



PENENTUAN PREMI TAHUNAN BERSIH PADA ASURANSI LONG-TERM CARE DENGAN SUKU BUNGA STOKASTIK MODEL COX-INGERSOLL-ROSS

FAKHIRA ANNISA



**PROGRAM STUDI AKTUARIA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Penentuan Premi Tahunan Bersih pada Asuransi *Long-Term Care* dengan Suku Bunga Stokastik Model *Cox-Ingersoll-Ross*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2025

Fakhira Annisa
G5402211062



ABSTRAK

FAKHIRA ANNISA. Penentuan Premi Tahunan Bersih pada Asuransi *Long-Term Care* dengan Suku Bunga Stokastik Model *Cox-Ingersoll-Ross*. Dibimbing oleh RUHIYAT dan NUR AGUSTIANI.

Seiring bertambahnya usia, risiko disabilitas pada usia lanjut turut meningkat sehingga mendorong kebutuhan akan asuransi *long term care* (LTC) sebagai perlindungan terhadap biaya perawatan jangka panjang. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan premi tahunan bersih LTC dengan pendekatan *multistate* berdasarkan data prevalensi disabilitas, serta mempertimbangkan ketidakpastian suku bunga melalui model stokastik *Cox-Ingersoll-Ross* (CIR). Hasil pemodelan menunjukkan bahwa model CIR mampu memprediksi suku bunga *BI-7 Day Reverse Repo Rate* (BI7DRR) dengan akurasi yang baik, ditunjukkan oleh nilai MAPE sebesar 6.95% pada data *training* dan 3.7% pada data *testing*. Perbandingan premi menunjukkan bahwa penggunaan suku bunga stokastik CIR menghasilkan premi yang lebih rendah dibandingkan dengan suku bunga konstan, seiring dengan nilai faktor diskon yang lebih besar. Selain itu, penerapan skema kenaikan gaji tahunan menghasilkan premi awal yang lebih rendah. Meskipun begitu, nominal premi meningkat dan akan melebihi premi konstan pada tahun tertentu.

Kata kunci: asuransi LTC, model CIR, model *multistate*, premi, suku bunga stokastik

ABSTRACT

FAKHIRA ANNISA. Net Annual Premium Calculation for Long-Term Care Insurance under the Cox-Ingersoll-Ross Stochastic Interest Rate Model. Supervised by RUHIYAT and NUR AGUSTIANI.

As individuals age, the risk of disability in old age increases, thereby driving the need for Long-Term Care (LTC) insurance as financial protection against the high costs of long-term care services. This study aims to determine the annual net premium of LTC insurance using a multistate model based on adjusted disability prevalence data, while also incorporating interest rate uncertainty through the Cox-Ingersoll-Ross (CIR) stochastic interest rate model. The modeling results show that the CIR model is capable of predicting the BI-7 Day Reverse Repo Rate (BI7DRR) with good accuracy, indicated by MAPE values of 6.95% for training data and 3.7% for testing data. The premium comparison reveals that using the stochastic CIR model results in lower premiums compared to a constant interest rate assumption, due to the higher average discount factor. Furthermore, the implementation of an annual salary increase scheme leads to a lower initial premium. However, the nominal premium increases over time and eventually exceeds the constant premium at certain policy years.

Keywords: CIR model, interest rate, LTC insurance, multistate model, premium



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



PENENTUAN PREMI TAHUNAN BERSIH PADA ASURANSI *LONG-TERM CARE* DENGAN SUKU BUNGA STOKASTIK MODEL *COX-INGERSOLL-ROSS*

FAKHIRA ANNISA

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Aktuaria pada
Program Studi Aktuaria

**PROGRAM STUDI AKTUARIA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:
Dr. Dra. Berlian Setiawaty, M.S.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Skripsi : Penentuan Premi Tahunan Bersih pada Asuransi *Long-Term Care* dengan Suku Bunga Stokastik Model *Cox-Ingersoll-Ross*

Nama : Fakhira Annisa
NIM : G5402211062

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Ruhayat, S.Si., M.Si., M.Act.Sc.



Pembimbing 2:
Nur Agustiani, M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Ir. I Gusti Putu Purnaba, DEA.
NIP. 196512181990021001



Tanggal Ujian:
24 Juni 2025

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *Subhanaahu Wa Ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan November 2024 sampai bulan Mei 2025 ini ialah Matematika Aktuaria, dengan judul “Penentuan Premi Tahunan Bersih pada Asuransi *Long-Term Care* dengan Suku Bunga Stokastik Model *Cox-Ingersoll-Ross*”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Ruhiyat, S.Si., M.Si., M.Act.Sc. selaku pembimbing I dan Ibu Nur Agustiani, M.Si. selaku pembimbing II yang telah membimbing dan banyak memberi saran berharga selama proses penyusunan skripsi ini.
2. Dosen Program Studi Aktuaria IPB yang telah memberikan ilmu pengetahuan, motivasi, dan wawasan yang sangat berharga sebagai pondasi utama dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bunda, Ayah, dan keluarga besar yang selalu memberikan dukungan, doa, kasih sayang, dan selalu berada di sisi penulis baik dalam keadaan suka maupun duka.
4. Pihak Asosiasi Asuransi Jiwa Indonesia (AAJI) sebagai pemberi bantuan berupa pendanaan beasiswa kepada penulis untuk kelancaran proses penelitian ini.
5. Orang-orang yang ada di grup geng ingel-ingel, HEH, bau hitut, serta 3 abang kesayangan, yang selalu menemani penulis dalam setiap perjalanan akademik dan kehidupan penulis, berbagi senang, tawa, tangis, stres, dan semangat.
6. Teman-teman Aktuaria 58 yang telah melewati perkuliahan dan perjalanan akademik dan non-akademik yang penuh rintangan bersama dan selalu ada di saat penulis membutuhkan.
7. TREASURE, sebagai salah satu sumber kebahagiaan, inspirasi, dan semangat yang membantu penulis untuk tetap waras, termotivasi, dan percaya diri menjalani proses ini sampai akhir.
8. *Myself*. Terima kasih karena selalu ingin berusaha menjalani hari-hari yang penuh naik turun dan menjadi lebih baik setiap harinya. Terima kasih karena telah bertahan hingga akhir dan percaya diri bahwa kamu bisa menyelesaikan tugas akhir ini. *Super proud of u!*

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2025

Fakhira Annisa



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Suku Bunga	4
2.2 Proses Stokastik	4
2.3 Model Suku Bunga <i>Cox-Ingersoll-Ross</i>	5
2.4 Metode Euler-Maruyama	6
2.5 <i>Ordinary Least Square</i>	6
2.6 <i>Mean Absolute Percentage Error</i>	7
2.7 Model <i>Multistate</i> Waktu Diskret	7
2.8 <i>Activities of Daily Living</i>	8
2.9 Model Asuransi	9
2.10 Anuitas Asuransi <i>State-Dependent</i>	9
2.11 Manfaat Asuransi <i>State-Dependent</i> Seumur Hidup	10
2.12 Premi Asuransi	10
III METODE	11
3.1 Data	11
3.2 Asumsi Penelitian	11
3.3 Tahapan Penelitian	12
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	13
4.1 Pemodelan Suku Bunga BI7DRR Model <i>Cox-Ingersoll-Ross</i>	13
4.2 Estimasi Angka Prevalensi dan Penentuan Peluang Transisi	17
4.3 Penyusunan Matriks Transisi untuk Model <i>Multistate</i>	19
4.4 Penghitungan Premi Tahunan Asuransi <i>Long-Term Care</i>	23
4.5 Perbandingan Premi Tahunan Suku Bunga Konstan, CIR, dan Variasi Peningkatan Premi dengan Suku Bunga Model CIR	26
V SIMPULAN DAN SARAN	29
5.1 Simpulan	29
5.2 Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN	33

Hak cipta milik IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



1	Interpretasi nilai MAPE	7
2	Kriteria <i>activities of daily living</i>	9
3	Nilai parameter pada model CIR	15
4	Tabel mortalitas Indonesia 2023	18
5	Angka prevalensi disabilitas penduduk umur 25-59 tahun	18
6	Angka prevalensi ketergantungan penduduk umur ≥ 60	18
7	Angka prevalensi yang modifikasi	19
8	Asumsi peluang transisi 1 tahun	21
9	Peluang transisi antar <i>state</i> i ke <i>state</i> j	22
10	Hasil faktor diskon	23
11	Hasil penghitungan premi meningkat	26

DAFTAR GAMBAR

1	Ilustrasi untuk penghitungan premi asuransi LTC	11
2	Grafik data <i>training</i> dan data <i>testing</i> BI7DRR	15
3	Perbandingan suku bunga BI7DRR dan model CIR	16
4	Grafik proyeksi suku bunga tahunan	17
5	Ilustrasi peluang transisi pada model <i>multistate</i>	20
6	Perbandingan premi suku bunga konstan dan CIR	26
7	Perbandingan premi LTC suku bunga CIR dengan variasi peningkatan gaji	28

DAFTAR LAMPIRAN

1	Bukti estimasi parameter-parameter model CIR dengan menggunakan metode <i>ordinary least square</i> (OLS)	34
2	Data suku bunga BI7DRR (i)	37
3	Data suku bunga BI7DRR (δ)	38
4	Estimasi suku bunga model CIR tahunan (i %)	39
5	Peluang kematian laki-laki berdasarkan Tabel Mortalitas Penduduk Indonesia Laki-laki (TMPI) 2023	41
6	Hasil peluang transisi antar <i>state</i> satu tahun	42
7	Faktor diskon bunga stokastik	46
8	Kode pemrograman untuk menduga parameter model CIR, membangkitkan suku bunga model CIR, dan evaluasi menggunakan MAPE	47
9	Kode pemrograman untuk peluang transisi antar <i>state</i> t tahun	49
10	Kode pemrograman untuk anuitas dan <i>lumpsum state-dependent</i>	50

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring bertambahnya usia, risiko seseorang untuk mengalami berbagai penyakit cenderung meningkat. Selain itu, seseorang juga berisiko mengalami kondisi fisik dan kognitif yang dapat menyebabkan keterbatasan dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Kondisi ini tidak hanya berdampak pada kemandirian, tetapi juga menuntut kebutuhan akan dukungan perawatan yang berkelanjutan dalam jangka panjang. Konsekuensinya, biaya yang diperlukan untuk perawatan tersebut dapat melonjak drastis, sehingga berpotensi menjadi beban finansial yang signifikan. Oleh karena itu, sangat penting bagi setiap individu untuk mempersiapkan diri secara finansial guna menghadapi kemungkinan sakit atau kondisi keterbatasan di masa tua yang sering kali membutuhkan perawatan intensif dan berkelanjutan.

Asuransi menjadi salah satu bentuk perlindungan finansial yang layak dipertimbangkan untuk menjamin keberlanjutan kualitas hidup di masa depan. Asuransi adalah sebuah perjanjian antara perusahaan asuransi (penanggung) dan pemegang polis (tertanggung) yang bertujuan untuk memberikan perlindungan finansial kepada pihak tertanggung terhadap risiko kerugian yang akan terjadi di masa depan. Asuransi dapat menjadi solusi untuk mengantisipasi biaya perawatan kesehatan yang tinggi di masa depan. Terdapat beberapa jenis asuransi yang dapat dipilih sesuai dengan kebutuhannya, salah satunya asuransi kesehatan. Asuransi kesehatan ini dapat menanggung biaya perawatan kesehatan bagi tertanggung yang sakit atau mengalami kecelakaan, bergantung pada jenis manfaat yang diberikan produk asuransi tersebut.

Salah satu jenis asuransi kesehatan adalah asuransi *long-term care* (LTC). Asuransi LTC adalah jenis asuransi kesehatan yang memberikan manfaat berupa biaya untuk perawatan medis dalam jangka waktu serta manfaat kematian ketika pemegang polis meninggal dunia (Putri *et al.* 2022). Di China, program asuransi LTC telah diluncurkan sejak 2016 sebagai respons atas meningkatnya kebutuhan akan layanan perawatan jangka panjang untuk lansia. Program ini diperluas dari 15 kota menjadi 49 kota pada tahun 2020 di mana manfaat yang diberikan yaitu perawatan khusus, perawatan institusional, dan perawatan di rumah (Li Qiang *et al.* 2024). Implementasi LTC meningkatkan status kesehatan penerima manfaatnya dan secara signifikan mengurangi lama rawat inap, pengeluaran biaya rawat inap, dan pengeluaran pengembalian biaya (*reimbursement*) di rumah sakit tersier (Feng *et al.* 2020). Di Indonesia, asuransi LTC masih dalam tahap pengembangan dan belum banyak tersedia dibandingkan dengan jenis asuransi lainnya. Dengan 11,75% populasi Indonesia adalah lansia pada tahun 2023 (BPS 2023), ada kebutuhan yang semakin meningkat untuk perlindungan finansial terhadap perawatan jangka panjang.

Premi adalah salah satu faktor penting yang perlu diperhitungkan dalam asuransi. Untuk menentukan besaran premi dari asuransi, suku bunga menjadi komponen penting yang harus diperhitungkan. Suku bunga yang fluktuatif yang bergerak dari waktu ke waktu akan lebih realistis dalam penghitungan premi (Ekawati *et al.* 2021). Model suku bunga yang fluktuatif ini dapat diprediksi dan dimodelkan dengan proses stokastik. Penelitian mengenai asuransi LTC dan suku bunga stokastik telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Raja (2024) menjelaskan perbandingan penghitungan premi asuransi LTC antara suku bunga konstan dan suku bunga Vasicek. Penelitian ini menghasilkan bahwa hasil evaluasi model Vasicek baik dalam memodelkan BI7DRR

di mana hasil penghitungan premi bersih asuransi LTC dengan rata-rata suku bunga model Vasicek menghasilkan nilai premi yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan suku bunga model Vasicek. Selain itu, Hadiva (2024) menjelaskan penghitungan premi tunggal bersih dan premi tahunan bersih untuk asuransi LTC menggunakan model tiga *multiple state*, yaitu model Dickson *one way*, *reverse*, serta model Haberman-Pitacco. Penelitian ini menunjukkan bahwa nilai premi bersih untuk polis asuransi LTC model Dickson (*one way*) mencapai 19% lebih tinggi dibandingkan dengan model Dickson (*reverse*), sedangkan nilai premi bersih pada model Haberman-Pitacco jauh lebih rendah dibandingkan dengan premi bersih pada kedua model Dickson. Sugianto dan Irsan (2024) menghitung premi asuransi LTC dengan *annuity as a rider benefit* menggunakan model *multistate* yang mencakup sehat, HIV, dan kematian. Hasil penghitungan ini menunjukkan bahwa semakin bertambah usia, semakin besar premi bersihnya. Selain itu, dihasilkan juga bahwa premi bersih laki-laki lebih besar daripada premi bersih perempuan.

Cox-Ingersoll-Ross (CIR) merupakan model suku bunga stokastik yang menjamin suku bunga bernilai positif dan memiliki sifat *mean reversion* atau mempunyai kecenderungan kembali menuju rata-rata (Artika *et al.* 2018). Berbeda dengan Vasicek yang memungkinkan nilai suku bunga negatif dan volatilitas konstan, model CIR menjamin nilai suku bunga tetap positif dengan volatilitas yang bergantung pada suku bunga, sehingga lebih mencerminkan kondisi pasar, khususnya pada suku bunga rendah. Selain itu, berdasarkan hasil evaluasi dalam penelitian Setiawan & Lestari (2024), model CIR menunjukkan akurasi yang lebih baik dibandingkan Vasicek. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan menggunakan model suku bunga CIR untuk menghitung premi asuransi LTC. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi industri asuransi dalam mengembangkan produk LTC yang lebih efisien dan berkelanjutan, serta membantu masyarakat dalam menghadapi risiko biaya perawatan jangka panjang yang semakin meningkat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana model suku bunga *BI-7 Days Reverse Repo-rate* (BI7DRR) diprediksi dengan model CIR?
2. Bagaimana menentukan premi tahunan bersih pada asuransi LTC dengan suku bunga konstan dan suku bunga CIR?
3. Bagaimana hasil penghitungan premi meningkat asuransi LTC dengan suku bunga CIR?
4. Bagaimana perbandingan hasil penghitungan dari premi tahunan bersih pada asuransi LTC yang menggunakan model suku bunga konstan, model suku bunga CIR, premi konstan dan premi meningkat dengan suku bunga CIR?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memprediksi suku bunga BI7DRR dengan model CIR.
2. Menghitung premi tahunan bersih asuransi LTC dengan model suku bunga konstan dan suku bunga CIR.
3. Menghitung premi meningkat asuransi LTC dengan model suku bunga CIR.

4. Membandingkan hasil penghitungan premi asuransi LTC dengan model suku bunga konstan, premi konstan model suku bunga CIR dan premi meningkat model suku bunga CIR.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.





II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Suku Bunga

Bunga didefinisikan sebagai imbalan yang dibayarkan oleh seseorang atas peminjaman suatu aset milik orang lain (pemberi pinjaman) (Garret 2013). Dalam beberapa model keuangan, seperti model stokastik, suku bunga diperlakukan sebagai peubah yang berfluktuasi secara acak untuk menggambarkan ketidakpastian pasar. Bunga tunggal adalah jenis bunga yang dihitung hanya berdasarkan modal awal tanpa memperhitungkan akumulasi bunga dari periode sebelumnya, sedangkan bunga majemuk merupakan jenis bunga yang dihitung berdasarkan modal awal dan juga akumulasi bunga dari periode-periode sebelumnya (Kellison 2009). Suku bunga efektif digunakan untuk menghitung jumlah bunga sekali selama satu periode waktu tertentu. Suku bunga efektif dilambangkan dengan i (Garret 2013).

Force of interest merupakan suku bunga majemuk yang digunakan untuk melihat laju pertumbuhan investasi pada setiap momen waktu yang sangat kecil secara kontinu. *Force of interest* sering dilambangkan dengan simbol δ . Hubungan *force of interest* dengan suku bunga efektif dijabarkan sebagai berikut:

$$e^\delta = i + 1$$

atau sebaliknya,

$$\delta = \ln(i + 1) \tag{1}$$

di mana i adalah suku bunga efektif (Kellison 2009).

2.2 Proses Stokastik

Proses stokastik adalah himpunan peubah acak $\{X(t): t \in T\}$, di mana T adalah himpunan waktu (yang bisa diskret atau kontinu) dan $X(t)$ adalah peubah acak yang menggambarkan keadaan sistem pada waktu t . Proses stokastik waktu kontinu terjadi ketika peubah acak dapat dipertimbangkan pada setiap titik waktu sepanjang interval pada bilangan real. Sebaliknya, proses stokastik waktu diskret terjadi ketika peubah acak hanya dipertimbangkan atau diamati pada titik waktu diskret, yaitu $t = 0, 1, 2, \dots$, dan peubah acak pada waktu n dinyatakan sebagai $X(t)$, dengan $t = 0, 1, 2$, dan seterusnya (Camili *et al.* 2014).

2.2.1 Brownian Motion

Proses stokastik $\{X(t): t \in T\}$ disebut *Brownian motion* apabila sifat-sifat berikut terpenuhi:

1. $X(0) = 0$.
2. $\{X(t): t \in T\}$ mempunyai inkremen bebas atau untuk $0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n$, peubah acak $X(t_i) - X(t_{i-1}), i = 1, 2, \dots, n$ saling bebas.
3. Untuk setiap $t > 0, X(t)$ berdistribusi normal dengan nilai harapan nol dan ragam $\sigma^2 t$.

(Ross 2023)

2.2.2 Proses Wiener

Proses Wiener adalah bentuk *Brownian motion* yang memiliki nilai harapan nol dan ragam satu. Proses stokastik $W(t)$ mengikuti proses Wiener apabila memenuhi dua karakteristik berikut, yaitu:

1. Perubahan $W(t)$ dalam interval waktu pendek (Δt) dinotasikan sebagai $\Delta W(t) = \varepsilon\sqrt{\Delta t}$, di mana ε menyebar normal baku.
2. Nilai $\Delta W(t)$ untuk dua interval Δt yang berbeda dan tidak tumpang tindih merupakan peubah acak yang saling bebas.

(Hull 2022)

2.2.3 Proses Wiener Diperumum

Misal X mengikuti proses Wiener diperumum, maka perubahan $X(t)$ dapat dinotasikan sebagai berikut:

$$dX(t) = adt + bdW(t),$$

di mana $W(t)$ merupakan proses Wiener, a adalah sebarang konstanta yang menyatakan rata-rata perubahan X per satuan waktu (*drift rate*), b merupakan sebarang konstanta yang menyatakan simpangan baku per satuan waktu, di mana b^2 menyatakan *variance rate*. Untuk interval Δt yang pendek, proses Wiener diperumum juga dapat dinotasikan dalam persamaan berikut:

$$\Delta X = a\Delta t + b\varepsilon\sqrt{\Delta t}, \quad (2)$$

dengan ε menyebar normal baku. Berdasarkan persamaan (2) dapat diketahui bahwa ΔX menyebar normal dengan nilai harapan $a\Delta t$ dan ragam $b^2\Delta t$ (Hull 2022).

2.2.4 Proses Itô

Proses Itô merupakan proses Wiener diperumum yang dijabarkan dalam rumus berikut:

$$dX(t) = a(X, t)dt + b(X, t)dz,$$

dalam jangka waktu pendek antara t sampai $t + \Delta t$, peubah berubah dari x menjadi $x + \Delta x$ di mana

$$\Delta X = a(X, t)\Delta t + b(X, t)\varepsilon\sqrt{\Delta t}, \quad (3)$$

dengan asumsi *drift rate* dan *variance rate* tetap konstan selama interval waktu t dan $t + \Delta t$ (Hull 2022).

2.3 Model Suku Bunga Cox-Ingersoll-Ross

Model *Cox-Ingersoll-Ross* (CIR) merupakan model suku bunga yang diperkenalkan oleh John C. Cox, Jonathan E. Ingersoll, dan Stephen A. Ross pada tahun 1985. Model ini bersifat *mean-reversion* dan *non-negative* yang berarti suku bunga cenderung kembali ke rata-rata dan tidak pernah menjadi negatif karena adanya akar kuadrat dalam persamaan diferensial stokastiknya. Persamaan diferensial stokastik model ini dinyatakan sebagai berikut:

$$dr(t) = \kappa(\theta - r(t)) dt + \sigma\sqrt{r(t)} dW(t) \quad (4)$$

di mana $r(t)$ adalah suku bunga pada waktu t dengan $r(0) > 0$, θ adalah tingkat *mean-reversion*, dan σ adalah volatilitas. Lambang κ didefinisikan sebagai tingkat kecepatan $r(t)$ kembali menuju θ dan $W(t)$ merupakan proses Wiener (Cox *et al.* 1985).

2.4 Metode Euler-Maruyama

Metode Euler-Maruyama merupakan pendekatan numerik untuk menyelesaikan persamaan diferensial stokastik (Kloeden dan Platen 1992). Persamaan diferensial stokastik ini digunakan untuk memodelkan dinamika stokastik seperti pergerakan stokastik suku bunga, harga saham, atau volatilitas pasar. Metode ini adalah pengembangan dari metode Euler biasa untuk persamaan diferensial deterministik, tetapi disesuaikan untuk menangani komponen stokastik yang disebabkan oleh proses Wiener atau *Brownian motion*. Misalkan diberikan persamaan diferensial stokastik seperti berikut:

$$dX(t) = a(X(t))dt + b(X(t))dW(t)$$

dengan nilai awal $X(0) = x(0)$ dan $W(t)$ adalah proses Wiener. Misal persamaan diferensial stokastik memiliki solusi pada interval waktu $[0, T]$. Untuk mendiskretisasi waktu, interval $[0, T]$ dibagi menjadi N langkah kecil dengan jarak yang sama besar, yaitu $\Delta t = \frac{T}{N}$, sehingga persamaan Euler Maruyama untuk aproksimasi persamaan diferensial stokastik tersebut akan menjadi

$$X(t + \Delta t) = X(t) + a(X(t))\Delta t + b(X(t)) \Delta W(t) \quad (5)$$

untuk $t = 1, 2, \dots, N - 1$, dengan nilai awal $X(0) = x(0)$ dan

$$\Delta W(t) = W(t + \Delta t) - W(t).$$

dengan $\Delta W(t)$ adalah perubahan dalam proses Wiener dengan sebaran normal $N(0, \Delta t)$.

2.5 Ordinary Least Square

Metode *ordinary least squares* (OLS) adalah salah satu metode regresi yang paling banyak digunakan untuk meminimalkan jumlah kuadrat dari perbedaan antara nilai aktual dan nilai prediksi dalam sebuah model regresi linear (Schorghofer 2018). Dalam konteks model stokastik, metode OLS digunakan untuk menduga parameter yang mendeskripsikan hubungan antara peubah dalam model, termasuk dalam model suku bunga. Jika kita memiliki data observasi (X_i, Y_i) untuk $i = 1, 2, 3, \dots, n$, model regresi linear sederhana adalah (Montgomery *et al.* 2008):

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$$

di mana ε_i adalah *error* yang diharapkan menyebar normal dengan nilai harapan nol.

Pendekatan OLS mencari nilai parameter β_0 dan β_1 yang meminimumkan jumlah kuadrat *error* yang dijabarkan sebagai berikut:

$$S = \sum_{i=1}^n (Y_i - (\beta_0 + \beta_1 X_i))^2. \quad (6)$$

Solusi dari OLS dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2},$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X}.$$

dengan $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ dan $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$

2.6 Mean Absolute Percentage Error

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) merupakan indikator baku yang paling umum digunakan untuk memantau ketepatan suatu model prediktif. MAPE digunakan untuk menilai sampai seberapa besar hasil prediksi tersebut tidak sesuai dengan nilai aktualnya (dalam persen) dengan menghitung rata-rata galat relatif antara nilai peramalan dan nilai aktualnya. Rumus MAPE ditetapkan secara spesifik seperti berikut (Lawrence *et al.* 2009):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} \times 100\%, \quad (7)$$

dengan y_i adalah nilai aktual, \hat{y}_i adalah nilai duga hasil estimasi, dan n adalah banyaknya pengamatan. Interpretasi dari nilai MAPE dapat dilihat dalam tabel 1.

Tabel 1 Interpretasi nilai MAPE

Nilai MAPE	Tingkat akurasi
< 10%	Sangat baik
10% - 20%	Baik
20% - 50%	Cukup
> 50%	Buruk

2.7 Model Multistate Waktu Diskret

2.7.1 Rantai Markov

Model Markov sering digunakan dalam analisis asuransi untuk memodelkan sistem yang mengalami perubahan *state* secara acak dari waktu ke waktu. Model Markov yang dimodelkan dalam waktu diskret disebut juga rantai Markov. Untuk lebih jelasnya, diberikan himpunan *state* $\{0, 1, \dots, n\}$, proses stokastik waktu diskret $\{S(t), t = 0, 1, 2, \dots\}$ disebut rantai Markov jika untuk setiap bilangan bulat taknegatif t dan k , serta untuk setiap *state* s (Dickson *et al.* 2020),

$$\Pr[S(t+k) = s | S(0), S(1), \dots, S(t)] = \Pr[S(t+k) = s | S(t)]$$

Penggunaan rantai Markov dalam konteks aktuarial, untuk memodelkan transisi antar berbagai *state* dalam produk asuransi kesehatan atau pensiun (Dickson *et al.* 2020). Dalam asuransi *multistate*, setiap *state* mewakili kondisi yang berbeda, seperti sehat, sakit, atau meninggal. Transisi antar *state* dapat dimodelkan



menggunakan rantai Markov, yang memungkinkan penghitungan premi atau klaim berdasarkan probabilitas transisi antar *state*. Misal i dan j adalah dua *state* dalam model *multistate* dengan $m + 1$ *state* dengan ruang contoh $S = \{0, 1, \dots, m\}$. Peluang transisi seseorang dari *state* i ke *state* j pada usia $x + t$ dapat dinyatakan sebagai berikut (Dickson *et al.* 2020):

$${}_t p_x^{ij} = \Pr(S(x + t) = j \mid S(x) = i) \tag{8}$$

dengan $t \in [0, T]$ dan $i, j \in S, i \neq j$ dengan $S = \{0, 1, 2, \dots, m\}$.

Adapun peluang seseorang yang tetap berada di *state* i tanpa berpindah ke *state* lain hingga usia $x + t$ dapat dinyatakan dalam rumus berikut:

$${}_t \bar{p}_x^{ii} = \Pr(S(x + z) = i), \forall z \in [0, t]. \tag{9}$$

Peluang transisi p_x^{ij} untuk $t = 1$ dan ${}_t p_x^{ij}$ untuk bilangan bulat $t \geq 1$ serta usia x tertentu sering kali lebih mudah dinyatakan dalam bentuk matriks. Misal sebuah model *multistate* dengan $m + 1$ *states* memiliki matriks transisi satu tahun, P_x , dengan ukuran $(m + 1) \times (m + 1)$ sebagai berikut (Dickson *et al.* 2020):

$$P_x = \begin{pmatrix} p_x^{00} & p_x^{01} & \dots & p_x^{0m} \\ p_x^{10} & p_x^{11} & \dots & p_x^{1m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ p_x^{m0} & p_x^{m1} & \dots & p_x^{mm} \end{pmatrix}.$$

2.7.2 Persamaan Chapman-Kolmogorov

Misalkan suatu rantai Markov dengan $m + 1$ *states*, yaitu dengan ruang contoh $S = \{0, 1, \dots, m\}$. Untuk bilangan bulat taknegatif t dan r , serta untuk *states* $i, j \in S$ (di mana i dan j mungkin merupakan *state* yang sama), persamaan Chapman-Kolmogorov dapat didefinisikan pada persamaan berikut (Dickson *et al.* 2020),

$${}_{t+r} p_x^{ij} = \sum_{k=0}^m {}_t p_x^{ik} {}_r p_{x+t}^{kj}. \tag{10}$$

2.8 Activities of Daily Living

Activities of daily living (ADL) adalah aktivitas yang meliputi pekerjaan rutin harian dan menjadi kegiatan utama untuk merawat diri, yang meliputi berpakaian, makan dan minum, *toileting*, mandi, berhias, dan buang air besar atau kecil (Slamet 2016). ADL digunakan sebagai alat untuk mengukur kemampuan fungsional seseorang dengan menilai aktivitas harian mereka, guna mengetahui apakah lansia memerlukan bantuan orang lain dalam melakukan aktivitas tersebut atau mampu melakukannya secara mandiri (Purba *et al.* 2022). Indeks Barthel adalah alat ukur untuk menghitung kemandirian fungsional dalam hal perawatan diri dan mobilitas. Kriteria dalam indeks ini dapat dilihat dalam Tabel 2.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tabel 2 Kriteria *activities of daily living*

No	Item yang dinilai	Nilai		
		Tidak mampu	Dibantu	Mandiri
1	Makan	0	5	10
2	Transfer dari kursi roda ke tempat tidur dan kembali	0	5-10	15
3	<i>Higiene personal</i>	0	-	5
4	Naik dan turun kloset/ WC	0	5	10
5	Mandi	0	-	5
6	Berjalan di permukaan datar	0	5-10	15
7	Naik dan turun tangga	0	5	10
8	Berpakaian	0	5	10
9	Mengontrol anus	0	5	10
10	Mengontrol kantung kemih	0	5	10

Sumber: Slamet (2016)

2.9 Model Asuransi

2.9.1 Asuransi Kesehatan

Asuransi kesehatan adalah bentuk perlindungan finansial yang memberikan jaminan bagi individu dalam hal pengeluaran medis. Manfaat utama dari asuransi kesehatan adalah membantu mengurangi risiko biaya pengobatan yang tidak terduga, memastikan akses terhadap perawatan kesehatan yang dibutuhkan, dan mendorong kesehatan preventif. Menurut Rejda dan McNamara (2017), asuransi kesehatan menjadi salah satu instrumen penting dalam sistem ekonomi, baik untuk perorangan maupun perusahaan, karena mengurangi dampak finansial dari penyakit atau kecelakaan yang memerlukan perawatan medis.

2.9.2 Asuransi *Long-Term Care*

Asuransi *long-term care* (LTC) atau asuransi perawatan jangka panjang merupakan produk asuransi yang memberikan perlindungan finansial untuk biaya perawatan dalam jangka panjang, seperti biaya panti jompo atau perawatan di rumah. Asuransi ini dirancang untuk menutupi kebutuhan perawatan yang tidak ditanggung oleh asuransi kesehatan biasa atau program pemerintah seperti Medicare. Asuransi perawatan jangka panjang sangat penting, terutama bagi mereka yang berisiko membutuhkan perawatan terus-menerus akibat penuaan, kecelakaan, atau penyakit kronis (Vaughan, 2014).

2.10 Anuitas Asuransi State-Dependent

2.10.1 Anuitas *State-Dependent* Seumur Hidup

Misalkan saat ini seseorang yang berusia x dan berada dalam *state* i dalam suatu model *multistate*. Sebuah anuitas sebesar 1 satuan per tahun dibayarkan di

awal tahun sepanjang hidup x , tetapi hanya ketika x berada dalam *state* j yang ditentukan. *Expected present value* (EPV) anuitas ini dapat dinyatakan pada persamaan (11) dengan v merupakan faktor diskon (Dickson *et al.* 2020).

$$\ddot{a}_x^{ij} = \sum_{k=0}^{\infty} v^k {}_k p_x^{ij}. \quad (11)$$

2.10.2 Anuitas *State-Dependent* Berjangka

Misalkan seseorang yang berusia x dan saat ini berada dalam *state* i , EPV anuitas sebesar 1 satuan per tahun, dibayarkan pada awal setiap tahun selama maksimal n tahun, dengan syarat bahwa orang tersebut berada dalam *state* j pada tanggal pembayaran, dapat dituliskan pada persamaan (12) (Dickson *et al.* 2020).

$$\begin{aligned} \ddot{a}_{x:\overline{n}|}^{ij} &= {}_0 p_x^{ij} + v {}_1 p_x^{ij} + v^2 {}_2 p_x^{ij} + \dots + v^{n-1} {}_{n-1} p_x^{ij}, \\ &= \sum_{k=0}^{n-1} v^k {}_k p_x^{ij}. \end{aligned} \quad (12)$$

2.11 Manfaat Asuransi *State-Dependent* Seumur Hidup

Manfaat dari asuransi *state-dependent* bersifat bergantung pada *state* tertentu yang mengondisikan pembayaran manfaat. Sebagai contoh, manfaat dibayarkan sebesar 1 satuan ketika terjadi perubahan *state* dari *state* i ke *state* j . Nilai sekarang aktuarial untuk pembayaran manfaat sekaligus sebesar 1 satuan yang dibayarkan pada saat terjadi perubahan *state* dari *state* i ke *state* j dapat ditulis sebagai berikut (Haberman *et al.* 1997),

$$A_x^{ij} = \sum_{t=1}^{\infty} \sum_{k=0}^m v^t {}_{t-1} p_x^{ik} p_{x+t-1}^{kj}. \quad (13)$$

2.12 Premi Asuransi

Premi asuransi adalah sejumlah uang yang dibayarkan oleh pihak tertanggung kepada perusahaan asuransi, yang jumlahnya bisa ditentukan dengan metode tertentu. Premi bersih tidak pernah menambahkan faktor biaya dalam penghitungannya. Prinsip kesetaraan (*equivalence principle*) digunakan untuk menghitung biaya premi. Misal, kita memiliki $E[L_0^n] = 0$ yang didefinisikan sebagai selisih antara nilai tunai dari seluruh pembayaran manfaat yang diperkirakan akan dikeluarkan oleh perusahaan asuransi (*benefit outgo*) dan nilai tunai dari seluruh premi bersih yang akan diterima (*net premium income*) sepanjang masa kontrak, jika diukur dari perspektif penanggung (Dickson *et al.*, 2020). Dari definisi ini, dirumuskan persamaan sebagai berikut

$$E[PV \text{ of benefit outgo} - PV \text{ of net premium income}] = 0,$$

sehingga premi bersih dapat didefinisikan sebagai (Dickson *et al.* 2020):

$$EPV \text{ of benefit outgo} = EPV \text{ of net premium income}, \quad (14)$$

di mana menjelaskan menjelaskan bahwa nilai harapan dari seluruh pembayaran manfaat di masa depan harus tepat sama dengan nilai harapan dari seluruh penerimaan premi bersih dari pemegang polis.

III METODE

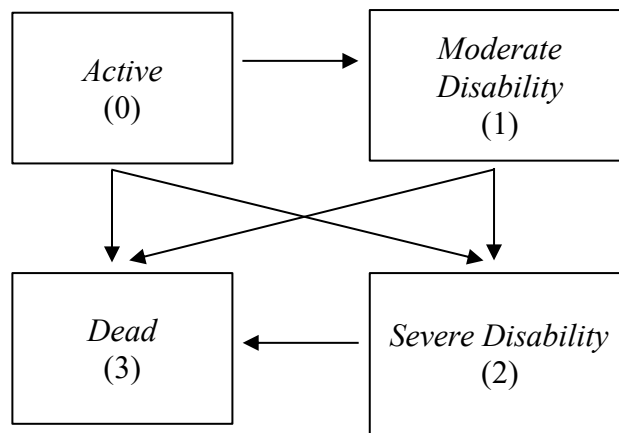
3.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data tabel mortalitas Indonesia tahun 2023 yang diterbitkan oleh Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS) Ketenagakerjaan. Selain itu, penelitian ini menggunakan data proporsi disabilitas dalam Laporan Survei Kesehatan Indonesia (SKI) 2023 oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (Kemenkes RI). Data suku bunga yang digunakan adalah data BI 7-Day (Reverse) Repo Rate (BI7DRR) periode Agustus 2017 sampai November 2023.

3.2 Asumsi Penelitian

Dalam penelitian ini, produk asuransi LTC yang dimodelkan didasarkan pada asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. Model *multistate* yang digunakan dalam penelitian ini adalah model yang ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1 Ilustrasi untuk penghitungan premi asuransi LTC

Model ini terdiri dari empat *state* yang merepresentasikan kondisi kesehatan individu, yaitu *state 0 (active)* di mana individu dalam kondisi sehat, *state 1 (moderate disability)* di mana individu mengalami disabilitas sedang, *state 2 (severe disability)* di mana individu mengalami disabilitas berat, dan *state 3 (dead)* di mana individu telah meninggal dunia.

Transisi antar *state* dalam model ini digambarkan melalui arah panah yang menunjukkan kemungkinan perpindahan *state* suatu individu dari suatu *state* ke *state* lainnya secara *irreversible* (tidak dapat kembali ke *state* sebelumnya). Individu dapat berpindah dari *state 0* ke *state 1*, *state 2*, atau langsung ke *state 3*.

2. Tertanggung merupakan seorang laki-laki berusia 25 tahun pada awal kontrak.
3. Produk asuransi hanya dapat dibeli saat tertanggung berada dalam kondisi sehat dan masa pertanggung jawaban manfaat seumur hidup.
4. Premi dibayarkan secara berjangka pada setiap awal tahun selama tertanggung berada dalam kondisi sehat, hingga usia pensiun normal yaitu 59 tahun, sesuai

dengan Peraturan Pemerintah Nomor 45 Tahun 2015 tentang Penyelenggaraan Program Jaminan Pensiun.

5. Suku bunga konstan ditetapkan sebesar 5.75%, mengacu pada suku bunga acuan Bank Indonesia per April 2025.
6. Suku bunga stokastik menggunakan model *Cox-Ingersoll-Ross* (CIR) yang dikalibrasi dari data historis BI7DRR.
7. Manfaat asuransi LTC dibayar secara anuitas di akhir tahun selama:
 - i. Tertanggung berada pada *state 1 (moderate disability)* sebesar Rp30,000,000,
 - ii. Tertanggung berada pada *state 2 (severe disability)* sebesar Rp100,000,000.
8. Manfaat kematian asuransi dibayar secara *lumpsum* di akhir tahun ketika tertanggung bertransisi ke *state 3 (dead)* sebesar Rp30,000,000.

3.3 Tahapan Penelitian

Langkah-langkah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan suku bunga dengan model CIR:
 - a. Mendefinisikan model CIR dalam bentuk diskret.
 - b. Menduga parameter model CIR dengan metode OLS dan membangkitkan data suku bunga dari parameter yang didapat.
 - c. Mengevaluasi hasil bangkitan dengan MAPE.
 - d. Membangkitkan suku bunga untuk 1,056 bulan mendatang.
 - e. Mengonversi hasil pembangkitan suku bunga ke bentuk suku bunga efektif tahunan untuk 88 tahun mendatang.
2. Mengestimasi angka prevalensi tingkat disabilitas dan menentukan peluang transisi berdasarkan hasil estimasi data prevalensi.
3. Menyusun matriks transisi dari rantai Markov untuk model *multistate*.
4. Menghitung premi bersih dari asuransi LTC dengan suku bunga konstan mengikuti suku bunga acuan Bank Indonesia 5.75%.
5. Menghitung premi bersih dari asuransi LTC dengan suku bunga stokastik model CIR.
6. Menghitung premi meningkat dari asuransi LTC dengan suku bunga stokastik model CIR dengan peningkatan sebesar g untuk beberapa nilai g .
7. Membandingkan hasil premi bersih dari asuransi dengan suku bunga CIR, suku bunga konstan, dan premi meningkat dengan suku bunga CIR.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Suku Bunga BI7DRR Model *Cox-Ingersoll-Ross*

4.1.1 Definisi Model CIR dalam Bentuk Diskret

Suku bunga model CIR dalam penelitian ini digunakan untuk menghitung nilai sekarang dari premi asuransi LTC. Suku bunga model CIR memiliki persamaan diferensial stokastik dalam bentuk formula sebagai berikut:

$$dr(t) = \kappa(\theta - r(t)) dt + \sigma\sqrt{r(t)} dW(t)$$

Nilai $r(t)$ merupakan suku bunga pada waktu t , κ merupakan kecepatan *mean-reversion*, θ merupakan nilai rata-rata jangka panjang suku bunga, dan $dW(t)$ merupakan proses Wiener dari *Brownian motion*. Persamaan diferensial stokastik memiliki solusi pada interval $[0, T]$ dibagi menjadi N langkah kecil dengan jarak yang sama besar, yaitu $\Delta t = \frac{T}{N}$. Pada penelitian ini digunakan data suku bunga BI7DRR per bulan periode bulan Agustus 2017 hingga bulan November 2023 sehingga interval waktunya $[0, 76]$, $N = 84$, dan $\Delta t = 1$. Persamaan model CIR dapat diselesaikan dengan metode Euler-Maruyama dan proses Wiener. Dengan metode ini, model CIR dapat dituliskan secara diskret sebagai berikut

$$\begin{aligned} r(t + \Delta t) &= r(t) + \kappa(\theta - r(t))\Delta t + \sigma\sqrt{r(t)} \Delta W(t) \\ \frac{r(t + \Delta t)}{\sqrt{r(t)}} &= \frac{r(t)}{\sqrt{r(t)}} + \frac{\kappa(\theta - r(t))\Delta t}{\sqrt{r(t)}} + \sigma \Delta W(t) \\ \frac{r(t + \Delta t)}{\sqrt{r(t)}} &= \frac{\kappa\theta\Delta t}{\sqrt{r(t)}} + \frac{r(t)}{\sqrt{r(t)}}(1 - \kappa\Delta t) + \sigma \Delta W(t) \end{aligned} \quad (15)$$

Berdasarkan model CIR dari persamaan (15), jika $a = \kappa\theta\Delta t$ dan $b = (1 - \kappa\Delta t)$ serta $e(t) = \sigma \Delta W(t)$, maka persamaan (15) dapat ditulis sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{r(t + \Delta t)}{\sqrt{r(t)}} &= \frac{a}{\sqrt{r(t)}} + \frac{r(t)}{\sqrt{r(t)}}b + e(t) \\ e(t) &= \frac{r(t + \Delta t)}{\sqrt{r(t)}} - \left(\frac{a}{\sqrt{r(t)}} + \frac{r(t)}{\sqrt{r(t)}}b \right) \end{aligned}$$

4.1.2 Pendugaan Parameter dari Model CIR dengan Metode OLS

Estimasi parameter model CIR menggunakan metode OLS dengan meminimalkan jumlah kuadrat selisih antara variabel yang diamati dan variabel yang diprediksi, sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$\begin{aligned} S &= \sum_{i=1}^{N-1} e_i^2 \text{ dengan } e_i = e(i) \\ &= \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{r_{i+\Delta t}}{\sqrt{r_i}} - \left(\frac{a}{\sqrt{r_i}} + \frac{r_i}{\sqrt{r_i}}b \right) \right)^2 \text{ dengan } r_i = r(i) \end{aligned}$$

$$= \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{r_{i+\Delta t}}{\sqrt{r_i}} \right)^2 - 2 \sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{\sqrt{r_i}} \left(\frac{a}{\sqrt{r_i}} + \frac{br_i}{\sqrt{r_i}} \right) + \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{a}{\sqrt{r_i}} + \frac{br_i}{\sqrt{r_i}} \right)^2. \quad (16)$$

Berikutnya penentuan nilai parameter optimal dilakukan dengan menurunkan persamaan (16) terhadap a dan b serta menyelesaikannya untuk setiap parameter, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (17) dan (18).

$$\frac{\partial S}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \frac{a + br_i}{r_i} = 0 \quad (17)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} + 2 \sum_{i=1}^{N-1} (a + br_i) = 0. \quad (18)$$

Dari hasil penurunan rumus ini, dapat diperoleh nilai a dan b sebagai berikut.

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} - (n-1)\hat{b}}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \hat{b} &= \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} - (n-1)\hat{a}}{\sum_{i=1}^{N-1} r_i} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} - (n-1) \left[\frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} - (n-1)\hat{b}}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}} \right]}{\sum_{i=1}^{N-1} r_i} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} - (n-1) \left[\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} \right]}{\sum_{i=1}^{N-1} r_i \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} - (n-1)^2}. \end{aligned} \quad (20)$$

Dengan menggunakan persamaan (19) dan (20), dapat dilakukan proses substitusi untuk memperoleh nilai parameter \hat{k} , $\hat{\theta}$, dan $\hat{\sigma}$. Substitusi ini memungkinkan perumusan parameter secara lebih sistematis, sehingga diperoleh formula sebagai berikut. Bukti perumusan estimasi parameter disajikan dalam Lampiran 1.

$$\hat{k} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} - (n-1)^2 - \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} \sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} + (n-1) \sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i}}{\left(\sum_{i=1}^{N-1} r_i \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} - (n-1)^2 \right) \Delta t} \quad (21)$$

$$\hat{\theta} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} \left(\sum_{i=1}^{N-1} r_i \right) - (n-1) \left(\sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} \right)}{\sum_{i=1}^{N-1} r_i \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} - (n-1)^2 - \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} \sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} + (n-1) \sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i}} \quad (22)$$

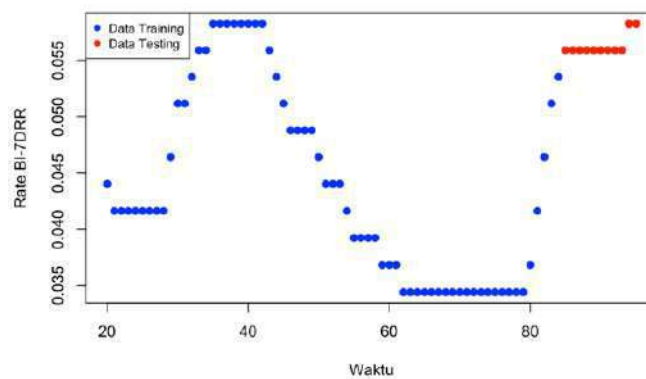
$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} - \left(\frac{\kappa \theta \Delta t}{\sqrt{r_i}} + \frac{r_i}{\sqrt{r_i}} (1 - \kappa \Delta t) \right) \right)^2} \quad (23)$$

Dari hasil dugaan parameter (21), (22), dan (23), dapat disajikan nilai parameter pada model CIR terhadap data suku bunga BI7DRR pada periode Agustus 2017 hingga Desember 2022 dalam Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3 Nilai parameter pada model CIR

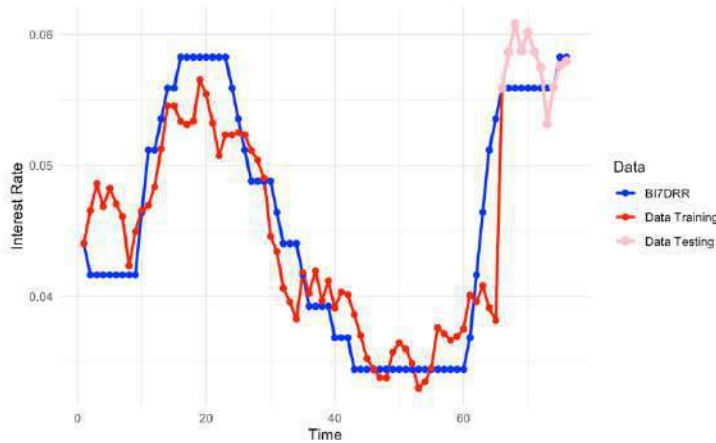
Parameter	Nilai
$\hat{\kappa}$	0.00938136
$\hat{\theta}$	0.05954452
$\hat{\sigma}$	0.00855030

Data suku bunga BI7DRR yang digunakan disajikan pada Lampiran 2. Penelitian ini menggunakan 76 data historis bulanan suku bunga BI 7-day (*Reverse*) *Repo Rate* (BI7DRR) bulan Agustus 2017 hingga November 2023. Data suku bunga BI7DRR selanjutnya akan dinyatakan sebagai r_t untuk $t = 1, 2, \dots, 76$. Data r_t disajikan pada Lampiran 3. Data ini kemudian dibagi menjadi dua set data, yaitu *training* dan *testing*. Data *training* yang digunakan untuk menduga parameter model sebanyak 65 data pertama set data BI7DRR, sedangkan data *testing* yang digunakan untuk menguji kesesuaian model adalah 11 data terakhir set data BI7DRR. Grafik data disajikan pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2 Grafik data *training* dan data *testing* BI7DRR

Grafik bertitik biru pada Gambar 4 menggambarkan data *training* BI 7-day (*Reverse*) *Repo Rate* dan grafik bertitik merah pada gambar menunjukkan data *testing* BI 7-day (*Reverse*) *Repo Rate*. Parameter estimasi yang telah diperoleh digunakan untuk menyimulasikan model suku bunga stokastik CIR, dengan nilai awal r_1 sebesar 0.0559076, sesuai dengan data ke-66 BI7DRR. Hasil simulasi suku bunga model CIR kemudian dibandingkan dengan data historis BI7DRR untuk mengevaluasi kesesuaian model, yang divisualisasikan dalam grafik pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Perbandingan suku bunga BI7DRR dan model CIR

4.1.3 Evaluasi Hasil Bangkitan dengan MAPE.

Gambar 3 menyajikan grafik yang membandingkan suku bunga BI7DRR dengan model suku bunga CIR. Pada grafik tersebut, garis biru mewakili suku bunga BI7DRR, sementara garis berwarna merah adalah bangkitan model suku bunga CIR periode *training*, dan garis berwarna merah muda adalah bangkitan model suku bunga CIR periode *testing*. Secara umum, model CIR berhasil mengikuti pola fluktuasi suku bunga BI7DRR. Model mampu menangkap tren naik dan turun, serta karakteristik *mean-reverting* dari suku bunga. Proses simulasi dilakukan sebanyak 1,000 iterasi untuk memperoleh hasil bangkitan model yang paling baik dan mendekati data historis. Dari hasil tersebut, diperoleh *seed* terbaik yaitu 593, dengan nilai MAPE sebesar 6.95% untuk data *training*. Nilai ini menunjukkan bahwa model memiliki tingkat kesalahan yang relatif rendah dalam mengikuti pola pergerakan suku bunga aktual selama masa *training*. Untuk menguji kemampuan generalisasi model, *seed* terbaik (*seed* 593) digunakan kembali dalam proses pembangkitan data pada periode *testing* dan nilai MAPE sebesar 3.7%. Nilai MAPE yang rendah baik pada data *training* maupun *testing* memperkuat bukti bahwa model CIR mampu memberikan estimasi yang cukup akurat terhadap dinamika suku bunga BI7DRR.

4.1.4 Pembangkitan Suku Bunga Model CIR

Setelah diperoleh nilai parameter hasil estimasi dan dilakukan evaluasi terhadap performa model suku bunga CIR, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi suku bunga untuk 1,056 bulan ke depan dengan memanfaatkan parameter yang telah diestimasi. Nilai suku bunga yang dihasilkan dari proses simulasi ini berbentuk *force of interest* (δ_t) yang bersifat kontinu. Oleh karena itu, untuk menghitung premi, nilai δ_t dapat dikonversikan ke dalam bentuk suku bunga efektif bulanan (i_t). Proses konversi dilakukan sebagai berikut:

$$e^{\delta} = 1 + i$$

$$i = e^{\delta} - 1$$

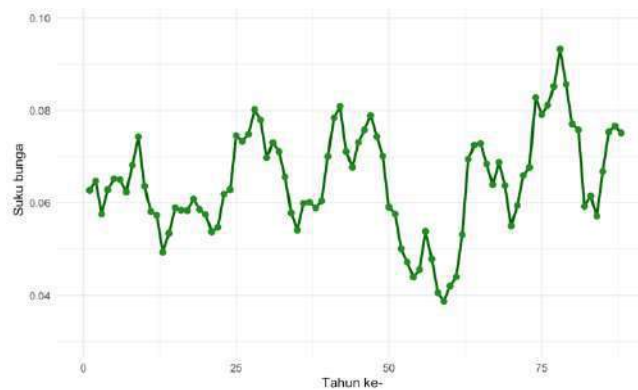
Konversi ini menghasilkan sederet nilai i_t untuk setiap bulan selama 88 tahun. Karena premi yang dihitung merupakan premi tahunan, maka diperlukan konversi nilai suku bunga bulanan tersebut menjadi bentuk tahunan. Konversi dilakukan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

dengan mengakumulasi nilai i_t selama 12 bulan untuk masing-masing tahun, dengan rumus:

$$i_t = \prod_{k=1}^{12} (1 + i_{t,k})^{\frac{1}{12}} - 1, t = 1, 2, \dots, 88$$

Dengan demikian, diperoleh total 88 nilai suku bunga efektif tahunan yang akan digunakan dalam penghitungan premi asuransi LTC. Hasil bangkitan 88 nilai suku bunga efektif tahunan dijabarkan pada Lampiran 4. Bangkitan 88 suku bunga efektif tahunan divisualisasikan pada Gambar 4



Gambar 4 Grafik proyeksi suku bunga tahunan

Gambar 4 menunjukkan grafik proyeksi suku bunga tahunan yang diperoleh dari hasil simulasi menggunakan model CIR. Grafik ini menggambarkan fluktuasi tingkat suku bunga selama periode proyeksi, yang mencerminkan sifat stokastik dari model CIR. Secara umum, terlihat bahwa suku bunga mengalami pergerakan naik turun secara dinamis dari tahun ke tahun, dengan kisaran nilai berada antara sekitar 4% hingga 10%. Pola ini menunjukkan adanya volatilitas yang konsisten dengan karakteristik *mean-reverting* dari model CIR, di mana tingkat suku bunga cenderung kembali menuju tingkat jangka panjang setelah mengalami deviasi.

4.2 Estimasi Angka Prevalensi dan Penentuan Peluang Transisi

4.2.1 Estimasi Angka Prevalensi

Dalam penelitian ini, model asuransi LTC yang digunakan berbasis *multistate* dengan *state* sebanyak 4 *states* yang terdiri atas *state active*, *moderate disability*, *severe disability*, dan *dead*. Salah satu komponen penting yang diperlukan adalah informasi mengenai peluang transisi antar *state* kesehatan individu dari waktu ke waktu. Peluang transisi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data TMJ-23 dan data proporsi disabilitas dalam Laporan Survei Kesehatan Indonesia (SKI) 2023. Tabel Mortalitas Indonesia 2023 disajikan pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4 Tabel mortalitas Indonesia 2023

Usia	Peluang kematian	
	Laki-laki (q_x)	Perempuan (q_y)
0	0.009791	0.007880
1	0.002526	0.002096
2	0.001079	0.000900
⋮	⋮	⋮
58	0.014309	0.010777
59	0.015405	0.011524
60	0.016604	0.012311
⋮	⋮	⋮
110	0.566271	0.559684
111	1.000000	1.000000

Penelitian ini hanya menggunakan peluang kematian laki-laki dari usia 25 tahun hingga usia 111 tahun. Data peluang kematian secara lengkap disajikan dalam Lampiran 5. Selanjutnya, angka prevalensi dalam penelitian ini menggunakan data Laporan SKI 2023. Laporan ini umumnya berisi data hasil survei nasional yang menggambarkan status kesehatan masyarakat Indonesia, termasuk angka prevalensi disabilitas dan ketergantungan. Kelompok usia 25-59 tahun menggunakan indikator *disability assessment schedule* (DAS) dengan klasifikasi: tidak ada kesulitan, ringan, sedang, dan berat/tidak mampu. Sementara itu, kelompok usia 60 ke atas menggunakan indikator *Barthel index of activities of daily living* (ADL) dengan klasifikasi: mandiri, tergantung ringan, tergantung sedang, dan tergantung berat/total. Data prevalensi disabilitas dan ketergantungan yang telah dikelompokkan berdasarkan usia disajikan secara rinci pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5 Angka prevalensi disabilitas penduduk umur 25-59 tahun

Kelompok umur	Tidak ada kesulitan	Kesulitan ringan	Kesulitan sedang	Kesulitan berat/tidak mampu
25-34	89.0%	7.0%	3.9%	0.1%
35-44	88.5%	7.2%	4.2%	0.1%
45-54	85.3%	9.5%	4.8%	0.4%
55-59	79.5%	13.1%	6.5%	0.9%

Tabel 6 Angka prevalensi ketergantungan penduduk umur ≥ 60

Kelompok umur	Mandiri	Tergantung ringan	Tergantung sedang	Tergantung berat	Tergantung total
60-69	97.00%	1.20%	0.70%	0.40%	0.80%
70-79	93.60%	2.90%	1.50%	1.00%	1.00%
80+	83.30%	7.20%	3.70%	2.90%	2.90%

Berdasarkan Tabel 5 dan 6, terlihat perbedaan indikator/klasifikasi untuk setiap kelompok umur. Oleh karena itu, diperlukan penyelarasan agar dapat digunakan dalam satu kerangka model transisi yang konsisten. Untuk mengatasi ketidaksesuaian tersebut, dilakukan proses pengelompokan ulang kategori disabilitas menjadi tiga *state*, yaitu *active*, *moderate disability*, dan *severe disability* dengan pengelompokan sebagai berikut:

- Kelompok umur 25-59 tahun
Active = gabungan tidak ada kesulitan dan kesulitan ringan
Moderate disability = kesulitan sedang
Severe disability = kesulitan berat/tidak mampu
- Kelompok umur ≥ 60
Active = mandiri
Moderate disability = gabungan tergantung ringan dan tergantung sedang
Severe disability = gabungan tergantung berat dan tergantung total

Hasil modifikasi angka prevalensi disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7 Angka prevalensi hasil modifikasi

Kelompok umur	<i>Active</i>	<i>Moderate disability</i>	<i>Severe disability</i>
25-34	96,0%	3,9%	0.10%
35-44	95,7%	4,2%	0.10%
45-54	94,8%	4,8%	0.40%
55-59	92,6%	6,5%	0.9%
60-69	97.00%	1.90%	1.20%
70-79	93.60%	4.40%	2.00%
80+	83.30%	10.90%	5.80%

Tabel 7 ini secara eksplisit memberikan nilai prevalensi untuk setiap kategori status kesehatan (*active*, *moderate disability*, *severe disability*) pada berbagai rentang usia, mulai dari 25 tahun hingga 80 tahun ke atas. Untuk memudahkan penggunaan angka prevalensi pada Tabel 6, dibuatlah notasi sebagai berikut:

$Prev_x^0$ = angka prevalensi seseorang berumur x dalam kondisi *active*

$Prev_x^1$ = angka prevalensi seseorang berumur x dalam kondisi *moderate disability*

$Prev_x^2$ = angka prevalensi seseorang berumur x dalam kondisi *severe disability*

Berdasarkan Tabel 7 dan Gambar 1, seseorang yang berada di *state 0* mampu melakukan aktivitas sehari-hari/ADL secara mandiri. Sementara itu, seseorang yang berada di *state 1* (*moderate disability*) dan 2 (*severely disability*) mengalami keterbatasan dalam melakukan ADL sehingga berhak menerima manfaat LTC. Selain itu, seseorang yang berada di *state 3* (*dead*) berhak mendapatkan manfaat berupa santunan kematian.

4.3 Penyusunan Matriks Transisi untuk Model *Multistate*

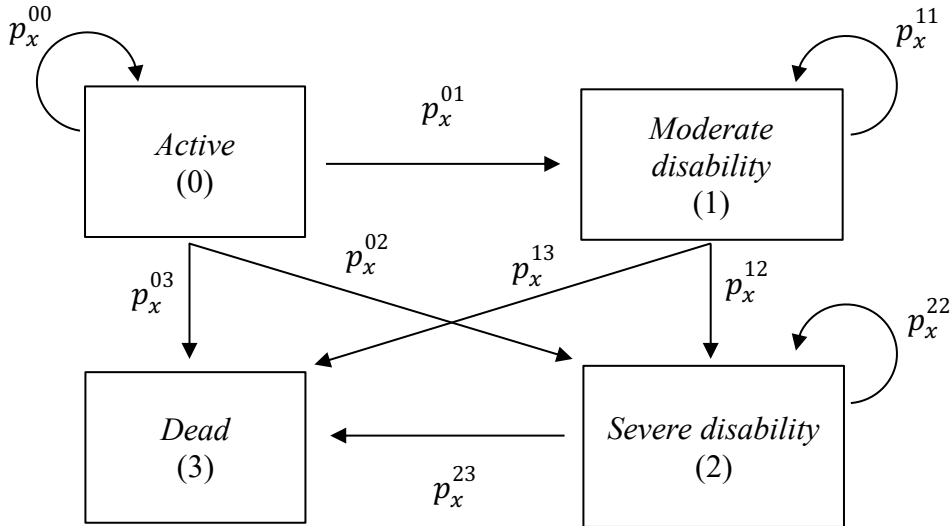
4.3.1 Peluang Transisi antar *State* dalam Satu Tahun

Dalam penelitian ini, untuk menganalisis transisi antar *state*, digunakan model *multistate* dengan empat status yang berbeda: *active*, *moderate disability*, *severe disability*, dan *dead*. Matriks peluang transisi digunakan untuk

mempermudah penghitungan peluang transisi suatu *state* ke *state* lain dalam satu satuan waktu. Peluang transisi seseorang berpindah dari *state* i ke *state* j pada usia x dapat dinyatakan sebagai:

$$p_x^{ij} = \Pr(S(x + 1) = j | S(x) = i)$$

dengan $S(x)$ menyatakan status individu pada usia x , dan $p_x^{ij} \in [0,1]$ menggambarkan peluang suatu individu berpindah dari *state* i ke *state* j dalam periode tersebut. Model *multistate* yang digunakan dalam penelitian ini diilustrasikan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5 Ilustrasi peluang transisi pada model *multistate*

Berdasarkan ilustrasi peluang transisi pada Gambar 5, disusunlah matriks berukuran 4×4 yang menggambarkan peluang transisi dari *state* i pada usia x ke *state* j pada usia $x + 1$, yang dilambangkan dengan p_x^{ij} . Struktur matriks dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{pmatrix} p_x^{00} & p_x^{01} & p_x^{02} & p_x^{03} \\ p_x^{10} & p_x^{11} & p_x^{12} & p_x^{13} \\ p_x^{20} & p_x^{21} & p_x^{22} & p_x^{23} \\ p_x^{30} & p_x^{31} & p_x^{32} & p_x^{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_x^{00} & p_x^{01} & p_x^{02} & p_x^{03} \\ 0 & p_x^{11} & p_x^{12} & p_x^{13} \\ 0 & 0 & p_x^{22} & p_x^{23} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Diasumsikan bahwa *state* 3 adalah *state* penyerap, yang merupakan *state* *dead* atau meninggal. Oleh karena itu, peluang untuk keluar dari *state* *dead* adalah nol ($p_x^{3j} = 0$ untuk $j \neq 3$) dan peluang untuk tetap berada dalam *state* *dead* adalah satu ($p_x^{33} = 1$). Peluang transisi $p_x^{10}, p_x^{20}, p_x^{30}, p_x^{21}, p_x^{31}, p_x^{32}$ bernilai 0 karena diasumsikan bahwa tidak ada kemungkinan untuk kembali sehat atau kembali ke *state* sebelumnya. Penghitungan peluang perpindahan antar *state* selama satu tahun didasarkan pada asumsi-asumsi yang disajikan dalam Tabel 8.

Tabel 8 Asumsi peluang transisi 1 tahun

Notasi	Perumusan
p_x^{03}	q_x , untuk usia $25 \leq x \leq 112$
p_x^{01}	$(1 - q_x)Prev_x^1$ untuk usia $25 \leq x \leq 112$
p_x^{02}	$(1 - q_x)Prev_x^2$ untuk usia $25 \leq x \leq 112$
p_x^{00}	$(1 - q_x)Prev_x^0$ untuk usia $25 \leq x \leq 112$
p_x^{13}	$\begin{cases} 1.2q_x & \text{untuk usia } 25 \leq x \leq 110 \\ 1 & \text{untuk usia } 110 < x \leq 112 \end{cases}$
p_x^{12}	$(1 - p_x^{13})Prev_x^2$ untuk usia $25 \leq x \leq 112$
p_x^{11}	$1 - p_x^{12} - p_x^{13}$ untuk usia $25 \leq x \leq 112$
p_x^{23}	$\begin{cases} 1.2^2 q_x & \text{untuk usia } 25 \leq x \leq 110 \\ 1, & \text{untuk usia } 110 < x \leq 112 \end{cases}$
p_x^{22}	$1 - p_x^{23}$ untuk usia $110 < x \leq 112$

Berdasarkan asumsi peluang transisi dalam Tabel 8, peluang transisi dari *state* 2 (*severe disability*) ke *state* 3 (*dead*), dinotasikan sebagai p_x^{23} , memiliki nilai yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan transisi dari *state* 0 (*active*) atau *state* 1 (*moderate disability*) ke *state* 3. Sebagai ilustrasi, berikut ini disajikan tahapan penghitungan peluang transisi satu langkah untuk seorang laki-laki berusia 25 tahun:

- Menghitung peluang transisi dari *state* 0 ke *state* 3 sebelum usia 26 tahun:

$$p_{25}^{03} = q_{25} = 0.001076$$
- Menghitung peluang transisi dari *state* 0 ke *state* 1 sebelum usia 26 tahun:

$$p_{25}^{01} = (1 - q_{25})Prev_{25}^1 = (1 - q_{25})(0.109)$$

$$= (1 - 0.001076)(0.109) = 0.108882716$$
- Menghitung peluang transisi dari *state* 0 ke *state* 2 sebelum usia 26 tahun:

$$p_{25}^{02} = (1 - q_{25})Prev_{25}^2 = (1 - q_{25})(0.001)$$

$$= (1 - 0.001076)(0.001) = 0.000998924$$
- Menghitung peluang transisi dari *state* 0 ke *state* 3 sebelum usia 26 tahun:

$$p_{25}^{03} = (1 - q_{25})Prev_{25}^3 = (1 - q_{25})(0.890)$$

$$= (1 - 0.001076)(0.890) = 0.88904236$$
- Menghitung peluang transisi dari *state* 1 ke *state* 3 sebelum usia 26 tahun:

$$p_{25}^{13} = 1.2q_{25} = 1.2(0.001076) = 0.0012912$$
- Menghitung peluang transisi dari *state* 1 ke *state* 2 sebelum usia 26 tahun:

$$p_{25}^{12} = (1 - p_{25}^{13})Prev_{25}^2 = (1 - 0.0012912)(0.001) = 0.000998709$$
- Menghitung peluang transisi dari *state* 1 ke *state* 1 sebelum usia 26 tahun:

$$p_{25}^{11} = 1 - p_{25}^{12} - p_{25}^{13} = 1 - 0.0012912 - 0.000999 = 0.99771009$$
- Menghitung peluang transisi dari *state* 2 ke *state* 3 sebelum usia 26 tahun:

$$p_{25}^{23} = 1.2^2 q_{25} = 1.2^2(0.001076) = 0.00154944$$
- Menghitung peluang transisi dari *state* 2 ke *state* 2 sebelum usia 26 tahun:

$$p_{25}^{22} = 1 - p_{25}^{23} = 1 - 0.00154944 = 0.99845056$$

Pada peluang transisi p_{25}^{23} diasumsikan bahwa adanya peningkatan risiko kematian sebesar 44% ($1.2^2 q_x$) bagi individu dengan *severe disability* dibandingkan risiko dasar q_x . Asumsi ini konsisten dengan logika medis bahwa tingkat ketergantungan berat/total berkorelasi positif dengan mortalitas. Untuk transisi dari *state* 1, peluang ke *state* 3 (p_x^{13}) juga meningkat 20% ($1.2q_x$) yang mengasumsikan dampak kumulatif disabilitas terhadap mortalitas. Seluruh penghitungan memastikan sifat probabilistik dengan total peluang transisi dari suatu *state* selalu bernilai 1, misalnya $p_x^{11} + p_x^{12} + p_x^{13} = 1$. Hasil lengkap peluang transisi untuk seluruh usia disajikan dalam Lampiran 6.

4.3.2 Peluang Transisi antar *State* dalam t Tahun.

Dalam model *multistate*, peluang transisi dari *state* i ke *state* j dalam waktu t tahun untuk individu berusia x , disimbolkan dengan ${}_t p_x^{ij}$. Peluang transisi t tahun dirumuskan sebagai berikut:

$${}_t p_x^{ij} = \sum_{k=0}^3 {}_{t-1} p_x^{ik} p_{x+t-1}^{kj}$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa untuk berpindah dari *state* i ke *state* j dalam t tahun, dapat melalui *state* antara k pada tahun ke- $(t-1)$, kemudian dilanjutkan dengan transisi ke *state* j pada tahun ke- t . Peluang seseorang berada pada *state* i dan tetap berada pada *state* i di mana $i = 0, 1, 2$ dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} {}_t p_x^{00} &= {}_{t-1} p_x^{00} p_{x+t-1}^{00} \\ {}_t p_x^{11} &= {}_{t-1} p_x^{11} p_{x+t-1}^{11} \\ {}_t p_x^{22} &= {}_{t-1} p_x^{22} p_{x+t-1}^{22} \end{aligned}$$

Selanjutnya, peluang seseorang berada pada *state* i kemudian berpindah ke *state* j dinyatakan dalam Tabel 9 berikut.

Tabel 9 Peluang transisi antar *state* i ke *state* j

<i>State</i>	Peluang transisi
$i = 0$ dan $j = 1$	${}_t p_x^{01} = {}_{t-1} p_x^{00} p_{x+t-1}^{01} + {}_{t-1} p_x^{01} p_{x+t-1}^{11}$
$i = 0$ dan $j = 2$	${}_t p_x^{02} = {}_{t-1} p_x^{00} p_{x+t-1}^{02} + {}_{t-1} p_x^{01} p_{x+t-1}^{12} + {}_{t-1} p_x^{02} p_{x+t-1}^{22}$
$i = 0$ dan $j = 3$	${}_t p_x^{03} = {}_{t-1} p_x^{00} p_{x+t-1}^{03} + {}_{t-1} p_x^{01} p_{x+t-1}^{13} + {}_{t-1} p_x^{02} p_{x+t-1}^{23} + {}_{t-1} p_x^{03} p_{x+t-1}^{33}$
$i = 1$ dan $j = 2$	${}_t p_x^{12} = {}_{t-1} p_x^{11} p_{x+t-1}^{12} + {}_{t-1} p_x^{12} p_{x+t-1}^{22}$
$i = 1$ dan $j = 3$	${}_t p_x^{13} = {}_{t-1} p_x^{11} p_{x+t-1}^{13} + {}_{t-1} p_x^{12} p_{x+t-1}^{23} + {}_{t-1} p_x^{13} p_{x+t-1}^{33}$
$i = 2$ dan $j = 3$	${}_t p_x^{23} = {}_{t-1} p_x^{22} p_{x+t-1}^{23} + {}_{t-1} p_x^{23} p_{x+t-1}^{33}$

4.4 Penghitungan Premi Tahunan Asuransi *Long-Term Care*

Sub-bab ini membahas penghitungan premi tahunan asuransi menggunakan berbagai variasi suku bunga. Setelah peluang transisi diperoleh, nilai sekarang aktuaria dari anuitas manfaat dan *lumpsum* manfaat dihitung untuk menghitung premi asuransi LTC. Variasi suku bunga yang digunakan yaitu suku bunga konstan dengan menggunakan *BI-rate* per April 2025 sebesar 5.75% dan suku bunga model CIR. Premi dihitung menggunakan prinsip kesetaraan.

4.4.1 Penghitungan Faktor Diskon Bunga Stokastik (v)

Untuk menghitung premi asuransi jangka panjang seperti asuransi LTC, faktor diskon (*discount factor*) v digunakan untuk merepresentasikan nilai sekarang dari pembayaran sebesar satu satuan yang dilakukan pada tahun ke- t di masa depan. Dalam penelitian ini, faktor diskon dihitung menggunakan suku bunga stokastik yang telah dibangkitkan sebelumnya. Secara matematis, faktor diskon $v(t)$ pada waktu t sebagai hasil perkalian dari seluruh faktor diskon tahunan pada interval waktu $[0, t]$. Adapun perumusan faktor diskon ditunjukkan sebagai berikut:

$$v^t = \frac{1}{(1+i)^t}$$

dengan i merupakan suku bunga efektif. Untuk penghitungan premi asuransi dengan suku bunga stokastik, perumusan faktor diskon ditunjukkan sebagai berikut:

$$v(t) = \frac{1}{1+i_1} \times \frac{1}{1+i_2} \times \frac{1}{1+i_3} \times \dots \times \frac{1}{1+i_t} \quad (24)$$

dengan i_t merupakan suku bunga efektif pada interval waktu $[t-1, t]$ yang diasumsikan berubah di setiap waktunya. Berdasarkan persamaan (24), dihitung faktor diskon $v(t)$ waktu t dimana $t = 1, 2, 3, \dots$. Gambaran penghitungan faktor diskon untuk $t = 1$ dan $t = 3$ dijabarkan sebagai berikut:

$$v(1) = \frac{1}{1+i_1}$$

$$v(3) = \frac{1}{1+i_1} \times \frac{1}{1+i_2} \times \frac{1}{1+i_3}$$

Hasil faktor diskon yang digunakan untuk penghitungan premi ditunjukkan pada Tabel 10. Hasil lengkap faktor diskon disajikan dalam Lampiran 7.

Tabel 10 Hasil faktor diskon

t	Faktor diskon $v(t)$
1	0.94109539
2	0.88058803
3	0.83352242
\vdots	\vdots
86	0.00701253
87	0.00669042

4.4.2 Actuarial Present Value (APV) dari Anuitas State-dependent

Nilai sekarang aktuarial dari premi bersih tahunan yang dibayarkan setiap awal tahun, selama tertanggung masih berada pada keadaan sehat (*state 0*) hingga usia 59 tahun, dinotasikan dengan ${}^* \ddot{a}_{x:59-x}^{00}$, dan dihitung dengan rumus berikut:

$${}^* \ddot{a}_{x:59-x}^{00} = \sum_{t=0}^{59-x-1} v(t) {}_t p_x^{00}.$$

Selanjutnya, nilai sekarang aktuarial dari manfaat asuransi yang dibayarkan secara anuitas setiap akhir tahun ketika tertanggung bertransisi dari keadaan sehat (*state 0*) ke keadaan *moderate disability (state 1)*, dan *severe disability (state 2)*, masing-masing dinotasikan dengan:

$$a_x^{01} = \sum_{t=1}^{112-x} v(t) {}_t p_x^{01}$$

$$a_x^{02} = \sum_{t=1}^{112-x} v(t) {}_t p_x^{02}.$$

Selanjutnya, nilai sekarang aktuarial dari manfaat asuransi yang dibayar secara *lumpsum* di akhir tahun kematian ketika tertanggung bertransisi dari keadaan sehat (*state 0*) ke meninggal (*state 3*), dirumuskan dengan:

$$A_x^{03} = \sum_{t=0}^{112-x} \sum_{k=0}^2 v(t+1) {}_t p_x^{0k} p_{x+t}^{k3}.$$

Nilai sekarang aktuarial dari total pembayaran manfaat asuransi untuk setiap jenis transisi dapat dihitung sebagai berikut:

$$P = \frac{B^{(1)} a_x^{01} + B^{(2)} a_x^{02} + B^{(3)} A_x^{03}}{{}^* \ddot{a}_{x:59-x}^{00}}.$$

Dengan demikian, besar premi bersih tahunan P yang harus dibayarkan oleh tertanggung hingga usia 60 tahun dapat diperoleh dengan

$$P = \frac{B^{(1)} \sum_{t=1}^{112-x} v(t) {}_t p_x^{01} + B^{(2)} \sum_{t=1}^{112-x} v(t) {}_t p_x^{02} + B^{(3)} \sum_{t=0}^{112-x} \sum_{k=0}^2 v(t+1) {}_t p_x^{0k} p_{x+t}^{k3}}{\sum_{t=0}^{59-x-1} v(t) {}_t p_x^{00}}$$

dengan rincian berikut:

$B^{(1)}$ = Rp30,000,000 (manfaat ketika mengalami *moderate disability state 1*)

$B^{(2)}$ = Rp100,000,000 (manfaat ketika mengalami *severe disability state 2*)

$B^{(3)}$ = Rp30,000,000 (manfaat ketika mengalami kematian/*state 3*).

4.4.3 Penghitungan Premi Asuransi Long-Term Care dengan Suku Bunga Konstan (5.75%)

Pada bagian ini dilakukan penghitungan premi asuransi LTC dengan asumsi suku bunga konstan sebesar 5.75% per tahun. Berdasarkan hasil simulasi dan estimasi probabilitas transisi antar *state*, diperoleh nilai sekarang aktuarial dari masing-masing manfaat sebagai berikut:

$$a_x^{01} = 5.817356 ; a_x^{02} = 0.47680867 ; A_x^{03} = 0.0953218.$$

Sementara itu, nilai sekarang aktuarial dari anuitas tahunan yang dibayarkan selama bertanggung berada dalam keadaan sehat hingga usia 59 tahun adalah:

$$\ddot{a}_{x:59-x}^{00} = 10.14783462.$$

Dengan menggunakan rumus penghitungan premi bersih tahunan $P^{(1)}$ sebagai berikut:

$$P^{(1)} = \frac{B^{(1)}(5.817356) + B^{(2)}(0.4768087) + B^{(3)}(0.0953218)}{10.14783462} = Rp22,178,248.$$

4.4.4 Penghitungan Premi Asuransi LTC dengan Suku Bunga Model CIR

Pada bagian ini dilakukan penghitungan premi bersih tahunan asuransi LTC dengan menggunakan suku bunga stokastik yang dimodelkan menggunakan model CIR. Berdasarkan hasil simulasi dari suku bunga dan proses transisi keadaan, diperoleh nilai sekarang aktuarial untuk masing-masing manfaat sebagai berikut:

$$a_x^{01} = 5.5473818 ; a_x^{02} = 0.412509 ; A_x^{03} = 0.0826361.$$

Nilai sekarang aktuarial dari anuitas tahunan yang dibayarkan selama bertanggung berada dalam keadaan sehat hingga usia 59 tahun adalah:

$$* \ddot{a}_{x:59-x}^{00} = 10.18324805.$$

Dengan rumus premi bersih tahunan yang sama seperti sebelumnya, maka diperoleh hasil premi sebesar

$$P^{(2)} = Rp20,636,977.$$

Dibandingkan dengan premi pada suku bunga konstan (5.75%) yang sebesar Rp22,178,248, premi yang dihitung dengan model suku bunga CIR menunjukkan penurunan sebesar 6.95%. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan model suku bunga stokastik CIR dapat memberikan estimasi premi yang lebih murah dibandingkan dengan penggunaan suku bunga tetap.

Untuk menggambarkan dampak perubahan suku bunga terhadap premi asuransi LTC, dilakukan simulasi premi model suku bunga CIR yang meningkat secara sistematis berdasarkan parameter variasi g . Nilai g yang digunakan merupakan asumsi besarnya peningkatan gaji setiap tahunnya. Peningkatan gaji ini bisa terjadi akibat berbagai faktor, seperti inflasi, jenis pekerjaan, dan banyaknya jam kerja. Berdasarkan data BPS Indonesia, inflasi tahunan Indonesia pada tahun 2023 sebesar 2.61%. Besar asumsi peningkatan gaji yang digunakan penelitian ini adalah 1%, 2.61%, dan 5% di mana 1% merupakan angka di bawah nilai inflasi dan 5% merupakan angka di atas inflasi. Nilai sekarang anuitas tahunan dengan kenaikan gaji diberikan oleh rumus:

$$** \ddot{a}_{x:59-x}^{00} = \sum_{t=0}^{59-x-1} (1+g)^t v(t) {}_t p_x^{00}$$

Dengan demikian, premi tahunan bersih $P^{(0)}$ untuk setiap skenario dihitung dengan formula berikut:

$$P^{(0)**} \ddot{a}_{x:59-x}^{00} = P^{(i)} \sum_{t=0}^{59-x-1} (1+g)^t v(t) {}_t p_x^{00}, i = \{3,4,5\}$$

$$P^{(0)} = \frac{B^{(1)} \sum_{t=1}^{112-x} v(t) {}_t p_x^{01} + B^{(2)} \sum_{t=1}^{112-x} v(t) {}_t p_x^{02} + B^{(3)} \sum_{t=0}^{112-x} \sum_{k=0}^2 v(t+1) {}_t p_x^{0k} p_{x+t}^{k3}}{\sum_{t=0}^{59-x-1} (1+g)^t v(t) {}_t p_x^{00}}$$

Hasil penghitungan premi untuk masing-masing variasi g ditunjukkan pada Tabel 11.

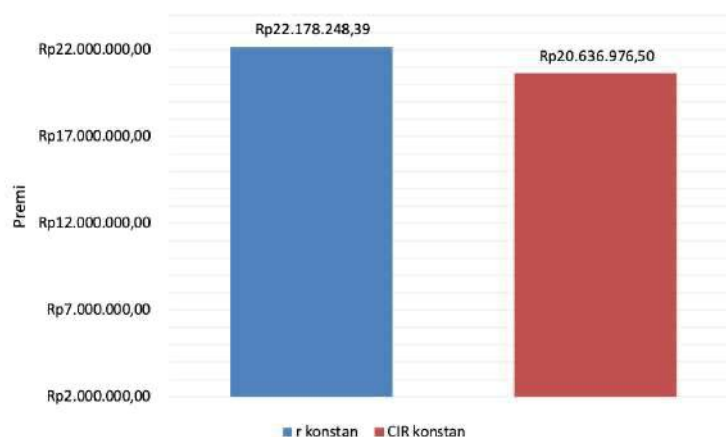
Tabel 11 Hasil penghitungan premi meningkat

Variasi g	Premi Awal
1%	Rp 18,985,395
2.61%	Rp 16,432,137
5%	Rp 12,933,217

Dari tabel terlihat bahwa semakin besar nilai g , maka premi awal yang harus dibayarkan menjadi semakin kecil. Hal ini disebabkan karena sebagian besar beban premi akan dibayarkan di tahun-tahun mendatang ketika nilai premi telah meningkat, sehingga nilai sekarang dari seluruh premi yang dibayarkan akan menjadi lebih kecil.

4.5 Perbandingan Premi Tahunan Suku Bunga Konstan, CIR, dan Variasi Peningkatan Premi dengan Suku Bunga Model CIR

Penghitungan premi konstan suku bunga konstan dan suku bunga model CIR telah diperoleh pada sub-bab sebelumnya. Selanjutnya, untuk memvisualisasikan perbedaan tersebut, disajikan grafik yang menampilkan perbandingan premi dari berbagai variasi yang telah dihitung.



Gambar 6 Perbandingan premi suku bunga konstan dan CIR

Hasil pada Gambar 6 menunjukkan bahwa premi yang dihitung dengan suku bunga dari model CIR konstan (batang merah) secara konsisten lebih rendah dibandingkan dengan premi yang dihitung menggunakan suku bunga tetap (batang biru). Premi dengan suku bunga BI-rate sebesar Rp22,178,248, sedangkan premi dengan suku bunga model CIR sebesar Rp20,636,976. Hal ini dapat dijelaskan dari karakteristik model CIR yang cenderung menghasilkan ekspektasi suku bunga

jangka panjang yang sedikit lebih tinggi karena mempertimbangkan dinamika *mean-reverting* dan volatilitas. Dengan tingkat diskon yang lebih tinggi, nilai kini dari manfaat asuransi akan lebih rendah, sehingga premi yang diperlukan pun menjadi lebih kecil.

Selanjutnya diilustrasikan premi tahunan dari variasi peningkatan premi dengan suku bunga model CIR dalam Gambar 7 di bawah ini. Dari grafik terlihat bahwa semakin tinggi tingkat kenaikan premi tahunan, maka premi awal yang dibayarkan menjadi semakin rendah. Hal ini sesuai dengan prinsip *time value of money*, di mana diskon yang lebih tinggi menurunkan nilai sekarang dari pembayaran premi awal. Namun, karena peningkatan premi tersebut cukup besar, maka premi yang harus dibayar pada tahun-tahun berikutnya juga meningkat semakin besar. Dalam penelitian ini, meskipun pada awalnya premi ini terlihat lebih murah dibandingkan premi dengan suku bunga konstan, saat pembayaran premi ke-10 dan 11, nominal premi yang harus dibayar lebih tinggi dibanding suku bunga model CIR yang konstan.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



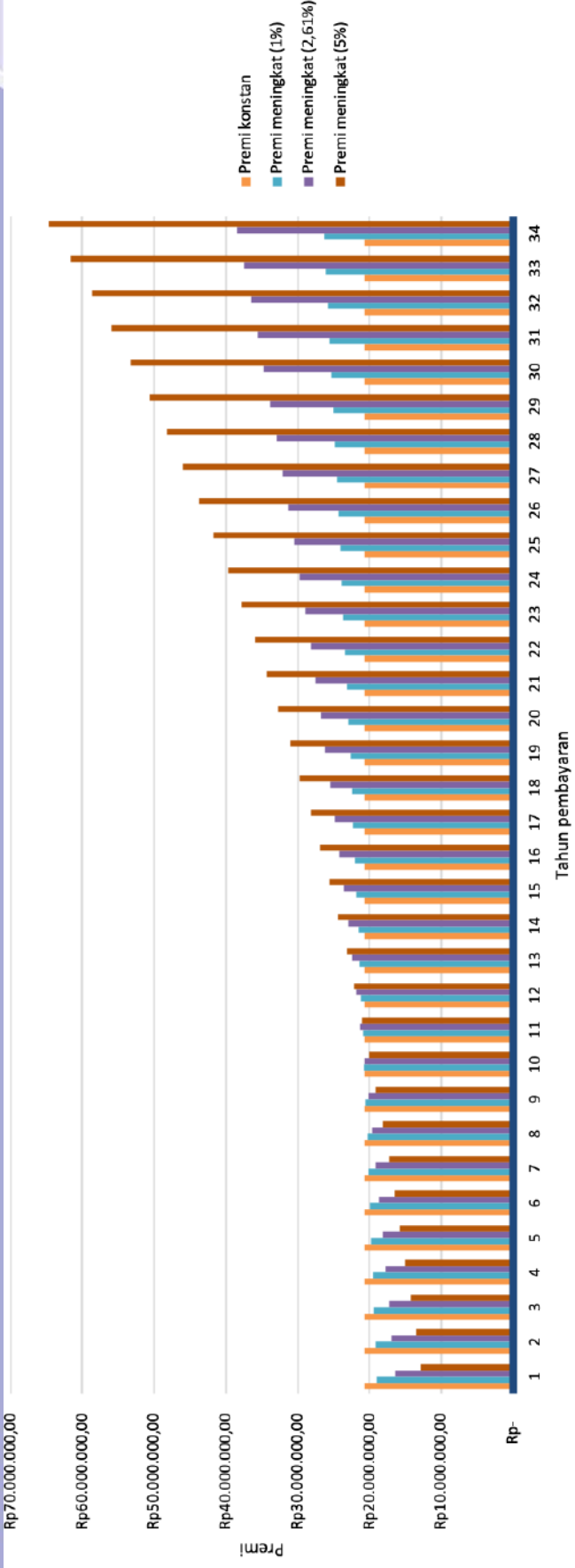
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Gambar 7 Perbandingan premi LTC suku bunga CIR dengan variasi peningkatan gaji

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Suku bunga BI-7 Day (*Reverse*) *Repo Rate* (BI7DRR) dapat dimodelkan menggunakan model CIR dengan parameter model yang diestimasi menggunakan metode OLS. Nilai MAPE digunakan sebagai ukuran evaluasi keakuratan model dalam membangkitkan suku bunga. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh nilai MAPE *training* sebesar 6.95% dan nilai MAPE *testing* sebesar 3.7%, yang menunjukkan bahwa model CIR memiliki tingkat akurasi yang baik dalam memodelkan dan memprediksi pergerakan suku bunga BI7DRR.

Berdasarkan pemodelan tersebut, premi tahunan bersih asuransi LTC berhasil ditentukan untuk berbagai skenario, meliputi premi konstan dengan asumsi suku bunga konstan dan suku bunga model CIR, serta premi meningkat dengan suku bunga model CIR. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa nilai premi tahunan bersih LTC (premi konstan) yang dihitung menggunakan suku bunga hasil bangkitan model CIR adalah 6.95% lebih rendah dibandingkan dengan premi yang dihitung menggunakan suku bunga konstan. Perbedaan nilai premi ini disebabkan oleh perbedaan nilai faktor diskon yang digunakan. Pada model suku bunga konstan, nilai faktor diskon bersifat tetap, sedangkan pada model suku bunga CIR, nilai suku bunga mengalami fluktuasi yang menyebabkan nilai faktor diskon berubah setiap tahunnya. Rata-rata suku bunga dari bangkitan model CIR menghasilkan faktor diskon yang lebih besar dibandingkan faktor diskon dari suku bunga konstan, sehingga nilai premi tahunan bersih menjadi lebih rendah. Selain itu variasi premi meningkat dalam penelitian ini menghasilkan premi awal yang lebih rendah, namun besaran premi meningkat secara signifikan di tahun-tahun berikutnya dan melebihi premi konstan dengan suku bunga CIR saat pembayaran premi tahun ke-10 dan ke-11.

Dengan demikian, penggunaan model suku bunga stokastik seperti CIR dapat memberikan gambaran yang lebih realistis terhadap dinamika pasar dan berdampak pada hasil penghitungan premi yang lebih efisien. Selain itu, pendekatan *multistate* dalam model LTC memungkinkan analisis yang lebih mendalam terhadap kondisi kesehatan tertanggung dan memberikan hasil penghitungan premi yang mencerminkan risiko secara lebih akurat.

5.2 Saran

Penelitian ini menggunakan suku bunga hasil bangkitan model CIR yang merepresentasikan kondisi pasar secara dinamis. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk membandingkan beberapa model stokastik lain seperti Hull-White guna melihat model mana yang paling sesuai dengan karakteristik suku bunga di Indonesia. Selain itu, model *multistate* yang digunakan dalam asuransi LTC dapat diperluas dengan menambahkan lebih banyak status kesehatan serta mempertimbangkan variabel risiko tambahan seperti riwayat penyakit, gaya hidup, dan status sosial ekonomi untuk meningkatkan ketepatan estimasi premi.

Hasil penelitian ini juga dapat menjadi dasar bagi regulator dalam menyusun kebijakan yang mendukung pengembangan asuransi LTC yang adil dan berkelanjutan. Pemerintah dapat mempertimbangkan regulasi yang mengatur batas maksimum klaim, ketentuan manfaat yang harus disediakan, serta persyaratan

administratif untuk melindungi hak peserta dan menjaga kesinambungan finansial perusahaan asuransi. Selain itu, pemberian insentif seperti subsidi premi atau insentif pajak dapat mendorong partisipasi masyarakat dalam produk perlindungan jangka panjang ini.

Bagi industri asuransi, pendekatan suku bunga stokastik dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan akurasi dalam penghitungan premi produk jangka panjang seperti *long-term care*. Di samping itu, perusahaan asuransi dapat mulai mengembangkan produk LTC yang lebih terjangkau dan menarik dengan mempertimbangkan aspek-aspek kesejahteraan masyarakat Indonesia, seperti gaya hidup, kondisi kesehatan, dan kemampuan finansial. Penambahan manfaat berupa fasilitas kesehatan, layanan pendampingan, atau insentif khusus lainnya juga dapat menjadi strategi untuk meningkatkan minat pasar dan menciptakan produk yang lebih kompetitif.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR PUSTAKA

- Artika S, Purnaba IGP, Lesmana DC. 2018. Penentuan premi asuransi jiwa berjangka menggunakan model Vasicek dan model *Cox-Ingersoll-Ross* (CIR). *Journal of Mathematics and Its Applications*. 17(2):129-139. doi:10.29244/jmap.17.2.129-139
- Aryanti F, Romadhiyati F. 2020. Prevalensi terjadinya Caseous Lymphadenitis pada kambing Shaanen BBPKH Cinagara. *AgriHumanis: Journal of Agriculture and Human Resource Development Studies*. 1(1):61-67. doi:10.46575/agrihumanis.v1i1.55.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2023. *Statistik Penduduk Lanjut Usia 2023*. Jakarta: BPS-RI.
- [BPJS Ketenagakerjaan] Badan Penyelenggara Jaminan Sosial Ketenagakerjaan. 2023. *Tabel Mortalitas dan Morbiditas Penduduk Indonesia Volume 1, 2023*. Jakarta: BPJS Ketenagakerjaan.
- Camilli SJ, Duncan I, London RL. 2014. *Models for Quantifying Risk*. Ed ke-6. Winsted (CT): ACTEX Publications Inc.
- Chapra S, Canale R. 2015. *Numerical Methods for Engineers*. Ed ke-7. New York: McGraw-Hill.
- Cox JC, Ingersoll JE, Ross SA. A theory of the term structure of interest rates. *Econometrica*. 53(2):385-408.
- Dickson DCM, Hardy MR, Waters HR. 2020. *Actuarial Mathematics for Life Contingent Risks (International Series on Actuarial Science)*. Ed ke-3. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ekawati D, Ansar A, Hikmah. 2021. Penentuan premi asuransi jiwa dwiguna dengan polis partisipasi menggunakan suku bunga model CIR. *Transformasi: Jurnal Pendidikan Matematika dan Matematika*. 5(1):511-522. doi:10.36526/tr.v5i1.1190
- Erha TR. 2024. Aplikasi model multi-state pada penentuan premi tahunan dan nilai polis asuransi long-term care stand-alone [skripsi]. Bogor: IPB University.
- Feng J, Wang Z, Yu Y. 2020. Does long-term care insurance reduce hospital utilization and medical expenditures? Evidence from China. *Social Science & Medicine*. 258:1-8. doi:10.1016/j.socscimed.2020.113081.
- Garrett SJ. 2013. *An Introduction to the Mathematics of Finance: A Deterministic Approach*. Ed ke-2. Oxford: Butterworth-Heinemann (Elsevier).
- Gerber HU. 1997. *Life Insurance Mathematics*. Lausanne: Springer.
- Haberman S, Olivieri A, Pitacco E. 1997. *Multiple State Modelling and Long Term Care Insurance*. London: The Staple Inn Actuary Society.
- Hadiva CR. 2024. Penentuan premi bersih asuransi long-term care pada model Dickson dan Haberman-Pitacco [skripsi]. Bogor: IPB University.
- Harlan J. 2019. *Analisis Data Epidemiologi*. Jawa Barat: Gunadarma.
- Hull JC. 2022. *Options, Futures, and Other Derivatives*. Ed ke-11. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Kellison S. 2009. *The Theory of Interest*. Ed ke-3. Boston: McGraw-Hill.
- [Kemenkes BKPK] Kementerian Kesehatan Badan Kebijakan Pembangunan Kesehatan. 2023. *Survei Kesehatan Indonesia (SKI) 2023 dalam Angka*. Jakarta: Kemenkes BKPK.

- Kloeden PE, Platen E. 1992. *Numerical Solution of Stochastic Differential Equations*. Berlin: Springer Science & Business Media.
- Lawrence K, Klimberg R, Lawrence S. 2009. *Fundamental of Forecasting Using Excel*. New York: Industrial Press Inc.
- Li Q, Chen Y, Zhang Y, Liu X. 2024. *Evaluation of China's long term care insurance policies*. *Frontiers in Public Health*.12(): doi:10.3389/fpubh.2024.1252817
- Mariana E. 2015. Estimasi parameter pada model suku bunga Cox Ingersoll Ross (CIR) menggunakan Kalman Filter untuk menentukan harga zero coupon bond [tesis]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Montgomery DC. 2008. *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Nastiti ZD. 2015. Implementasi model tingkat suku bunga Cox Ingersoll Ross (CIR) untuk menentukan iuran normal pensiun program manfaat pasti [tesis]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Putri SSR, Kusnandar D, Perdana H. 2022. Model multi status untuk produk asuransi *long-term care*. *Bimaster: Buletin Ilmiah Math. Stat dan Terapannya*. 11(3):457-460. doi:10.26418/bbimst.v11i3.55035
- Orlando G, Mininni RM, Bufalo M. 2019. Interest rates calibration with a CIR model. *The Journal of Risk Finance*. 20(4):370-387. doi:10.1108/JRF-05-2019-0080
- Raja J. 2024. Penentuan premi tahunan bersih pada long term care insurance dengan tingkat bunga mengikuti model Vasicek [skripsi]. Bogor: IPB University.
- Rejda GE, McNamara MJ. 2017. *Principles of Risk Management and Insurance*. Ed ke-13. England: Pearson Education.
- Rizkita RP, Syarifuddin. 2023. Peran asuransi dalam kehidupan humanisme ditengah pro-kontra masyarakat. *Jurnal Pendidikan dan Konseling*. 5(1): 5736-5744. doi:10.31004/jpdk.v5i1.12077
- Ross S. 1996. *Stochastic Process*. Ed ke-2. New York: John Wiley & Sons.
- Ross SM. 2023. *Introduction to Probability Models*. Ed ke-13. Los Angeles (CA): Academic Press (Elsevier).
- Schorgofer N. 2018. *Lessons in Scientific Computing*. London: CRC Press.
- Setiawan D, Lestari F. 2024. Analisis perbandingan penghitungan pendanaan pensiun dengan model suku bunga Vasicek dan Cox Ingersoll Ross (CIR) menggunakan metode *frozen initial liability*. *Prosiding Seminar Nasional Sains Data*. 4(1): 224-234. doi:10.33005/senada.v4i1.184
- Slamet SW. 2016. Hubungan activity daily living (ADL) dengan kualitas hidup pada pasien pasca stroke di unit fisioterapi Rumah Sakit Stella Maris Makassar [skripsi]. Makassar: Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Stella Maris Makassar.
- Tarmizi SN. 2024 Sep 23. Kenali Gejala Jantung Sejak Dini. Kemenkes.go.id. Rilis Kementerian Kesehatan. [diakses 2025 Mei 23]. <https://kemkes.go.id/id/rilis-kesehatan/kenali-gejala-jantung-sejak-dini>
- Vaughan EJ, Vaughan TM. 2013. *Fundamentals of Risk and Insurance*. Ed ke-11. New York: John Wiley and Sons.



@Hak cipta milik IPB University

LAMPIRAN

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 1 Bukti estimasi parameter-parameter model CIR dengan menggunakan metode *ordinary least square* (OLS)

$$\begin{aligned}
 S &= \sum_{i=1}^{N-1} e_i^2 \\
 &= \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{r_{i+\Delta t}}{\sqrt{r_i}} - \left(\frac{a}{\sqrt{r_i}} + \frac{r_i}{\sqrt{r_i}} b \right) \right)^2 \\
 &= \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{r_{i+\Delta t}}{\sqrt{r_i}} \right)^2 - 2 \sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{\sqrt{r_i}} \left(\frac{a}{\sqrt{r_i}} + \frac{br_i}{\sqrt{r_i}} \right) + \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{a}{\sqrt{r_i}} + \frac{br_i}{\sqrt{r_i}} \right)^2
 \end{aligned}$$

Penentuan nilai parameter optimal didapat dengan menurunkan persamaan di atas sehingga diperoleh:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \frac{a + br_i}{r_i} = 0$$

$$2 \sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} = 2 \sum_{i=1}^{N-1} \frac{a + br_i}{r_i}$$

$$\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} = \sum_{i=1}^{N-1} \frac{a + br_i}{r_i}$$

$$\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} = a \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} + \sum_{i=1}^{N-1} b$$

$$a \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} = \sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} - (N-1)b$$

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} - (N-1)\hat{b}}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}}$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} + 2 \sum_{i=1}^{N-1} (a + br_i) = 0$$

$$2 \sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} = 2 \sum_{i=1}^{N-1} (a + br_i)$$

$$\sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} = \sum_{i=1}^{N-1} a + \sum_{i=1}^{N-1} br_i$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



$$b \sum_{i=1}^{N-1} r_i = \sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} - (N-1)a$$

$$b \sum_{i=1}^{N-1} r_i = \sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} - (N-1) \left(\frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} - (N-1)\hat{b}}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}} \right)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} - (N-1) \left(\frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} - (N-1)b}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}} \right)}{\sum_{i=1}^{N-1} r_i}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} + \frac{(N-1)^2 b}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}} - (N-1) \left(\frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i}}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}} \right)}{\sum_{i=1}^{N-1} r_i}$$

$$b \sum_{i=1}^{N-1} r_i - \frac{(N-1)^2 b}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}} = \sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} - (N-1) \left(\frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i}}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}} \right)$$

$$b \left(\sum_{i=1}^{N-1} r_i - \frac{(N-1)^2}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}} \right) = \sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} - (N-1) \left(\frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i}}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}} \right)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} - (N-1) \left(\frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i}}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}} \right)}{\left(\sum_{i=1}^{N-1} r_i - \frac{(N-1)^2}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}} \right)}$$

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} - (N-1) \sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i}}{\left(\sum_{i=1}^{N-1} r_i \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} - (N-1)^2 \right)}$$

Nilai dugaan parameter a dan b terbukti meminimalkan fungsi $S = \sum_{i=1}^{N-1} e_i^2$ berdasarkan hasil evaluasi menggunakan matriks Hess (H) sebagai berikut:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 S}{\partial a^2} & \frac{\partial^2 S}{\partial a \partial b} \\ \frac{\partial^2 S}{\partial b \partial a} & \frac{\partial^2 S}{\partial b^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} & 2(N-1) \\ 2(N-1) & 2 \sum_{i=1}^{N-1} r_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix}$$

Misalkan $|H|$ merupakan determinan dari matriks H dan r_i merupakan data BI7DRR periode Agustus 2017 hingga November 2023, maka

$$|H_1| = |h_{11}| = 2 \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} = 2 \times 1694.391532 = 3464.204935 > 0$$

$$|H_2| = \begin{vmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{vmatrix} = \left(2 \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} \right) \left(2 \sum_{i=1}^{N-1} r_i \right) - 4(N-1)^2$$

$$|H_2| = 3464.204935 \times 6.93781 - 4(75)^2 = 1.533.99288 > 0$$

Karena $|H_1|$ dan $|H_2|$ memiliki nilai lebih dari nol, maka \hat{a} dan \hat{b} terbukti meminumkan fungsi $S = \sum_{i=1}^{N-1} e_i^2$. Untuk memperoleh parameter CIR, nilai \hat{a} dan \hat{b} disubstitusikan ke dalam persamaan $a = \kappa\theta\Delta t$ dan $b = (1 - \kappa\Delta t)$ sehingga diperoleh

$$a = \kappa\theta\Delta t$$

$$\kappa = \frac{1-b}{\Delta t}$$

$$\kappa = \frac{1 - \frac{\sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} - (N-1) \sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i}}{\left(\sum_{i=1}^{N-1} r_i \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} - (N-1)^2 \right)}}{\Delta t}$$

$$\hat{\kappa} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} - (n-1)^2 - \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} \sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} + (n-1) \sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i}}{\left(\sum_{i=1}^{N-1} r_i \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} - (n-1)^2 \right) \Delta t}$$

$$b = (1 - \kappa\Delta t)$$

$$b = \left(1 - \frac{a}{\theta} \right)$$

$$a = (1 - b)\theta$$

$$\theta = \frac{a}{1-b}$$

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} - (N-1)\hat{b}}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}}$$

$$1 - \frac{\sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} + \frac{(N-1)^2 b}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}} - (N-1) \left(\frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i}}{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i}} \right)}{\sum_{i=1}^{N-1} r_i}$$

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} (\sum_{i=1}^{N-1} r_i) - (n-1) (\sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t})}{\sum_{i=1}^{N-1} r_i \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} - (n-1)^2 - \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{r_i} \sum_{i=1}^{N-1} r_{i+\Delta t} + (n-1) \sum_{i=1}^{N-1} \frac{r_{i+\Delta t}}{r_i}}$$

Simpangan baku dari σ model CIR ini dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^{N-1} \left(\frac{r_{i+\Delta t}}{r_i} - \left(\frac{\kappa\theta\Delta t}{\sqrt{r_i}} + \frac{r_i}{\sqrt{r_i}} (1 - \kappa\Delta t) \right) \right)^2}$$

Lampiran 2 Data suku bunga BI7DRR (i)

<i>t</i>	Tanggal	BI7DRR (i)	<i>t</i>	Tanggal	BI7DRR (i)
1	August 2017	4.50%	39	October 2020	4.00%
2	September 2017	4.25%	40	November 2020	3.75%
3	October 2017	4.25%	41	December 2020	3.75%
4	November 2017	4.25%	42	January 2021	3.75%
5	December 2017	4.25%	43	February 2021	3.50%
6	January 2018	4.25%	44	March 2021	3.50%
7	February 2018	4.25%	45	April 2021	3.50%
8	March 2018	4.25%	46	May 2021	3.50%
9	April 2018	4.25%	47	June 2021	3.50%
10	May 2018	4.75%	48	July 2021	3.50%
11	June 2018	5.25%	49	August 2021	3.50%
12	July 2018	5.25%	50	September 2021	3.50%
13	August 2018	5.50%	51	October 2021	3.50%
14	September 2018	5.75%	52	November 2021	3.50%
15	October 2018	5.75%	53	December 2021	3.50%
16	November 2018	6.00%	54	January 2022	3.50%
17	December 2018	6.00%	55	February 2022	3.50%
18	January 2019	6.00%	56	March 2022	3.50%
19	February 2019	6.00%	57	April 2022	3.50%
20	March 2019	6.00%	58	May 2022	3.50%
21	April 2019	6.00%	59	June 2022	3.50%
22	May 2019	6.00%	60	July 2022	3.50%
23	June 2019	6.00%	61	August 2022	3.75%
24	July 2019	5.75%	62	September 2022	4.25%
25	August 2019	5.50%	63	October 2022	4.75%
26	September 2019	5.25%	64	November 2022	5.25%
27	October 2019	5.00%	65	December 2022	5.50%
28	November 2019	5.00%	66	January 2023	5.75%
29	December 2019	5.00%	67	February 2023	5.75%
30	January 2020	5.00%	68	March 2023	5.75%
31	February 2020	4.75%	69	April 2023	5.75%
32	March 2020	4.50%	70	May 2023	5.75%
33	April 2020	4.50%	71	June 2023	5.75%
34	May 2020	4.50%	72	July 2023	5.75%
35	June 2020	4.25%	73	August 2023	5.75%
36	July 2020	4.00%	74	September 2023	5.75%
37	August 2020	4.00%	75	October 2023	6.00%
38	September 2020	4.00%	76	November 2023	6.00%

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Lampiran 3 Data suku bunga BI7DRR (δ)

<i>t</i>	Tanggal	BI7DRR (δ)	<i>t</i>	Tanggal	BI7DRR (δ)
1	August 2017	4.402%	39	October 2020	3.922%
2	September 2017	4.162%	40	November 2020	3.681%
3	October 2017	4.162%	41	December 2020	3.681%
4	November 2017	4.162%	42	January 2021	3.681%
5	December 2017	4.162%	43	February 2021	3.440%
6	January 2018	4.162%	44	March 2021	3.440%
7	February 2018	4.162%	45	April 2021	3.440%
8	March 2018	4.162%	46	May 2021	3.440%
9	April 2018	4.162%	47	June 2021	3.440%
10	May 2018	4.641%	48	July 2021	3.440%
11	June 2018	5.117%	49	August 2021	3.440%
12	July 2018	5.117%	50	September 2021	3.440%
13	August 2018	5.354%	51	October 2021	3.440%
14	September 2018	5.591%	52	November 2021	3.440%
15	October 2018	5.591%	53	December 2021	3.440%
16	November 2018	5.827%	54	January 2022	3.440%
17	December 2018	5.827%	55	February 2022	3.440%
18	January 2019	5.827%	56	March 2022	3.440%
19	February 2019	5.827%	57	April 2022	3.440%
20	March 2019	5.827%	58	May 2022	3.440%
21	April 2019	5.827%	59	June 2022	3.440%
22	May 2019	5.827%	60	July 2022	3.440%
23	June 2019	5.827%	61	August 2022	3.681%
24	July 2019	5.591%	62	September 2022	4.162%
25	August 2019	5.354%	63	October 2022	4.641%
26	September 2019	5.117%	64	November 2022	5.117%
27	October 2019	4.879%	65	December 2022	5.354%
28	November 2019	4.879%	66	January 2023	5.591%
29	December 2019	4.879%	67	February 2023	5.591%
30	January 2020	4.879%	68	March 2023	5.591%
31	February 2020	4.641%	69	April 2023	5.591%
32	March 2020	4.402%	70	May 2023	5.591%
33	April 2020	4.402%	71	June 2023	5.591%
34	May 2020	4.402%	72	July 2023	5.591%
35	June 2020	4.162%	73	August 2023	5.591%
36	July 2020	3.922%	74	September 2023	5.591%
37	August 2020	3.922%	75	October 2023	5.827%
38	September 2020	3.922%	76	November 2023	5.827%

Hak cipta milik IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University. 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 4 Estimasi suku bunga model CIR tahunan (i %)

t	Suku bunga model CIR (i)	t	Suku bunga model CIR (i)
1	6.26%	45	3.56%
2	6.87%	46	4.00%
3	5.65%	47	4.69%
4	4.69%	48	4.94%
5	4.43%	49	5.97%
6	4.83%	50	6.78%
7	4.95%	51	7.20%
8	5.42%	52	6.95%
9	5.83%	53	6.56%
10	6.18%	54	6.14%
11	5.82%	55	6.54%
12	5.60%	56	7.97%
13	5.86%	57	7.89%
14	6.22%	58	8.17%
15	5.60%	59	8.39%
16	5.90%	60	8.58%
17	6.30%	61	8.29%
18	5.46%	62	6.35%
19	4.60%	63	5.80%
20	5.25%	64	5.43%
21	5.63%	65	5.72%
22	6.39%	66	4.96%
23	7.30%	67	4.81%
24	7.96%	68	5.43%
25	7.07%	69	5.10%
26	7.52%	70	5.56%
27	9.26%	71	6.01%
28	10.66%	72	6.40%
29	10.64%	73	7.07%
30	9.36%	74	7.81%
31	8.90%	75	6.72%
32	7.99%	76	5.70%
33	6.77%	77	4.05%
34	6.82%	78	3.46%
35	7.32%	79	3.39%
36	6.22%	80	3.38%
37	5.55%	81	3.20%
38	5.40%	82	3.34%
39	5.13%	83	3.77%
40	5.16%	84	3.65%
41	5.08%	85	3.33%
42	4.24%	86	3.75%
43	3.48%	87	4.81%

t	Suku bunga model CIR (i)	t	Suku bunga model CIR (i)
44	3.33%	88	4.46%

@Hak cipta milik IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Lampiran 5 Peluang kematian laki-laki berdasarkan Tabel Mortalitas Penduduk Indonesia Laki-laki (TMPI) 2023

x	Laki-laki (q_x)	x	Laki-laki (q_x)	x	Laki-laki (q_x)
0	0.009791	38	0.002282	76	0.040318
1	0.002526	39	0.002468	77	0.041931
2	0.001079	40	0.002681	78	0.043665
3	0.000701	41	0.002911	79	0.045679
4	0.000598	42	0.003171	80	0.048105
5	0.000578	43	0.003475	81	0.051056
6	0.000575	44	0.003816	82	0.054637
7	0.000566	45	0.004182	83	0.058904
8	0.000547	46	0.004590	84	0.063869
9	0.000523	47	0.005064	85	0.069532
10	0.000507	48	0.005611	86	0.075921
11	0.000504	49	0.006223	87	0.083101
12	0.000517	50	0.006927	88	0.091181
13	0.000543	51	0.007738	89	0.100295
14	0.000578	52	0.008626	90	0.110590
15	0.000620	53	0.009534	91	0.122198
16	0.000661	54	0.010457	92	0.135220
17	0.000697	55	0.011404	93	0.149714
18	0.000734	56	0.012364	94	0.165699
19	0.000776	57	0.013315	95	0.183166
20	0.000822	58	0.014309	96	0.202084
21	0.000865	59	0.015405	97	0.222408
22	0.000913	60	0.016604	98	0.244075
23	0.000967	61	0.017867	99	0.267009
24	0.001023	62	0.019201	100	0.291119
25	0.001076	63	0.020585	101	0.316297
26	0.001132	64	0.021962	102	0.342423
27	0.001196	65	0.023274	103	0.369364
28	0.001263	66	0.024568	104	0.396967
29	0.001327	67	0.025899	105	0.425069
30	0.001393	68	0.027284	106	0.453489
31	0.001468	69	0.028732	107	0.482033
32	0.001549	70	0.030301	108	0.510493
33	0.001632	71	0.032002	109	0.538649
34	0.001728	72	0.033755	110	0.566271
35	0.001846	73	0.035455	111	1.000000
36	0.001981	74	0.037098		
37	0.002123	75	0.038713		

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Perpustakaan IPB University
 Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isi buku ini untuk tujuan komersial atau dengan cara lain yang melanggar hak cipta atau hak-hak yang berkaitan dengan hak cipta.
 2. Dilarang mengutip dan mempublikasikan sebagian atau seluruh isi buku ini untuk tujuan komersial atau dengan cara lain yang melanggar hak cipta atau hak-hak yang berkaitan dengan hak cipta.

x	p_x^{00}	p_x^{01}	p_x^{02}	p_x^{03}	p_x^{11}	p_x^{12}	p_x^{13}	p_x^{22}	p_x^{23}
49	0.942101	0.047701	0.003975	0.006223	0.988562	0.003970	0.007468	0.991039	0.008961
50	0.941433	0.047668	0.003972	0.006927	0.987721	0.003967	0.008312	0.990025	0.009975
51	0.940664	0.047629	0.003969	0.007738	0.986752	0.003963	0.009286	0.988857	0.011143
52	0.939823	0.047586	0.003965	0.008626	0.985690	0.003959	0.010351	0.987579	0.012421
53	0.938962	0.047542	0.003962	0.009534	0.984605	0.003954	0.011441	0.986271	0.013729
54	0.938087	0.047498	0.003958	0.010457	0.983502	0.003950	0.012548	0.984942	0.015058
55	0.915440	0.064259	0.008897	0.011404	0.977438	0.008877	0.013685	0.983578	0.016422
56	0.914551	0.064196	0.008889	0.012364	0.976297	0.008866	0.014837	0.982196	0.017804
57	0.913670	0.064135	0.008880	0.013315	0.975166	0.008856	0.015978	0.980826	0.019174
58	0.912750	0.064070	0.008871	0.014309	0.973984	0.008845	0.017171	0.979395	0.020605
59	0.911735	0.063999	0.008861	0.015405	0.972680	0.008834	0.018486	0.977817	0.022183
60	0.952911	0.018685	0.011801	0.016604	0.968314	0.011761	0.019925	0.976090	0.023910
61	0.951687	0.018661	0.011786	0.017867	0.966817	0.011743	0.021440	0.974272	0.025728
62	0.950394	0.018635	0.011770	0.019201	0.965235	0.011724	0.023041	0.972351	0.027649
63	0.949053	0.018609	0.011753	0.020585	0.963594	0.011704	0.024702	0.970358	0.029642
64	0.947719	0.018583	0.011736	0.021962	0.961962	0.011684	0.026354	0.968375	0.031625
65	0.946447	0.018558	0.011721	0.023274	0.960406	0.011665	0.027929	0.966485	0.033515
66	0.945194	0.018533	0.011705	0.024568	0.958872	0.011646	0.029482	0.964622	0.035378
67	0.943904	0.018508	0.011689	0.025899	0.957294	0.011627	0.031079	0.962705	0.037295
68	0.942562	0.018482	0.011673	0.027284	0.955652	0.011607	0.032741	0.960711	0.039289
69	0.941159	0.018454	0.011655	0.028732	0.953935	0.011586	0.034478	0.958626	0.041374
70	0.907638	0.042667	0.019394	0.030301	0.944366	0.019273	0.036361	0.956367	0.043633
71	0.906046	0.042592	0.019360	0.032002	0.942366	0.019232	0.038402	0.953917	0.046083
72	0.904405	0.042515	0.019325	0.033755	0.940304	0.019190	0.040506	0.951393	0.048607
73	0.902814	0.042440	0.019291	0.035455	0.938305	0.019149	0.042546	0.948945	0.051055
74	0.901276	0.042368	0.019258	0.037098	0.936373	0.019110	0.044518	0.946579	0.053421

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya ini untuk tujuan komersial atau untuk tujuan lain yang melanggar hak cipta.
 2. Dilarang mengutipkan dan mempromosikan karya ini untuk tujuan komersial atau untuk tujuan lain yang melanggar hak cipta.

x	p_x^{00}	p_x^{01}	p_x^{02}	p_x^{03}	p_x^{11}	p_x^{12}	p_x^{13}	p_x^{22}	p_x^{23}
75	0.899765	0.042297	0.019226	0.038713	0.934474	0.019071	0.046456	0.944253	0.055747
76	0.898262	0.042226	0.019194	0.040318	0.932586	0.019032	0.048382	0.941942	0.058058
77	0.896753	0.042155	0.019161	0.041931	0.930689	0.018994	0.050317	0.939619	0.060381
78	0.895130	0.042079	0.019127	0.043665	0.928650	0.018952	0.052398	0.937122	0.062878
79	0.893244	0.041990	0.019086	0.045679	0.926281	0.018904	0.054815	0.934222	0.065778
80	0.792929	0.103757	0.055210	0.048105	0.887622	0.054652	0.057726	0.930729	0.069271
81	0.790470	0.103435	0.055039	0.051056	0.884286	0.054447	0.061267	0.926479	0.073521
82	0.787487	0.103045	0.054831	0.054637	0.880238	0.054197	0.065564	0.921323	0.078677
83	0.783933	0.102579	0.054584	0.058904	0.875415	0.053900	0.070685	0.915178	0.084822
84	0.779797	0.102038	0.054296	0.063869	0.869802	0.053555	0.076643	0.908029	0.091971
85	0.775080	0.101421	0.053967	0.069532	0.863401	0.053161	0.083438	0.899874	0.100126
86	0.769758	0.100725	0.053597	0.075921	0.856179	0.052716	0.091105	0.890674	0.109326
87	0.763777	0.099942	0.053180	0.083101	0.848063	0.052216	0.099721	0.880335	0.119665
88	0.757046	0.099061	0.052712	0.091181	0.838929	0.051654	0.109417	0.868699	0.131301
89	0.749454	0.098068	0.052183	0.100295	0.828627	0.051019	0.120354	0.855575	0.144425
90	0.740879	0.096946	0.051586	0.110590	0.816989	0.050303	0.132708	0.840750	0.159250
91	0.731209	0.095680	0.050913	0.122198	0.803867	0.049495	0.146638	0.824035	0.175965
92	0.720362	0.094261	0.050157	0.135220	0.789147	0.048589	0.162264	0.805283	0.194717
93	0.708288	0.092681	0.049317	0.149714	0.772763	0.047580	0.179657	0.784412	0.215588
94	0.694973	0.090939	0.048389	0.165699	0.754694	0.046467	0.198839	0.761393	0.238607
95	0.680423	0.089035	0.047376	0.183166	0.734949	0.045252	0.219799	0.736241	0.263759
96	0.664664	0.086973	0.046279	0.202084	0.713564	0.043935	0.242501	0.708999	0.291001
97	0.647734	0.084758	0.045100	0.222408	0.690590	0.042520	0.266890	0.679732	0.320268
98	0.629686	0.082396	0.043844	0.244075	0.666098	0.041012	0.292890	0.648532	0.351468
99	0.610582	0.079896	0.042513	0.267009	0.640173	0.039416	0.320411	0.615507	0.384493
100	0.590498	0.077268	0.041115	0.291119	0.612919	0.037738	0.349343	0.580789	0.419211



	p_x^{00}	p_x^{01}	p_x^{02}	p_x^{03}	p_x^{11}	p_x^{12}	p_x^{13}	p_x^{22}	p_x^{23}
101	0.569525	0.074524	0.039655	0.316297	0.584458	0.035986	0.379556	0.544532	0.455468
102	0.547762	0.071676	0.038139	0.342423	0.554925	0.034167	0.410908	0.506911	0.493089
103	0.525320	0.068739	0.036577	0.369364	0.524471	0.032292	0.443237	0.468116	0.531884
104	0.502326	0.065731	0.034976	0.396967	0.493269	0.030371	0.476360	0.428368	0.571632
105	0.478918	0.062667	0.033346	0.425069	0.461502	0.028415	0.510083	0.387901	0.612099
106	0.455244	0.059570	0.031698	0.453489	0.429376	0.026437	0.544187	0.346976	0.653024
107	0.431467	0.056458	0.030042	0.482033	0.397110	0.024451	0.578440	0.305872	0.694128
108	0.407759	0.053356	0.028391	0.510493	0.364939	0.022470	0.612592	0.264890	0.735110
109	0.384305	0.050287	0.026758	0.538649	0.333111	0.020510	0.646379	0.224345	0.775655
110	0.361296	0.047276	0.025156	0.566271	0.301887	0.018588	0.679525	0.184570	0.815430
111	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	1.000000

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengutip sumbernya
 2. Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun

Lampiran 7 Faktor diskon bunga stokastik

t	$v(t)$	t	$v(t)$	t	$v(t)$
1	0.941095	43	0.072177	85	0.007275
2	0.880588	44	0.069851	86	0.007013
3	0.833522	45	0.067451	87	0.006690
4	0.796176	46	0.064857		
5	0.762424	47	0.061951		
6	0.727264	48	0.059037		
7	0.692985	49	0.055712		
8	0.657384	50	0.052174		
9	0.621143	51	0.048672		
10	0.585010	52	0.045510		
11	0.552817	53	0.042707		
12	0.523487	54	0.040238		
13	0.494491	55	0.037767		
14	0.465550	56	0.034980		
15	0.440862	57	0.032422		
16	0.416286	58	0.029972		
17	0.391614	59	0.027651		
18	0.371347	60	0.025466		
19	0.355019	61	0.023517		
20	0.337319	62	0.022112		
21	0.319327	63	0.020900		
22	0.300134	64	0.019823		
23	0.279726	65	0.018750		
24	0.259106	66	0.017864		
25	0.241995	67	0.017043		
26	0.225063	68	0.016166		
27	0.205982	69	0.015382		
28	0.186133	70	0.014571		
29	0.168238	71	0.013745		
30	0.153833	72	0.012919		
31	0.141266	73	0.012066		
32	0.130814	74	0.011192		
33	0.122514	75	0.010487		
34	0.114697	76	0.009922		
35	0.106877	77	0.009535		
36	0.100621	78	0.009216		
37	0.095326	79	0.008914		
38	0.090441	80	0.008623		
39	0.086027	81	0.008356		
40	0.081808	82	0.008086		
41	0.077855	83	0.007792		
42	0.074687	84	0.007518		

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 8 Kode pemrograman untuk menduga parameter model CIR, membangkitkan suku bunga model CIR, dan evaluasi menggunakan MAPE

Pendugaan parameter CIR

```

library(MLmetrics)
library(ggplot2)
library(readxl)

data <- read_xlsx("/Users/fakhiraannisa/Documents/SCRIPTSEEH/BI-7Day-RR.xlsx")
deltarate <- data$Rate_delta[1:76]
n <- length(deltarate)
plot(1:76, data$Rate_delta[1:76], pch=19, col="blue", xlab = "Waktu", ylab = "Rate
BI-7DRR")
points((66:datalength), data$Rate_delta[66:datalength], pch=19, col="red", xlab =
"Waktu", ylab = "Rate BI-7DRR")

data.train = deltarate[1:65]
data.test = deltarate[66:76]
n.train = length(data.train)
n.test = length(data.test)

rate <- data.train[-n.train]
rate1 <- data.train[-1]
ssr <- sum(rate)
ssr1 <- sum(rate1)
ssr1_r <- sum(rate1/rate)
ss1_r <- sum(1/rate)

r0 <- rate[1]
delta <- 1
beta <- (ssr1*ss1_r - (n.train-1)*ssr1_r) / (ssr*ss1_r - (n.train-1)^2)
alpha <- (ssr1_r - (n.train-1)*beta) / ss1_r
a <- (1-beta)/delta ; a #nilai dugaan a
b = alpha/(1-beta) ; b #nilai dugaan b
sg = sqrt(sum(((rate1-alpha-beta*rate)/(sqrt(rate)))^2)/(n.train-2)) ; sg

rateCIR <- function(a,b,sg,r0,nmin1,delta){
  luaran <- NULL
  rt <- r0
  for(i in 1:nmin1){
    rt <- rt + a*(b-rt)*delta+sg*sqrt(rt)*rnorm(n=1,mean=0,sd=1)*sqrt(delta)
    luaran <- c(luaran,rt)
  }
  hasil <- c(r0,luaran)
  return(hasil)
}

mape.train <- data.frame(seed = integer(), mape = numeric())

for(i in 1:1000) {
  set.seed(i)
  train = rateCIR(a, b, sg, data.train[1], (n.train - 1), delta)
  mape.c = MAPE(train, data.train)
  mape.train <- rbind(mape.train, data.frame(seed = i, mape = mape.c))
}

head(mape.train)

best_result <- mape.train[which.min(mape.train$mape), ]
print(best_result)

set.seed(593) # gunakan seed terbaik dari training
test <- rateCIR(a, b, sg, data.test[1], (n.test - 1), delta)
mape.test.best <- MAPE(test, data.test)
print(mape.test.best)

forecast_cir <- function(a, b, sg, r0, steps = 90*12, delta = 1) {
  rt <- r0
  result <- numeric(steps)
  for (i in 1:steps) {
    rt <- rt + a * (b - rt) * delta + sg * sqrt(rt) * rnorm(1, mean = 0, sd = 1) *
sqrt(delta)
  }
}

```



```

    result[i] <- rt
  }
  return(result)
}

r0 <- tail(deltarate, 1)
set.seed(593)
future_rates <- forecast_cir(a, b, sg, r0, steps = 90*12)
future_rates

future_rates_2 = exp(future_rates)-1; future_rates_2
CIR_90 = matrix(future_rates_2, ncol = 12, byrow = T)

bunga_CIR = c()
for(i in 1:90){
  x=1
  for(j in 1:12){
    y = (1+CIR_90[i,j])^(1/12)
    x = x*y
  }
  x = x-1
  bunga_CIR = c(bunga_CIR, x)
}; bunga_CIR

```

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 9 Kode pemrograman untuk peluang transisi antar *state t* tahun

```

Sub t_tahun()

Dim i As Integer, j As Integer, x As Integer, c As Integer, n As Integer
Dim r As Double
Dim rng As Variant, rng2 As Variant
Dim wsSource As Worksheet, wsTarget As Worksheet

Application.ScreenUpdating = False
Set wsSource = Worksheets("px1year")
Set wsTarget = Worksheets("pxtyear")
rng = wsSource.Range("A4:K90").Value
wsTarget.Range("A4:Y150").Clear

x = [X1]
Inisialisasi baris pertama
wsTarget.Cells(4, 1).Value = x           ' Usia
wsTarget.Cells(4, 2).Value = 0         ' Tahun ke-0
wsTarget.Cells(4, 3).Value = 1         ' Nilai awal

For c = 4 To (112 - x + 3)
    ' Column A Age
    wsTarget.Cells(c + 1, 1).Value = wsTarget.Cells(c, 1).Value + 1

    ' Column B Year
    wsTarget.Cells(c + 1, 2).Value = wsTarget.Cells(c, 2).Value + 1

    ' Column C (tPx00)
    Cells(c + 1, 3) = Cells(c, 3) *
Application.WorksheetFunction.VLookup(wsTarget.Cells(c, 1).Value, rng, 2,
False)

    ' Column D (tPx01)
    [d4] = 0
    Cells(c + 1, 4) = Cells(c, 3) *
Application.WorksheetFunction.VLookup(wsTarget.Cells(c, 1).Value, rng, 3,
False) + Cells(c, 4) *
Application.WorksheetFunction.VLookup(wsTarget.Cells(c, 1).Value, rng, 6,
False)

:
    ' Column Q (tPx22)
    [q4] = 1
    Cells(c + 1, 17) = Cells(c, 17) *
Application.WorksheetFunction.VLookup(wsTarget.Cells(c, 1).Value, rng, 9,
False)

    ' Column R (tPx23)
    [r4] = 0
    Cells(c + 1, 18) = Cells(c, 17) *
Application.WorksheetFunction.VLookup(wsTarget.Cells(c, 1).Value, rng,
10, False) + Cells(c, 18) * 1

Next c

Application.ScreenUpdating = True
MsgBox "Selesai!"

End Sub

```

Lampiran 10 Kode pemrograman untuk anuitas dan *lumpsum state-dependent*

```

Sub PREMI_LTC()
Dim x, c, x0 As Integer
Dim i, v, g As Double

x0 = [z2]
r = [z1]

Worksheets("LTC Premium").Range("A5:w92").Clear
' Menambahkan border ke range A5:W92
Dim ws As Worksheet
Set ws = ActiveSheet ' Menetapkan worksheet yang aktif

' Menentukan range A5:W92
With ws.Range("A5:W92")
' Menghapus border yang ada sebelumnya (opsional)
.Borders.LineStyle = xlNone

' Menambahkan border di seluruh area
.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlContinuous
.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlContinuous
.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlContinuous
.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlContinuous
.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlContinuous
.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlContinuous
End With

'tabel
[c4].Value = "tp" & x0 & " 00"
[d4].Value = "tp" & x0 & " 01"
[e4].Value = "tp" & x0 & " 02"
[f4].Value = "tp" & x0 & " 03"
[j4].Value = "ä" & x0 & " 00"
[k4].Value = "a" & x0 & " 01"
[l4].Value = "a" & x0 & " 02"
[m4].Value = "A" & x0 & " 03"

[n4].Value = "ä" & x0 & " 00"
[o4].Value = "a" & x0 & " 01"
[p4].Value = "a" & x0 & " 02"
[q4].Value = "A" & x0 & " 03"

[r4].Value = "ä" & x0 & " 00"
[s4].Value = "a" & x0 & " 01"
[t4].Value = "a" & x0 & " 02"
[u4].Value = "A" & x0 & " 03"

'kolom Umur (x) dan t'
[a5].Value = x0
[b5].Value = 0
For c = 6 To (6 + 111 - x0)
Cells(c, 1).Value = Cells(c - 1, 1) + 1
Cells(c, 2).Value = Cells(c - 1, 2) + 1
Next c

'discount factor constant
r = [z1].Value
[g4].Value = "v^t"
[g4].Interior.ColorIndex = 44
[g4].Borders.LineStyle = xlContinuous
[g4].HorizontalAlignment = xlCenter

For c = 5 To (5 + 112 - x0)
Cells(c, 7).Value = (1 / (1 + r)) ^ (Cells(c, 2))
Next c

'discount factor CIR
[i4].Value = "v(t)"
[i4].Interior.ColorIndex = 44
[i4].Borders.LineStyle = xlContinuous
[i4].HorizontalAlignment = xlCenter
Cells(5, 9).Value = 1

```

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

```

For c = 6 To (5 + 112 - x0)
Cells(c - 1, 8).Value = Sheets("CIR_Rate").Cells(c - 3, 2)
Cells(c, 9).Value = Cells(c - 1, 9) * 1 / (1 + Cells(c - 1, 8))
Next c

'discount factor CIR meningkat
g = [z3]
For c = 5 To (5 + 112 - x0)
Cells(c, 22).Value = (1 + g) ^ (Cells(c, 2))
Cells(c, 23).Value = Cells(c, 22) * Cells(c, 9)
Next c

'tPx
x0 = [z2]
For c = 5 To (112 - x0 + 5)
Cells(c, 3) = Sheets("pptyear").Cells(c - 1, 3) 'tpx00
Cells(c, 4) = Sheets("pptyear").Cells(c - 1, 4) 'tpx01
Cells(c, 5) = Sheets("pptyear").Cells(c - 1, 5) 'tpx02
Cells(c, 6) = Sheets("pptyear").Cells(c - 1, 6) 'tpx03
Next c

'EPV Anuitas R konstan
For c = 5 To (112 - x0 + 5 - 54)
Cells(c, 10).Value = Cells(c, 3) * Cells(c, 7)
Next c

For c = 5 To (112 - x0 + 5)
Cells(c, 11).Value = Cells(c, 4) * Cells(c, 7)
Cells(c, 12).Value = Cells(c, 5) * Cells(c, 7)
Cells(c, 13).Value = Cells(c + 1, 7) * (Cells(c, 3) * Sheets("pxlyear").Cells(c - 1, 5) + Cells(c, 4) * Sheets("pxlyear").Cells(c - 1, 8) + Cells(c, 5) * Sheets("pxlyear").Cells(c - 1, 10))
Next c

'EPV Anuitas CIR konstan
For c = 5 To (112 - x0 + 5 - 54)
Cells(c, 14).Value = Cells(c, 3) * Cells(c, 9)
Next c

For c = 5 To (112 - x0 + 5)
Cells(c, 15).Value = Cells(c, 4) * Cells(c, 9)
Cells(c, 16).Value = Cells(c, 5) * Cells(c, 9)
Cells(c, 17).Value = Cells(c + 1, 9) * (Cells(c, 3) * Sheets("pxlyear").Cells(c - 1, 5) + Cells(c, 4) * Sheets("pxlyear").Cells(c - 1, 8) + Cells(c, 5) * Sheets("pxlyear").Cells(c - 1, 10))
Next c

'EPV Anuitas cir premi meningkat
For c = 5 To (112 - x0 + 5 - 54)
Cells(c, 18).Value = Cells(c, 3) * Cells(c, 23)
Next c

For c = 5 To (112 - x0 + 5)
Cells(c, 19).Value = Cells(c, 4) * Cells(c, 9)
Cells(c, 20).Value = Cells(c, 5) * Cells(c, 9)
Cells(c, 21).Value = Cells(c + 1, 9) * (Cells(c, 3) * Sheets("pxlyear").Cells(c - 1, 5) + Cells(c, 4) * Sheets("pxlyear").Cells(c - 1, 8) + Cells(c, 5) * Sheets("pxlyear").Cells(c - 1, 10))
Next c

Application.ScreenUpdating = True
MsgBox "Selesai!"

End Sub

```

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di kota Pangkalpinang pada tanggal 08 Januari 2004 sebagai anak pertama dari pasangan Bapak Ferdiansyah dan Ibu Ferawati. Pendidikan sekolah menengah atas (SMA) ditempuh di SMA Pradita Dirgantara, dan lulus pada tahun 2021. Pada tahun 2021, penulis diterima sebagai mahasiswa program sarjana (S-1) di Program Studi Aktuaria, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di IPB, melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Nasional (SBMPTN).

Selama mengikuti program S-1, penulis aktif mengikuti organisasi Himpunan Profesi Aktuaria SSMI IPB, yaitu ASSA (*Actuarial Science Student Association*). Penulis menjabat sebagai *Chief Supervisory Board of ASSA* periode 2023/2024 di mana sebelumnya menjadi *Staff Supervisory Board of ASSA of Sport and Art Management Department* periode 2022/2023. Penulis juga aktif mengikuti berbagai kepanitiaan, di antaranya sebagai *Head of Competition Division of CTMC 2023*, *Head of Public Relation Division of G-Family 2023*, *staff of Competition Division of IAC 2022*, dan *staff of Public Relation Division of RATACI 2023*. Penulis juga berkesempatan untuk magang di perusahaan PT Asuransi Candi Utama sebagai *Underwriting Non-Property Intern* periode November 2024 hingga Mei 2025.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.