RESEARCH ARTICLE • OPEN ACCESS

Analisis Metode *Projected Unit Credit* dan *Entry Age Normal* dalam Perhitungan Aktuaria Dana Pensiun dengan Suku Bunga Konstan dan Model *Vasicek*

Nurqalbu Abd. Mutalip dan Mujiati Dwi Kartikasari

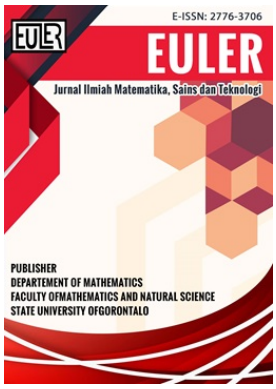
Volume 13, Issue 1, Pages 68–76, April 2025

Diterima 28 Februari 2025, Direvisi 13 April 2025, Disetujui 18 April 2025, Diterbitkan 21 April 2025

To Cite this Article : N. A. Mutalip dan M. D. Kartikasari,"Analisis Metode *Projected Unit Credit* dan *Entry Age Normal* dalam Perhitungan Aktuaria Dana Pensiun dengan Suku Bunga Konstan dan Model *Vasicek*", *Euler J. Ilm. Mat. Sains dan Teknol.*, vol. 13, no. 1, pp. 68–76, 2025, *https://doi.org/10.37905/euler.v13i1.31077*

© 2025 by author(s)

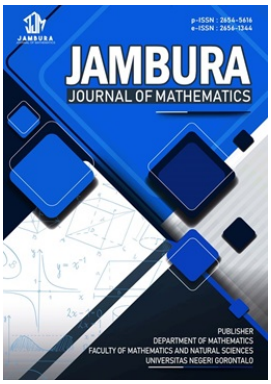
JOURNAL INFO • EULER : JURNAL ILMIAH MATEMATIKA, SAINS DAN TEKNOLOGI



Homepage	:	http://ejurnal.ung.ac.id/index.php/euler/index
Journal Abbreviation	:	Euler J. Ilm. Mat. Sains dan Teknol.
Frequency	:	Three times a year
Publication Language	:	English (preferable), Indonesia
DOI	:	https://doi.org/10.37905/euler
Online ISSN	:	2776-3706
License	:	Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
Publisher	:	Department of Mathematics, Universitas Negeri Gorontalo
Country	:	Indonesia
OAI Address	:	http://ejurnal.ung.ac.id/index.php/euler/oai
Google Scholar ID	:	QF_r-_gAAAAJ
Email	:	euler@ung.ac.id

JAMBURA JOURNAL • FIND OUR OTHER JOURNALS

Jambura Journal of Biomathematics



Jambura Journal of Mathematics

Jambura Journal of Mathematics Education

Jambura Journal of Probability and Statistics

Euler : Jurnal Ilmiah Matematika, Sains dan Teknologi, Volume 13, Issue 1, Pages 68–76, April 2025 *https://doi.org/10.37905/euler.v13i1.31077*

Research Article

Check for updates

Analisis Metode *Projected Unit Credit* dan *Entry Age Normal* dalam Perhitungan Aktuaria Dana Pensiun dengan Suku Bunga Konstan dan Model *Vasicek*

Nurqalbu Abd. Mutalip[1], **Mujiati Dwi Kartikasari**[1,*]

[1]*Program Studi Statistika, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia*

ARTICLE HISTORY
Diterima 28 Februari 2025
Direvisi 13 April 2025
Disetujui 18 April 2025
Diterbitkan 21 April 2025

KATA KUNCI
Dana Pensiun
Entry Age Normal
Projected Unit Credit
Suku Bunga *Vasicek*

KEYWORDS
Pension Fund
Entry Age Normal
Projected Unit Credit
Vasicek Interest Rates

ABSTRAK. *Perencanaan masa pensiun membutuhkan kesiapan finansial yang matang, sehingga dana pensiun menjadi elemen krusial dalam strategi keuangan jangka panjang. Salah satu aspek penting dalam pengelolaan dana pensiun adalah metode aktuaria yang digunakan untuk menghitung kewajiban dan iuran pensiun. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil perhitungan iuran normal dan kewajiban aktuaria dari dua metode aktuaria, yaitu Projected Unit Credit (PUC) dan Entry Age Normal (EAN), dengan menggunakan dua pendekatan suku bunga: suku bunga konstan dan suku bunga stokastik berbasis model Vasicek. Model Vasicek digunakan untuk menangkap dinamika fluktuasi suku bunga yang terjadi di pasar keuangan dan memberikan estimasi yang lebih realistis. Berdasarkan hasil estimasi parameter, diperoleh nilai suku bunga stokastik sebesar 7,113%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan model Vasicek menghasilkan kewajiban aktuaria yang lebih tinggi dibandingkan asumsi suku bunga konstan. Selain itu, metode EAN memberikan iuran akhir yang lebih rendah serta nilai kewajiban aktuaria yang lebih besar dibandingkan metode PUC, sehingga dinilai lebih menguntungkan bagi peserta pensiun. Temuan ini menekankan pentingnya mempertimbangkan dinamika suku bunga dalam valuasi aktuaria agar hasil perhitungan lebih akurat dan relevan dalam kondisi ekonomi yang terus berubah.*

ABSTRACT. *Retirement planning requires strong financial preparedness, making pension funds a crucial component of long-term financial strategies. One of the key aspects in managing pension funds is the actuarial method used to calculate pension liabilities and contributions. This study aims to compare the normal cost and actuarial liability calculations between two actuarial methods, namely Projected Unit Credit (PUC) and Entry Age Normal (EAN), under two interest rate assumptions: a constant interest rate and a stochastic interest rate modelled using the Vasicek model. The Vasicek model is applied to capture the dynamic fluctuations in interest rates, providing more realistic estimates. Based on parameter estimation, the stochastic interest rate obtained through the Vasicek model is 7.113%. The results show that applying the Vasicek model leads to higher actuarial liabilities compared to the constant interest rate approach. Furthermore, the EAN method results in lower final contributions and higher actuarial liabilities compared to the PUC method, making it more favourable for pension participants. These findings highlight the importance of considering interest rate dynamics in pension valuation to enhance the accuracy and relevance of actuarial calculations in an ever-changing economic environment.*

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonComercial 4.0 International License. Editorial of EULER: Department of Mathematics, Universitas Negeri Gorontalo, Jln. Prof. Dr. Ing. B. J. Habibie, Bone Bolango 96554, Indonesia.

1. Pendahuluan

Seiring bertambahnya usia, kinerja karyawan menurun, yang dapat mendorong mereka untuk pensiun. Setelah pensiun, karyawan tidak lagi memiliki pendapatan, meskipun biaya hidup tetap tinggi, baik untuk diri sendiri maupun keluarga. Salah satu langkah preventif untuk mengatasi masalah ini adalah dengan mengikuti program dana pensiun, yang dirancang untuk meningkatkan kesejahteraan peserta melalui manfaat finansial [1]. Faktor-faktor yang menyebabkan pensiun meliputi usia, pengunduran diri, kecacatan, dan kematian saat masih bekerja. Dalam sistem dana pensiun, metode perhitungan aktuaria memainkan peran penting untuk memperkirakan iuran normal dan kewajiban aktuaria (*actuarial liability*) secara tepat [2]. Iuran normal merupakan kontribusi berkala yang dibayarkan oleh peserta selama masa kerja, sedangkan kewajiban aktuaria mencerminkan total manfaat yang dijanjikan kepada peserta hingga masa pensiun [3]. Dalam praktiknya, metode aktuaria diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu *Accrued Benefit Cost Method* dan *Projected Benefit Cost Method* [2].

Accrued Benefit Cost Method menghitung kewajiban berdasarkan manfaat yang telah diakumulasi oleh peserta hingga titik waktu tertentu, seperti pada metode *Entry Age Normal* (EAN), yang memperkirakan biaya pensiun sepanjang masa kerja peserta. Di sisi lain, *Projected Benefit Cost Method* memperhitungkan manfa-

*Penulis Korespondensi.

Email : *mujiatikartikasari@uii.ac.id* (M. D. Kartikasari)
Homepage : http://ejurnal.ung.ac.id/index.php/euler/index / E-ISSN : 2776-3706
© 2025 by the Author(s).

at pensiun masa depan yang diantisipasi, salah satunya tercermin dalam metode *Projected Unit Credit* (PUC). Kedua pendekatan ini menawarkan sudut pandang berbeda dalam menghitung biaya pensiun dan kewajiban yang harus dipenuhi oleh pemberi kerja. Dalam metode PUC, kewajiban dihitung berdasarkan proyeksi manfaat pensiun yang akan diterima peserta sesuai masa kerjanya saat ini, dengan mempertimbangkan peningkatan manfaat di masa depan. Sementara itu, metode EAN membagi kewajiban aktuaria secara merata sepanjang masa kerja, sehingga menghasilkan kontribusi yang lebih stabil setiap tahunnya. Secara umum, metode EAN dianggap lebih adil karena iuran dibayarkan secara tetap, meskipun menghasilkan kewajiban yang lebih tinggi dibandingkan metode lainnya [4].

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengkaji penggunaan metode PUC dan EAN dalam menghitung aktuaria dana pensiun. Permana dkk. [4] menerapkan metode PUC dan EAN pada Asuransi Dana Pensiun di PT. Inhutani I Cabang Kabupaten Berau. Islam dkk. [5] melakukan perhitungan pembiayaan dana pensiun menggunakan metode Attained Age Normal dan PUC di PT. Taspen (Persero) Kantor Cabang Utama Semarang. Andriananda dan Maulana [6] mengkaji metode EAN dan PUC untuk menghitung kewajiban aktuaria pegawai pemerintah dengan perjanjian kerja. Rembet dkk. [7] membandingkan metode PUC dengan Individual Level Premium dalam pembiayaan dana pensiun. Izzati dan Kartikasari [8] mengimplementasikan metode Attained Age Normal, EAN, dan Individual Level Premium dalam perhitungan pembiayaan dana pensiun.

Sebagian besar penelitian sebelumnya menggunakan asumsi suku bunga konstan dalam periode tertentu. Namun, asumsi ini kurang merepresentasikan kondisi nyata, mengingat program dana pensiun bersifat jangka panjang dan sangat dipengaruhi oleh dinamika suku bunga. Dalam praktiknya, suku bunga bersifat fluktuatif dan dapat berubah seiring dengan perkembangan kondisi ekonomi. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini menerapkan pendekatan yang lebih realistis dengan memasukkan model stokastik dalam perhitungan aktuaria. Salah satu model stokastik yang banyak digunakan adalah model *Vasicek* [9]. Model *Vasicek* telah diimplementasikan secara luas di berbagai bidang. Dalam bidang asuransi, Sipayung [10] menerapkan suku bunga skotastik model *Vasicek* dalam menghitung premi ansuransi *joint life*. Dalam bidang keuangan, Orlando dkk. [11] memanfaatkan model ini untuk meramalkan suku bunga. Adapun dalam bidang perbankan, Tsatskis [12] mengadaptasi model *Vasicek* untuk menganalisis kerugian sistemik dalam jaringan perbankan. Dalam konteks penelitian ini, model *Vasicek* digunakan untuk mensimulasikan pergerakan suku bunga secara dinamis dari waktu ke waktu guna meningkatkan akurasi perhitungan aktuaria dana pensiun.

Selanjutnya, penelitian ini mengadopsi dua pendekatan perhitungan aktuaria, yaitu *Accrued Benefit Cost Method* dan *Projected Benefit Cost Method*, masing-masing direpresentasikan oleh metode EAN dan PUC. Kedua metode ini diterapkan dalam dua skenario asumsi suku bunga, yaitu suku bunga konstan dan suku bunga stokastik menggunakan model *Vasicek*. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan perhitungan kewajiban aktuaria dan iuran normal berdasarkan kombinasi metode aktuaria dan model suku bunga. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap praktik aktuaria yang lebih akurat dan adaptif, sehingga meningkatkan efisiensi serta manfaat program dana pensiun bagi peserta maupun pengelolanya.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa langkah utama. Langkah pertama mencakup pengumpulan data simulasi peserta dana pensiun, yang meliputi tingkat suku bunga, jenis kelamin, usia saat mendaftar, usia pensiun, gaji pokok, serta persentase gaji yang digunakan sebagai dasar iuran pensiun. Selanjutnya, data tingkat suku bunga tahunan dari Bank Indonesia periode 2012–2023 dihimpun sebagai basis estimasi dalam penerapan model suku bunga stokastik *Vasicek*. Setelah itu, dilakukan proses estimasi parameter untuk menyusun model suku bunga *Vasicek* yang menghasilkan suku bunga dalam dua skenario, yaitu konstan dan stokastik.

Tingkat suku bunga yang diperoleh selanjutnya digunakan dalam menghitung fungsi gaji serta *Present Value of Future Benefit* (PVFB), dengan memperhatikan unsur-unsur aktuaria seperti manfaat pensiun, faktor diskonto, anuitas, dan peluang hidup peserta. Langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan atas iuran normal dan kewajiban aktuaria menggunakan dua metode, yaitu PUC dan EAN, dengan mempertimbangkan dua pendekatan suku bunga yang berbeda. Hasil dari kedua metode tersebut kemudian dibandingkan untuk mengidentifikasi pendekatan mana yang menghasilkan akumulasi iuran dan kewajiban aktuaria yang lebih rendah.

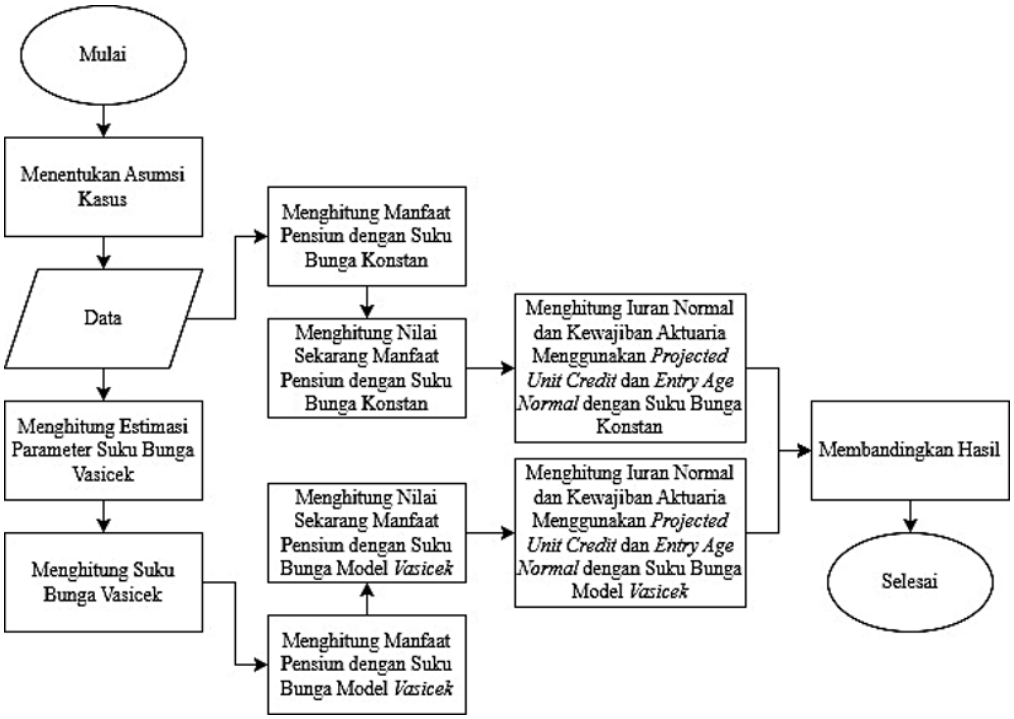
Pada tahap akhir, penelitian ini bertujuan untuk menilai metode mana yang lebih efisien dan tepat dari perspektif peserta serta pengelola dana pensiun, guna memperoleh strategi perhitungan yang optimal. Rincian variabel yang digunakan dalam penelitian ini dijabarkan pada Tabel 1, sementara alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Rincian variabel penelitian

Variabel	Simbol	Keterangan
Tingkat Suku Bunga	i	Tingkat suku bunga yang digunakan dalam proses perhitungan aktuaria dana pensiun.
Jenis Kelamin		Jenis kelamin dari peserta yang menjadi bagian dari program dana pensiun.
Usia Terdaftar sebagai Peserta Dana Pensiun	e	Usia saat peserta pertama kali mendaftar dalam program dana pensiun.
Usia Pensiun	r	Usia saat peserta pensiun dari program dan mulai menerima manfaat pensiun.
Gaji Pokok	s_x	Jumlah penghasilan tetap yang digunakan sebagai dasar dalam perhitungan iuran dana pensiun.
Proporsi Gaji untuk Dana Pensiun	k	Persentase dari gaji yang dialokasikan untuk iuran dana pensiun hingga peserta mencapai usia pensiun.

2.1. *Tabel Mortalitas dan Simbol Komutasi*

Penelitian ini menggunakan Tabel Mortalitas Indonesia (TMI IV) tahun 2019 sebagai dasar data kematian, yang menyajikan informasi tingkat kematian berdasarkan kelompok usia. Untuk menyederhanakan proses perhitungan aktuaria, digunakan



Gambar 1. *Flowchart* penelitian

simbol komutasi yang mengacu pada data dalam tabel mortalitas [13, 14].

Jumlah individu yang meninggal pada usia x hingga $x+1$ dinyatakan sebagai:

$$d_x = l_x - l_{x+1}, \tag{1}$$

dengan d_x sebagai jumlah kematian, l_x jumlah individu yang hidup tepat pada usia x, dan l_{x+1} jumlah individu yang bertahan hingga usia $x+1$.

Untuk menyederhanakan perhitungan aktuaria, digunakan simbol komutasi yang mencakup:

1. Simbol D_x:

$$D_x = v^x l_x, \tag{2}$$

dengan $v = \frac{1}{1+i} = (1+i)^{-1}$, dan i adalah tingkat suku bunga tahunan.

2. Simbol N_x:

$$N_x = D_x + D_{x+1} + D_{x+2} + D_{x+3} + \cdots + D_w = \sum_{i=0}^{w} D_{x+i}, \tag{3}$$

dengan w adalah usia maksimum yang dapat dicapai.

2.2. Fungsi Dasar Aktuaria

Dalam perhitungan dana pensiun, digunakan berbagai fungsi dasar aktuaria. Fungsi-fungsi ini meliputi fungsi survival, fungsi bunga, fungsi gaji, dan fungsi manfaat pensiun. Seluruh fungsi tersebut penting dalam menentukan nilai kewajiban aktuaria dalam skema pensiun. Beberapa fungsi dasar ini telah dibahas dalam literatur sebelumnya, fungsi survival mengacu pada [13], fungsi bunga pada [15], fungsi gaji pada [16], dan fungsi manfaat pada [14].

2.3. Fungsi Survival

Fungsi ini menunjukkan probabilitas seorang individu tetap bekerja hingga mencapai usia pensiun. Rumus dari fungsi ini adalah:

$${}^{o}_{n}p_x = \frac{l_{x+n}}{l_x}. \tag{4}$$

2.4. Fungsi Diskonto

Fungsi diskonto digunakan untuk menghitung nilai sekarang dari pembayaran di masa depan sebesar satu unit. Jika bunga konstan digunakan, maka nilai sekarang dari pembayaran satu unit yang akan diterima n tahun mendatang dinyatakan sebagai:

$$v^n = \frac{1}{(1+i)^n}, \tag{5}$$

dengan i adalah tingkat suku bunga tahunan.

2.5. Fungsi Gaji

Fungsi ini bertujuan memperkirakan jumlah gaji peserta di masa depan. Gaji tahunan peserta saat usia x dinyatakan sebagai S_x. Bila terjadi kenaikan gaji sebesar s setiap tahun, maka gaji peserta pada usia $x+t$ dihitung dengan rumus:

$$S_{x+t} = S_x (1+s)^t. \tag{6}$$

2.6. Fungsi Manfaat

Fungsi manfaat digunakan untuk menentukan besarnya manfaat pensiun yang akan diterima oleh peserta setelah memasuki usia pensiun. Besarnya manfaat ini dilambangkan sebagai B_r. Dalam penelitian ini, nilai manfaat pensiun dihitung berdasarkan gaji terakhir peserta dengan rumus sebagai berikut:

$$B_r = k\,(r-e)\,S_{r-1}, \tag{7}$$

di mana k merupakan persentase gaji yang digunakan dalam perhitungan manfaat dan S_{r-1} adalah gaji terakhir peserta sebelum pensiun pada usia $r-1$, yang dihitung dengan rumus:

$$S_{r-1} = (\,1+s\,)^{r-e-1} s_x, \tag{8}$$

dengan:

S_{r-1}	:	gaji terakhir sebelum pension,
s	:	tingkat kenaikan gaji tahunan,
s_x	:	gaji saat peserta berusia x.

Berdasarkan nilai manfaat pensiun yang diperoleh, kemudian dihitung *Present Value of Future Benefit* (PVFB) atau nilai sekarang dari manfaat pensiun. PVFB merupakan nilai saat ini dari manfaat pensiun yang akan dibayarkan kepada peserta hingga meninggal dunia. Perhitungannya dituliskan sebagai:

$$r(PVFB)_x = B_r \ddot{a}_r v^{r-x}\ {}_{r-x}p_x. \tag{9}$$

Selanjutnya, untuk mengetahui harapan hidup peserta hingga usia pensiun r, digunakan nilai anuitas awal seumur hidup yang dilambangkan sebagai $\ddot{a}_r$, dengan rumus:

$$\ddot{a}_r = \frac{N_r}{D_r}. \tag{10}$$

2.7. Iuran Normal

Iuran normal, yang juga disebut sebagai *normal cost* (NC), merupakan kontribusi yang dibayarkan oleh peserta kepada dana pensiun sesuai dengan pendekatan aktuaria yang diterapkan [3]. Dalam konteks perhitungan, iuran normal untuk peserta yang telah menjadi bagian dari program dana pensiun dan berusia antara x hingga sebelum pensiun pada usia r, dinyatakan dengan rumus:

$$n^r(NC)_x = b_r \ddot{a}_r v^{r-x}\, {}_{r-x}{}^{n}p_x,\ y \le x < r, \tag{11}$$

dengan b_r adalah besaran manfaat pensiun tahunan yang diterima saat mencapai usia pensiun.

Selanjutnya, total iuran normal yang dibayarkan oleh peserta sejak usia mulai bekerja e sampai usia pensiun r, dikenal dengan istilah sebagai *Present Value of Future Normal Cost* (PVFNC), dan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$n^r(PVFNC)_e = \sum_{t=e}^{r-1} (NC)_t v^{t-e}\, {}_{t-e}{}^{b}p_e. \tag{12}$$

Penelitian ini membahas dan membandingkan dua metode untuk menentukan nilai iuran normal dan kewajiban aktuaria, yaitu PUC dan EAN.

1. Metode *Projected Unit Credit* (PUC)
   Metode *Projected Unit Credit* (PUC) menghitung iuran normal dengan menggunakan formula berikut:

$$ {}_{n}^{PUC_r}(NC)_x = \frac{{}_{n}^{r}(PVFB)_x}{r-e}. \tag{13}$$

2. Metode *Entry Age Normal* (EAN)
   Metode EAN menghitung iuran normal dengan menggunakan formula berikut:

$$ {}_{n}^{EAN_r}(NC)_x = \frac{v^{x-e}\, {}_{x-e}{}^{n}p_e}{\frac{N_e-N_r}{D_e}}\, {}_{n}^{r}(PVFB)_x. \tag{14}$$

Pada metode EAN, perhitungan iuran normal tidak bergantung pada usia peserta saat perhitungan (x), tetapi hanya pada usia saat memasuki program dana pensiun (e) dan usia pensiun (r). Hal ini dapat dibuktikan melalui penurunan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 {}_{n}^{EAN_r}(NC)_x &= \frac{v^{x-e}\, {}_{x-e}{}^{n}p_e}{\frac{N_e-N_r}{D_e}}\, {}_{n}^{r}(PVFB)_x \\
&= v^{x-e} \times {}_{x-e}{}^{n}p_e \times B_r \ddot{a}_r v^{r-x}\ {}_{r-x}p_x \\
&= v^{x-e} \times \frac{l_{e+x-e}}{l_e} \times B_r \ddot{a_r} \times v^{r-x} \times \frac{l_{x+r-x}}{l_x} \\
&= (v^{x-e} \times v^{r-x}) \times \left(\frac{l_{e+x-e}}{l_e} \times \frac{l_{x+r-x}}{l_x}\right) \times B_r \ddot{a}_r \\
&= v^{r-e} \times \left(\frac{l_x}{l_e} \times \frac{l_r}{l_x}\right) \times B_r \ddot{a}_r \\
&= v^{r-e} \times \frac{l_r}{l_e} \times B_r \ddot{a}_r.
\end{aligned} \tag{15}$$

Guna mengetahui metode yang paling sesuai untuk digunakan dalam pembiayaan program pensiun oleh peserta, diperlukan perhitungan terhadap total akumulasi iuran normal. Nilai ini merepresentasikan keseluruhan iuran yang telah dibayarkan peserta mulai dari usia masuk (e) hingga mencapai usia pensiun (r). Adapun rumus perhitungannya disajikan sebagai berikut:

$$ {}_{n}^{r}(NA)_e = \sum_{x=e}^{r-1} \frac{{}_{b}^{r}(NC)_x}{v^{r-x}}. \tag{16}$$

2.8. Kewajiban Aktuaria

Kewajiban aktuaria, atau disebut juga dengan *actuarial liability* (AL), merupakan nilai yang harus dibayarkan oleh perusahaan dana pensiun kepada peserta sebagai bentuk hak atas manfaat pensiun. Dalam praktiknya, kewajiban aktuaria dihitung bagi peserta yang sudah terdaftar dalam dana pensiun, baik yang masih aktif bekerja (belum pensiun) maupun yang telah mencapai usia pensiun. Besarnya kewajiban aktuaria tergantung pada metode yang digunakan, yang dapat menghasilkan nilai kewajiban berbeda-beda. Dalam penelitian ini, perhitungan kewajiban aktuaria dilakukan dengan menggunakan dua pendekatan, yaitu PUC dan EAN, yang dijelaskan sebagai berikut.

1. Metode PUC
   Pada pendekatan PUC, kewajiban aktuaria dihitung menggunakan persamaan:

$$ {}_{x}^{PUC_r}(AL)_x = \frac{(x-e)}{(r-e)}\, {}_{x}^{r}(PVFB)_x. \tag{17}$$

2. Metode EAN
   Sementara itu, metode EAN menghitung kewajiban aktuaria berdasarkan rumus:

$$ {}_{v}^{EAN_r}(AL)_x = \left(\frac{\frac{N_e-N_x}{D_e}}{\frac{N_e-N_r}{D_e}}\right) {}_{c}^{r}(PVFB)_x. \tag{18}$$

2.9. Suku Bunga Stokastik Model Vasicek

Model *Vasicek* digunakan untuk memodelkan pergerakan suku bunga dengan mempertimbangkan dinamika historis, yang

dinyatakan melalui persamaan stokastik berikut:

$$dr(t) = k(\theta - r\,(t)\,dt + adW(t), \tag{19}$$

dengan:

$dr(t)$: laju perubahan tingkat suku bunga dalam suatu rentang waktu tertentu,
k : tingkat kecepatan suku bunga kembali ke nilai rata-ratanya (*mean reversion*),
θ : nilai rata-rata jangka panjang dari tingkat suku bunga,
λ : tingkat volatilitas suku bunga dalam periode waktu yang sangat singkat.

Model Vasicek merupakan turunan dari proses *Ornstein-Uhlenbeck* (OU) [17], yang dimanfaatkan untuk merepresentasikan variabel dengan kecenderungan kembali menuju nilai rata-rata jangka panjangnya. Selain itu, model ini berasumsi bahwa pergerakan suku bunga jangka pendek mengikuti dinamika sesuai dengan prinsip teori OU [18]. Bentuk matematis dari proses OU dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$dX\,(t) = -kX\,(t)\,dt + \sigma dW(t). \tag{20}$$

Dengan merujuk pada proses OU, solusi eksplisit dari model Vasicek dapat diperoleh melalui perkalian $X(t)$ dengan fungsi eksponensial e^{kt}, sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$r_t = e^{-kt}r\,(0) + \theta\left(1 - e^{-kt}\right) + \sigma e^{-kt}\int_0^t e^{ks}dW\,(s)\,. \tag{21}$$

Sebelum melakukan estimasi parameter, perlu ditentukan nilai perubahan waktu (Δt), yang didefinisikan sebagai

$$\Delta t = (t+1) - t. \tag{22}$$

Mengacu pada [19], disajikan hasil estimasi untuk parameter k (kecepatan *mean reversion*), θ (rata-rata jangka panjang suku bunga), dan σ (volatilitas suku bunga jangka pendek):

$$k = \frac{\kappa}{\left(n^2 - 2n + 1 - \sum_{t=1}^{n-1} r_t.\frac{1}{r_t}\right)\Delta t}, \tag{23}$$

dengan:

$$\kappa = n^2 - 2n + 1 + \sum_{t=1}^{n-1} r_{t+1}\sum_{t=1}^{n-1}\frac{1}{r_t} - \sum_{t=1}^{n-1} r_t\sum_{t=1}^{n-1}\frac{1}{r_t} - (n-1)\sum_{t=1}^{n-1}\frac{r_t+1}{r_t},$$

$$\theta = \frac{(n-1)\sum_{t=1}^{n-1} r_{t+1} - \sum_{t=1}^{n-1}\frac{r_{t+1}}{r_t}\sum_{t=1}^{n-1} r_t}{\tau}, \tag{24}$$

dengan:

$$\tau = n^2 - 2n + 1 + \sum_{t=1}^{n-1} r_{t+1}\sum_{t=1}^{n-1}\frac{1}{r_t} - \sum_{t=1}^{n-1} r_t\sum_{t=1}^{n-1}\frac{1}{r_t} - (n-1)\sum_{t=1}^{n-1}\frac{r_t+1}{r_t},$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-2}\sum_{t=1}^{n-1}\left(\frac{r_{t+1} - r_t}{\square t\sqrt{r_t}} - \frac{\theta}{\sqrt{r_t}} + k\sqrt{r_t}\right)^2}. \tag{25}$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Asumsi Kasus

Dalam penelitian ini, dilakukan simulasi perhitungan aktuaria menggunakan data peserta dana pensiun. Sampel yang digunakan adalah Pegawai Negeri Sipil (PNS) dengan jenis kelamin laki-laki pada golongan IV/b dan perempuan pada golongan IV/a. Kedua peserta diasumsikan terdaftar sebagai peserta dana pensiun pada usia 30 tahun ($e = 30$) dan mulai menerima manfaat pensiun pada usia 65 tahun ($r = 65$). Program dana pensiun yang diikuti menggunakan metode PUC dan EAN.

Gaji pokok bulanan peserta ditetapkan sebesar Rp4.748.500, sehingga dalam satu tahun total gaji (s_x) mencapai Rp56.982.000. Perhitungan aktuaria dilakukan pada usia peserta 35 tahun ($x = 35$). Beberapa asumsi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Suku bunga konstan ditetapkan sebesar 5,57%, mengacu pada data suku bunga Indonesia per Agustus 2023.
2. Perhitungan suku bunga stokastik didasarkan pada data historis BI Rate dari tahun 2012 hingga 2023.
3. Tabel Mortalitas Indonesia (TMI IV) 2019 digunakan sebagai acuan, mencakup kategori peserta laki-laki dan perempuan.
4. Persentase alokasi gaji (k) untuk manfaat pensiun ditetapkan sebesar 2,5%.

3.2. Perhitungan Aktuaria Dana Pensiun dengan Suku Bunga Konstan

3.2.1. Perhitungan Manfaat Pensiun

Perhitungan manfaat pensiun dilakukan menggunakan pers. (7), dengan mengacu pada suku bunga konstan sebesar 5,57% serta gaji pokok pada tahun pertama (s_x) senilai Rp 5.682.000. Nilai manfaat pensiun ditentukan berdasarkan asumsi kenaikan gaji terakhir untuk peserta laki-laki dan perempuan, yang dihtung berdasarkan pers. (8), sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S_{r-1} &= (1+s)^{r-e-1}s_x \\ S_{65-1} &= (1+5,75\%)^{65-30-1} \times 56.982.000 \\ S_{64} &= (1,0575)^{34} \times 56.982.000 \\ S_{64} &= 381.303.221,10. \end{aligned}$$

Selanjutnya, besaran manfaat pensiun yang akan diterima peserta dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} B_r &= k\,(r-e)\,S_{r-1} \\ B_{65} &= 2,5\%\,(65-30)\,S_{65-1} \\ B_{65} &= 2,5\%\,(65-30)\,S_{64} \\ B_{65} &= 2,5\% \times (65-30) \times 381.303.221,1 \\ B_{65} &= 0,875 \times 381.303.221,1 \\ B_{65} &= 333.640.318,40. \end{aligned}$$

Dengan demikian, jumlah keseluruhan manfaat pensiun yang diperoleh peserta, baik laki-laki maupun perempuan, pada usia pensiun 65 tahun adalah sebesar Rp 333.640.318,40.

3.2.2. Perhitungaan Nilai Sekarang Manfaat Pensiun (*Present Value of Future Benefit*)

Perhitungan *Present Value of Future Benefit* (PVFB) bertujuan untuk mengestimasi nilai kini dari manfaat pensiun yang akan

diterima peserta di masa mendatang. Estimasi ini dilakukan secara terpisah antara peserta laki-laki dan perempuan guna mempertimbangkan perbedaan parameter aktuaria yang relevan bagi masing-masing kelompok.

Mengacu pada pers. (9), hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai sekarang manfaat pensiun untuk peserta laki-laki yang berusia 35 tahun dengan usia pensiun 65 tahun adalah sebesar Rp 52.896.027,87. Sementara itu, untuk peserta perempuan dengan rentang usia yang sama, diperoleh nilai sebesar Rp 55.990.215,98.

3.2.3. Perhitungaan Iuran Normal dengan Metode Valuasi Aktuaria

Perhitungan iuran normal dalam studi ini dilakukan dengan menerapkan dua pendekatan aktuaria, yaitu metode PUC dan EAN. Perhitungan berdasarkan metode PUC mengacu pada pers. (13). Berdasarkan hasil estimasi, besaran iuran normal tahunan yang harus dibayarkan oleh peserta laki-laki sejak usia 35 hingga mencapai usia pensiun 65 tahun adalah sebesar Rp 1.511.315,08. Adapun untuk peserta perempuan dalam rentang usia yang sama, nilai iuran normal tahunan yang diperoleh adalah sebesar Rp 1.599.720,46.

Sementara itu, perhitungan iuran normal dengan metode EAN dilakukan berdasarkan pers. (14). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa peserta laki-laki perlu membayarkan iuran tahunan sebesar Rp 2.585.791,27 dari usia 35 hingga 65 tahun. Sedangkan untuk peserta perempuan, jumlah iuran normal tahunan yang harus dibayarkan pada rentang usia yang sama adalah sebesar Rp 2.716.986,91.

3.2.4. Perhitungaan Nilai Akhir Iuran Normal dengan Metode Valuasi Aktuaria

Perhitungan terhadap Nilai Akumulasi Iuran Normal dilakukan berdasarkan pers. (16). Menggunakan metode PUC, total nilai akhir dari iuran normal yang harus dibiayai peserta laki-laki mencapai Rp 295.675.424,23, sedangkan untuk peserta perempuan sebesar Rp 307.953.299,99.

Adapun dengan metode EAN, total nilai akumulasi iuran normal yang diperoleh adalah Rp 288.970.339,34 untuk peserta laki-laki dan Rp 303.631.867,04 untuk peserta perempuan.

3.2.5. Perhitungaan Kewajiban Aktuaria

Perhitungan kewajiban aktuaria dalam penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada pers. (17) untuk metode PUC dan pers. (18) untuk metode EAN. Pada usia 35 tahun, estimasi kewajiban aktuaria dengan pendekatan PUC menunjukkan nilai sebesar Rp 7.556.575,40 bagi peserta laki-laki, dan Rp 7.998.602,28 bagi peserta perempuan.

Sementara itu, dengan menggunakan metode EAN, kewajiban aktuaria yang harus dicadangkan pada usia yang sama tercatat sebesar Rp 15.381.132,18 untuk peserta laki-laki dan Rp 16.149.778,40 untuk peserta perempuan.

3.3. Perhitungan Aktuaria Dana Pensiun dengan Suku Bunga Stokastik Model Vasicek

3.3.1. Perhitungan Suku Bunga Stokastik Model *Vasicek*

Proses estimasi parameter dalam model suku bunga *Vasicek* dilakukan dengan memanfaatkan data historis rata-rata suku bunga tahunan Bank Indonesia (BI Rate) selama periode 2012 hingga 2023. Berdasarkan data tersebut, dilakukan estimasi terhadap parameter k, θ, dan σ sebagaimana tercantum dalam pers. (23), pers. (24), dan pers. (25). Hasil estimasi parameter disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai estimasi parameter suku bunga *Vasicek*

Parameter	Nilai Estimasi
k	0,347
θ	5,483
σ	1,706

Setelah diperoleh nilai parameter tersebut, tingkat suku bunga stokastik untuk $t = 1$ dihitung menggunakan pers. (21), sebagai berikut:

$$r_t = 5,75e^{-(0,347)t} + 5.483\left(1 - e^{-(0,347)t}\right) + 1,706\left(e^{-(0,347)t}\right) \times \left(\frac{1}{0,347}e^{0,347t} - \frac{1}{0,347}e^{0,347(0)}\right).$$

Substitusi $t = 1$ menghasilkan $r_{(1)} = 7,113$. Dengan demikian, tingkat suku bunga stokastik model *Vasicek* pada $t = 1$ yang digunakan dalam penelitian ini adalah 7,113% atau 0,07113.

3.3.2. Perhitungan Manfaat Pensiun

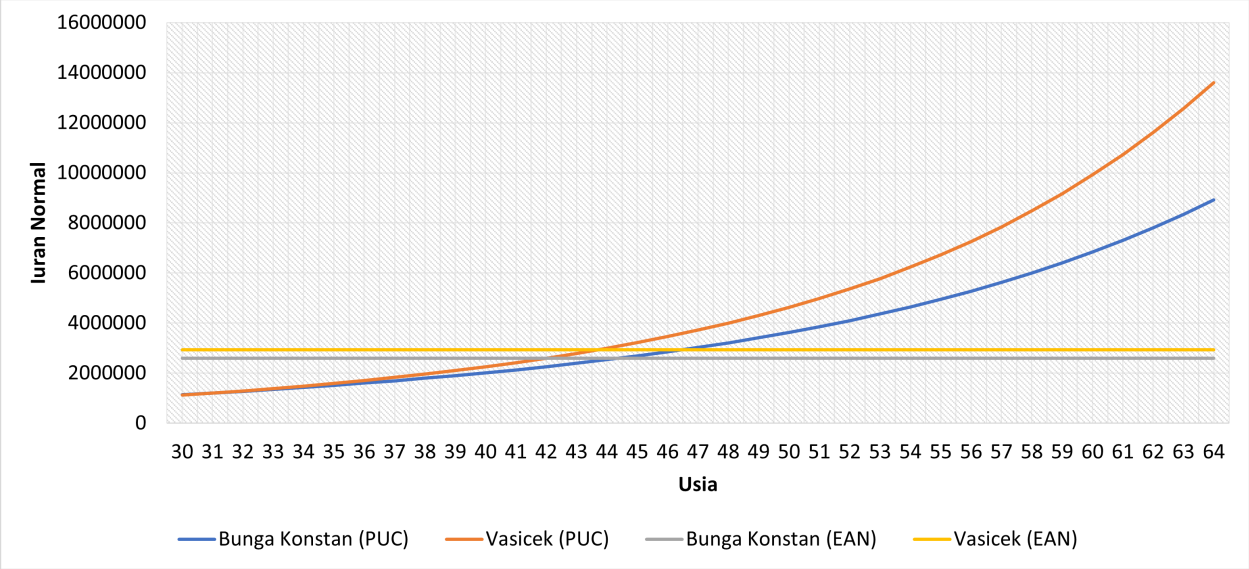
Sebagaimana pada perhitungan dengan asumsi suku bunga konstan, estimasi manfaat pensiun juga dilakukan berdasarkan pers. (7). Dalam konteks ini, digunakan tingkat suku bunga stokastik yang diperoleh melalui model *Vasicek*, yaitu sebesar 7,113%. Dengan asumsi gaji pokok awal (s_x) sebesar Rp 56.982.000, maka nilai manfaat pensiun berdasarkan pendekatan final salary untuk peserta laki-laki dan perempuan, yang dihitung berdasarkan pers. (8), sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S_{r-1} &= (1+s)^{r-e-1} \cdot s_x \\ S_{65-1} &= (1+7,113\%)^{65-30-1} \cdot 56.982.000 \\ S_{64} &= (1,07113)^{34} \cdot 56.982.000 \\ S_{64} &= 589.397.943,80 \end{aligned}$$

Besaran manfaat pensiun yang akan diterima oleh peserta, baik laki-laki maupun perempuan, pada saat mencapai usia pensiun adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} B_r &= k(r-e)S_{r-1} \\ B_{65} &= 2,5\% \cdot (65-30) \cdot S_{65-1} \\ B_{65} &= 2,5\% \cdot (65-30) \cdot S_{64} \\ B_{65} &= 2,5\% \cdot (65-30) \cdot 589.397.943,8 \\ B_{65} &= 0,875 \cdot 1.377.002.563 \\ B_{65} &= 515.723.200,90 \end{aligned}$$

Dengan mempertimbangkan tingkat suku bunga stokastik berdasarkan model *Vasicek*, total manfaat pensiun yang akan diterima oleh peserta, baik laki-laki maupun perempuan, pada usia pensiun 65 tahun adalah sebesar Rp515.723.200,90.



Gambar 2. Grafik perbandingan iuran normal

3.3.3. Perhitungan Nilai Sekarang Manfaat Pensiun (Present Value of Future Benefit)

Berdasarkan perhitungan nilai sekarang manfaat pensiun menggunakan pers. (9), diperoleh bahwa pada usia 35 tahun ($x = 35$) dengan asumsi usia pensiun 65 tahun ($r = 65$), nilai sekarang manfaat pensiun untuk peserta laki-laki adalah sebesar Rp 55.676.843,65, sedangkan untuk peserta perempuan sebesar Rp 58.933.697,41.

3.3.4. Perhitungan Iuran Normal dengan Metode Valuasi Aktuaria

Perhitungan iuran normal dengan menggunakan suku bunga stokastik model *Vasicek* dilakukan dengan pendekatan yang serupa seperti pada penggunaan suku bunga konstan. Metode PUC mengacu pada pers. (13), sementara metode EAN menggunakan pers. (14). Berdasarkan hasil perhitungan, besaran iuran normal tahunan yang harus dibayarkan oleh peserta laki-laki dalam rentang usia 35 hingga 65 tahun adalah Rp 1.590.766,96 untuk metode PUC, dan Rp 2.932.614,04 untuk metode EAN. Adapun peserta perempuan diwajibkan membayar masing-masing sebesar Rp1.683.819,93 dan Rp3.085.285,17 per tahun untuk kedua metode tersebut.

3.3.5. Perhitungan Nilai Akhir Pembiayaan Iuran Normal dengan Metode Valuasi Aktuaria

Berdasarkan perhitungan menggunakan pers. (16), nilai akhir akumulasi iuran normal yang diperoleh dengan metode PUC mencapai Rp 457.039.116,03 untuk peserta laki-laki dan Rp 476.017.593,86 untuk peserta perempuan. Adapun perhitungan dengan metode EAN menghasilkan total pembiayaan iuran normal sebesar Rp 445.104.038 bagi peserta laki-laki dan Rp 468.276.038,98 bagi peserta perempuan.

3.3.6. Perhitungan Kewajiban Aktuaria

Perhitungan kewajiban aktuaria dengan pendekatan model *Vasicek* dilakukan menggunakan formulasi yang serupa dengan metode berbasis suku bunga konstan, yaitu merujuk pada pers. (17) untuk metode PUC dan pers. (18) untuk metode EAN. Berdasarkan metode PUC, kewajiban aktuaria untuk peserta laki-laki pada usia 35 tahun tercatat sebesar Rp 7.953.834,81, sementara untuk peserta perempuan mencapai Rp 8.419.099,60. Di sisi lain, dengan metode EAN, kewajiban aktuaria pada usia yang sama adalah sebesar Rp 18.156.819,54 untuk peserta laki-laki dan Rp 19.088.067,10 untuk peserta perempuan.

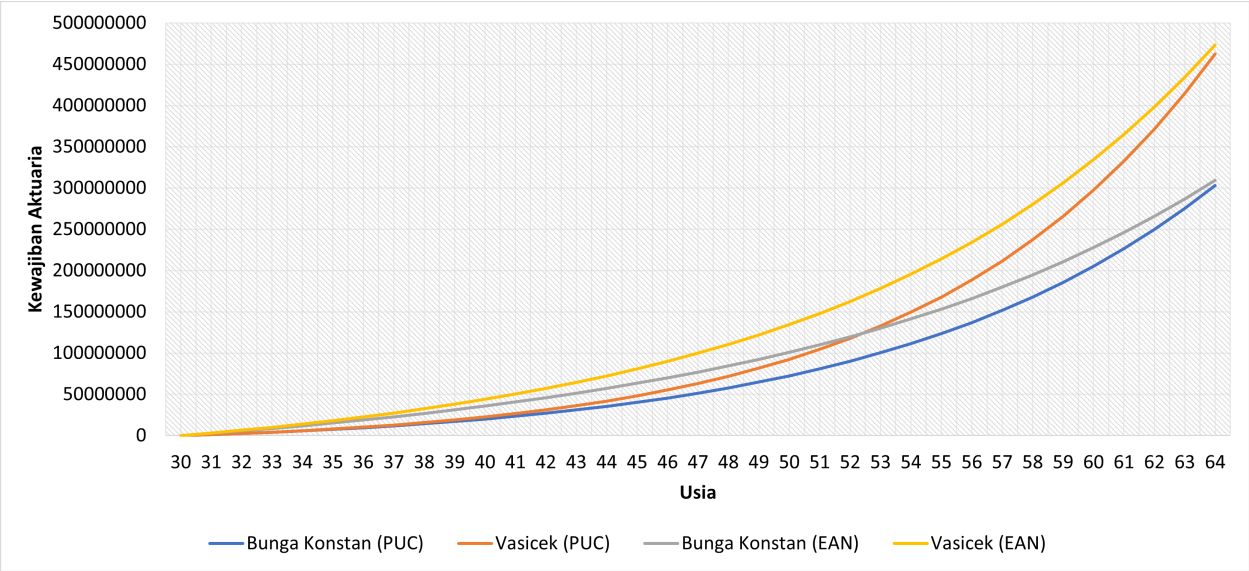
3.4. Perbandingan Hasil Perhitungan Aktuaria Dana Pensiun Suku bunga Konstan dan Suku Bunga Vasicek

3.4.1. Perbandingan Iuran Normal

Setelah dilakukan perhitungan dana pensiun menggunakan metode PUC dan EAN dengan asumsi suku bunga konstan serta model stokastik *Vasicek*, dilakukan analisis komparatif terhadap hasil yang diperoleh. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengidentifikasi metode yang paling optimal, baik dari sudut pandang peserta program pensiun maupun dari perspektif pengelola dana pensiun. Visualisasi hasil perbandingan tersebut disajikan pada Gambar 2.

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, besaran iuran normal yang dihitung dengan menggunakan metode PUC, baik dalam skenario suku bunga konstan maupun berdasarkan model stokastik *Vasicek*, menunjukkan tren peningkatan sepanjang periode kepesertaan. Kenaikan ini disebabkan oleh asumsi pertumbuhan gaji tahunan. Di sisi lain, metode EAN menghasilkan iuran normal yang bersifat tetap dari tahun ke tahun hingga mencapai usia pensiun, terlepas dari pendekatan suku bunga yang digunakan. Namun demikian, iuran normal yang dihitung menggunakan model suku bunga stokastik *Vasicek* cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan pendekatan suku bunga konstan, yang disebabkan oleh kecenderungan tingkat suku bunga dalam model stokastik berada pada level yang lebih tinggi.

Dalam konteks analisis pembiayaan, metode EAN menghasilkan iuran normal yang tidak dipengaruhi oleh usia peserta pada saat perhitungan dilakukan, melainkan ditentukan oleh usia saat peserta mulai mengikuti program dana pensiun. Hal ini dapat dibuktikan melalui penurunan matematis pada pers. (15), yang menunjukkan bahwa faktor diskonto sepenuhnya bergantung pada usia awal kepesertaan (e) dan usia pensiun (r), tanpa mempertim-



Gambar 3. Grafik perbandingan kewajiban aktuaria

bangkan usia peserta pada saat perhitungan

Untuk mengevaluasi metode yang paling optimal dari sudut pandang peserta program dana pensiun, dilakukan analisis komparatif terhadap nilai akhir pembiayaan iuran normal. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai akhir iuran normal yang harus dibayarkan oleh peserta laki-laki dengan menggunakan metode PUC mencapai Rp 295.675.424 apabila menggunakan suku bunga konstan, dan meningkat menjadi Rp 457.039.116,03 jika menggunakan pendekatan suku bunga stokastik *Vasicek*. Adapun untuk peserta perempuan, nilai akhir iuran normal yang dihitung dengan metode yang sama adalah sebesar Rp 307.953.299,99 dengan suku bunga konstan, dan meningkat menjadi Rp 476.017.593,86 ketika dihitung dengan model *Vasicek*.

Sementara itu, dengan menggunakan metode EAN, nilai akhir pembiayaan iuran normal untuk peserta pensiun laki-laki tercatat sebesar Rp 288.970.339 apabila menggunakan asumsi suku bunga konstan, dan meningkat menjadi Rp 445.104.038 ketika pendekatan suku bunga stokastik *Vasicek* diterapkan. Untuk peserta perempuan, nilai akhir pembiayaan iuran normal mencapai Rp 303.631.867,04 pada skenario suku bunga konstan, dan meningkat menjadi Rp 468.276.038,98 apabila menggunakan model *Vasicek*.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, metode EAN memberikan keuntungan lebih besar dari perspektif peserta program dana pensiun, karena menghasilkan nilai akhir pembiayaan iuran normal yang relatif lebih rendah, baik dalam skenario suku bunga konstan maupun ketika menggunakan model stokastik *Vasicek*. Sebaliknya, dari sudut pandang pengelola program, metode PUC dinilai lebih menguntungkan karena menghasilkan nilai akhir iuran normal yang lebih tinggi, sehingga berpotensi meningkatkan akumulasi dana yang dikelola dalam program pensiun.

3.4.2. Perbandingan Kewajiban Aktuaria

Setelah dilakukan perhitungan kewajiban aktuaria menggunakan metode PUC dan EAN untuk peserta laki-laki dan perempuan, baik dengan asumsi suku bunga konstan maupun model stokastik *Vasicek*, selanjutnya dilakukan analisis komparatif antar kedua metode tersebut berdasarkan pendekatan gaji terakhir. Hasil dari perbandingan kewajiban aktuaria tersebut ditampilkan pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3, dapat diamati bahwa kewajiban aktuaria yang dihitung dengan kedua metode, baik menggunakan suku bunga konstan maupun model stokastik *Vasicek*, menunjukkan tren peningkatan seiring bertambahnya usia peserta. Peningkatan ini mencerminkan akumulasi kewajiban yang semakin besar mendekati usia pensiun. Selain itu, nilai kewajiban aktuaria yang diperoleh melalui metode EAN, baik dengan suku bunga konstan maupun stokastik, umumnya lebih tinggi dibandingkan metode PUC sepanjang periode kepesertaan. Konsekuensinya, pengelola program dana pensiun perlu mengalokasikan dana cadangan yang lebih besar setiap tahunnya apabila memilih menggunakan metode EAN.

4. Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa metode PUC, baik ketika diterapkan dengan suku bunga konstan maupun dengan model stokastik *Vasicek*, menghasilkan akumulasi nilai pembiayaan iuran normal yang lebih besar dibandingkan metode EAN dengan asumsi tingkat suku bunga yang sama. Sebaliknya, kewajiban aktuaria yang dihitung menggunakan metode EAN, baik pada suku bunga konstan maupun stokastik, cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan metode PUC sepanjang periode kepesertaan. Oleh karena itu, apabila ditinjau dari sisi peserta program pensiun, metode EAN dinilai lebih menguntungkan karena memberikan beban pembiayaan iuran yang lebih ringan meskipun disertai dengan kewajiban aktuaria yang lebih tinggi. Sebaliknya, dari sudut pandang pengelola dana pensiun, metode PUC lebih menguntungkan karena memberikan akumulasi dana yang lebih besar serta kewajiban aktuaria yang relatif lebih rendah.

Kontribusi Penulis. **Nurqalbu Abd. Mutalip**: Konseptualisasi, metodologi, analisis formal, visualisasi, penulisan—persiapan draf asli. **Mujiati Dwi Kartikasari**: Konseptualisasi, validasi, supervisi, penulisan—tinjauan dan penyuntingan. Semua penulis telah membaca dan menye-

tujui versi manuskrip yang diterbitkan.

Ucapan Terima Kasih. Para penulis menyampaikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini serta dalam penyusunan manuskrip. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada editor dan reviewer atas saran serta dukungan yang konstruktif dalam proses penyempurnaan artikel ini.

Pembiayaan. Penelitian ini tidak menerima pendanaan dari pihak eksternal.

Konflik Kepentingan. Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan yang terkait dengan artikel ini.

Referensi

[1] Pemerintah Republik Indonesia, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 1992 tentang Dana Pensiun*. Indonesia, 1992, pp. 1–34.

[2] PAI, "Standar Praktik Aktuaria Dana Pensiun Persatuan Aktuaris Indonesia," Jakarta, 2019.

[3] H. E. Winklevoss, *Pension Mathematics with Numerical Illustration*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1993.

[4] N. B. Permana, Y. N. Nasution, and I. Purnamasari, "Penerapan Metode Projected Unit Credit dan Entry Age Normal pada Asuransi Dana Pensiun (Studi Kasus: PT. Inhutani I Cabang Kabupaten Berau)," *J. Eksponensial*, vol. 7, no. 2, pp. 171–178, 2016, doi: 10.15797/concom.2019..23.009.

[5] M. N. Islam, Y. Wilandari, and Suparti, "Perhitungan Pembiayaan Dana Pensiun dengan Metode Attained Age Normal dan Projected Unit Credit (Studi Kasus: PT. Taspen (Persero) Kantor Cabang Utama Semarang)," *J. Gaussian*, vol. 5, no. 3, pp. 505–514, 2016.

[6] S. R. Andriananda and D. A. Maulana, "Kajian Metode Entry Age Normal dan Projected Unit Credit untuk Menghitung Kewajiban Aktuaria Pegawai Pemerintah dengan Perjanjian Kerja," *MATHunesa J. Ilm. Mat.*, vol. 11, no. 3, pp. 443–457, 2023, doi: 10.26740/mathunesa.v11n3.p443-457.

[7] K. O. P. Rembet, N. I. Salsabila, G. I. Talarima, and D. F. Unwaru, "Perbandingan Metode Projected Unit Credit dan Individual Level Premium dalam Pembiayaan Dana Pensiun," *Var. J. Stat. Its Appl.*, vol. 5, no. 1, pp. 99–108, 2023, doi: 10.30598/variancevol5iss1page99-108.

[8] M. D. Izzati and M. D. Kartikasari, "Implementasi Metode Perhitungan Aktuaria Program Dana Pensiun Menggunakan Flask," *Jambura J. Math.*, vol. 4, no. 2, pp. 247–264, 2022, doi: 10.34312/jjom.v4i2.12954.

[9] O. Vasicek, "An Equilibrium Characterization of the Term Structure," *J. Financ. Econ.*, vol. 5, no. 2, pp. 177–188, 1977, doi: 10.1016/0304-405X(77)90016-2.

[10] S. C. S. Sipayung, "Penerapan Suku Bunga Skotastik Model Vasicek Dalam Menghitung Premi Ansuransi Joint Life," *J. Ilm. Mat.*, vol. 11, no. 1, pp. 33–49, 2024, doi: 10.26555/jim.v11i1.27760.

[11] G. Orlando, R. M. Mininni, and M. Bufalo, "Forecasting Interest Rates Through Vasicek and CIR Models: A Partitioning Approach," *J. Forecast.*, vol. 39, no. 4, pp. 569–579, 2020, doi: 10.1002/for.2642.

[12] I. Tsatskis, "Systemic Losses in Banking Networks: Indirect Interaction of Nodes Via Asset Prices," *Papers 1203.6778*. [Online]. Available: arXiv.org

[13] N. L. Bowers, H. U. Gerber, J. Hickman, D. A. Jones, and C. J. Nesbitt, *Actuarial Mathematics* (Second Edition). Illinois: The Society of Actuaries, 1997.

[14] T. Futami, *Matematika Asuransi Jiwa Bagian I*. Tokyo: Oriental Life Insurance Cultural Development Center, 1993.

[15] S. G. Kellison, *The Theory of Interest* (Third Edition). New York: McGraw-Hill, 2009.

[16] W. H. Aitken, *Problem Solving Approach to Pension Funding and Valuation* (Second Edition). ACTEX Publications, Inc., 1996.

[17] A. H. S. Dewi, "Estimasi Parameter Model Suku Bunga Vasicek Menggunakan Generalized Method of Moments," Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, 2019.

[18] Y. Zhang, Y. Niu, and T. Wu, "Stochastic Interest Rates Under Rational Inattention," *North Am. J. Econ. Financ.*, vol. 54, 2020, doi: 10.1016/j.najef.2020.101258.

[19] Y. Sulistyawati and M. D. Kartikasari, "Implementasi Metode New Jersey dalam Perhitungan Cadangan Premi dengan Suku Bunga Stokastik dan Konstan," *Jambura J. Math.*, vol. 6, no. 2, pp. 131–139, 2024, doi: 10.37905/jjom.v6i2.24668.