

Integration of survival analysis in predicting customer churn risk to optimize life insurance redemption value formulation

Fachriz Effendy K¹, Risca Octaviyani Hutapea², Ardicha Appu Sianturi³

^{1,2,3}Universitas Negeri Medan, Indonesia

Email: fachrizeffendyk@gmail.com; riscaoctaviyanihutapea@gmail.com; ardichasianturi@gmail.com

ABSTRAK

Risiko pembatalan polis secara sukarela (*surrender*) merupakan salah satu ancaman utama terhadap likuiditas dan stabilitas cadangan premi perusahaan asuransi jiwa. Valuasi aktuarial konvensional yang menggunakan asumsi laju penyusutan statis sering kali gagal memitigasi risiko ini secara akurat. Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan pendekatan analitik prediktif ke dalam perumusan matematika aktuarial guna menciptakan formula Nilai Tebus (*Surrender Value*) yang dinamis. Menggunakan 10.000 data observasi historis nasabah finansial sebagai proksi, analisis dilakukan melalui estimator *Kaplan-Meier* dan regresi *Cox Proportional Hazard (Cox PH)*. Hasil estimasi *Kaplan-Meier* menunjukkan probabilitas ketahanan polis mengalami peluruhan eksponensial dari 95,8% pada tahun pertama menjadi 80,2% pada tahun kelima. Pemodelan *Cox PH* mengonfirmasi bahwa faktor usia masuk (*hazard ratio* = 1,048) dan jenis kelamin wanita (*hazard ratio* = 1,535) secara signifikan meningkatkan risiko *surrender*, sementara keaktifan interaksi nasabah (*hazard ratio* = 0,589) bertindak sebagai faktor protektif. Hasil luaran berupa probabilitas *hazard* kumulatif individu selanjutnya diintegrasikan sebagai konstanta pembobot ke dalam formula penalti penarikan (*surrender charge*). Integrasi ini menghasilkan rekomendasi denda yang adaptif terhadap profil risiko masing-masing pemegang polis, sehingga memberikan perlindungan likuiditas yang lebih proporsional dan adil bagi operasional perusahaan asuransi.

Kata Kunci: analisis survival; cox proportional hazard; risiko churn; nilai tebus; matematika aktuarial

ABSTRACT

The risk of voluntary policy surrender is a major threat to the liquidity and stability of life insurance companies' premium reserves. Conventional actuarial valuations, which assume a static depreciation rate, often fail to accurately mitigate this risk. This study aims to integrate a predictive analytics approach into actuarial mathematics to create a dynamic Surrender Value formula. Using 10,000 historical observations of financial customers as a proxy, the analysis was conducted using the Kaplan-Meier estimator and Cox Proportional Hazard (Cox PH) regression. The Kaplan-Meier estimation results show that the probability of policy survival experiences an exponential decay from 95.8% in the first year to 80.2% in the fifth year. Cox PH modeling confirms that entry age (hazard ratio = 1.048) and female gender (hazard ratio = 1.535) significantly increase the surrender risk, while active customer interaction (hazard ratio = 0.589) acts as a protective factor. The resulting cumulative individual hazard probabilities are then integrated as weighting constants into the surrender charge formula. This integration produces penalty recommendations that adapt to each policyholder's risk profile, providing more proportional and equitable liquidity protection for insurance company operations.

Keyword: survival analysis; cox proportional hazard; churn risk; redemption value; actuarial mathematics

Corresponding Author:

Fachriz Effendy K,
Universitas Negeri Medan,
Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan,
Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20221, Indonesia
Email: fachrizeffendyk@gmail.com



1. INTRODUCTION

Industri asuransi jiwa merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem keuangan, karena keberlangsungannya bergantung pada kontrak jangka panjang yang terjalin antara perusahaan asuransi dan pemegang polis. Keberlanjutan sistem tersebut sangat dipengaruhi oleh keteraturan pembayaran premi serta kestabilan perilaku nasabah dalam mempertahankan polis yang dimiliki. Akan tetapi, dalam pelaksanaannya, perusahaan asuransi sering menghadapi tantangan berupa penghentian polis secara sukarela (*surrender*), yang berpotensi memengaruhi kondisi keuangan perusahaan. Menurut Cheng et al. (2023), fenomena *surrender* merupakan salah satu risiko yang signifikan dalam industri asuransi jiwa, karena dapat terjadi dalam jumlah besar dan menimbulkan dampak terhadap stabilitas perusahaan apabila tidak dikelola secara tepat.

Risiko *surrender* tidak hanya berdampak pada hilangnya penerimaan premi pada masa mendatang, tetapi juga dapat menimbulkan tekanan terhadap likuiditas perusahaan asuransi karena adanya kewajiban untuk membayar nilai tebus dalam waktu yang relatif singkat. Di samping itu, perilaku pembatalan polis bersifat dinamis dan dapat dipengaruhi oleh interaksi antar pemegang polis. Cheng et al. (2023) menjelaskan bahwa fenomena *surrender* dapat memperlihatkan pola *contagion*, yaitu kecenderungan keputusan pembatalan polis oleh seorang nasabah yang dapat memengaruhi nasabah lain untuk melakukan tindakan yang sama. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa risiko *surrender* tidak bersifat independen, melainkan dapat menyebar dan meningkatkan potensi kerugian finansial perusahaan apabila tidak dimodelkan secara akurat.

Pendekatan aktuarial konvensional dalam memperkirakan tingkat pembatalan polis pada umumnya masih didasarkan pada asumsi yang bersifat statis maupun agregat, sehingga belum sepenuhnya mampu merepresentasikan kompleksitas perilaku nasabah. Seiring berkembangnya analitik data, pendekatan pemodelan berbasis data semakin banyak dimanfaatkan untuk meningkatkan ketepatan prediksi risiko pembatalan polis. Chen et al. (2022) menunjukkan bahwa penggunaan *penalized survival models* dalam memprediksi *churn* asuransi mampu menghasilkan tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan metode konvensional, karena model tersebut mempertimbangkan dimensi waktu sekaligus karakteristik individu nasabah secara bersamaan. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan dinamis berbasis *time-to-event* lebih sesuai untuk memodelkan risiko pembatalan polis dibandingkan metode yang bersifat statis.

Sejalan dengan kemajuan teknologi dan analitik data, pemodelan perilaku nasabah kini semakin banyak dilakukan melalui pendekatan *machine learning* untuk mengidentifikasi potensi *customer churn*. Dalam industri asuransi, pemahaman terhadap *churn* memiliki peranan yang sangat penting karena berkaitan langsung dengan tingkat retensi nasabah serta keberlangsungan bisnis perusahaan. Thivakaran et al. (2023) menunjukkan bahwa penerapan teknik *ensemble* dalam mengidentifikasi *customer churn* pada perusahaan asuransi mampu meningkatkan akurasi prediksi dengan memanfaatkan berbagai variabel perilaku serta karakteristik nasabah. Namun demikian, pendekatan tersebut pada umumnya masih berfokus pada prediksi terjadinya peristiwa tanpa mempertimbangkan dimensi waktu secara eksplisit, sehingga belum sepenuhnya optimal untuk analisis risiko dalam jangka panjang.

Untuk mengatasi keterbatasan dari pendekatan sebelumnya, analisis *survival* menjadi metode yang relevan karena mampu memodelkan waktu hingga terjadinya suatu peristiwa serta menangani data tersensor secara efektif. Dalam konteks prediksi *churn*, pendekatan ini memiliki keunggulan karena tidak hanya memprediksi apakah suatu kejadian akan terjadi, tetapi juga menentukan kapan kejadian tersebut berlangsung. Lembhe et al. (2025) menunjukkan bahwa analisis *survival* mampu memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh terhadap pola *customer lifetime* dan risiko *churn* melalui pendekatan berbasis *time-to-event*. Oleh sebab itu, penerapan analisis *survival* dalam konteks asuransi jiwa merupakan langkah yang potensial untuk mengembangkan model risiko *surrender* yang lebih akurat serta mendukung perumusan nilai tebus yang bersifat dinamis.

2. LITERATURE REVIEW

A. Asuransi Jiwa dan Risiko Surrender

Asuransi jiwa merupakan suatu bentuk manajemen risiko finansial di mana pemegang polis mentransfer risiko kerugian ekonomi akibat kejadian tak terduga (seperti kematian atau masa hidup yang terlalu panjang) kepada pihak penanggung atau perusahaan asuransi (Eling & Lehmann, 2021). Dalam operasionalnya, penentuan harga (*pricing*) produk asuransi jiwa didasarkan pada Prinsip Ekuivalensi, yang menyatakan bahwa ekspektasi nilai sekarang dari total premi yang akan diterima di masa depan harus sama dengan ekspektasi nilai sekarang dari total manfaat yang akan dibayarkan (Medford, 2021).

Namun, dalam praktiknya, kontrak asuransi jiwa jangka panjang sering kali dihadapkan pada perilaku nasabah yang dinamis, salah satunya adalah penghentian polis sebelum masa kontrak berakhir. Penghentian polis ini diklasifikasikan menjadi dua bentuk utama berdasarkan waktu kejadiannya sehubungan dengan pembentukan nilai tunai, yaitu *lapse* dan *surrender* (Tabibian et al., 2022). *Lapse* terjadi apabila nasabah menghentikan pembayaran premi pada tahun-tahun awal polis sebelum polis tersebut memiliki nilai tunai (*cash*

value). Sebaliknya, *surrender* terjadi ketika nasabah secara sukarela membatalkan polisnya setelah nilai tunai terbentuk.

Risiko *surrender* merupakan salah satu ancaman likuiditas terbesar bagi perusahaan asuransi (Landriault et al., 2021). Ketika pemegang polis memutuskan untuk melakukan *surrender*, perusahaan asuransi diwajibkan untuk mencairkan sebagian dari cadangan yang telah dibentuk, yang dikenal sebagai Nilai Tebus (*Surrender Value*). Tingkat *surrender* yang tidak terprediksi dan melebihi asumsi dasar (*pricing assumptions*) dapat memaksa perusahaan untuk melikuidasi instrumen investasi jangka panjang secara prematur, yang berpotensi menimbulkan kerugian finansial yang signifikan akibat fluktuasi pasar dan hilangnya potensi pendapatan premi di masa depan (Eling & Lehmann, 2021).

B. Konsep Cadangan Premi dan Formulasi Nilai Tebus

Pembentukan cadangan premi (*premium reserve*) merupakan kewajiban matematis dan regulatori bagi perusahaan asuransi jiwa untuk memastikan solvabilitas di masa depan. Secara matematis, cadangan manfaat prospektif pada akhir tahun ke- t disimbolkan dengan ${}_tV$ dan didefinisikan sebagai selisih antara Ekspektasi Nilai Sekarang atau *Expected Present Value (EPV)* dari manfaat asuransi di masa depan dan *EPV* dari premi bersih masa depan yang akan dibayarkan oleh nasabah (Lee et al., 2022). Formula dasar cadangan prospektif dinyatakan sebagai:

$${}_tV = EPV(\text{Manfaat Masa Depan}) - EPV(\text{Premi Masa Depan}) \quad (1)$$

Ketika seorang nasabah melakukan *surrender*, nasabah tersebut berhak menerima pengembalian dana dari cadangan yang telah terbentuk. Namun, nilai yang dikembalikan tidak sebesar 100% dari cadangan ${}_tV$. Perusahaan asuransi akan menerapkan biaya penalti atau denda penarikan yang disebut *Surrender Charge* (Antoniuk & Leirvik, 2021). Biaya ini dikenakan untuk mengkompensasi biaya akuisisi awal (*Deferred Acquisition Costs*), biaya administrasi, serta risiko *anti-selection*.

Oleh karena itu, formulasi Nilai Tebus (SV_t) pada tahun ke- t didefinisikan sebagai:

$$SV_t = {}_tV - SC_t \quad (2)$$

dengan SC_t mewakili *Surrender Charge* pada tahun ke- t . Secara tradisional, SC_t ditetapkan dalam bentuk persentase tetap yang menurun seiring bertambahnya usia polis. Namun, pendekatan statis ini mengabaikan probabilitas risiko individu. Penyesuaian SC_t yang bersifat dinamis dengan mempertimbangkan tingkat laju risiko (*hazard rate*) pembatalan dari masing-masing nasabah merupakan pendekatan yang lebih optimal dalam menjaga keseimbangan antara hak nasabah dan likuiditas perusahaan.

C. Analisis Survival dan Estimator Kaplan-Meier

Untuk mengatasi keterbatasan metode aktuarial statis dalam memprediksi perilaku pembatalan polis, diperlukan pendekatan statistik yang mampu menangani data waktu hingga kejadian (*time-to-event data*) serta keberadaan observasi tersensor (*censored observation*). Analisis *survival* merupakan cabang ilmu statistika yang secara khusus dikembangkan untuk menganalisis waktu yang dilalui oleh sekelompok subjek hingga mengalami kejadian (*event*) tertentu (Turkson, 2021). Dalam konteks penelitian ini, kejadian (*event*) yang diamati adalah keputusan nasabah untuk membatalkan polis (*surrender*).

Fungsi utama dalam analisis *survival* adalah fungsi *survival*, $S(t)$, yang mendefinisikan probabilitas bahwa suatu subjek akan “bertahan” (tidak mengalami *event*) melampaui waktu t . Jika T adalah variabel acak kontinu yang merepresentasikan waktu bertahan hidup (atau durasi polis aktif), maka fungsi *survival* dirumuskan sebagai:

$$S(t) = P(T > t) \quad (3)$$

Untuk mengestimasi probabilitas ketahanan polis dari data empiris tanpa membuat asumsi distribusi tertentu, digunakan pendekatan non-parametrik yang dikenal sebagai estimator *Kaplan-Meier* (Kaplan & Meier, 1958). Estimator ini sangat efektif dalam menangani data polis yang masih aktif (*right-censored*) di akhir periode observasi. Fungsi ketahanan *Kaplan-Meier* pada waktu t diestimasi menggunakan persamaan:

$$\hat{S}(t) = \prod_{t_i \leq t} \left(1 - \frac{d_i}{n_i}\right) \quad (4)$$

di mana t_i adalah waktu terjadinya pembatalan polis, d_i adalah jumlah nasabah yang membatalkan polis pada waktu t_i , dan n_i adalah jumlah nasabah yang masih aktif dan berisiko membatalkan polis sesaat sebelum waktu t_i (Zhou & Müller, 2025). Kurva yang dihasilkan oleh fungsi ini memberikan visualisasi yang representatif mengenai laju penyusutan portofolio polis asuransi dari waktu ke waktu.

D. Regresi Cox Proportional Hazard

Meskipun estimator *Kaplan-Meier* sangat berguna untuk mengestimasi fungsi ketahanan polis secara agregat, metode ini memiliki keterbatasan dalam menganalisis pengaruh multivariabel dari karakteristik demografi maupun perilaku finansial nasabah. Untuk mengevaluasi bagaimana faktor-faktor prediktor (*kovariat*) tersebut memengaruhi tingkat pembatalan polis secara simultan, digunakan pemodelan regresi semi-parametrik yang dikenal sebagai *Cox Proportional Hazard Model* (Cox, 1972).

Pemodelan *Cox* berfokus pada fungsi *hazard*, dilambangkan dengan $h(t)$, yang merepresentasikan laju risiko sesaat (*instantaneous risk rate*) bagi seorang nasabah untuk melakukan *surrender* pada waktu t ,

(Fachriz Effendy K)

dengan syarat polis tersebut masih aktif sesaat sebelum waktu t . Model *Cox Proportional Hazard* mengasumsikan bahwa fungsi *hazard* dari seorang individu dipengaruhi secara multiplikatif oleh nilai-nilai kovariatnya, yang dinyatakan dalam persamaan:

$$h(t | X) = h_0(t) \exp(\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p) \quad (5)$$

Keterangan:

- $h(t | X)$ adalah fungsi *hazard* pada waktu t untuk nasabah dengan himpunan kovariat X .
- $h_0(t)$ adalah *baseline hazard function*, yaitu nilai *hazard* ketika seluruh variabel prediktor bernilai nol. Fungsi dasar ini tidak memerlukan asumsi distribusi spesifik, sehingga model *Cox* bersifat semi-parametrik (Klein & Moeschberger, 2003).
- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ adalah koefisien regresi yang menunjukkan arah dan besaran pengaruh dari masing-masing kovariat.

Salah satu elemen terpenting dalam interpretasi model ini adalah *hazard ratio (HR)*, yang diformulasikan sebagai $\exp(\beta_i)$. Jika $HR > 1$, maka variabel prediktor tersebut meningkatkan risiko pembatalan polis. Sebaliknya, jika $HR < 1$, variabel tersebut berfungsi sebagai faktor protektif yang menurunkan risiko nasabah untuk melakukan pembatalan (Dickson et al., 2020). Dalam konteks integrasi aktuarial pada penelitian ini, nilai probabilitas *hazard* kumulatif yang dihasilkan oleh model *Cox* akan digunakan sebagai pengali (*multiplier*) dinamis untuk menyesuaikan besaran denda Nilai Tebus (SC_t) dari pendekatan statis menuju pendekatan berbasis profil risiko.

3. RESEARCH METHOD

A. Desain dan Sumber Data Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif terapan (*applied quantitative research*) yang mengintegrasikan pendekatan analitik prediktif dengan pemodelan matematis aktuarial dalam menganalisis risiko pembatalan polis asuransi jiwa. Pendekatan ini memungkinkan pengukuran risiko secara lebih komprehensif dengan mempertimbangkan dimensi waktu (*time-to-event*) serta karakteristik individu nasabah.

Keterbatasan akses terhadap data nasabah akibat regulasi privasi finansial dan perjanjian kerahasiaan (*Non-Disclosure Agreement*) menjadi tantangan utama dalam penelitian di sektor ini. Oleh karena itu, penggunaan dataset publik sekunder dari sektor finansial yang ekuivalen menjadi alternatif yang relevan dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

Sumber data penelitian ini berasal dari repositori publik Kaggle, yaitu *Churn Modelling Dataset*, yang merepresentasikan perilaku nasabah layanan finansial jangka panjang dengan karakteristik yang ekuivalen dengan produk asuransi jiwa berbasis investasi. Kesesuaian dataset ini didasarkan pada ketersediaan variabel durasi observasi (*time-to-event*) dan status kejadian (*censoring status*) yang merupakan prasyarat utama dalam analisis *survival*. Data yang digunakan mencakup 10.000 observasi individu dengan periode pengamatan maksimum selama 10 tahun, sehingga memungkinkan analisis risiko pembatalan polis dilakukan secara longitudinal dan menghasilkan model yang *robust* (Harrell, 2015).

B. Definisi Operasional Variabel

Struktur variabel dalam penelitian ini disusun untuk mendukung pemodelan regresi *Cox Proportional Hazard* dengan mengacu pada kerangka analisis *survival*. Variabel penelitian dikelompokkan ke dalam tiga komponen utama, yaitu variabel waktu (*time*), variabel kejadian (*event*), dan variabel prediktor (*covariates*). Pengelompokan ini bertujuan untuk memastikan kesesuaian antara struktur data dengan kebutuhan analisis *time-to-event* yang menjadi fokus penelitian.

Tabel 1. Definisi Operasional Variabel Penelitian

No	Jenis Variabel	Nama Variabel	Notasi	Tipe Data	Definisi Operasional
1	Waktu (<i>Time</i>)	Tenure	T	Numerik (kontinu)	Durasi waktu (tahun) sejak polis dimulai hingga terjadi pembatalan atau akhir observasi
2	Kejadian (<i>Event</i>)	Exited	C	Kategorikal (biner)	Status pembatalan polis: 1 = <i>surrender</i> , 0 = <i>right-censored</i> (polis masih aktif/berakhir tanpa <i>surrender</i>)
3	Prediktor	Age	X_1	Numerik (kontinu)	Usia nasabah saat memulai kontrak
4	Prediktor	Gender	X_2	Kategorikal	Jenis kelamin nasabah (<i>Male/Female</i>)
5	Prediktor	Balance	X_3	Numerik (kontinu)	Jumlah saldo atau nilai dana yang mengendap pada akun nasabah
6	Prediktor	IsActiveMember	X_4	Kategorikal (biner)	Status keaktifan nasabah (1 = aktif, 0 = tidak aktif)

Variabel waktu (*Tenure*) digunakan untuk merepresentasikan durasi keberlangsungan polis, sedangkan variabel kejadian (*Exited*) menunjukkan apakah peristiwa pembatalan polis terjadi atau tidak. Variabel prediktor diasumsikan memiliki pengaruh terhadap laju risiko pembatalan polis. Struktur ini memungkinkan analisis dilakukan secara komprehensif dalam kerangka *survival analysis*, khususnya dalam mengestimasi fungsi *hazard* melalui model *Cox Proportional Hazard* (Moore, 2016).

C. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini disusun secara sistematis untuk memastikan proses analisis berjalan terstruktur dan sesuai dengan tujuan penelitian.

1) Pengumpulan dan Pra-Pemrosesan Data

Tahap awal penelitian melibatkan pengumpulan data serta proses pra-pemrosesan untuk memastikan kualitas data. Variabel kategorikal ditransformasikan ke dalam bentuk numerik menggunakan teknik *dummy encoding* agar dapat digunakan dalam pemodelan statistik.

Proses ini mencakup pemeriksaan dan penanganan *missing values*, penghapusan duplikasi data, serta identifikasi *outliers* yang berpotensi mengganggu kestabilan model. Pembersihan data penting untuk memastikan kualitas input dan mencegah bias estimasi.

2) Estimasi Fungsi Ketahanan (Kaplan-Meier)

Estimasi fungsi ketahanan digunakan untuk mengukur probabilitas bertahannya polis hingga waktu tertentu. Fungsi *survival* didefinisikan sebagai:

$$S(t) = P(T > t) \quad (6)$$

Estimasi non-parametrik *Kaplan-Meier* dinyatakan sebagai:

$$\hat{S}(t) = \prod_{t_i \leq t} \left(1 - \frac{d_i}{n_i}\right) \quad (7)$$

dengan:

t_i : waktu terjadinya kejadian

d_i : jumlah kejadian (*surrender*) pada waktu t_i

n_i : jumlah individu yang berisiko sebelum waktu t_i

3) Pemodelan Risiko (Cox Proportional Hazard)

Untuk menganalisis pengaruh variabel prediktor terhadap risiko pembatalan polis, digunakan model *Cox Proportional Hazard* dengan formulasi:

$$h(t | X) = h_0(t) \exp(\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p) \quad (8)$$

Interpretasi pengaruh variabel dilakukan melalui *hazard ratio (HR)*:

$$HR = \exp(\beta_i) \quad (9)$$

Nilai $HR > 1$ menunjukkan peningkatan risiko, sedangkan $HR < 1$ menunjukkan efek protektif.

4) Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan dengan menguji asumsi *proportional hazard* untuk memastikan bahwa pengaruh kovariat bersifat konstan terhadap waktu (Pitacco et al., 2009).

5) Integrasi ke Model Aktuaria (Inovasi Utama)

Tahap akhir penelitian adalah integrasi hasil model ke dalam formulasi aktuaria. Besaran *surrender charge* dinamis dirumuskan sebagai:

$$SC_t^{(\text{dinamis})} = [\alpha + \gamma \cdot \hat{H}(t | X)] \times {}_tV \quad (10)$$

dengan:

${}_tV$: cadangan premi pada waktu ke- t

α : penalti dasar

γ : faktor penyesuaian

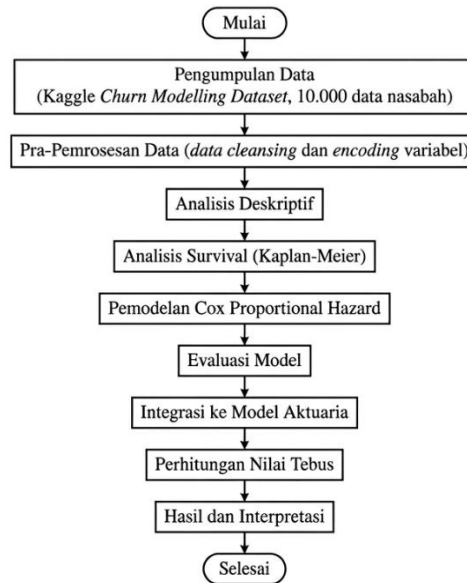
$\hat{H}(t | X)$: *hazard* kumulatif individu

Nilai tebus (*surrender value*) kemudian dihitung sebagai:

$$SV_t = {}_tV - SC_t \quad (11)$$

D. Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 menyajikan diagram alir penelitian yang menggambarkan tahapan mulai dari pengumpulan data hingga integrasi model aktuaria.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

E. Perangkat Lunak yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman Python sebagai perangkat utama dalam pengolahan dan analisis data. Python dimanfaatkan melalui beberapa pustaka, seperti *pandas* untuk pengolahan data, *numpy* untuk komputasi numerik, serta *lifelines* untuk analisis *survival*. Selain itu, *matplotlib* digunakan untuk visualisasi hasil analisis. Penggunaan perangkat lunak tersebut memungkinkan proses analisis dilakukan secara sistematis, mulai dari pra-pemrosesan data hingga pemodelan dan interpretasi hasil.

4. RESULTS AND DISCUSSION

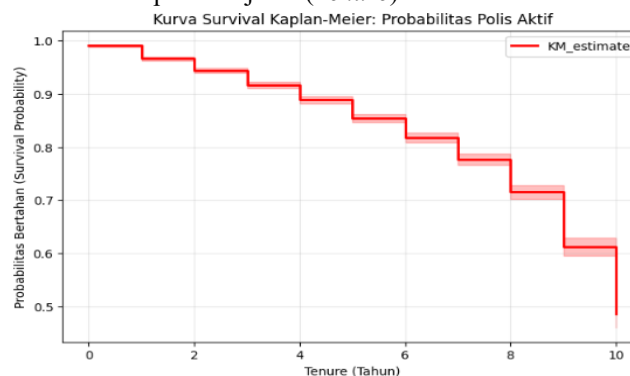
A. Karakteristik Demografi dan Finansial Nasabah

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah melakukan *Exploratory Data Analysis (EDA)* untuk mengukur profil risiko dasar dari portofolio nasabah yang diobservasi. Berdasarkan pengolahan terhadap 10.000 data observasi nasabah layanan finansial jangka panjang, didapatkan gambaran statistik deskriptif yang menunjukkan heterogenitas profil risiko.

Dari total populasi observasi, tercatat sebanyak 2.037 nasabah (20,37%) memutuskan untuk melakukan pembatalan polis secara sukarela (*surrender / Exited* = 1) sebelum masa observasi 10 tahun berakhir. Sementara itu, 7.963 nasabah (79,63%) tetap bertahan atau berstatus *right-censored* hingga batas akhir pengamatan. Rata-rata usia nasabah saat menginisiasi kontrak adalah 38,92 tahun, dengan rentang usia termuda 18 tahun dan tertua 92 tahun. Tingkat pembatalan sebesar 20,37% ini memberikan indikasi kuat bahwa risiko likuiditas akibat *surrender* sangat nyata dan membutuhkan strategi mitigasi (pembentukan penalti) yang terukur.

B. Analisis Ketahanan Polis Menggunakan Estimator Kaplan-Meier

Untuk memahami perilaku ketahanan polis dari waktu ke waktu secara agregat, penelitian ini mengestimasi probabilitas *survival* menggunakan fungsi non-parametrik *Kaplan-Meier*. Sumbu waktu (*t*) direpresentasikan oleh variabel durasi berjalan polis (*Tenure*) dalam satuan tahun.



Gambar 2. Kurva Survival Kaplan-Meier untuk Estimasi Probabilitas Ketahanan Polis Nasabah

Berdasarkan Gambar diatas, terlihat bahwa kurva *survival* memiliki bentuk menyerupai tangga menurun (*step function*), yang merupakan karakteristik khas dari estimator *Kaplan-Meier*. Pada awal periode (tahun ke-0 hingga ke-2), kurva menunjukkan landaian yang relatif stabil, menandakan tingkat retensi nasabah yang masih sangat tinggi. Namun, memasuki tahun ke-3 hingga ke-5, terjadi penurunan kecuraman kurva yang lebih signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa titik kritis risiko *surrender* berada pada periode tersebut, di mana akumulasi nilai tunai mulai terbentuk, namun nasabah mungkin mengalami perubahan kebutuhan likuiditas. Garis tipis di sekitar kurva utama (jika ada) merepresentasikan *Confidence Interval* 95%, yang menunjukkan tingkat presisi estimasi yang cukup sempit, sehingga model ini dapat dikatakan sangat representatif terhadap data populasi observasi.

Berdasarkan hasil estimasi *Kaplan-Meier*, probabilitas sebuah polis bertahan melewati tahun pertama observasi adalah sebesar 0,958 (95,8%). Pada akhir tahun kelima, probabilitas ketahanan polis mengalami penurunan yang stabil menjadi 0,802 (80,2%). Penurunan laju *survival* ini terus berlanjut hingga mencapai 0,781 (78,1%) pada pengamatan tahun kesembilan.

Secara aktuarial, kurva *survival* yang meluruh ini membuktikan bahwa asumsi penyusutan (*decrement*) yang bersifat statis atau dipukul rata dari tahun ke tahun adalah tidak relevan. Laju pembatalan polis cenderung lebih eksponensial pada 5 tahun pertama, di mana nilai tunai belum sepenuhnya optimal menutupi biaya akuisisi (*Deferred Acquisition Costs*). Selain itu, pengujian *Log-Rank Test* antara kelompok nasabah pria dan wanita menghasilkan nilai *p-value* < 0,001. Hal ini menolak hipotesis nol dan membuktikan bahwa terdapat perbedaan fungsi ketahanan yang signifikan secara statistik antara nasabah pria dan wanita, yang akan dieksplorasi lebih dalam melalui pemodelan *hazard* multivariat.

C. Identifikasi Faktor Risiko Pembatalan (Regresi Cox Proportional Hazard)

Guna mengukur besaran pengaruh dari setiap variabel demografi dan finansial terhadap laju risiko pembatalan polis, penelitian ini membangun model regresi semi-parametrik *Cox Proportional Hazard* (*Cox PH*). Hasil estimasi parameter, tingkat signifikansi, dan *Hazard Ratio* (*HR*) disajikan pada Tabel 1 berikut.

Uji stasioneritas ADF dilakukan pada *return* harian untuk memastikan data layak digunakan dalam pemodelan lanjutan, dengan hasil ringkasan ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Estimasi Parameter Model Cox Proportional Hazard

Variabel Prediktor	Koefisien (β)	Standard Error	p-value	Hazard Ratio (exp(β))
Age (Usia)	0,047	0,001	< 0,001	1,048
Gender_Female (Wanita)	0,429	0,045	< 0,001	1,535
IsActiveMember (Status Aktif)	-0,528	0,047	< 0,001	0,589
Balance (Saldo/Cadangan)	0,000003	0,000	< 0,001	1,000003

Berdasarkan Tabel diatas, seluruh variabel prediktor memiliki nilai *p-value* < 0,001, yang menunjukkan bahwa variabel-variabel tersebut berpengaruh sangat signifikan secara statistik terhadap laju pembatalan polis (tingkat kesalahan $\alpha = 5\%$). Interpretasi aktuarial dari masing-masing *Hazard Ratio* adalah sebagai berikut:

- Usia (*Age*): Nilai *HR* sebesar 1,048 mengindikasikan bahwa setiap peningkatan usia masuk sebesar 1 tahun, risiko nasabah tersebut untuk melakukan *surrender* meningkat sebesar 4,8%, dengan asumsi variabel lain konstan. Hal ini logis mengingat nasabah yang lebih tua mungkin memiliki kebutuhan likuiditas mendadak yang lebih tinggi (kesehatan, pensiun) dibandingkan nasabah muda Milhaud & Dutang (2018).
- Jenis Kelamin (*Gender Female*): Nilai *HR* sebesar 1,535 menunjukkan bahwa nasabah wanita memiliki risiko *surrender* 53,5% lebih tinggi dibandingkan nasabah pria.
- Status Keaktifan (*IsActiveMember*): Nilai β negatif menghasilkan *HR* sebesar 0,589. Ini berarti nasabah yang secara rutin berinteraksi dengan layanan finansialnya (*active member*) memiliki tingkat risiko pembatalan polis 41,1% lebih rendah dibandingkan nasabah pasif. Variabel ini bertindak sebagai faktor protektif yang kuat.
- Cadangan Premi (*Balance*): Nilai *HR* sebesar 1,000003, meskipun secara nominal sangat kecil (karena skala nominal saldo yang besar hingga ratusan ribu/juta), tetap signifikan. Ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai uang yang mengendap, nasabah cenderung memiliki sedikit tendensi untuk menariknya (mungkin untuk diinvestasikan kembali di instrumen lain).

D. Integrasi Probabilitas Churn pada Optimalisasi Formulasi Nilai Tebus

Secara konvensional, penalti ini bersifat deterministik (Tullis & Polmarc, 2010). Penelitian ini menawarkan formula SC_t yang dinamis, dengan mengawinkan faktor penalti dasar (α) dengan *hazard* kumulatif dari model *Cox*, $\hat{H}(t | X)$, dikalikan konstanta sensitivitas (γ).

Diasumsikan perusahaan menetapkan penalti dasar $\alpha = 0,02$ (2%) dan konstanta penyesuaian $\gamma = 0,1$. Formula modifikasinya adalah:

$$SC_t^{(\text{dinamis})} = [0,02 + 0,1 \cdot \hat{H}(t | X)] \times {}_tV$$

Untuk membuktikan efektivitas formula ini, penelitian melakukan simulasi pada dua profil nasabah hipotetis yang sama-sama memiliki Cadangan Premi Prospektif (${}_tV$) sebesar Rp50.000.000 pada tahun ke-3 kontrak polis:

Skenario 1: Nasabah A (Profil Risiko Rendah)

- Karakteristik: Pria, usia 30 tahun, status *member* aktif.
- Berdasarkan proyeksi model *Cox PH*, probabilitas *hazard* kumulatif Nasabah A di tahun ke-3 sangat rendah, misalnya ditetapkan sebagai:

$$\hat{H}(3 | X_A) = 0,05$$

- Perhitungan penalti:
 $SC_3(A) = [0,02 + 0,1(0,05)] \times Rp\ 50.000.000$
 $SC_3(A) = [0,025] \times Rp\ 50.000.000 = Rp\ 1.250.000$
- Nilai Tebus yang Dicairkan (*SI*): Rp50.000.000 – Rp1.250.000 = Rp48.750.000.
- Implikasi: Karena risiko pembatalannya rendah, denda yang dibebankan sangat bersahabat (hanya 2,5%). Hal ini akan meningkatkan kepercayaan nasabah yang memiliki portofolio stabil.

Skenario 2: Nasabah B (Profil Risiko Tinggi)

- Karakteristik: Wanita, usia 55 tahun, status *member* pasif.
- Berdasarkan model *Cox PH*, profil ini sangat rentan batal. Ekstraksi *hazard* kumulatif di tahun ke-3 cukup tinggi, yakni:

$$\hat{H}(3 | X_B) = 0,35$$

- Perhitungan penalti:
 $SC_3(B) = [0,02 + 0,1(0,35)] \times Rp\ 50.000.000$
 $SC_3(B) = [0,055] \times Rp\ 50.000.000 = Rp\ 2.750.000$
- Nilai Tebus yang Dicairkan (*SI*): Rp50.000.000 – Rp2.750.000 = Rp47.250.000.
- Implikasi: Karena sistem mendeteksi risiko *surrender* yang tinggi (mencapai 35% lebih cepat batal), sistem aktuarial secara otomatis membebaskan denda yang lebih besar (5,5%). Denda sebesar Rp2.750.000 ini bertindak sebagai perisai likuiditas bagi perusahaan asuransi untuk segera menutup kerugian atas Biaya Akuisisi (*acquisition cost*) yang belum diamortisasi penuh akibat nasabah keluar lebih awal (Dickson et al., 2020).

Perhitungan di atas mengonfirmasi bahwa integrasi algoritma *survival analytic* ke dalam formulasi aktuarial tidak hanya memberikan akurasi prediksi yang jauh lebih superior dibandingkan metode penyusutan agregat konvensional, tetapi juga menciptakan instrumen finansial yang lebih presisi dan adil (*fair pricing*) untuk memitigasi risiko kelangsungan usaha (*going-concern*) perusahaan asuransi jiwa.

Secara manajerial, hasil pemodelan ini memberikan dua keuntungan ganda bagi perusahaan asuransi. Pertama, fungsi prediktif dari model *Cox* dapat digunakan sebagai *Early Warning System* (Sistem Peringatan Dini). Ketika sistem mendeteksi nasabah dengan laju *hazard* yang tinggi (misalnya melewati ambang batas 30%), agen asuransi dapat segera melakukan tindakan preventif berupa edukasi atau penawaran restrukturisasi premi untuk mencegah terjadinya *surrender*. Kedua, penyesuaian penalti yang dinamis melindungi rasio solvabilitas perusahaan dari ancaman *run-on-the-bank* (penarikan dana massal).

Kendati demikian, model yang diusulkan dalam penelitian ini memiliki batasan asumsi. Pertama, model *Cox PH* mengasumsikan bahwa efek kovariat adalah konstan terhadap waktu (asumsi proporsionalitas). Kedua, perhitungan aktuarial yang disimulasikan masih menggunakan asumsi suku bunga investasi yang konstan, padahal di dunia nyata, suku bunga berfluktuasi dan memengaruhi tingkat *surrender* (hipotesis suku bunga). Hal ini membuka ruang diskursus untuk penelitian keilmuan aktuarial di masa mendatang.

5. CONCLUSION

Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan *survival analysis* dan *Cox Proportional Hazard* mampu memberikan gambaran yang lebih realistis terhadap risiko pembatalan polis (*surrender*) pada asuransi jiwa dibandingkan asumsi aktuarial konvensional yang menggunakan tingkat pembatalan tetap. Hasil estimasi *Kaplan–Meier* memperlihatkan bahwa probabilitas ketahanan polis menurun secara eksponensial seiring berjalannya waktu, dari 95,8% pada tahun pertama menjadi 80,2% pada tahun kelima. Temuan ini menegaskan bahwa penggunaan asumsi *lapse rate* yang statis kurang relevan dan berpotensi menimbulkan kesalahan dalam pembentukan cadangan premi.

Hasil pemodelan *Cox Proportional Hazard* mengonfirmasi bahwa faktor demografi dan perilaku nasabah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap risiko pembatalan polis. Variabel usia dan jenis kelamin wanita terbukti meningkatkan risiko *surrender*, sedangkan keaktifan nasabah dalam berinteraksi berperan sebagai faktor protektif yang mampu menurunkan risiko secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa risiko pembatalan polis bersifat heterogen dan dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing pemegang polis.

Selain itu, penelitian ini berhasil mengintegrasikan tingkat risiko individu yang diperoleh dari model ke dalam formula *Surrender Charge* sebagai konstanta pembobot dinamis. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu menghasilkan nilai penalti yang lebih adaptif, yaitu lebih ringan bagi nasabah berisiko rendah dan lebih proporsional bagi nasabah berisiko tinggi, sehingga dapat membantu perusahaan dalam menjaga stabilitas likuiditas sekaligus mengompensasi *Deferred Acquisition Costs*. Dengan demikian, model yang dikembangkan menawarkan pendekatan aktuaria yang lebih adil, dinamis, dan sesuai dengan profil risiko masing-masing nasabah.

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ada, beberapa saran dapat diberikan. Bagi perusahaan asuransi, disarankan untuk mulai mengembangkan sistem perhitungan Nilai Tebus dari metode statis menuju pendekatan dinamis yang berbasis pada profil risiko masing-masing nasabah. Pemanfaatan infrastruktur *Big Data* perusahaan dapat mendukung penerapan model ini sehingga penentuan *surrender charge* menjadi lebih adaptif, proporsional, dan sesuai dengan tingkat risiko pemegang polis. Selain itu, hasil probabilitas ketahanan polis dari analisis *survival* dapat dimanfaatkan oleh bagian pemasaran sebagai dasar dalam menyusun strategi retensi yang lebih tepat sasaran, terutama bagi nasabah dengan risiko pembatalan polis yang tinggi.

Bagi peneliti selanjutnya, penelitian ini dapat dikembangkan dengan menambahkan variabel yang bersifat bergantung pada waktu (*time-dependent covariates*), seperti perubahan suku bunga dan tingkat inflasi, agar model mampu menggambarkan dinamika risiko secara lebih realistis. Selain itu, penggunaan metode yang lebih mutakhir seperti *Random Survival Forests* atau *Deep Survival Networks* juga dapat dipertimbangkan untuk membandingkan tingkat akurasi model dengan pendekatan *Cox Proportional Hazard* yang digunakan dalam penelitian ini.

REFERENCES

- Antoniuk, Y., & Leirvik, T. (2021). Climate transition risk and the impact on green bonds. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(12), 597. <https://doi.org/10.3390/jrfm14120597>
- Chen, Y., Zhang, L., Zhao, Y., & Xu, B. (2022). Implementation of penalized survival models in churn prediction of vehicle insurance. *Journal of Business Research*, 153, 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.07.015>
- Cheng, C., Hilpert, C., Lavasani, A. M., & Schaefer, M. (2023). Surrender contagion in life insurance. *European Journal of Operational Research*, 305(3), 1465–1479. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.07.009>
- Dickson, D. C., Hardy, M. R., & Waters, H. R. (2020). *Actuarial mathematics for life contingent risks*. Cambridge University Press
- Eling, M., & Lehmann, M. (2018). The impact of digitalization on the insurance value chain and the insurability of risks. *The Geneva Papers on Risk and Insurance—Issues and Practice*, 43, 359–396. <https://doi.org/10.1057/s41288-017-0073-0>
- Harrell, F. E. (2001). *Regression modeling strategies: With applications to linear models, logistic regression, and survival analysis*. Springer
- Landriault, D., Li, B., Li, D., & Wang, Y. (2021). High-water mark fee structure in variable annuities. *Journal of Risk and Insurance*, 88(4), 1057–1094. <https://doi.org/10.1111/jori.12321>
- Lee, K. S., Lee, B. G., & Jung, J. S. (2022). Seismic strengthening of RC buildings retrofitted by new window-type system using non-buckling slit dampers examined via pseudo-dynamic testing and nonlinear dynamic analysis. *Applied Sciences*, 12(3), 1220. <https://doi.org/10.3390/app12031220>
- Lembhe, A., Lagad, Y., Kamthe, R., Swami, A., & Department of Statistics. (2025). Survival analysis of customer lifetime and churn prediction in the telecom industry. *International Journal of Latest Technology in Engineering, Management & Applied Science*, 14(13), 201–212. <https://doi.org/10.51583/IJLTEMAS.2025.1413SP041>
- Medford, A. (2021). Modeling best practice life expectancy using Gumbel autoregressive models. *Risks*, 9(3), 51. <https://doi.org/10.3390/risks9030051>
- Milhaud, X., & Dutang, C. (2018). Lapse tables for lapse risk management in insurance: A survival analysis approach. *European Actuarial Journal*, 8(2), 311–336. <https://doi.org/10.1007/s13385-018-0165-7>
- Moore, D. F. (2016). *Applied survival analysis using R*. Springer
- Pitacco, E., Denuit, M., Haberman, S., & Olivieri, A. (2009). *Modelling longevity dynamics for pensions and annuity business*. Oxford University Press
- Sharma, S., & Desai, N. (2023). Identifying customer churn patterns using machine learning predictive analysis. In *Proceedings of the 2023 3rd International Conference on Smart Generation Computing, Communication and Networking (SMART GENCON)* (pp. 1–6). IEEE.
- Tabibian, S. A., Zhang, Z., & Jafarian, M. (2020). How does split announcement affect stock liquidity? Evidence from Bursa Malaysia. *Risks*, 8(3), 85. <https://doi.org/10.3390/risks8030085>
- Tullis, M. A., & Polmac, A. K. (2010). *Valuation of life insurance liabilities* (4th ed.). ACTEX Publications
- Turkson, A. J. (2021). A closer look at the Kaplan–Meier and life table models in survival analysis. *Open Access Library Journal*, 8(11), 1–19. <https://doi.org/10.4236/oalib.1108104>
- Zhou, Y., & Müller, H. G. (2025). Wasserstein–Kaplan–Meier survival regression. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 34(2), 580–590. <https://doi.org/10.1080/10618600.2024.2404708>