



Integrasi Model Survival Dalam Perhitungan Cadangan Premi Asuransi Jiwa: Pendekatan Weibull dan Eksponensial

Gabriel Sitorus^{1,*}, Ferdyanto Simanjuntak², dan Enjelita Simangunsong³

^{1,2,3} Program Studi Statistika, Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Sumatera Utara, Indonesia

*Correspondance author: gabriel.4233260032@mhs.unimed.ac.id

ABSTRACT

This study aims to integrate survival models in calculating life insurance premium reserves using the Exponential and Weibull distribution approaches. The data used is the 2010 Indonesian population mortality table, which contains information on the probability of death and survival by age group. The analysis was conducted by constructing an empirical survival function, which was then approximated using the Exponential and Weibull models through a curve fitting method with the Sum of Squared Error (SSE) criterion. The parameter estimation results show that the Weibull model has a better fit than the Exponential model, as indicated by a smaller SSE value. The probability of death generated by the Weibull model also shows a more realistic pattern, namely increasing with age, compared to the Exponential model, which assumes a constant hazard rate. Furthermore, the model results are used in calculating life insurance premiums and premium reserves using the prospective method. The calculation results show that there is a significant difference between the premium reserves generated by the two models. The Weibull model produces a more stable premium reserve estimate and reflects mortality risk more accurately than the Exponential model. This study shows that the choice of survival model has a significant influence on the results of actuarial calculations. Therefore, the use of the Weibull model is recommended in calculating life insurance premium reserves to obtain more realistic and accurate estimates.

Keywords: Survival Analysis, Weibull Distribution, Exponential Distribution, Premium Reserves, Life Insurance

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan model survival dalam perhitungan cadangan premi asuransi jiwa dengan menggunakan pendekatan distribusi Eksponensial dan Weibull. Data yang digunakan merupakan tabel mortalitas penduduk Indonesia tahun 2010 yang memuat informasi mengenai probabilitas kematian dan kelangsungan hidup berdasarkan kelompok umur. Analisis dilakukan dengan membangun fungsi survival empiris yang kemudian diaproksimasi menggunakan model Eksponensial dan Weibull melalui metode *curve fitting* dengan kriteria *Sum of Squared Error* (SSE). Hasil estimasi parameter menunjukkan bahwa model Weibull memiliki tingkat kesesuaian yang lebih baik dibandingkan model Eksponensial, yang ditunjukkan oleh nilai SSE yang lebih kecil. Probabilitas kematian yang dihasilkan oleh model Weibull juga menunjukkan pola yang lebih realistis, yaitu meningkat seiring bertambahnya usia, dibandingkan dengan model Eksponensial yang mengasumsikan tingkat hazard konstan. Selanjutnya, hasil model digunakan dalam perhitungan premi dan cadangan premi asuransi jiwa menggunakan metode prospektif. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara cadangan premi yang dihasilkan oleh kedua model. Model Weibull menghasilkan estimasi cadangan premi yang lebih stabil dan mencerminkan risiko mortalitas secara lebih akurat dibandingkan model Eksponensial. Penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan model survival memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil perhitungan aktuaria. Oleh karena itu, penggunaan model Weibull direkomendasikan dalam perhitungan cadangan premi asuransi jiwa untuk memperoleh estimasi yang lebih realistis dan akurat.

Kata Kunci: Analisis Survival, Distribusi Weibull, Distribusi Eksponensial, Cadangan Premi, Asuransi Jiwa



ARTICLE INFO

Submission received: 10 April 2026

Accepted: 31 August 2026

Revised: 30 June 2026

Published: 31 August 2026

Available on: <https://doi.org/10.32493/sm.v8i2.59445>

StatMat: Jurnal Statistika dan Matematika is licenced under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

PENDAHULUAN

Dalam kehidupan manusia, berbagai risiko seperti kematian, kecelakaan, dan penyakit merupakan peristiwa yang tidak dapat diprediksi secara pasti. Risiko-risiko tersebut dapat menimbulkan kerugian finansial yang signifikan bagi individu maupun keluarga. Oleh karena itu, diperlukan suatu mekanisme perlindungan finansial yang mampu mengalihkan risiko tersebut, salah satunya melalui asuransi jiwa. Asuransi jiwa merupakan suatu bentuk perjanjian antara tertanggung dan penanggung, di mana pihak penanggung memberikan kompensasi atas kerugian finansial yang timbul akibat kejadian tertentu sesuai dengan ketentuan polis (1).

Dalam operasionalnya, perusahaan asuransi memiliki kewajiban untuk memastikan ketersediaan dana guna membayar klaim yang akan terjadi di masa mendatang. Dana tersebut dikenal sebagai cadangan premi, yaitu sejumlah dana yang dihimpun dari premi yang dibayarkan oleh pemegang polis dan disisihkan sebagai persiapan pembayaran klaim di masa depan. Cadangan premi memiliki peranan penting dalam menjaga stabilitas keuangan perusahaan asuransi serta menjamin keberlangsungan operasional perusahaan dalam jangka panjang (2).

Permasalahan yang sering dihadapi oleh perusahaan asuransi adalah ketidakseimbangan antara premi yang diterima dengan kewajiban pembayaran klaim, terutama pada awal periode polis. Hal ini disebabkan oleh biaya operasional dan potensi klaim yang tidak dapat diprediksi secara pasti. Oleh karena itu, diperlukan metode perhitungan cadangan premi yang akurat agar perusahaan dapat memenuhi kewajibannya secara optimal (3).

Dalam ilmu aktuaria, perhitungan premi dan cadangan premi sangat dipengaruhi oleh probabilitas kelangsungan hidup dan kematian individu. Probabilitas tersebut biasanya diperoleh dari tabel mortalitas yang memuat informasi mengenai peluang hidup dan mati pada setiap usia. Namun, pendekatan menggunakan tabel mortalitas saja sering kali kurang fleksibel dalam menggambarkan dinamika risiko kematian yang berubah seiring waktu. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan statistik yang lebih adaptif, salah satunya melalui analisis survival (4).

Analisis survival merupakan metode statistik yang digunakan untuk menganalisis waktu hingga terjadinya suatu kejadian, seperti kematian atau klaim asuransi. Dalam konteks asuransi jiwa, analisis ini digunakan untuk memodelkan probabilitas kelangsungan hidup individu berdasarkan waktu, sehingga dapat memberikan estimasi yang lebih akurat terhadap risiko yang dihadapi oleh perusahaan asuransi.

Dalam pemodelan survival, distribusi probabilitas memiliki peranan penting dalam menggambarkan pola hazard atau tingkat risiko kematian. Salah satu distribusi yang banyak digunakan adalah distribusi Eksponensial, yang mengasumsikan bahwa tingkat hazard bersifat konstan sepanjang waktu. Meskipun sederhana, asumsi ini sering kali tidak sesuai dengan kondisi nyata karena risiko kematian cenderung meningkat seiring bertambahnya

usia. Sebagai alternatif, distribusi Weibull digunakan karena memiliki fleksibilitas yang lebih tinggi dalam memodelkan data survival. Distribusi ini mampu menggambarkan hazard yang meningkat maupun menurun tergantung pada nilai parameternya, sehingga lebih sesuai untuk digunakan dalam analisis risiko pada asuransi jiwa (4).

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan model Weibull dalam perhitungan premi dan cadangan premi memberikan hasil yang lebih realistis dibandingkan model sederhana seperti Eksponensial. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan model survival menggunakan distribusi Eksponensial dan Weibull dalam perhitungan cadangan premi asuransi jiwa, serta membandingkan hasil yang diperoleh dari kedua model tersebut. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan metode aktuarial yang lebih akurat serta menjadi referensi bagi praktisi dan peneliti dalam bidang asuransi jiwa (5).

METODE PENELITIAN

Data dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder berupa tabel mortalitas penduduk Indonesia. Tabel mortalitas tersebut memuat informasi mengenai pola kematian dan kelangsungan hidup individu berdasarkan kelompok umur tertentu. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi umur (Age), tingkat kematian ($m(x)$), probabilitas kematian ($q(x)$), jumlah individu yang masih hidup pada umur tertentu ($l(x)$), jumlah kematian ($d(x)$), serta harapan hidup ($e(x)$).

Data diperoleh dari sumber data internasional yang menyediakan tabel mortalitas terstandarisasi dan telah banyak digunakan dalam penelitian demografi maupun aktuarial (6). Data yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam format Microsoft Excel (.xlsx) dan selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak Python untuk keperluan analisis.

Dalam penelitian ini, data difokuskan pada satu kelompok jenis kelamin untuk menjaga konsistensi dalam pemodelan dan menghindari perbedaan pola mortalitas antar kelompok. Data tersebut kemudian digunakan untuk membentuk fungsi survival empiris yang menjadi dasar dalam estimasi parameter model Eksponensial dan Weibull.

Penggunaan tabel mortalitas dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh gambaran yang sistematis mengenai probabilitas kelangsungan hidup dan kematian pada setiap kelompok umur. Informasi tersebut sangat penting dalam analisis survival serta dalam perhitungan aktuarial, khususnya untuk menentukan nilai premi dan cadangan premi pada produk asuransi jiwa.

Analisis Survival

Analisis survival merupakan metode statistik yang digunakan untuk memodelkan waktu hingga terjadinya suatu kejadian (*event*), seperti kematian dalam konteks asuransi jiwa. Dalam analisis ini, fungsi utama yang digunakan adalah fungsi survival $S(x)$, yang menyatakan probabilitas individu untuk bertahan hidup hingga waktu x , serta fungsi hazard yang menggambarkan tingkat risiko terjadinya kejadian pada waktu tertentu.

Fungsi survival secara umum didefinisikan sebagai:

$$S(x) = P(T > x) \quad (1)$$

di mana T merupakan variabel acak yang menyatakan waktu hingga terjadinya kejadian. Berdasarkan fungsi survival, probabilitas kematian pada interval tertentu dapat diturunkan dan digunakan dalam perhitungan aktuarial (7).

Dalam penelitian ini digunakan dua model parametrik, yaitu model Eksponensial dan model Weibull. Model Eksponensial merupakan model survival yang paling sederhana

dengan asumsi bahwa tingkat hazard bersifat konstan sepanjang waktu. Fungsi survival pada model Eksponensial dinyatakan sebagai:

$$S(x) = e^{-\lambda x} \quad (2)$$

dengan $\lambda > 0$ merupakan parameter laju kematian (4).

Sementara itu, model Weibull digunakan sebagai alternatif yang lebih fleksibel karena mampu menggambarkan perubahan tingkat hazard terhadap waktu. Fungsi survival pada model Weibull dinyatakan sebagai:

$$S(x) = e^{-\lambda x^k} \quad (3)$$

dengan $\lambda > 0$ sebagai parameter skala dan $k > 0$ sebagai parameter bentuk yang menentukan pola hazard. Nilai $k > 1$ menunjukkan bahwa tingkat risiko meningkat seiring waktu, sedangkan $k < 1$ menunjukkan penurunan risiko (8).

Kedua model tersebut digunakan untuk memodelkan data mortalitas dan menghasilkan estimasi fungsi survival yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan probabilitas kematian, premi, dan cadangan premi asuransi jiwa.

Model Eksponensial

Model Eksponensial merupakan salah satu model parametrik dalam analisis survival yang banyak digunakan karena kesederhanaannya dalam merepresentasikan waktu hingga terjadinya suatu kejadian. Model ini mengasumsikan bahwa tingkat hazard bersifat konstan sepanjang waktu, sehingga risiko terjadinya kejadian tidak bergantung pada usia atau waktu pengamatan.

Dalam model Eksponensial, fungsi survival didefinisikan sebagai:

$$S(x) = e^{-\lambda x} \quad (4)$$

di mana $\lambda > 0$ merupakan parameter laju (*rate parameter*) yang menggambarkan tingkat kejadian. Semakin besar nilai λ , maka semakin tinggi risiko kejadian yang terjadi dalam suatu interval waktu.

Fungsi hazard pada model Eksponensial dinyatakan sebagai:

$$h(x) = \lambda \quad (5)$$

yang menunjukkan bahwa tingkat risiko bersifat konstan untuk setiap nilai x . Berdasarkan fungsi survival tersebut, probabilitas kematian dalam interval tertentu dapat diturunkan dan digunakan dalam perhitungan aktuaria (9).

Dalam penelitian ini, parameter λ diestimasi berdasarkan data mortalitas dengan pendekatan *curve fitting*, yaitu dengan menyesuaikan fungsi survival teoritis terhadap fungsi survival empiris yang diperoleh dari data. Estimasi parameter dilakukan dengan meminimalkan nilai kesalahan antara model dan data menggunakan kriteria *Sum of Squared Error* (SSE) (7).

Model Eksponensial digunakan sebagai model pembanding karena memiliki struktur yang sederhana dan sering dijadikan dasar dalam analisis survival. Namun, keterbatasan utama dari model ini terletak pada asumsi hazard konstan, yang dalam banyak kasus kurang mampu merepresentasikan pola mortalitas manusia yang cenderung meningkat seiring bertambahnya usia. Oleh karena itu, hasil dari model Eksponensial dalam penelitian ini akan dibandingkan dengan model Weibull yang lebih fleksibel dalam menggambarkan dinamika risiko kematian (10).

Model Weibull

Model Weibull merupakan salah satu model parametrik dalam analisis survival yang banyak digunakan karena fleksibilitasnya dalam menggambarkan pola waktu hingga terjadinya suatu kejadian. Berbeda dengan model Eksponensial yang mengasumsikan tingkat hazard konstan, model Weibull memungkinkan tingkat hazard berubah terhadap waktu, sehingga lebih mampu merepresentasikan kondisi nyata, khususnya dalam pemodelan mortalitas manusia (11).

Fungsi survival pada model Weibull dinyatakan sebagai:

$$S(x) = e^{-\lambda x^k} \quad (6)$$

dengan $\lambda > 0$ sebagai parameter skala (*scale parameter*) dan $k > 0$ sebagai parameter bentuk (*shape parameter*). Kedua parameter tersebut berperan dalam menentukan karakteristik distribusi dan pola risiko terhadap waktu.

Fungsi hazard dari model Weibull diberikan oleh:

$$h(x) = \lambda k x^{k-1} \quad (7)$$

yang menunjukkan bahwa tingkat hazard bergantung pada nilai x . Nilai parameter k memiliki interpretasi penting dalam analisis survival, yaitu jika $k > 1$, maka tingkat hazard meningkat seiring waktu, jika $k = 1$, maka model Weibull akan mereduksi menjadi model Eksponensial dengan hazard konstan, dan jika $k < 1$, maka tingkat hazard menurun terhadap waktu (5).

Dalam penelitian ini, parameter λ dan k diestimasi menggunakan pendekatan *curve fitting* dengan menyesuaikan fungsi survival teoritis terhadap fungsi survival empiris yang diperoleh dari data mortalitas. Proses estimasi dilakukan dengan meminimalkan nilai *Sum of Squared Error* (SSE), sehingga diperoleh parameter yang memberikan tingkat kesesuaian terbaik terhadap data (9).

Pemilihan model Weibull dalam penelitian ini didasarkan pada kemampuannya dalam menggambarkan perubahan risiko kematian yang meningkat seiring bertambahnya usia, yang merupakan karakteristik umum dalam data mortalitas (12). Oleh karena itu, model Weibull diharapkan dapat menghasilkan estimasi probabilitas kelangsungan hidup yang lebih realistis serta memberikan hasil perhitungan premi dan cadangan premi yang lebih akurat dibandingkan model Eksponensial (7).

Estimasi Parameter

Estimasi parameter pada model survival dilakukan untuk memperoleh nilai parameter yang paling sesuai dalam merepresentasikan data mortalitas. Dalam penelitian ini, estimasi parameter dilakukan pada model Eksponensial dan Weibull dengan menggunakan pendekatan *curve fitting*, yaitu dengan menyesuaikan fungsi survival teoritis terhadap fungsi survival empiris yang diperoleh dari data (13).

Fungsi survival empiris dihitung berdasarkan tabel mortalitas menggunakan rasio jumlah individu yang masih hidup pada umur tertentu terhadap jumlah awal populasi, yang dinyatakan sebagai:

$$S(x) = \frac{l(x)}{l(0)} \quad (8)$$

di mana $l(x)$ merupakan jumlah individu yang masih hidup pada umur x , dan $l(0)$ adalah jumlah individu pada awal pengamatan.

Selanjutnya, parameter model diestimasi dengan meminimalkan selisih antara nilai fungsi survival empiris dan fungsi survival teoritis. Kriteria yang digunakan dalam proses estimasi adalah *Sum of Squared Error* (SSE), yang dirumuskan sebagai:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (S_{emp}(x_i) - S_{model}(x_i))^2 \quad (9)$$

di mana S_{emp} adalah nilai survival empiris pada umur x_i , dan S_{model} adalah nilai survival yang dihasilkan oleh model (10).

Proses optimasi dilakukan secara numerik dengan mencari nilai parameter yang meminimalkan nilai SSE (9). Untuk model Eksponensial, parameter yang diestimasi adalah λ , sedangkan untuk model Weibull, parameter yang diestimasi adalah λ dan k . Estimasi dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak Python dengan memanfaatkan metode optimasi numerik (14).

Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan estimasi parameter yang optimal berdasarkan kesesuaian model terhadap data (15). Hasil estimasi parameter selanjutnya digunakan dalam pembentukan fungsi survival model, yang menjadi dasar dalam perhitungan probabilitas kematian, premi, dan cadangan premi asuransi jiwa.

Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan untuk menilai tingkat kesesuaian antara model survival yang digunakan dengan data mortalitas empiris. Dalam penelitian ini, evaluasi dilakukan dengan menggunakan kriteria *Sum of Squared Error* (SSE), yaitu ukuran yang menunjukkan besarnya selisih antara nilai fungsi survival hasil model dengan fungsi survival empiris (16),(17).

Secara matematis, SSE dirumuskan sebagai:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (S_{emp}(x_i) - S_{model}(x_i))^2 \quad (10)$$

di mana S_{emp} merupakan nilai survival empiris pada umur x_i , sedangkan S_{model} adalah nilai survival yang dihasilkan oleh model pada umur yang sama (9).

Nilai SSE digunakan sebagai indikator tingkat kesalahan model dalam merepresentasikan data. Semakin kecil nilai SSE, maka semakin baik model tersebut dalam menggambarkan pola survival yang terdapat pada data mortalitas (14). Oleh karena itu, model dengan nilai SSE yang lebih rendah dianggap memiliki tingkat kesesuaian yang lebih tinggi (18).

Dalam penelitian ini, evaluasi dilakukan terhadap dua model, yaitu model Eksponensial dan model Weibull. Hasil perbandingan nilai SSE dari kedua model digunakan untuk menentukan model yang paling sesuai secara statistik dalam memodelkan data mortalitas (7).

Namun demikian, evaluasi model dalam penelitian ini tidak hanya terbatas pada aspek statistik, tetapi juga mempertimbangkan implikasi praktis dalam perhitungan aktuarial. Oleh karena itu, selain membandingkan nilai SSE, penelitian ini juga menganalisis dampak penggunaan masing-masing model terhadap hasil perhitungan premi dan cadangan premi. Pendekatan ini dilakukan untuk memastikan bahwa model yang dipilih tidak hanya memiliki tingkat kesesuaian yang baik terhadap data, tetapi juga menghasilkan estimasi yang realistis dalam konteks asuransi jiwa.

Perhitungan Probabilitas Kematian

Probabilitas kematian merupakan salah satu komponen utama dalam perhitungan aktuarial, khususnya dalam penentuan premi dan cadangan premi asuransi jiwa (7). Dalam penelitian ini, probabilitas kematian dihitung berdasarkan fungsi survival yang diperoleh dari model Eksponensial dan Weibull.

Secara umum, probabilitas kematian pada interval waktu tertentu dapat diturunkan dari fungsi survival. Probabilitas kematian antara umur x hingga $x+1$, yang dinyatakan sebagai $q(x)$, dapat dirumuskan sebagai:

$$q(x) = 1 - \frac{S_{(x+1)}}{S_{(x)}} \quad (11)$$

di mana $S(x)$ merupakan fungsi survival pada umur x (8).

Berdasarkan model Eksponensial, fungsi survival dinyatakan sebagai $S(x) = e^{-\lambda x}$ sehingga probabilitas kematian dapat dihitung dengan mensubstitusikan fungsi tersebut ke dalam persamaan di atas (19). Karena sifat hazard yang konstan, probabilitas kematian pada model Eksponensial cenderung memiliki pola yang relatif stabil terhadap waktu (13).

Sementara itu, pada model Weibull dengan fungsi survival $S_{(x)} = e^{-\lambda x^k}$, probabilitas kematian dihitung dengan cara yang sama, namun menghasilkan pola yang berbeda karena dipengaruhi oleh parameter bentuk k . Model Weibull memungkinkan probabilitas kematian meningkat seiring bertambahnya umur, sehingga lebih mampu merepresentasikan pola mortalitas yang realistis (10).

Dalam penelitian ini, perhitungan probabilitas kematian dilakukan untuk setiap kelompok umur yang tersedia dalam data. Hasil perhitungan dari kedua model kemudian dibandingkan untuk melihat perbedaan pola probabilitas kematian yang dihasilkan. Probabilitas kematian tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan premi dan cadangan premi asuransi jiwa.

Perhitungan Cadangan Premi

Cadangan premi merupakan sejumlah dana yang harus disediakan oleh perusahaan asuransi untuk memenuhi kewajiban pembayaran klaim di masa mendatang. Dalam konteks asuransi jiwa, cadangan premi dihitung berdasarkan prinsip nilai sekarang (*present value*) dari manfaat yang akan dibayarkan dikurangi dengan nilai sekarang dari premi yang akan diterima.

Dalam penelitian ini, cadangan premi dihitung menggunakan metode prospektif, yaitu dengan mempertimbangkan selisih antara nilai sekarang dari manfaat asuransi di masa depan dan nilai sekarang dari premi yang masih akan dibayarkan oleh tertanggung. Secara umum, cadangan premi pada waktu t , yang dinyatakan sebagai $V(t)$, dirumuskan sebagai:

$$V(t) = PVFB(t) - PVFP(t) \quad (12)$$

di mana $PVFB(t)$ (*Present Value of Future Benefits*) adalah nilai sekarang dari manfaat yang akan dibayarkan di masa mendatang, dan $PVFP(t)$ (*Present Value of Future Premiums*) adalah nilai sekarang dari premi yang masih akan diterima (13).

Perhitungan nilai sekarang dilakukan dengan menggunakan faktor diskonto berdasarkan tingkat suku bunga i , yang dinyatakan sebagai:

$$v = \frac{1}{1+i} \quad (13)$$

Dalam penelitian ini, probabilitas kelangsungan hidup dan kematian yang digunakan dalam perhitungan diperoleh dari model survival, yaitu model Eksponensial dan Weibull. Dengan demikian, nilai $PVFB(t)$ dan $PVFP(t)$ dihitung dengan mempertimbangkan probabilitas kematian dan kelangsungan hidup pada setiap periode waktu.

Untuk asuransi jiwa berjangka, nilai sekarang dari manfaat dapat dinyatakan sebagai:

$$PVFB(t) = \sum_{k=t+1}^n v^{k-t} {}_{k-t}p_x \cdot q_{x+k-t-1} \cdot B \quad (14)$$

di mana B adalah manfaat asuransi, ${}_k p_x$ adalah probabilitas bertahan hidup, dan q_x adalah probabilitas kematian (2).

Sedangkan nilai sekarang dari premi dihitung sebagai:

$$PVFP(t) = \sum_{k=t+1}^n v^{k-t} \cdot {}_{k-t}p_x \cdot P \quad (15)$$

di mana P merupakan premi tahunan yang dibayarkan oleh tertanggung (8).



Perhitungan cadangan premi dilakukan untuk setiap periode waktu selama masa pertanggungan. Hasil perhitungan dari model Eksponensial dan Weibull kemudian dibandingkan untuk melihat perbedaan pola cadangan premi yang dihasilkan. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh pemilihan model survival terhadap estimasi kewajiban perusahaan asuransi (1).

Alur penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang disusun secara sistematis untuk mencapai tujuan penelitian. Tahapan penelitian dimulai dari pengumpulan data hingga analisis hasil yang diperoleh dari model yang digunakan.

Tahap pertama adalah pengumpulan data, yaitu memperoleh data tabel mortalitas yang digunakan sebagai dasar dalam analisis. Data tersebut kemudian diproses untuk membentuk fungsi survival empiris berdasarkan rasio jumlah individu yang masih hidup terhadap populasi awal.

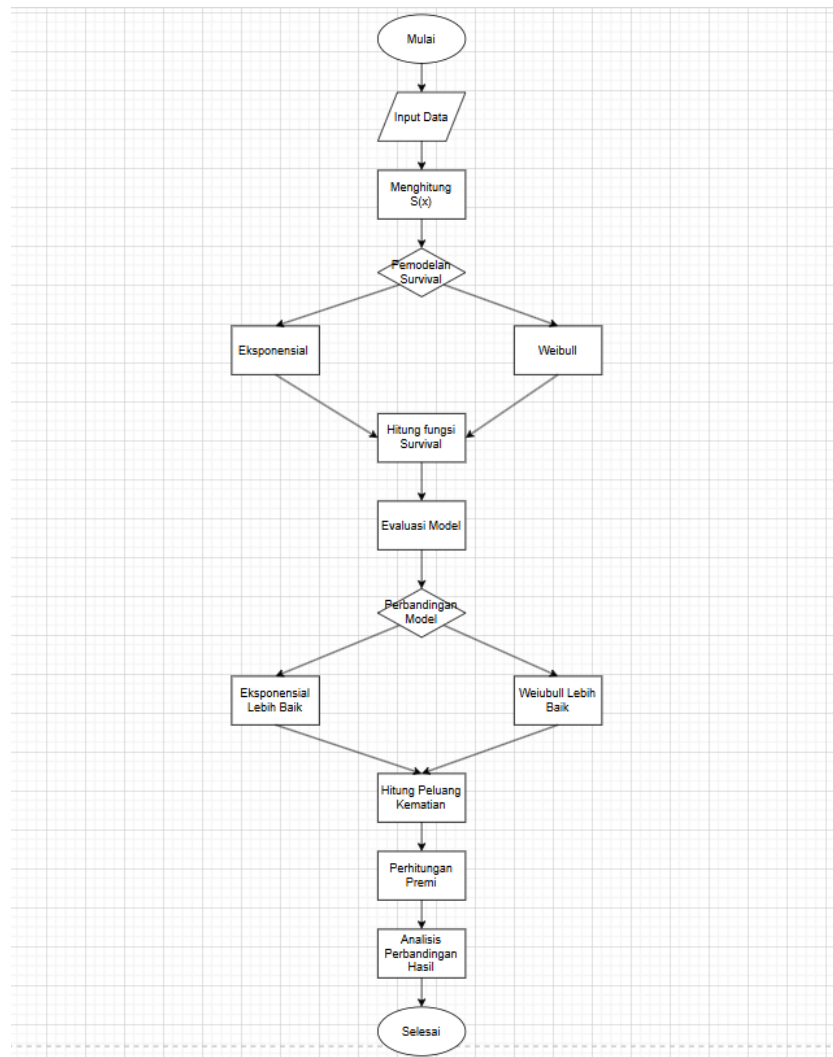
Tahap selanjutnya adalah pemodelan survival menggunakan dua pendekatan parametrik, yaitu model Eksponensial dan model Weibull. Pada tahap ini dilakukan estimasi parameter untuk masing-masing model dengan menggunakan metode *curve fitting* melalui minimasi *Sum of Squared Error* (SSE) guna memperoleh parameter yang paling sesuai dengan data.

Setelah parameter diperoleh, dilakukan evaluasi model dengan membandingkan nilai SSE dari masing-masing model untuk menentukan model yang memiliki tingkat kesesuaian terbaik terhadap data mortalitas. Selanjutnya, berdasarkan fungsi survival dari masing-masing model, dihitung probabilitas kematian pada setiap kelompok umur.

Tahap berikutnya adalah perhitungan premi dan cadangan premi asuransi jiwa menggunakan probabilitas kematian yang dihasilkan dari model. Perhitungan ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh pemilihan model survival terhadap hasil estimasi premi dan cadangan premi.

Tahap akhir adalah analisis dan interpretasi hasil, yaitu membandingkan hasil yang diperoleh dari model Eksponensial dan Weibull, baik dari segi kesesuaian model maupun implikasinya terhadap perhitungan aktuarial. Hasil analisis ini digunakan untuk menarik kesimpulan mengenai model yang paling sesuai dan memberikan rekomendasi dalam penerapan model survival pada asuransi jiwa.

Untuk memperjelas alur penelitian, tahapan-tahapan tersebut dapat disajikan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Flow Chart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Data

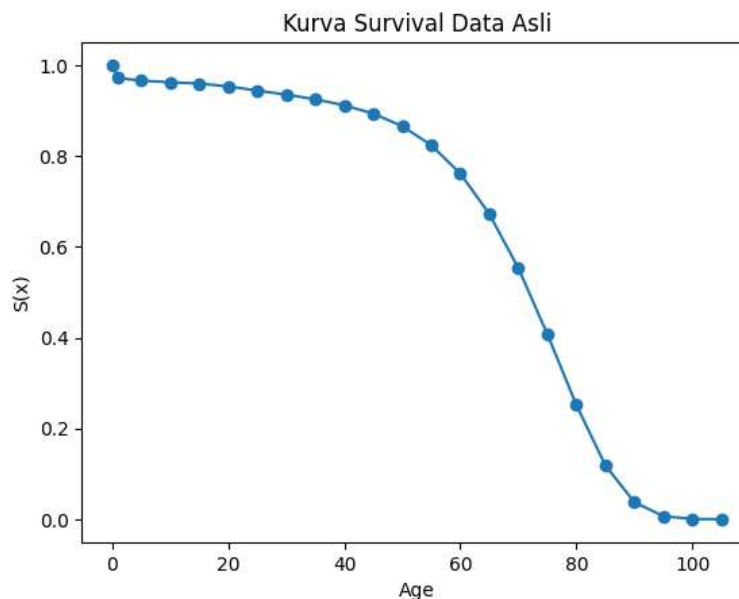
Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data tabel mortalitas penduduk Indonesia tahun 2010 yang memuat informasi mengenai tingkat kelangsungan hidup dan kematian berdasarkan usia. Data ini terdiri dari beberapa variabel penting, antara lain usia (Age), jumlah individu yang masih hidup pada usia tertentu $l(x)$, peluang kematian $q(x)$, jumlah kematian $d(x)$, serta harapan hidup $e(x)$. Data juga dibedakan berdasarkan jenis kelamin, yaitu laki-laki dan perempuan.

Pada penelitian ini, analisis difokuskan pada salah satu kelompok, yaitu laki-laki ($\text{Sex} = 1$), untuk menyederhanakan proses pemodelan dan interpretasi hasil. Rentang usia yang diamati dimulai dari usia 0 tahun hingga usia maksimum lebih dari 100 tahun.

Secara umum, nilai $l(x)$ menunjukkan pola yang menurun seiring bertambahnya usia. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah individu yang bertahan hidup semakin berkurang akibat risiko kematian yang meningkat seiring waktu. Sebaliknya, nilai $q(x)$ cenderung meningkat pada usia lanjut, yang mencerminkan peningkatan probabilitas kematian pada kelompok usia yang lebih tua.

Selain itu, fungsi survival $S(x)$ dibentuk dari data $l(x)$ dengan membandingkan jumlah individu yang masih hidup pada usia tertentu terhadap jumlah awal pada usia 0 tahun. Fungsi ini memberikan gambaran probabilitas seseorang untuk bertahan hidup hingga usia tertentu dan menjadi dasar dalam pemodelan distribusi survival menggunakan pendekatan Weibull dan Eksponensial.

Untuk memberikan gambaran visual mengenai pola kelangsungan hidup, dilakukan visualisasi fungsi survival terhadap usia.



Gambar 2. Kurva Survival Data Asli

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa kurva survival mengalami penurunan yang semakin tajam pada usia lanjut. Pada usia muda, penurunan relatif lambat yang menunjukkan tingkat kelangsungan hidup yang tinggi. Namun, setelah memasuki usia tertentu, penurunan menjadi lebih signifikan akibat meningkatnya risiko kematian.

Karakteristik data tersebut menunjukkan bahwa pola mortalitas tidak bersifat konstan, sehingga diperlukan model yang mampu menangkap perubahan tingkat risiko kematian terhadap usia. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan dua pendekatan model survival, yaitu distribusi Eksponensial yang mengasumsikan hazard konstan, serta distribusi Weibull yang lebih fleksibel dalam menangkap variasi hazard.

Tabel 1. Baris Data Awal

Age	L_x	Q_x	S_x
0	100000	0.0282	1
1	97180	0.00623	0,9718
5	96575	0.00349	0,96575
10	96238	0.00302	0,96238
15	95947	0.00677	0,95947

Tabel 1 menunjukkan sebagian data mortalitas yang digunakan dalam penelitian. Nilai $l(x)$ mengalami penurunan secara bertahap, sedangkan nilai $q(x)$ cenderung meningkat pada usia yang lebih tinggi. Pola ini sesuai dengan teori mortalitas yang menyatakan bahwa risiko kematian meningkat seiring bertambahnya usia.

Hasil Pemodelan Survival

Pada penelitian ini, pemodelan survival dilakukan menggunakan dua distribusi parametrik, yaitu distribusi Eksponensial dan distribusi Weibull. Kedua model digunakan untuk mengestimasi fungsi survival berdasarkan data mortalitas yang telah diolah sebelumnya.

Model Eksponensial

Model Eksponensial merupakan model survival sederhana yang mengasumsikan bahwa tingkat hazard bersifat konstan terhadap waktu. Fungsi survival pada model ini dinyatakan sebagai berikut:

$$S(x) = e^{-\lambda x} \quad (16)$$

Berdasarkan hasil estimasi parameter menggunakan metode *curve fitting*, diperoleh nilai parameter sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter Model Eksponensial

Parameter	Nilai
(λ)	0,01066

Nilai parameter λ sebesar 0,01066 menunjukkan bahwa probabilitas kelangsungan hidup menurun secara eksponensial seiring bertambahnya usia. Namun, karena model ini mengasumsikan hazard yang konstan, maka model Eksponensial memiliki keterbatasan dalam menangkap perubahan risiko kematian yang meningkat pada usia lanjut.

Model Weibull

Model Weibull merupakan model survival yang lebih fleksibel karena memungkinkan perubahan tingkat hazard terhadap waktu. Fungsi survival Weibull dinyatakan sebagai berikut:

$$S(x) = e^{-(x/\lambda)^k} \quad (17)$$

Hasil estimasi parameter model Weibull adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Parameter Model Weibull

Parameter	Nilai
λ	75,5563
k	5,4451

Parameter k sebesar 5,4451 menunjukkan bahwa tingkat hazard meningkat secara signifikan seiring bertambahnya usia ($k > 1$). Hal ini sesuai dengan karakteristik data mortalitas manusia, di mana risiko kematian meningkat pada usia lanjut. Parameter λ sebesar 75,5563 menunjukkan skala distribusi yang mempengaruhi penyebaran umur harapan hidup.

Dengan demikian, model Weibull mampu merepresentasikan pola mortalitas secara lebih realistis dibandingkan model Eksponensial.

Evaluasi Model

Untuk mengukur tingkat kesesuaian model, digunakan nilai *Sum of Squared Error* (SSE). Nilai SSE yang lebih kecil menunjukkan model yang lebih baik dalam mendekati data.

Tabel 4. Perbandingan Nilai SSE

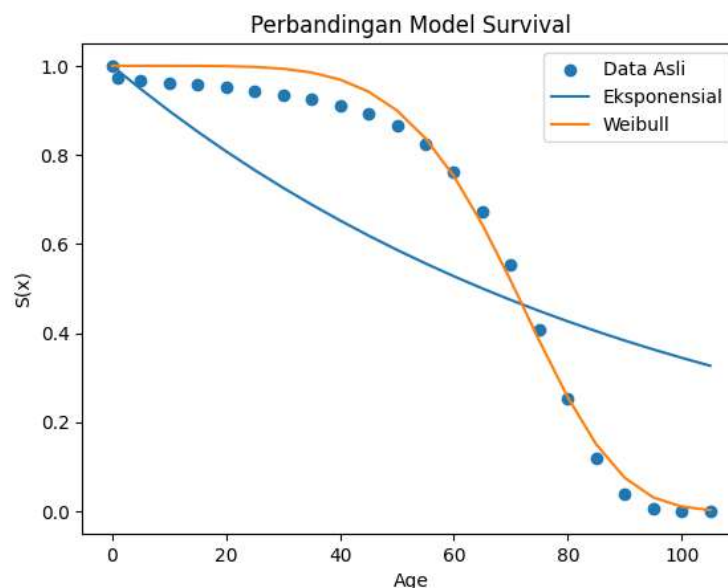
Model	SSE
Eksponensial	1,13444
Weibull	0,03001

Berdasarkan Tabel 4, model Weibull memiliki nilai SSE yang jauh lebih kecil dibandingkan model Eksponensial. Hal ini menunjukkan bahwa model Weibull memiliki tingkat kesesuaian yang jauh lebih baik dalam memodelkan data survival.

3.3 Perbandingan Model

Pada penelitian ini, perbandingan model dilakukan antara model Eksponensial dan Weibull untuk melihat tingkat kesesuaian masing-masing model dalam merepresentasikan data survival. Perbandingan dilakukan berdasarkan dua aspek utama, yaitu kesesuaian kurva survival terhadap data asli serta nilai galat (*error*) yang dihasilkan.

Perbandingan visual antara kurva survival dari kedua model dengan data asli ditunjukkan pada Gambar di bawah :



Gambar 3. Perbandingan Kurva Survival

Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa model Weibull memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mengikuti pola data survival dibandingkan model Eksponensial. Pada usia muda, kedua model masih relatif mendekati data asli, namun seiring bertambahnya usia, perbedaan antara kedua model semakin terlihat jelas.

Model Eksponensial menunjukkan pola penurunan yang lebih landai dan cenderung menyimpang dari data aktual, terutama pada usia menengah hingga lanjut. Hal ini disebabkan oleh asumsi hazard konstan yang digunakan pada model Eksponensial, sehingga tidak mampu menangkap peningkatan risiko kematian yang terjadi pada usia lanjut.

Sebaliknya, model Weibull mampu mengikuti pola penurunan survival yang lebih tajam pada usia lanjut. Hal ini menunjukkan bahwa model Weibull lebih fleksibel dalam menggambarkan perubahan tingkat risiko kematian terhadap usia.

Hasil Probabilitas Kematian

Perbandingan probabilitas kematian $q(x)$ antara kedua model juga menunjukkan perbedaan yang signifikan.

Tabel 5. Perbandingan Nilai q_x

Age	q_x Eksponensial	q_x Weibull
0	0.0106	~0.0000
30	0.0519	0.0086
50	0.0519	0.0693
70	0.0519	0.2598
90	0.0519	0.5883
100	0.0519	0.7534

Berdasarkan Tabel 5, terlihat bahwa model Eksponensial menghasilkan nilai $q(x)$ yang relatif konstan pada berbagai usia. Hal ini mencerminkan asumsi dasar model Eksponensial bahwa tingkat hazard tidak berubah terhadap waktu.

Sebaliknya, model Weibull menghasilkan nilai $q(x)$ yang meningkat seiring bertambahnya usia. Pada usia muda, probabilitas kematian relatif kecil, namun meningkat secara signifikan pada usia lanjut. Pola ini lebih sesuai dengan kondisi nyata di mana risiko kematian meningkat seiring bertambahnya usia.

Perhitungan Cadangan Premi Weibull

Perhitungan cadangan premi dalam penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan prospektif, yaitu dengan menghitung selisih antara nilai sekarang dari manfaat yang akan dibayarkan di masa depan dengan nilai sekarang dari premi yang akan diterima di masa mendatang.

Asumsi yang digunakan dalam perhitungan adalah suku bunga sebesar 5% per tahun dan masa pertanggungan selama 20 tahun. Produk asuransi yang digunakan dalam penelitian ini adalah asuransi jiwa berjangka dengan pembayaran premi tahunan.

Perhitungan Premi Tahunan Model Weibull

Premi tahunan dihitung berdasarkan nilai sekarang dari manfaat yang diharapkan (*expected present value of benefit*) dan nilai sekarang dari anuitas premi.

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan probabilitas kematian hasil model Weibull, diperoleh nilai premi tahunan sebesar:

$$\text{Premi Tahunan} = \text{Rp } 9.527.379,54$$

Nilai premi tersebut mencerminkan besarnya pembayaran yang harus dilakukan oleh tertanggung setiap tahun selama masa kontrak untuk memperoleh manfaat pertanggungan sebesar Rp 100.000.000.

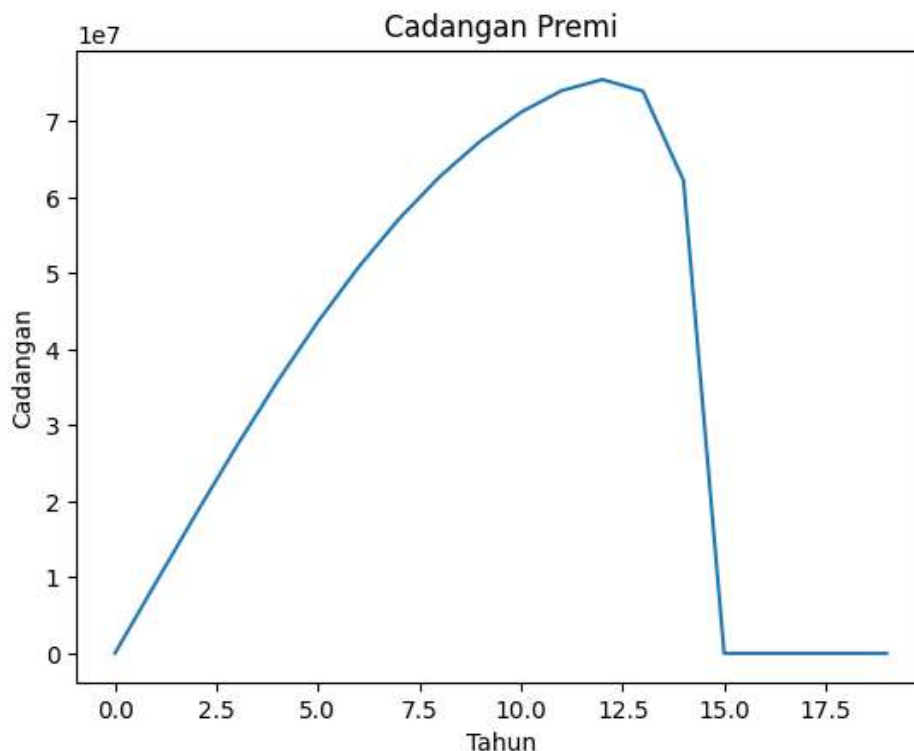
Perhitungan Cadangan Premi Model Weibull

Cadangan premi dihitung untuk setiap tahun selama masa pertanggungan menggunakan metode prospektif. Hasil perhitungan cadangan premi ditunjukkan pada Tabel dibawah

Tabel 6. Perhitungan Cadangan Premi

Tahun	Cadangan (Rp)
0	11.425
1	9.238.379
2	18.393.520
3	27.297.560
4	35.772.280
5	43.658.850
6	50.832.160
7	57.208.270
8	62.743.050
9	67.419.990
10	71.220.620
11	74.050.700
12	75.509.930
13	73.985.930
14	62.225.670
15–19	0

Jika di ubah ke dalam plot, cadangan premi dapat di lihat pada gambar di bawah :



Gambar 4. Cadangan Premi Model Weibull terhadap Waktu

Analisis Cadangan Premi

Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 4, terlihat bahwa nilai cadangan premi mengalami peningkatan pada tahun-tahun awal hingga mencapai puncaknya pada sekitar tahun ke-12. Setelah itu, cadangan mulai mengalami penurunan hingga akhirnya mencapai nol pada akhir masa pertanggungan.

Pola ini sesuai dengan konsep dasar cadangan premi dalam asuransi jiwa, di mana pada awal periode perusahaan asuransi masih menerima premi dari tertanggung, sehingga cadangan yang terbentuk relatif kecil. Seiring berjalannya waktu, akumulasi premi dan bunga menyebabkan cadangan meningkat.

Namun, pada periode mendekati akhir kontrak, risiko pembayaran klaim semakin besar, sehingga cadangan mulai digunakan untuk menutup potensi pembayaran manfaat. Hal ini menyebabkan nilai cadangan mengalami penurunan hingga akhirnya menjadi nol ketika masa pertanggungan berakhir.

Selain itu, penggunaan probabilitas kematian dari model Weibull memberikan pengaruh signifikan terhadap pola cadangan premi. Hal ini disebabkan karena model Weibull mampu menangkap peningkatan risiko kematian pada usia lanjut, sehingga perhitungan cadangan menjadi lebih realistis dibandingkan jika menggunakan model dengan hazard konstan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa cadangan premi sangat dipengaruhi oleh pola probabilitas kematian yang digunakan. Model Weibull yang memiliki karakteristik hazard meningkat menghasilkan estimasi cadangan yang lebih mencerminkan kondisi nyata.

Dengan demikian, penggunaan model survival yang tepat menjadi faktor penting dalam perhitungan cadangan premi, karena kesalahan dalam estimasi probabilitas kematian dapat berdampak langsung terhadap kecukupan cadangan yang dimiliki oleh perusahaan asuransi.

3.6 Perhitungan Cadangan Premi Model Eksponensial

Selain menggunakan model Weibull, perhitungan cadangan premi juga dilakukan menggunakan model Eksponensial sebagai pembanding. Model Eksponensial mengasumsikan bahwa tingkat hazard bersifat konstan terhadap waktu, sehingga menghasilkan pola probabilitas kematian yang relatif stabil pada berbagai usia.

Dengan menggunakan asumsi yang sama, yaitu suku bunga sebesar 5% per tahun, masa pertanggungan selama 20 tahun, dan manfaat pertanggungan sebesar Rp 100.000.000, diperoleh nilai premi tahunan sebagai berikut:

$$\text{Premi Tahunan (Eksponensial)} = \text{Rp } 4.815.411,14$$

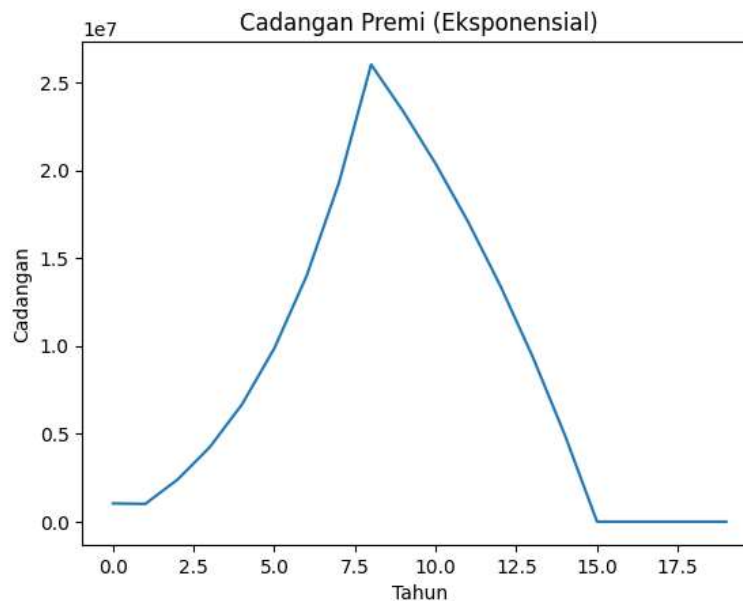
Nilai premi yang dihasilkan oleh model Eksponensial lebih rendah dibandingkan dengan model Weibull. Hal ini disebabkan oleh asumsi hazard konstan yang cenderung meremehkan risiko kematian pada usia lanjut.

Cadangan Premi Model Eksponensial

Cadangan premi dihitung menggunakan metode prospektif untuk setiap tahun selama masa pertanggungan. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Cadangan Premi Model Eksponensial

Tahun	Cadangan (Rp)
0	1.041.116
1	1.010.245
2	2.390.304
3	4.239.110
4	6.679.637
5	9.864.520
6	13.982.970
7	19.269.290
8	26.013.290
9	23.333.790
10	20.366.240
11	17.079.700
12	13.439.870
13	9.408.769
14	4.944.339
15–19	0



Gambar 5. Cadangan Premi Model Eksponensial

Analisis Cadangan Premi Model Eksponensial

Berdasarkan Tabel 7 dan Gambar 5, terlihat bahwa nilai cadangan premi mengalami peningkatan pada tahun-tahun awal hingga mencapai puncaknya sekitar tahun ke-8, kemudian mengalami penurunan hingga mencapai nol pada akhir masa pertanggungan.

Pola ini menunjukkan bahwa cadangan pada model Eksponensial cenderung meningkat lebih lambat dan mencapai nilai maksimum yang lebih rendah dibandingkan dengan model Weibull. Hal ini disebabkan oleh sifat model Eksponensial yang mengasumsikan tingkat hazard konstan, sehingga tidak mampu menangkap peningkatan risiko kematian secara signifikan pada usia lanjut.

Akibatnya, estimasi cadangan premi yang dihasilkan oleh model Eksponensial cenderung lebih kecil dan kurang mencerminkan kondisi risiko yang sebenarnya.

Interpretasi Hasil

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penggunaan model Eksponensial menghasilkan nilai premi dan cadangan yang lebih rendah dibandingkan model Weibull. Hal ini mengindikasikan bahwa model Eksponensial cenderung *underestimate* terhadap risiko kematian, terutama pada usia lanjut.

Dengan demikian, meskipun model Eksponensial lebih sederhana, penggunaannya dalam perhitungan aktuaria memiliki keterbatasan karena tidak mampu merepresentasikan pola mortalitas secara realistis.

3.7 Perbandingan Cadangan Premi Model Weibull dan Eksponensial

Perbandingan cadangan premi antara model Weibull dan Eksponensial dilakukan untuk melihat pengaruh pemilihan model survival terhadap hasil perhitungan aktuaria. Kedua model menggunakan asumsi yang sama, yaitu suku bunga sebesar 5% per tahun, masa pertanggungan selama 20 tahun, dan manfaat pertanggungan sebesar Rp 100.000.000.

Perbandingan Premi Tahunan

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh premi tahunan sebagai berikut:

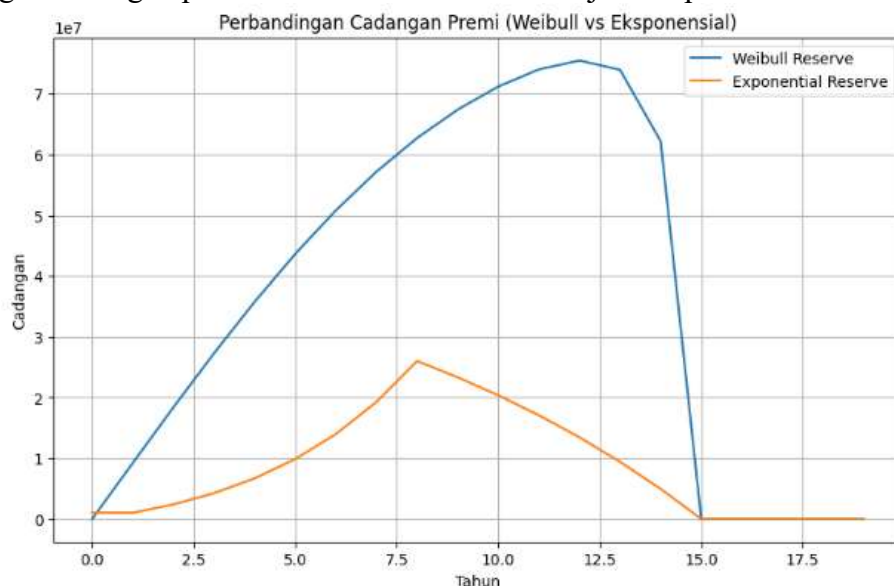
Tabel 8. Perbandingan Premi Tahunanan

Model	Premi Tahunan (Rp)
Weibull	9.527.379,54
Ekspensial	4.815.411,14

Berdasarkan Tabel 8, terlihat bahwa premi tahunan yang dihasilkan oleh model Weibull hampir dua kali lebih besar dibandingkan dengan model Ekspensial. Hal ini menunjukkan bahwa model Weibull mengestimasi risiko kematian yang lebih tinggi, terutama pada usia lanjut, sehingga membutuhkan premi yang lebih besar untuk menutup potensi klaim. Sebaliknya, model Ekspensial menghasilkan premi yang lebih rendah karena asumsi hazard konstan yang cenderung meremehkan peningkatan risiko kematian.

Perbandingan Cadangan Premi

Perbandingan cadangan premi antara kedua model ditunjukkan pada Gambar Berikut :



Gambar 6. Perbandingan Cadangan Premi Weibull dan Ekspensial

Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa cadangan premi model Weibull meningkat lebih cepat dan mencapai nilai maksimum yang jauh lebih tinggi dibandingkan model Ekspensial. Puncak cadangan pada model Weibull terjadi sekitar tahun ke-12, sedangkan pada model Ekspensial terjadi lebih awal, yaitu sekitar tahun ke-8, dengan nilai yang lebih rendah.

Selain itu, model Weibull menunjukkan pola cadangan yang lebih tajam, mencerminkan peningkatan risiko kematian pada usia lanjut. Sebaliknya, model Ekspensial menghasilkan pola cadangan yang lebih landai dan stabil.

Analisis Perbedaan Model

Perbedaan signifikan antara kedua model disebabkan oleh karakteristik masing-masing distribusi dalam merepresentasikan tingkat hazard. Model Ekspensial mengasumsikan bahwa hazard bersifat konstan, sehingga probabilitas kematian tidak

berubah secara signifikan terhadap usia. Hal ini menyebabkan estimasi cadangan premi menjadi lebih rendah dan kurang sensitif terhadap peningkatan risiko pada usia lanjut.

Sebaliknya, model Weibull memiliki parameter bentuk yang memungkinkan hazard meningkat seiring bertambahnya usia. Hal ini menghasilkan estimasi probabilitas kematian yang lebih tinggi pada usia lanjut, sehingga cadangan premi yang dibentuk juga lebih besar dan lebih realistis.

Implikasi Aktuaria

Perbedaan hasil antara kedua model memiliki implikasi penting dalam praktik aktuaria. Penggunaan model yang tidak sesuai dapat menyebabkan kesalahan dalam estimasi premi dan cadangan premi.

Model Eksponensial yang menghasilkan cadangan lebih rendah berpotensi menyebabkan kekurangan dana dalam memenuhi kewajiban klaim di masa depan (*under-reserving*). Sebaliknya, model Weibull memberikan estimasi yang lebih konservatif dan realistis, sehingga lebih aman digunakan dalam perhitungan cadangan premi. Dengan demikian, pemilihan model survival yang tepat menjadi faktor krusial dalam menjaga kestabilan keuangan perusahaan asuransi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemodelan survival menggunakan distribusi Weibull dan Eksponensial memberikan hasil yang berbeda dalam merepresentasikan data mortalitas. Model Weibull terbukti memiliki tingkat kesesuaian yang lebih baik dibandingkan model Eksponensial, yang ditunjukkan oleh nilai *Sum of Squared Error* (SSE) yang jauh lebih kecil. Selain itu, parameter bentuk pada model Weibull menunjukkan bahwa tingkat hazard meningkat seiring bertambahnya usia, sehingga lebih mampu menggambarkan pola mortalitas manusia secara realistis dibandingkan model Eksponensial yang mengasumsikan hazard konstan.

Perbedaan model survival yang digunakan juga memberikan dampak signifikan terhadap hasil perhitungan aktuaria, khususnya dalam penentuan premi dan cadangan premi. Premi tahunan yang dihasilkan oleh model Weibull lebih besar dibandingkan model Eksponensial, yang menunjukkan bahwa model Weibull mengestimasi risiko kematian yang lebih tinggi. Hal ini berimplikasi pada nilai cadangan premi, di mana model Weibull menghasilkan cadangan yang lebih besar dan meningkat secara signifikan pada periode tertentu sebelum menurun mendekati akhir masa pertanggungan. Sebaliknya, model Eksponensial menghasilkan cadangan yang lebih rendah dan cenderung tidak mencerminkan peningkatan risiko kematian pada usia lanjut.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan model survival yang tepat sangat berpengaruh terhadap akurasi perhitungan aktuaria. Model Weibull lebih direkomendasikan dalam penelitian ini karena mampu memberikan estimasi probabilitas kematian, premi, dan cadangan premi yang lebih realistis. Oleh karena itu, pemilihan model survival menjadi faktor penting dalam menjaga ketepatan perhitungan serta kestabilan keuangan dalam industri asuransi jiwa.



DAFTAR PUSTAKA

1. Yulita T, Roselani CR. Perhitungan Nilai Cadangan Premi Tahunan Asuransi Jiwa Dwiguna Menggunakan Metode New Jersey dan Fackler. *Indones J Appl Math*. 2025;5(1):27–35.
2. Riaman, Supian S, Sukono, Bon AT. Modeling of Premium Reserves Using the Fackler Method in Equity-Linked Life Insurance. *Int Conf Ind Eng Oper Manag Detroit*. 2020;2502–11.
3. Samwan BC, Nuha AR, Aarsal A, Rahmi E, Nashar O. Calculation of Annual Premiums and Premium Reserves for Endowment Joint Life Insurance Based on Stochastic Interest Rates Using the Monte Carlo Method. *J Multidisiplin Sahombu*. 2026;6(01):368–74.
4. Jati MDW, Suardi L. Analisis Survival Time To Claim Pada Produk Asuransi Jiwa Berjangka : Studi Kasus PT XYZ. *J Ilm Mat UNESA*. 2024;12(0):518–27.
5. Das J, Nath DC. Weibull Distribution as an Actuarial Risk Model : Computation of Its Probability of Ultimate Ruin And The Moments of The Time to Ruin , Deficit At Ruin And Surplus. *J Data Sci*. 2019;17(1):161–94.
6. Database HM. University of California, Berkeley & Max Planck Institute for Demographic Research. 2010. Life Tables: Indonesia (Total Population). Available from: <https://www.mortality.org>
7. M DC, Dickson, Hardy MR, Waters HR. *Actuarial Mathematics for Life Contingent Risks*. Second Edi. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 614 p.
8. Newton L, Bowers, Jr, James C, Hikman Da, Jones Cj, Et Al. *Actuarial Mathemathics*. Second Edi. Illinois: The Society of Actuaries; 1997. 753 p.
9. Myung IJ. Tutorial on maximum likelihood estimation. *J Math Psychol*. 2003;47:90–100.
10. Gavrilov LA, Gavrilova NS. Reliability Theory of Aging and Longevity L. *Lepas Work Econ Aging*. 2011;(773):1–41.
11. Devi AEF, Widana N, Jayanegara K. Penentuan Cadangan Premi Asuransi Dwiguna Menggunakan Metode Illinois Berdasarkan Hukum Mortalitas Weibull Ayu. *E-Jurnal Mat*. 2021;10(4):229–34.
12. Gompertz B, Esq, F.R.S. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of Life Contingencies. *Philos Trans R Soc London*. 1826;115(April):513–85.
13. Richards SJ. A handbook of parametric survival models for actuarial use. *Scand Actuar J*. 2010;4(922028285):1–25.
14. Burnham KP, Anderson DR. Understanding AIC and BIC in Model Selection. *SAGE Publications [Internet]*. 2007;33:261. Available from: <http://smr.sagepub.com/cgi/content/abstract/33/2/261>
15. Pobočiková I, Sedliačková Z, Michalková M. Application of four probability distributions for wind speed modeling. *Procedia Eng*. 2017;192:713–8.
16. Hyndman RJ, Koehler AB. Another look at measures of forecast accuracy Another look at measures of forecast accuracy. *Int J Forecast*. 2005;22(4):679–88.
17. Renshaw AE, Haberman S. A cohort-based extension to the Lee – Carter model for mortality reduction factors. *Insur Math Econ*. 2006;38:556–70.
18. Chai T, Draxler RR. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geosci Model Dev*. 2014;7(2005):1247–50.
19. Brealey R, Myers S, Allen F, Edmans A. *Principles of Corporate Finance Table of Contents Corporate Finance*. Evergreen. New York: McGraw Hill LLC; 2025. 963 p.