lestari & Dzakiya, 2023):

$$\ddot{a}_x = \sum_{k=0}^{\omega-x-1} v^k \cdot {}_x p_x \quad (3)$$

Anuitas kontinu, diperoleh melalui integrasi numerik trapezoid (Siswono et al., 2021):

$$\bar{a}_x = \int_0^{\omega-x} e^{-\delta t} \cdot {}_t p_x dt \quad (4)$$

Asuransi jiwa diskrit (*whole life*, manfaat dibayar akhir tahun kematian) (Dickson et al., 2020; Lestari & Dzakiya, 2023):

$$A_x = \sum_{k=0}^{\omega-x-1} v^{k+1} \cdot {}_k p_x \cdot q_{x+k} \quad (5)$$

Asuransi jiwa kontinu, menggunakan relasi UDD:

$$\bar{A}_x = \frac{i}{\delta} A_x \quad (6)$$

Konsistensi antara perhitungan anuitas dan asuransi diverifikasi melalui relasi fundamental:

$$A_x + d \ddot{a}_x = 1 \quad (7)$$

### Premi Bersih dan Nilai Tebus

Premi bersih tahunan (*Net Annual Premium*) ditetapkan berdasarkan prinsip ekuivalens (Dickson et al., 2020; Jabbarudin & Sudding, 2025; Lestari & Dzakiya, 2023):

$$P_x = \frac{A_x}{\ddot{a}_x}, \quad \bar{P}(\bar{A}_x) = \frac{\bar{A}_x}{\bar{a}_x} \quad (8)$$

Nilai tebus pada tahun polis  $t$  ditetapkan sebagai proporsi dari cadangan prospektif yang besarnya meningkat seiring durasi polis (Jabbarudin & Sudding, 2025):

$$SV(t) = \alpha(t) \cdot {}_t V_x, \quad \alpha(t) = \max\left(0, 1 - \frac{c}{t+1}\right), \quad c = 0,5 \quad (9)$$

### Cadangan Prospektif dan Rekursi Thiele

Cadangan prospektif pada waktu  $t$  (Dickson et al., 2020; Jabbarudin & Sudding, 2025; Rahmawati & Martadona, 2024):

$${}_t V_x = A_{x+t} - P_x \cdot \ddot{a}_{x+t} \quad (10)$$

Rekursi Thiele digunakan untuk komputasi numeris dari arah mundur:

$$({}_t V_x + P_x)(1+i) = q_{x+t} \cdot SA + P_{x+t} \cdot {}_{t+1} V_x \quad (11)$$

dengan syarat batas  ${}_T V_x = 0$  pada usia terminal  $T = \omega - x$ .

**Evaluasi A/E Ratio dan Stress Test**

A/E Ratio per usia  $x$  digunakan untuk mengukur akurasi TMPI sebagai tabel referensi (Imani & Hikmah, 2022; Utomo, 2021):

$$A/E_x = \frac{d_x^{aktual}}{E_x \cdot q_{TMPI}} \tag{12}$$

Rata-rata A/E Ratio 2018-2022 digunakan sebagai faktor penyesuaian dalam *stress test* terhadap  $q_x$ :

$$q_x^{stress} = \min(q_x \cdot \overline{A/E_x}, 1,0) \tag{13}$$

**HASIL DAN DISKUSI**

**Hasil**

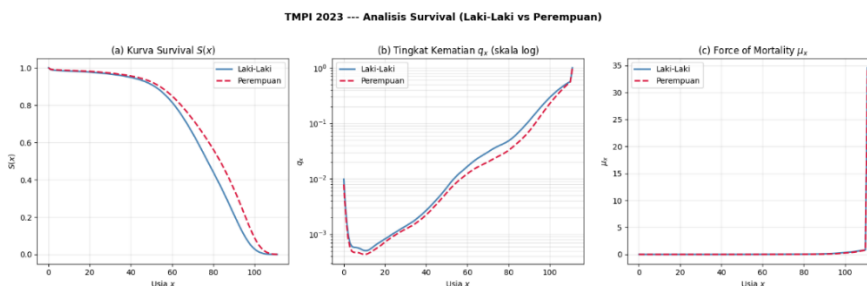
**Profil Mortalitas dan Fungsi Survival TMPI 2023**

Tahap pertama analisis membangun profil mortalitas lengkap dari TMPI 2023 menggunakan Persamaan (1) dan (2). Hasil profil mortalitas untuk usia terpilih disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai  $l_x, S(x)$ , dan  $\mu_x$  TMPI 2023 untuk usia terpilih

$x$	$l_x$		$S(x)$		$\mu_x$	
	Laki-Laki	Perempuan	Laki-Laki	Perempuan	Laki-Laki	Perempuan
0	100.000,00	100.000,00	1,000000	1,000000	0,009839	0,007911
1	99.020,90	99.212,00	0,990209	0,99212	0,002529	0,002098
10	98.312,98	98.625,78	0,98313	0,986258	0,000523	0,00044
25	97.782,14	98.308,54	0,977821	0,983085	0,001006	0,000756
35	98.664,20	98.914,95	0,986642	0,989149	0,000701	0,00058
50	94.829,18	96.862,61	0,948292	0,968626	0,004827	0,003278
65	82.418,10	88.932,32	0,824181	0,889323	0,021843	0,013208

Pada usia lahir, tingkat kematian laki-laki ( $q_0^{LK} = 0,009791$ ) lebih tinggi dibandingkan perempuan ( $q_0^{PR} = 0,007880$ ). Pada usia 65 tahun, nilai  $S(65)^{LK} = 0,8242$  berbanding  $S(65)^{PR} = 0,8893$ . Usia harapan hidup saat lahir tercatat  $e_0^{LK} = 73,74$  tahun dan  $e_0^{PR} = 78,37$  tahun. Visualisasi lengkap profil mortalitas disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Profil mortalitas TMPI 2023: (a) fungsi survival  $S(x)$ , (b) tingkat kematian  $q_x$  skala logaritmik, dan (c) *force of mortality*  $\mu_x$  untuk laki-laki dan perempuan.

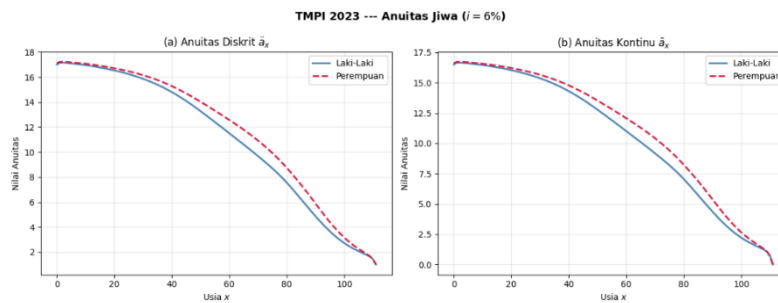
**Valuasi Anuitas Jiwa**

Tabel 2 menyajikan nilai anuitas jiwa diskrit  $\ddot{a}_x$  dan kontinu  $\bar{a}_x$  menggunakan Persamaan (3) dan (4).

Tabel 2. Nilai anuitas jiwa TMPI 2023 ( $i = 6\%$ )

$x$	Laki-laki		Perempuan	
	$\ddot{a}_x$	$\bar{a}_x$	$\ddot{a}_x$	$\bar{a}_x$
20	16,5383	16,0383	16,7122	16,2122
25	16,2408	15,7408	16,4651	15,9651
30	15,8662	15,3662	16,1567	15,6567
35	15,3930	14,8930	15,7673	15,2673
40	14,8040	14,3040	15,2813	14,7813
45	14,0933	13,5933	14,6965	14,1965
50	13,2736	12,7736	14,0284	13,5284
55	12,4019	11,9019	13,3138	12,8138
60	11,5067	11,0067	12,5681	12,0680

Nilai  $\ddot{a}_x$  perempuan lebih tinggi pada semua usia, dengan selisih antara model diskrit dan kontinu  $\ddot{a}_x - \bar{a}_x \approx 0,500$  yang konsisten di seluruh usia dan kedua gender. Grafik anuitas jiwa disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Nilai anuitas jiwa TMPI 2023 dengan  $i = 6\%$ : (a) anuitas diskrit  $\ddot{a}_x$  dan (b) anuitas kontinu  $\bar{a}_x$  untuk laki-laki dan perempuan.

**Valuasi Asuransi Jiwa dan Verifikasi Relasi Fundamental**

Tabel 3 menyajikan EPV asuransi jiwa whole life hasil Persamaan (5) dan (6).

Tabel 3. EPV asuransi jiwa laki-laki dan perempuan dari TMPI 2023 ( $i = 6\%$ )

$x$	Laki-laki		Perempuan	
	$A_x$ (diskrit)	$\bar{A}_x$ (kontinu)	$A_x$ (diskrit)	$\bar{A}_x$ (kontinu)
20	0,06387	0,06577	0,05403	0,05563
25	0,08071	0,08311	0,06801	0,07003
30	0,10191	0,10494	0,08547	0,088
35	0,1287	0,13252	0,10751	0,11071
40	0,16204	0,16685		0,13502   0,13902

45	0,20227	0,20828		0,16812	0,17312
50	0,24866	0,25605		0,20594	0,21206
55	0,29801	0,30686		0,24639	0,25376
60	0,34868	0,35904		0,2886	0,29721

Nilai  $A_{35}^{LK} = 0,1287$  dan  $A_{35}^{PR} = 0,1075$ . Verifikasi relasi fundamental Persamaan (7) menghasilkan  $A_{35} + d\ddot{a}_{35} = 1,00000000$  pada kedua gender dengan presisi  $10^{-8}$ .

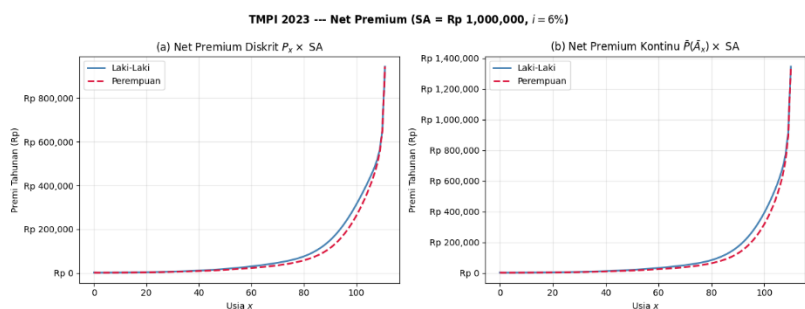
**Premi Bersih**

Tabel 4 menyajikan ringkasan parameter aktuaria lengkap mencakup  $A_x, \ddot{a}_x,$  dan premi bersih  $P_x$  berdasarkan Persamaan (8).

Tabel 4. Ringkasan parameter aktuaria TMPI 2023 ( $i = 6\%$ , SA = Rp 1.000.000)

x	Laki-Laki			Perempuan		
	$A_x$	$\ddot{a}_x$	$P_x$ (Rp)	$A_x$	$\ddot{a}_x$	$P_x$ (Rp)
25	0,08071	16,241	4.969	0,06801	16,465	4.131
30	0,10191	15,866	6.423	0,08547	16,157	5.290
35	0,12870	15,393	8.361	0,10751	15,767	6.819
40	0,16204	14,804	10.946	0,13502	15,281	8.836
45	0,20227	14,093	14.352	0,16812	14,697	11.439
50	0,24866	13,274	18.734	0,20594	14,028	14.680
55	0,29801	12,402	24.029	0,24639	13,314	18.506
60	0,34868	11,507	30.302	0,28860	12,568	22.963

Premi bersih laki-laki usia 35 tahun sebesar Rp 8.360,86 dan perempuan Rp 6.818,78. Grafik premi bersih disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Premi bersih tahunan TMPI 2023 dengan  $i = 6\%$  dan SA = Rp 1.000.000: (a) model diskrit  $P_x$  dan (b) model kontinu  $\bar{P}(\bar{A}_x)$  untuk laki-laki dan perempuan.

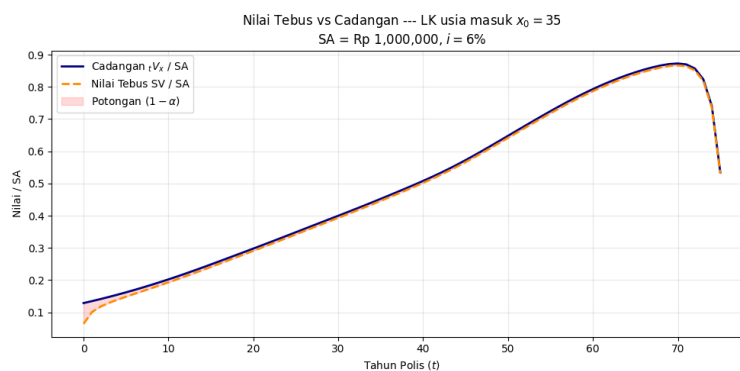
**Nilai Tebus dan Cadangan Prospektif**

Tabel 5 menyajikan profil cadangan dan nilai tebus untuk tertanggung laki-laki dengan usia masuk  $x_0 = 35$  tahun berdasarkan Persamaan (10)-(9).

Tabel 5. Cadangan  ${}_tV_x$  dan nilai tebus SV laki-laki ( $x_0 = 35$  tahun, SA = Rp 1.000.000)

t	${}_tV_x$ (Rp)	$\alpha(t)$	SV (Rp)
0	128.697,84	0,500	64.348,92
1	134.822,60	0,750	101.116,95
2	141.210,70	0,833	117.675,59
5	162.039,06	0,917	148.535,80
10	202.264,99	0,955	193.071,13
15	248.662,22	0,969	240.891,53
19	288.062,83	0,975	280.861,26
$P_x^{\text{normal}} = \text{Rp } 8.360,86 \text{ per tahun.}$			

Profil nilai tebus dan cadangan ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Nilai tebus SV dan cadangan  ${}_tV_x$  untuk tertanggung laki-laki usia masuk  $x_0 = 35$  tahun (SA = Rp 1.000.000,  $i = 6\%$ ).

### A/E Ratio dan Stress Test Cadangan

Tabel 6 menyajikan statistik ringkasan A/E Ratio periode 2018-2022, beserta mean A/E per tahun yang diperoleh dari data TMPI 2023.

Tabel 6. Statistik A/E Ratio TMPI 2023

Gender	Rata-rata A/E 2018-2022	Minimum A/E	Maksimum A/E
Laki-Laki	0,9445	0,1040	2,5380
Perempuan	0,9634	0,1140	2,5020

Tabel 7 menyajikan rata-rata A/E seluruh usia per tahun, menunjukkan variasi antar-tahun yang signifikan.

Tabel 7. Rata-rata A/E Ratio seluruh usia per tahun (2018-2022)

Tahun	Mean A/E Laki-laki	Mean A/E Perempuan
2018	1,0173	1,0096
2019	1,0105	1,0515
2020	0,8400	0,8268
2021	0,8585	0,8721

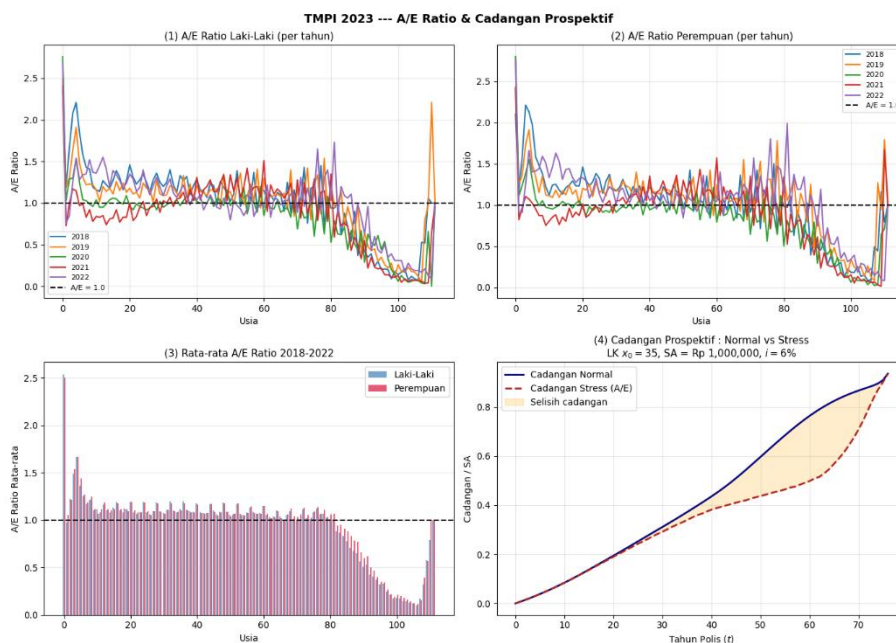
2022	0,9963	1,0571
Rata-rata 5 tahun	0,9445	0,9634

A/E Ratio usia 0 tercatat: 2018 (LK=2,35; PR=2,10), 2019 (LK=2,49; PR=2,43), 2020 (LK=2,76; PR=2,80), 2021 (LK=2,41; PR=2,42), dan 2022 (LK=2,68; PR=2,76) nilai tinggi terjadi di seluruh tahun pengamatan. Tabel 8 menyajikan hasil *stress test* cadangan berbasis rata-rata A/E historis.

Tabel 8. Perbandingan cadangan normal vs. *stress test* A/E, laki-laki  $x_0 = 35$  tahun (SA = Rp 1.000.000)

$t$	$t V_x$ Normal (Rp)	$V_{stress}$ (Rp)	$\Delta V$ (Rp)	$\Delta$ (%)
1	7.029,49	7.078,43	+49	+0,70
5	38.266,26	38.323,19	+57	+0,15
10	84.434,27	84.024,77	-410	-0,48
15	137.685,27	135.966,05	-1.719,21	-1,25
20	194.318,12	190.076,08	-4.242,04	-2,18
25	252.471,98	242.622,98	-9.849,01	-3,90
29	299.512,03	282.836,23	-16.675,80	-5,57
$P_x^{stress} = \text{Rp } 8.604,07$ (+2,91% dari normal Rp 8.360,86).				

Distribusi A/E Ratio seluruh usia dan perbandingan cadangan normal vs. *stress* disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Evaluasi A/E Ratio TMPI 2023: (1) A/E Ratio laki-laki per tahun, (2) A/E Ratio perempuan per tahun, (3) rata-rata A/E Ratio 2018-2022, dan (4) cadangan normal vs. *stress test* laki-laki  $x_0 = 35$

## Diskusi

### Profil Mortalitas dan Ketimpangan Gender

Profil mortalitas TMPI 2023 menunjukkan pola khas populasi berkembang berpendapatan menengah: penurunan tajam  $S(x)$  pada usia 0-5 tahun, fase relatif stabil hingga usia 40 tahun, kemudian penurunan eksponensial pada usia lanjut (Gambar 1). Kelebihan mortalitas neonatal laki-laki sebesar 24% ( $q_0^{LK} = 0,009791$  vs.  $q_0^{PR} = 0,007880$ ) konsisten dengan pola yang teridentifikasi dalam kajian mortalitas klinis di Indonesia (Azizah et al., 2023), dan mendukung temuan Putra (2025) bahwa profil mortalitas Indonesia mengikuti pola Gompertz secara konsisten pada kelompok usia dewasa sesuai pula dengan kerangka analitis standar. Divergensi kurva survival yang melebar pada usia lanjut (selisih er 100.000 kelahiran pada usia 65 tahun) dan selisih harapan hidup 4,63 tahun antara perempuan ( $e_0 = 78,37$  tahun) dan laki-laki ( $e_0 = 73,74$  tahun) sejalan dengan tren regional di Asia Tenggara. Kontribusi temuan ini terletak pada kuantifikasi profil mortalitas per gender secara lengkap menggunakan TMPI 2023 sesuatu yang belum dilakukan oleh (Widhiatmoko, 2024) yang hanya mencakup laki-laki, maupun Putra (2025) yang berfokus pada estimasi parameter Gompertz tanpa merambah ke dimensi valuasi aktuarial.

### Implikasi Valuasi Anuitas dan Asuransi Jiwa

Konsistensi selisih  $\ddot{a}_x - \bar{a}_x \approx 0,500$  di seluruh usia dan kedua gender memvalidasi pendekatan UDD yang menghasilkan aproksimasi  $\ddot{a}_x \approx \bar{a}_x - 1/2$ , sesuai dengan Siswono et al. (2021) dan Dickson et al. (2020). Nilai  $\ddot{a}_x$  perempuan yang lebih tinggi pada semua usia mencerminkan probabilitas hidup  ${}_k p_x^{PR} > {}_k p_x^{LK}$  yang secara kumulatif memperbesar total nilai diskonto pembayaran anuitas. Verifikasi relasi fundamental  $A_x + d\ddot{a}_x = 1,0$  pada presisi  $10^{-8}$  membuktikan konsistensi komputasi sesuai standar kualitas aktuarial (Lestari and Dzakiya, 2023). Rasio  $\bar{A}_x/A_x = i/\delta = 1,0297$  yang seragam di seluruh usia bermakna manfaat kontinu memiliki EPV sekitar 2,97% lebih tinggi dibanding model diskrit. Berbeda dengan Siswono et al. (2021) yang membatasi kajian pada anuitas berjangka menggunakan tabel abridged, penelitian ini menyajikan anuitas seumur hidup (diskrit dan kontinu) untuk seluruh rentang usia berbasis TMPI 2023 yang lebih komprehensif.

### Amplifikasi Selisih Premi antar Gender

Profil mortalitas TMPI 2023 menunjukkan pola khas populasi berkembang berpendapatan menengah: penurunan tajam  $S(x)$  pada usia 0-5 tahun, fase relatif stabil hingga usia 40 tahun, kemudian penurunan eksponensial pada usia lanjut (Gambar 1). Kelebihan mortalitas neonatal laki-laki sebesar 24%

### Dinamika Cadangan dan Nilai Tebus

Pada tahun polis pertama ( $t = 0$ ), nilai tebus hanya 50% cadangan (Rp 64.348,92 dari Rp 128.697,84) karena  $\alpha = 0,5$  mencerminkan potongan biaya akuisisi dan administrasi awal. Pada  $t = 10$ , nilai tebus mencapai 95,45% cadangan (Rp 193.071,13), dan selisih terus menyempit seiring durasi. Pola pertumbuhan cadangan yang konsisten mencerminkan akumulasi tabungan aktuarial yang

diperlukan untuk menutupi peningkatan risiko mortalitas, selaras dengan Jabbarudin & Sudding (2025) dan Ramadhan & Lestari (2025). Desain faktor pengurang  $\alpha(t)$  yang meningkat secara monoton melindungi pemegang polis jangka panjang sekaligus mencegah penebusan prematur di tahun-tahun awal. Kontribusi praktis dari formulasi ini adalah penyediaan acuan kuantitatif nilai tebus yang dapat langsung dikalibrasi terhadap pengalaman portofolio masing-masing perusahaan, mengisi celah yang tidak dibahas oleh Jabbarudin & Sudding (2025) dan Rahmawati & Martadona (2024).

### **Interpretasi A/E Ratio: Longevity Risk dan Excess Mortality Neonatal**

Rata-rata A/E Ratio lima tahun 2018-2022 sebesar 0,9445 (laki-laki) dan 0,9634 (perempuan) mengindikasikan bahwa secara agregat kematian aktual berada 5-6% di bawah proyeksi TMPI, menandakan *longevity risk*: populasi Indonesia cenderung hidup lebih lama dari ekspektasi tabel mortalitas (Utomo, 2021; Villegas et al., 2018). Penting dicatat bahwa klaim agregat ini tidak berlaku seragam di setiap tahun data Tabel 7 menunjukkan bahwa pada 2018 dan 2019, mean A/E justru sedikit di atas 1,0 untuk kedua gender (2018: LK=1,0173; PR=1,0096), sehingga pernyataan “rata-rata A/E < 1” harus dipahami dalam konteks lima tahun secara keseluruhan, bukan masing-masing tahun.

Tiga pola kritis teridentifikasi dari distribusi A/E Ratio. A/E usia neonatal (0-4 tahun) tinggi di seluruh tahun pengamatan, dengan nilai usia 0 bervariasi dari 2,35 (2018, LK) hingga 2,76 (2020, LK) kematian bayi aktual jauh melampaui ekspektasi TMPI, kemungkinan mencerminkan tantangan akses layanan kesehatan neonatal yang belum sepenuhnya terakomodasi dalam basis data BPJS. Pada 2020 dan 2021 (periode pandemi COVID-19), mean A/E seluruh usia turun signifikan (2020: LK=0,840; PR=0,827), kemudian pada usia 50-70 tahun tahun 2021 menunjukkan A/E yang lebih tinggi dari rata-rata, sedangkan 2022 menunjukkan normalisasi. Sementara itu, di usia produktif (25-55 tahun), A/E Ratio mendekati 1,0 dengan variasi terkendali, mengindikasikan TMPI relatif akurat memproyeksikan mortalitas segmen ini. Temuan ini memperluas kajian Widhiatmoko (2024) yang hanya memodelkan mortalitas stokastik tanpa menyentuh aspek validasi empiris berbasis A/E, dan mengonfirmasi urgensi *experience study* berkala sebagaimana direkomendasikan Imani & Hikmah (2022) serta Hunt & Blake (2021). Kontribusi utama analisis A/E ini adalah penyediaan bukti empiris pertama tentang pola mortalitas aktual versus TMPI 2023 selama 2018-2022, yang dapat langsung digunakan sebagai input kalibrasi portofolio oleh praktisi aktuaria

### **Implikasi Stress Test terhadap Solvabilitas**

Premi skenario stress (Rp 8.604,07) lebih tinggi 2,91% dari skenario normal. Pola  $\Delta V$  yang berubah tanda positif di  $t = 1-5$  kemudian negatif dan membesar hingga -5,57% pada  $t = 29$  dapat dijelaskan melalui Persamaan (13): rata-rata A/E < 1 mereduksi  $q_x$  pada sebagian besar usia sehingga  ${}_k p_x$  lebih tinggi, memperbesar  $\ddot{a}_{x+t}$ , dan menurunkan  ${}_t V_x$ . Jika pengalaman mortalitas aktual mengikuti pola historis (A/E < 1), cadangan yang dihitung menggunakan TMPI asli cenderung *over-reserved*, mengurangi efisiensi modal perusahaan. Sebaliknya, pada kelompok usia neonatal dengan A/E > 2,5, penggunaan TMPI tanpa penyesuaian berpotensi menghasilkan cadangan *under-reserved*, mengancam kemampuan memenuhi klaim. Implikasi ini relevan untuk kerangka ORSA (*Own Risk*

and Solvency Assessment) dan konsisten dengan rekomendasi pemodelan mortalitas stokastik (Hunt & Blake, 2021; Villegas et al., 2018). Hasil *stress test* ini menjadi kontribusi praktis yang dapat langsung digunakan regulator maupun aktuaris internal perusahaan sebagai dasar penetapan margin solvabilitas yang lebih realistis, sesuatu yang tidak tersedia dari penelitian-penelitian valuasi sebelumnya yang hanya menggunakan tabel mortalitas tanpa validasi A/E.

## KESIMPULAN

Analisis terintegrasi TMPI 2023 menunjukkan bahwa perbedaan mortalitas antar gender bukan sekadar angka statistik, melainkan berdampak nyata pada seluruh rantai valuasi aktuarial. Perempuan yang memiliki harapan hidup  $e_0 = 78,37$  tahun lebih panjang 4,63 tahun dibanding laki-laki ( $e_0 = 73,74$  tahun) secara sistematis menghasilkan nilai anuitas yang lebih besar dan EPV asuransi jiwa yang lebih rendah, sehingga premi bersih perempuan usia 35 tahun (Rp 6.818,78) tercatat 22,6% di bawah laki-laki (Rp 8.360,86). Selisih ini mencerminkan akumulasi dari dua komponen yang bergerak bersamaan pembilang ( $A_x$ ) lebih kecil sekaligus penyebut ( $\ddot{a}_x$ ) lebih besar dan memiliki implikasi langsung pada keadilan penetapan tarif premi di industri asuransi jiwa Indonesia.

Evaluasi kualitas TMPI 2023 melalui A/E Ratio 2018-2022 mengungkap gambaran yang tidak seragam. Secara agregat, rata-rata A/E lima tahun berada di bawah 1 untuk kedua gender (laki-laki 0,9445; perempuan 0,9634), mengindikasikan bahwa populasi Indonesia cenderung hidup lebih lama dari proyeksi tabel sebuah sinyal *longevity risk* yang perlu diantisipasi dalam pengelolaan kewajiban jangka panjang. Di sisi lain, kelompok usia neonatal justru menunjukkan A/E yang jauh di atas 2,0 di seluruh tahun pengamatan, dengan puncak pada 2020 untuk kedua gender (LK=2,76; PR=2,80), menandakan *excess mortality* bayi yang belum sepenuhnya terakomodasi dalam basis data TMPI 2023. Dua realitas yang berlawanan ini menegaskan perlunya kalibrasi portofolio internal yang mempertimbangkan heterogenitas risiko antar kelompok usia.

*Stress test* berbasis A/E menunjukkan bahwa deviasi cadangan tumbuh secara monoton seiring durasi polis dan mencapai -5,57% pada tahun polis ke-29, mengonfirmasi bahwa penggunaan TMPI 2023 tanpa penyesuaian pengalaman aktual berpotensi menghasilkan cadangan yang terlalu konservatif dalam jangka panjang, namun justru kurang memadai pada segmen usia dini. Atas dasar temuan ini, industri asuransi jiwa Indonesia disarankan untuk mengadopsi TMPI 2023 sebagai pengganti TMI IV disertai *experience study* berbasis A/E Ratio secara berkala, minimal setiap dua tahun, serta mengintegrasikan *stress test* mortalitas dalam kerangka ORSA (*Own Risk and Solvency Assessment*). Penelitian lanjutan ke arah produk *multiple decrement* (Lissa & Putri, 2024), pension (Izzati & Kartikasari, 2022), atau *unit-link* (Lissa & Putri, 2024) dengan basis TMPI 2023 dan pendekatan mortalitas stokastik (Villegas et al., 2018) tetap terbuka sebagai agenda pengembangan berikutnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada BPJS Kesehatan atas publikasi Tabel Mortalitas Penduduk Indonesia (TMPI) 2023 yang menjadi sumber data utama dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan atas dukungan akademik selama proses penelitian berlangsung.

## REFERENSI

- Azizah, N., Suyitno, & Hayati, M. N. (2023). Pemodelan Laju Kematian Pasien Covid-19 di RSUD Abdul Wahab Sjahranie Samarinda menggunakan Model Regresi Weibull. *Journal of Mathematics, Computations, and Statistics*. <https://doi.org/10.35580/jmathcos.v6i1.36379>
- Dickson, D. C. M., Hardy, M. R., & Waters, H. R. (2020). *Actuarial Mathematics for Life Contingent Risks* (3rd edition). Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/9781107044074>
- Hermawan, T., Nurrohmah, D., & Jannah, I. F. (2019). Estimasi Fungsi Survival dan Fungsi Hazard Kumulatif Pada Data Survival Penderita Multiple Myeloma Serta Faktor-faktor yang Mempengaruhi Waktu Survivalnya. *Jurnal Intersections*. <https://jurnal.ucy.ac.id/index.php/intersections>
- Hunt, A., & Blake, D. (2021). On the structure and classification of mortality models. *North American Actuarial Journal*, 25(S1), S215-S234. <https://doi.org/10.1080/10920277.2019.1649156>
- Imani, A. A., & Hikmah, Y. (2022). Experience Study: Effect of Underwriting Methods on Mortality Rate for Life Insurance Product at PT. ABC (2015-2020 Period). *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 16(1), 31-40. <https://doi.org/10.30598/barekengvol16iss1pp031-040>
- Izzati, M. D., & Kartikasari, M. D. (2022). Implementasi Metode Perhitungan Aktuaria Program Dana Pensiun Menggunakan Flask. *Jambura Journal of Mathematics*, 4(2), 247-264. <https://doi.org/10.34312/jjom.v4i2.12954>
- Jabbarudin, A., & Sudding, F. (2025). Premium Reserves Calculation on Whole Life Insurance Using The Fackler Method. *Journal of Actuarial, Finance and Risk Management (JAFRM)*, 4(1), 23-31. <https://e-journal.president.ac.id/index.php/JAFRM/article/view/6247/2329>
- Kamila, I., Andriyati, A., & Rohaeti, E. (2024). A comparison benefit reserves of an n-year term life insurance between using the vasicek model and cox-ingersoll-ross model. *DJM*, 7(1), 1-7. <https://doi.org/10.24042/djm.v7i1.20607>
- Lestari, F., & Dzakiya, A. (2023). Perbandingan estimasi premi asuransi jiwa Joint Life dengan menggunakan asumsi kebebasan mortalita dan metode kopula. *Jurnal Matematika Integratif*, 19(2), 201-212. <https://doi.org/10.24198/jmi.v19.n2.49447.201-212>
- Lissa, H., & Putri, E. R. M. (2024). Model Investasi Polis Asuransi Jiwa Berbonus Tipe Dwiguna dengan American Put Option. *Epsilon: Jurnal Matematika Murni Dan Terapan*, 18(1), 109-120. <https://doi.org/10.20527/epsilon.v18i1.12625>

- Putra, D. A., Fitriyati, N., & Mahmudi, M. (2019). Fit of the 2011 Indonesian Mortality Table to Gompertz's and Makeham's Law using Maximum Likelihood Estimation. *InPrime: Indonesian Journal of Pure and Applied Mathematics*, 1(2), 68-76. <https://doi.org/10.15408/inprime.v1i2.13276>
- Putra, M. R. A. (2025). Estimation of Gompertz Mortality Parameter Models on Indonesian Population Mortality Table 2023. *Cauchy: Jurnal Matematika Murni Dan Aplikasi*. <https://doi.org/10.18860/cauchy.v10i2.33319>
- Putri, N., Muchlian, M., & Yurniati, Y. (2023). Perbandingan Nilai Cadangan Premi Tahunan Asuransi Jiwa Menggunakan Metode Fackler Berdasarkan Tingkat Suku Bunga. *Jurnal AKTUARIA*, 2(1), 30-39. <https://www.ojs.unitas-pdg.ac.id/index.php/aktuarial/article/view/876>
- Rahmawati, Y., & Martadona, I. (2024). Perhitungan Cadangan Premi Asuransi Jiwa dengan Metode Gross Premium Valuation (GPV). *Jurnal AKTUARIA*, 3(1), 1-8. <https://www.ojs.unitas-pdg.ac.id/index.php/aktuarial/article/view/989>
- Ramadhan, R., & Lestari, F. (2025). Perhitungan Cadangan Premi Asuransi Jiwa Dwiguna Menggunakan Metode Premium Sufficiency dengan Asumsi Usia Pecahan. *KalbiScientia: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 12(1), 53-58. <https://doi.org/10.53008/kalbiscientia.v12i01.4522>
- Siswono, G. O., Azmi, U., & Syaifudin, W. H. (2021). Mortality Projection on Indonesia's Abridged Life Table to Determine the EPV of Term Annuity. *Jurnal Varian*, 4(2), 159-168. <https://doi.org/10.30812/varian.v4i2.1094>
- Utomo, H. (2021). Perbandingan Tabel Mortalita Indonesia dan Tabel Mortalita CSO Menggunakan Uji Mann-Whitney dan Uji Kruskal-Wallis. *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 6(3), 1210-1221. <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v6i3.2364>
- Villegas, A. M., Kaishev, V. K., & Millossovich, P. (2018). StMoMo: An R package for stochastic mortality modelling. *Journal of Statistical Software*, 84(3), 1-38. <https://doi.org/10.18637/jss.v084.i03>
- Widhiatmoko, F. (2024). Estimasi Peluang Mortalitas Stokastik Model PLAT Pada Penduduk Laki-Laki Indonesia dengan Generalized Non-Linear Models. *BASIS*, 3(1), 17-25. <https://doi.org/10.30872/basis.v3i1.1218>