

DEKOMPOSISI KESENJANGAN HARAPAN HIDUP LAKI-LAKI DAN PEREMPUAN DAN PEMODELAN MORTALITAS GOMPERTZ–MAKEHAM PADA TMPI-23

Seila Amalia¹, Christiani Joice Siallagan², Bintang Maulana³

^{1,2,3}Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia
Jl. Willem Iskandar Pasar V, Medan Estate, Kecamatan Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, 20221, Sumatera Utara

Article Info

Article history:

Received: September 23, 2025

Revised: October 15, 2025

Accepted: December 27, 2025

Keywords:

Dekomposisi
Gender
Gompertz–Makeham
Harapan Hidup
Mortalitas
TMPI-23

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola mortalitas serta kesenjangan harapan hidup antara laki-laki dan perempuan di Indonesia berdasarkan data Tabel Mortalitas Penduduk Indonesia Tahun 2023 (TMPI-23). Analisis dilakukan menggunakan pendekatan deskriptif dan pemodelan matematis melalui model Gompertz dan Gompertz–Makeham. Selain itu, dilakukan dekomposisi untuk mengidentifikasi kontribusi kelompok usia terhadap kesenjangan harapan hidup. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peluang kematian laki-laki secara konsisten lebih tinggi dibandingkan perempuan, sementara perempuan memiliki harapan hidup yang lebih panjang. Kesenjangan harapan hidup cenderung menurun seiring bertambahnya usia. Pemodelan menunjukkan bahwa model Gompertz–Makeham memiliki tingkat kecocokan yang lebih baik dibandingkan model Gompertz, ditunjukkan oleh nilai RMSE yang lebih kecil dan koefisien determinasi yang lebih tinggi. Analisis dekomposisi menunjukkan bahwa kontribusi terbesar terhadap kesenjangan harapan hidup berasal dari kelompok usia lanjut, khususnya usia di atas 70 tahun. Hasil ini menegaskan pentingnya perhatian terhadap faktor risiko pada usia lanjut dalam upaya mengurangi kesenjangan harapan hidup antar jenis kelamin.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Corresponding Author:

Seila Amalia
Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA)
Program Studi Statistika, Universitas Negeri Medan (UNIMED)
Email: seilaamaliaa21@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Mortalitas dan harapan hidup merupakan indikator penting dalam menggambarkan kondisi kesehatan, kesejahteraan, serta tingkat pembangunan suatu negara. Harapan hidup mencerminkan rata-rata umur yang dapat dicapai oleh individu dalam suatu populasi dengan mempertimbangkan pola kematian yang berlaku. Di Indonesia, harapan hidup masih menunjukkan variasi yang cukup besar antar wilayah dan kelompok penduduk, yang dipengaruhi oleh faktor kesehatan, sosial, ekonomi, dan infrastruktur. Hal ini menunjukkan bahwa analisis lebih lanjut terhadap pola mortalitas sangat diperlukan untuk memahami dinamika tersebut secara komprehensif.

Salah satu fenomena yang menarik dalam kajian mortalitas adalah adanya kesenjangan harapan hidup antara laki-laki dan perempuan. Secara umum, perempuan memiliki harapan hidup yang lebih tinggi dibandingkan laki-laki. Laki-laki cenderung memiliki tingkat mortalitas yang lebih tinggi dan ketidakpastian umur hidup yang lebih besar dibandingkan perempuan, yang berkaitan dengan faktor perilaku dan sosial ekonomi [1]. Temuan ini diperkuat oleh Ogungbenle yang menunjukkan bahwa meskipun parameter penuaan perempuan dapat lebih tinggi, tingkat mortalitas keseluruhan laki-laki tetap lebih besar dibandingkan perempuan [2]. Oleh karena itu, penting untuk mengkaji kesenjangan ini melalui pendekatan kuantitatif yang mampu mengidentifikasi kontribusi masing-masing komponen mortalitas.

Dalam ilmu aktuaria dan demografi, tabel mortalitas menjadi alat utama untuk menggambarkan peluang hidup dan kematian berdasarkan usia. Tabel ini memiliki peran penting dalam perhitungan premi asuransi, cadangan dana, serta perencanaan program pensiun. Tabel mortalitas digunakan untuk memprediksi risiko kematian dan menentukan kebijakan finansial dalam industri asuransi dan pensiun [3]. Selain itu, tabel mortalitas merupakan komponen penting dalam menentukan premi dan cadangan dalam asuransi jiwa [4]. Namun, penyusunan tabel mortalitas yang akurat tidaklah mudah karena dipengaruhi oleh berbagai faktor serta keterbatasan data. Oleh karena itu, digunakan pendekatan hukum mortalitas untuk memodelkan pola kematian secara matematis. Hukum mortalitas seperti Gompertz dan Makeham banyak digunakan karena memiliki bentuk matematis yang sederhana dan efisien dalam merepresentasikan pola kematian berdasarkan usia [5]. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang menyebutkan bahwa hukum mortalitas merupakan pendekatan penting dalam menghitung peluang hidup dan kematian dalam populasi [6].

Hukum Gompertz menyatakan bahwa tingkat kematian meningkat secara eksponensial seiring bertambahnya usia, sehingga sangat relevan untuk menggambarkan mortalitas pada usia dewasa dan lanjut. Sementara itu, hukum Makeham menambahkan komponen risiko kematian yang tidak bergantung pada usia, seperti kecelakaan atau faktor eksternal lainnya [2]. Secara teoritis, model Gompertz–Makeham mampu memberikan representasi yang lebih lengkap terhadap pola mortalitas karena menggabungkan faktor usia dan faktor eksternal [7]. Selain pemodelan, analisis mortalitas juga berkembang melalui pendekatan dekomposisi. Perubahan harapan hidup tidak hanya dipengaruhi oleh rata-rata umur, tetapi juga oleh perubahan distribusi kematian pada berbagai kelompok usia [1]. Oleh karena itu, pendekatan dekomposisi memungkinkan identifikasi kontribusi masing-masing komponen mortalitas terhadap perubahan harapan hidup secara lebih rinci.

Lebih lanjut, ukuran mortalitas seperti harapan hidup memiliki peran penting dalam perencanaan kebijakan publik, khususnya dalam sistem jaminan sosial dan pensiun [8]. Ketepatan estimasi mortalitas sangat diperlukan agar kebijakan yang dihasilkan tidak bias dan mampu mencerminkan kondisi sebenarnya. Selain itu, perubahan mortalitas, terutama pada usia lanjut, menjadi faktor utama dalam peningkatan harapan hidup global [9]. Di sisi lain, variasi umur kematian (lifespan inequality) juga menjadi aspek penting dalam kajian mortalitas. Ketidakpastian umur kematian berbeda antar kelompok demografis dan berpengaruh terhadap perencanaan keuangan dan kebijakan publik [10]. Wijesinghe juga menambahkan bahwa perubahan pola mortalitas akibat faktor eksternal seperti pandemi dapat memengaruhi harapan hidup dan ketimpangan umur hidup secara signifikan [11]. Dalam konteks Indonesia, penggunaan data terbaru seperti Tabel Mortalitas Penduduk Indonesia (TMPI-23) memberikan peluang untuk melakukan analisis mortalitas yang lebih akurat. Model Gompertz dapat digunakan untuk mengestimasi parameter mortalitas secara efektif dan memberikan hasil yang sesuai dengan data aktual [12]. Selain itu, model ini juga telah digunakan dalam berbagai aplikasi aktuaria, seperti perhitungan premi asuransi jiwa [13].

Berdasarkan berbagai penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa kajian mengenai kesenjangan harapan hidup antara laki-laki dan perempuan serta pemodelan mortalitas menggunakan pendekatan Gompertz–Makeham merupakan topik yang penting dan relevan. Namun, penelitian yang secara simultan mengkaji dekomposisi kesenjangan harapan hidup berbasis gender dan pemodelan mortalitas menggunakan data terbaru TMPI-23 masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola mortalitas laki-laki dan perempuan berdasarkan TMPI-23 melalui indikator peluang kematian, peluang bertahan hidup, dan harapan hidup. Selain itu, penelitian ini mengkaji kesenjangan harapan hidup menurut usia, memodelkan mortalitas menggunakan model Gompertz dan Gompertz–Makeham serta membandingkan

kecocokannya berdasarkan RMSE dan serta melakukan dekomposisi untuk mengidentifikasi kontribusi kelompok usia terhadap kesenjangan harapan hidup.

2. METODE

2.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif dan analitis. Pendekatan deskriptif adalah pendekatan yang digunakan untuk menyajikan informasi secara sistematis dan cermat mengenai karakteristik populasi, khususnya terkait kesenjangan harapan hidup antara laki-laki dan perempuan, dengan menggambarkan kondisi, pola, serta proses mortalitas yang terjadi berdasarkan model Gompertz–Makeham tanpa melakukan manipulasi variabel [14], [15].

Sedangkan pendekatan analitis digunakan untuk mengkaji kesenjangan harapan hidup serta memodelkan pola mortalitas menggunakan model matematis. Selain itu, dilakukan analisis dekomposisi untuk mengidentifikasi kontribusi kelompok usia terhadap kesenjangan harapan hidup [16].

2.2 Sumber Data dan Jenis Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dari Tabel Mortalitas Penduduk Indonesia Tahun 2023 (TMPI-23) yang diterbitkan oleh BPJS Kesehatan.

Data tersebut mencakup:

- Peluang kematian (q_x)
- Peluang bertahan hidup (p_x)
- Harapan hidup (e_x)
- Eksposur (E_x)
- Jumlah Kematian (d_x)

Data disajikan berdasarkan :

- Usia (0-111 tahun)
- Jenis Kelamin (Laki laki dan Perempuan)

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode dokumentasi, yaitu dengan memanfaatkan data sekunder yang berasal dari Tabel Mortalitas Penduduk Indonesia Tahun 2023 (TMPI-23). Metode dokumentasi merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan cara mengakses, mengumpulkan, dan mengolah data yang telah dipublikasikan oleh instansi resmi, sehingga data yang diperoleh bersifat valid dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah [1],[5]. Penggunaan data sekunder dalam bentuk tabel mortalitas telah banyak digunakan dalam penelitian demografi dan aktuarial karena mampu menggambarkan pola kematian dan kelangsungan hidup secara sistematis dan komprehensif. Selain itu, pendekatan ini dinilai efisien karena tidak memerlukan pengumpulan data secara langsung di lapangan, serta memungkinkan analisis lanjutan seperti dekomposisi kesenjangan harapan hidup berdasarkan kelompok usia [1], [17].

2.4 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Peluang kematian (q_x), yaitu probabilitas individu meninggal pada usia x
- Peluang bertahan hidup (p_x), yaitu probabilitas individu bertahan hidup dari usia x ke $x+1$
- Harapan hidup (e_x), yaitu rata-rata sisa umur pada usia x
- Eksposur (E_x), yaitu jumlah individu yang berisiko
- Jumlah Kematian (d_x), yaitu jumlah individu yang meninggal

2.5 Teknik Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang sistematis, meliputi analisis deskriptif, pemodelan mortalitas, evaluasi model, serta dekomposisi kesenjangan harapan hidup.

2.5.1 Analisis Deskriptif Mortalitas

Analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan pola mortalitas berdasarkan usia dan jenis kelamin. Indikator yang dianalisis meliputi peluang kematian (q_x), peluang bertahan hidup (p_x), dan harapan hidup (e_x).

Secara umum, tingkat mortalitas cenderung meningkat seiring bertambahnya usia, khususnya pada kelompok usia lanjut, yang menunjukkan pola non-linear dalam dinamika mortalitas. Fenomena ini telah banyak dibuktikan dalam studi demografi modern yang menunjukkan bahwa risiko kematian meningkat secara eksponensial pada usia dewasa dan lanjut [18], [19].

2.5.2 Analisis Kesenjangan Harapan Hidup

Kesenjangan harapan hidup antara laki-laki dan perempuan dihitung menggunakan selisih nilai harapan hidup pada usia tertentu, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta e_x = e_x^{\text{perempuan}} - e_x^{\text{laki-laki}}$$

Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi perbedaan harapan hidup berdasarkan jenis kelamin serta perubahan kesenjangan tersebut pada setiap kelompok usia. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa perempuan cenderung memiliki harapan hidup lebih tinggi dibandingkan laki-laki akibat faktor biologis dan perilaku kesehatan [18], [20].

2.5.3 Pemodelan Mortalitas

a. Model Gompertz

Model Gompertz digunakan untuk menggambarkan hubungan eksponensial antara usia dan tingkat mortalitas, yang dinyatakan sebagai:

$$\mu(x) = ae^{bx}$$

Model ini banyak digunakan dalam studi aktuaria karena kemampuannya merepresentasikan peningkatan risiko kematian pada usia dewasa [19], [21].

b. Model Gompertz–Makeham

Model Gompertz–Makeham merupakan pengembangan dari model Gompertz dengan menambahkan komponen risiko konstan:

$$\mu(x) = A + ae^{bx}$$

Penambahan parameter A memungkinkan model untuk menangkap risiko kematian yang tidak bergantung pada usia, sehingga menghasilkan estimasi yang lebih akurat, terutama pada usia lanjut [21], [22].

2.5.4 Estimasi Parameter Model

Parameter model diestimasi menggunakan metode *non-linear least squares* untuk meminimalkan selisih antara nilai aktual dan nilai hasil estimasi model. Metode ini umum digunakan dalam pemodelan mortalitas karena mampu menangani hubungan non-linear secara efektif [19], [20].

2.5.5 Evaluasi Model (Goodness of Fit)

Evaluasi model dilakukan untuk menentukan model terbaik dalam merepresentasikan data mortalitas. Ukuran yang digunakan meliputi:

a. Root Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

RMSE digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan prediksi model [21].

b. Koefisien Determinasi (R^2)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

Nilai R^2 menunjukkan seberapa baik model mampu menjelaskan variasi data [21].

2.5.6 Dekomposisi Kesenjangan Harapan Hidup

Analisis dekomposisi dilakukan untuk mengidentifikasi kontribusi masing-masing kelompok usia terhadap kesenjangan harapan hidup antara laki-laki dan perempuan. Metode ini memecah selisih total harapan hidup menjadi kontribusi per kelompok usia, sehingga dapat diketahui kelompok usia yang paling berpengaruh terhadap kesenjangan tersebut. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kelompok usia lanjut memberikan kontribusi terbesar terhadap kesenjangan harapan hidup [18], [20].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Deskripsi Data Mortalitas

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan Tabel Mortalitas Penduduk Indonesia Tahun 2023 (TMPI-23) yang memuat informasi peluang kematian (q_x), peluang bertahan hidup (p_x), serta harapan hidup (e_x) menurut umur untuk laki-laki dan perempuan.

Tabel 1. Tabel Mortalitas Laki-laki dan Perempuan Penduduk Indonesia 2023

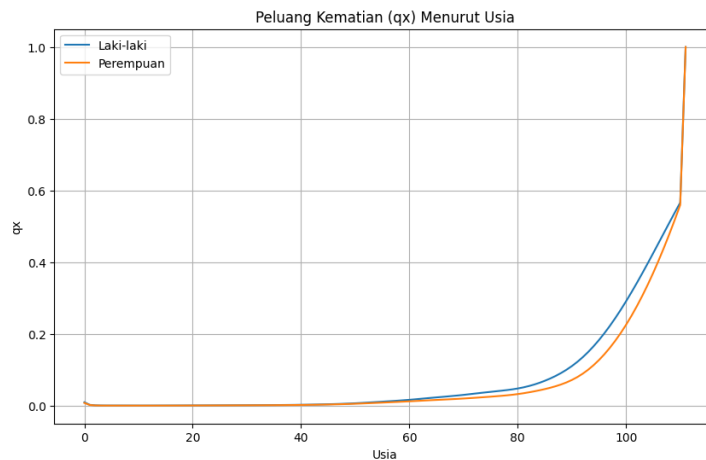
X	E_x_{lk}	dx_{lk}	q^x_{lk}	px_{lk}	ex_{lk}	E_x_{pr}	dx_{pr}	q^x_{pr}	px_{pr}	ex_{pr}
0	7044346	100111	0,009791	0,990209	73,74	6335621	70861	0,00788	0,99212	78,37
1	7306875	11879	0,002526	0,997474	73,47	6503947	9232	0,002096	0,997904	77,99
2	7871143	7073	0,001079	0,998921	72,65	6943574	5051	0,0009	0,9991	77,15
3	8419927	6121	0,000701	0,999299	71,73	7372649	4438	0,00058	0,99942	76,22
4	8911682	6551	0,000598	0,999402	70,78	7769484	4551	0,000489	0,999511	75,27
5	9358986	5690	0,000578	0,999422	69,82	8163646	4153	0,00047	0,99953	74,3
...
110	275	37	0,566271	0,433729	0,43	425	70	0,559684	0,440316	0,44
111	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0

Sumber: BPJS Kesehatan (2023), diolah

Berdasarkan Tabel 1, peluang kematian (q_x) pada laki-laki cenderung lebih tinggi dibandingkan perempuan, sementara harapan hidup (e_x) perempuan lebih tinggi. Tabel lengkap disajikan pada Lampiran.

3.2 Analisis Pola Mortalitas

3.2.1 Peluang Kematian (q_x)

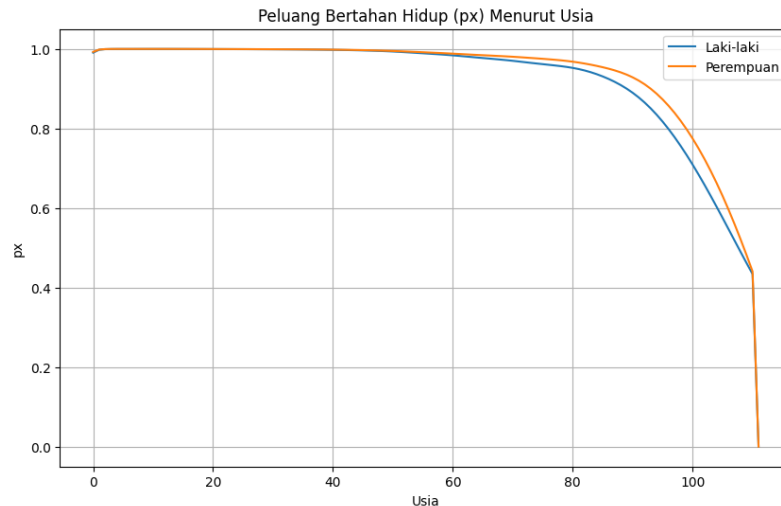


Gambar 3.1 Peluang Kematian (q_x) Menurut Usia pada Laki-laki dan Perempuan

Berdasarkan Gambar 1, peluang kematian (q_x) menunjukkan pola peningkatan non-linear terhadap usia. Pada usia muda (0–40 tahun), nilai (q_x) sangat kecil dan relatif stabil mendekati nol, kemudian mulai meningkat secara bertahap setelah usia 50 tahun. Peningkatan menjadi jauh lebih tajam pada usia lanjut (≥ 70

tahun), di mana kurva terlihat semakin curam hingga nilai (q_x) mendekati 1 pada usia sangat tua, yang mengindikasikan percepatan risiko kematian. Selain itu, kurva laki-laki secara konsisten berada di atas perempuan pada hampir seluruh rentang usia, dengan selisih yang relatif kecil pada usia muda namun semakin melebar setelah usia 80 tahun. Pola ini menunjukkan bahwa tidak hanya tingkat peluang kematian laki-laki lebih tinggi, tetapi juga peningkatannya lebih cepat pada usia lanjut.

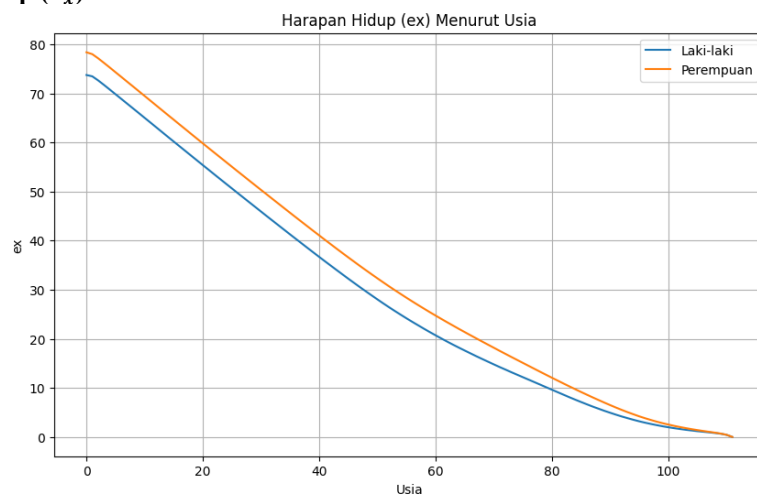
3.2.2 Peluang Bertahan Hidup (p_x)



Gambar 2. Peluang Bertahan Hidup (p_x) Menurut Usia pada Laki-laki dan Perempuan.

Berdasarkan Gambar 2, peluang bertahan hidup (p_x) menunjukkan pola penurunan non-linear terhadap usia. Pada usia muda (0–40 tahun), nilai (p_x) sangat tinggi dan mendekati 1, yang mengindikasikan probabilitas bertahan hidup yang hampir pasti. Penurunan mulai terlihat setelah usia sekitar 50 tahun dan menjadi semakin tajam pada usia lanjut (≥ 70 tahun), ditunjukkan oleh kurva yang semakin menurun curam hingga mendekati nol pada usia sangat tua. Selain itu, kurva perempuan secara konsisten berada di atas laki-laki pada hampir seluruh rentang usia, dengan selisih yang semakin jelas pada usia lanjut, terutama setelah usia 80 tahun. Pola ini menunjukkan bahwa peluang bertahan hidup perempuan lebih tinggi, serta penurunannya terjadi lebih lambat dibandingkan laki-laki seiring bertambahnya usia.

3.2.3 Harapan Hidup (e_x)



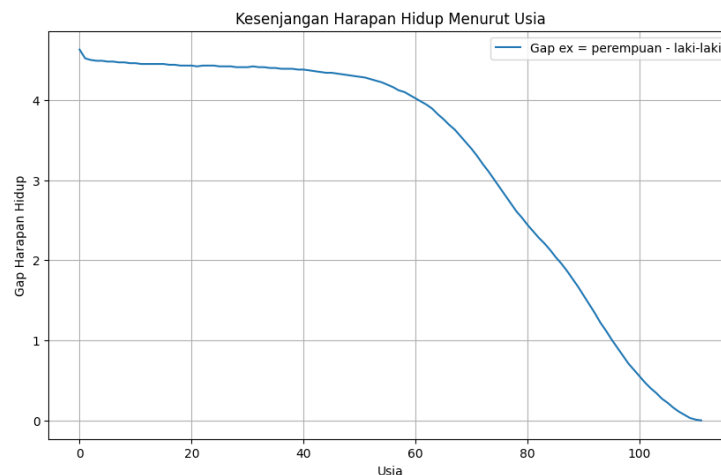
Gambar 3. Harapan Hidup (e_x) Menurut Usia pada Laki-laki dan Perempuan

Berdasarkan Gambar 3, harapan hidup (e_x) menunjukkan pola penurunan non-linear terhadap usia. Pada usia awal, nilai (e_x) relatif tinggi, yaitu sekitar 73–78 tahun, kemudian menurun secara bertahap hingga sekitar 30 tahun pada usia 50 dan sekitar 10 tahun pada usia 80. Penurunan menjadi lebih cepat pada usia lanjut, hingga

kurang dari 5 tahun setelah usia 90 dan mendekati nol pada usia sangat tua. Selain itu, kurva perempuan secara konsisten berada di atas laki-laki dengan selisih sekitar 3–5 tahun, meskipun perbedaan tersebut mulai mengecil pada usia lanjut. Hal ini menunjukkan bahwa pada setiap usia, perempuan memiliki sisa harapan hidup yang lebih tinggi. Pola ini mencerminkan bahwa penurunan harapan hidup tidak bersifat linear, melainkan dipengaruhi oleh peningkatan risiko kematian yang semakin besar pada usia lanjut.

3.3 Kesenjangan Harapan Hidup

Kesenjangan harapan hidup dihitung sebagai selisih antara harapan hidup perempuan dan laki-laki pada usia yang sama.



Gambar 3.4 Kesenjangan Harapan Hidup (e_x) antara Perempuan dan Laki-laki Menurut Usia

Berdasarkan Gambar 4, kesenjangan harapan hidup (e_x) antara perempuan dan laki-laki menunjukkan pola penurunan non-linear terhadap usia. Pada usia awal, selisih (e_x) relatif besar, yaitu sekitar 4–5 tahun, dan cenderung stabil hingga usia menengah. Setelah usia sekitar 60 tahun, kesenjangan mulai menurun lebih cepat, dari sekitar 4 tahun menjadi sekitar 2–3 tahun pada usia 70–80 tahun. Penurunan berlanjut secara signifikan pada usia lanjut, hingga kurang dari 1 tahun setelah usia 90 tahun dan mendekati nol pada usia sangat tua. Pola ini menunjukkan bahwa perbedaan harapan hidup antar jenis kelamin semakin mengecil seiring bertambahnya usia, seiring dengan meningkatnya tingkat mortalitas pada kedua kelompok yang menyebabkan nilai (e_x) menjadi semakin kecil dan konvergen.

3.4 Pemodelan Mortalitas Gompertz dan Gompertz–Makeham

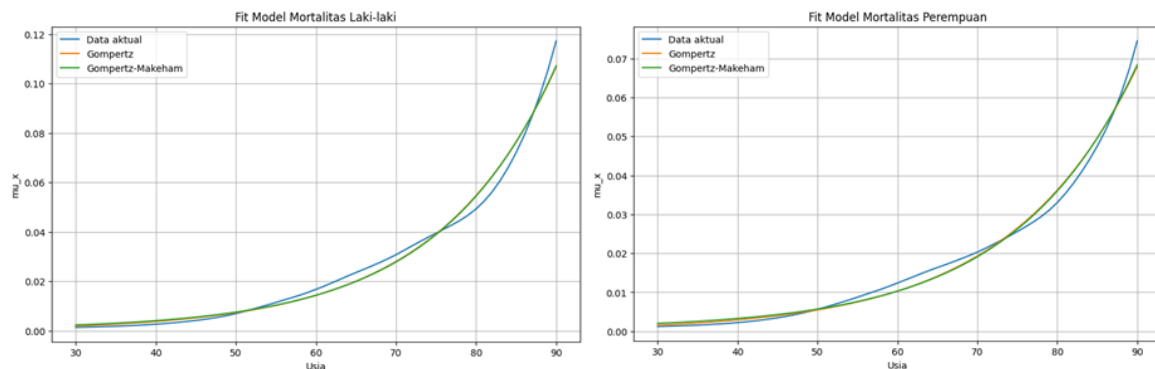
Untuk memahami pola mortalitas menurut usia, digunakan model *Gompertz* dan *Gompertz–Makeham*. Model *Gompertz* menggambarkan bahwa tingkat mortalitas meningkat secara eksponensial terhadap usia, sedangkan model *Gompertz–Makeham* menambahkan komponen risiko konstan yang tidak bergantung pada usia.

Tabel 2. Hasil Estimasi Parameter dan *Goodness of Fit Model Gompertz* dan *Gompertz–Makeham*

Jenis Kelamin	Model	A	a	b	RMSE	R ²
Laki-laki	Gompertz	–	0.000260	0.066873	0.002967	0.988830
Laki-laki	Gompertz–Makeham	0.000564	0.000232	0.068132	0.002959	0.988892
Perempuan	Gompertz	–	0.000238	0.062818	0.001794	0.989944
Perempuan	Gompertz–Makeham	0.000661	0.000196	0.064965	0.001777	0.990127

Berdasarkan Tabel 2, kedua model menunjukkan hasil yang baik dalam memodelkan mortalitas, yang ditunjukkan oleh nilai RMSE yang kecil dan nilai koefisien determinasi (R^2) yang mendekati 1. Pada laki-laki, model *Gompertz–Makeham* memiliki nilai RMSE sebesar 0,002959 yang sedikit lebih kecil dibandingkan model *Gompertz* sebesar 0,002967, serta nilai R^2 yang sedikit lebih tinggi. Hal serupa juga terjadi pada

perempuan, di mana model Gompertz–Makeham memiliki RMSE sebesar 0,001777 lebih kecil dibandingkan model Gompertz sebesar 0,001794. Hasil ini menunjukkan bahwa model Gompertz–Makeham memberikan kecocokan yang lebih baik terhadap data mortalitas dibandingkan model Gompertz.



Gambar 5. Perbandingan Hasil Fitting Model Gompertz dan Gompertz–Makeham pada Laki-laki dan Perempuan

Berdasarkan Gambar 5, kedua model mampu merepresentasikan pola peningkatan tingkat mortalitas m_x yang bersifat non-linear dan semakin curam pada usia lanjut. Pada rentang usia 30–70 tahun, kurva Gompertz dan Gompertz–Makeham hampir berimpit dengan data aktual, menunjukkan bahwa kedua model memberikan kecocokan yang baik pada usia muda hingga menengah.

Namun, setelah usia sekitar 75 tahun, mulai terlihat perbedaan antara kedua model. Model Gompertz cenderung sedikit menyimpang dari data aktual, khususnya pada usia sangat lanjut (≥ 85 tahun), di mana nilai model lebih rendah dibandingkan data aktual. Sebaliknya, model Gompertz–Makeham tetap lebih dekat dengan kurva data aktual, terutama dalam menangkap peningkatan tajam mortalitas pada usia tinggi.

Pola ini konsisten dengan hasil RMSE dan R^2 , yang menunjukkan bahwa model Gompertz–Makeham memiliki tingkat kecocokan yang sedikit lebih baik. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan komponen konstan Amemungkinkan model Gompertz–Makeham menangkap deviasi mortalitas pada usia lanjut dengan lebih akurat dibandingkan model Gompertz.

Parameter A pada model Gompertz–Makeham merepresentasikan risiko kematian yang bersifat konstan dan tidak bergantung pada usia. Berdasarkan hasil estimasi, nilai A pada laki-laki sebesar 0,000564 dan pada perempuan sebesar 0,000661, yang menunjukkan adanya komponen risiko eksternal di luar faktor usia. Parameter a menggambarkan tingkat awal mortalitas, di mana nilai a pada laki-laki lebih besar dibandingkan perempuan, menunjukkan bahwa tingkat mortalitas awal laki-laki relatif lebih tinggi.

Sementara itu, parameter b menunjukkan laju peningkatan mortalitas seiring bertambahnya usia. Nilai b pada laki-laki lebih tinggi dibandingkan perempuan, yang mengindikasikan bahwa risiko kematian pada laki-laki meningkat lebih cepat seiring pertambahan usia. Dengan demikian, hasil pemodelan menunjukkan bahwa selain memiliki tingkat mortalitas yang lebih tinggi, laki-laki juga mengalami peningkatan risiko kematian yang lebih cepat dibandingkan perempuan.

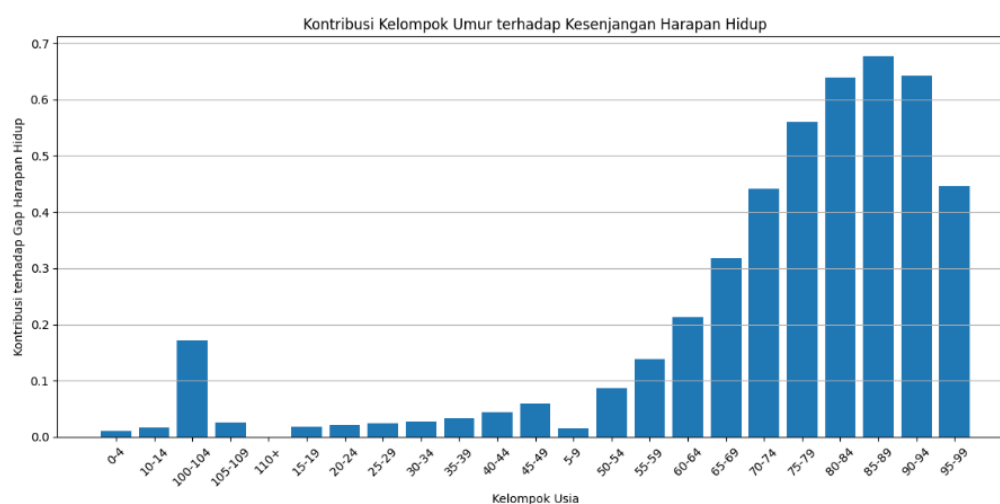
3.5 Dekomposisi Kesenjangan Harapan Hidup

Untuk mengetahui kontribusi masing-masing kelompok usia terhadap kesenjangan harapan hidup antara laki-laki dan perempuan, dilakukan analisis dekomposisi berdasarkan kelompok umur. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi kelompok usia yang memberikan kontribusi terbesar terhadap perbedaan harapan hidup saat lahir.

Tabel 3. Kontribusi Kelompok Umur terhadap Kesenjangan Harapan Hidup

Kelompok Usia	Kontribusi	Kelompok Usia	Kontribusi
0–4	0,0107	55–59	0,1378
5–9	0,0149	60–64	0,2131
10–14	0,0169	65–69	0,3178
15–19	0,0190	70–74	0,4420
20–24	0,0214	75–79	0,5607
25–29	0,0239	80–84	0,6394
30–34	0,0276	85–89	0,6778
35–39	0,0336	90–94	0,6421
40–44	0,0434	95–99	0,4453
45–49	0,0591	100–104	0,1712
50–54	0,0869	105–109	0,0259
		110+	0,0007

Berdasarkan Tabel 3, kontribusi kelompok umur terhadap kesenjangan harapan hidup menunjukkan pola yang tidak merata dan cenderung terkonsentrasi pada usia lanjut. Pada kelompok usia muda, kontribusi relatif kecil, misalnya 0–4 sebesar 0,0107, 5–9 sebesar 0,0149, dan 20–24 sebesar 0,0214. Nilai kontribusi kemudian meningkat secara bertahap pada usia menengah, dari 0,0869 pada kelompok 50–54 menjadi 0,2131 pada kelompok 60–64 dan 0,3178 pada kelompok 65–69. Peningkatan paling nyata terjadi setelah usia 70 tahun, dengan kontribusi mencapai 0,4420 pada usia 70–74, 0,5607 pada 75–79, 0,6394 pada 80–84, dan mencapai puncak 0,6778 pada 85–89, sebelum kembali menurun pada usia yang sangat tua. Pola ini menunjukkan bahwa kesenjangan harapan hidup secara matematis lebih banyak dibentuk oleh perbedaan mortalitas pada usia lanjut dibandingkan usia muda, sehingga distribusi kontribusi bersifat terpusat pada kelompok usia tua.

**Gambar 6.** Kontribusi Kelompok Umur terhadap Kesenjangan Harapan Hidup

Gambar 6, menunjukkan bahwa kontribusi kesenjangan harapan hidup menurut kelompok umur membentuk pola yang meningkat menuju usia lanjut. Pada usia muda hingga menengah, kontribusi masih relatif kecil dan meningkat secara perlahan. Namun, setelah usia sekitar 60 tahun, kontribusi meningkat lebih

cepat dan mencapai puncak pada usia 80–89 tahun, dengan nilai tertinggi pada kelompok usia 85–89 sebesar 0,6778. Setelah itu, kontribusi kembali menurun pada usia yang sangat tua. Pola ini menunjukkan bahwa kontribusi tidak tersebar merata, tetapi lebih banyak terkonsentrasi pada usia lanjut.

Temuan ini menunjukkan bahwa kesenjangan harapan hidup antara laki-laki dan perempuan terutama dipengaruhi oleh perbedaan mortalitas pada usia lanjut, bukan pada usia muda. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa keunggulan harapan hidup perempuan terutama disebabkan oleh tingkat kematian laki-laki yang lebih tinggi pada usia tua, khususnya setelah usia 60 tahun [23]. Dalam konteks Indonesia, kondisi ini juga dipengaruhi oleh faktor sosial dan perilaku, di mana laki-laki cenderung memiliki risiko kematian yang lebih tinggi, dikarenakan laki-laki cenderung memiliki pola hidup yang lebih berisiko, seperti kebiasaan merokok, stres, dan paparan risiko kecelakaan, yang dapat meningkatkan peluang kematian [24]. Sementara perempuan, meskipun menghadapi kerentanan sosial ekonomi pada usia lanjut, tetap memiliki harapan hidup yang lebih panjang [25]. Selain itu, studi terbaru menunjukkan bahwa perbedaan harapan hidup antara laki-laki dan perempuan di Indonesia bersifat konsisten, dengan selisih sekitar 3–4 tahun [18].

Dengan demikian, hasil dekomposisi ini menegaskan bahwa kesenjangan harapan hidup tidak terjadi secara merata di seluruh usia, melainkan didominasi oleh perbedaan risiko kematian pada usia lanjut, terutama akibat mortalitas laki-laki yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa upaya pengurangan kesenjangan harapan hidup perlu difokuskan pada kelompok usia lanjut, khususnya melalui peningkatan kesehatan dan pengurangan faktor risiko pada laki-laki.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa pola mortalitas di Indonesia menunjukkan bahwa laki-laki memiliki tingkat peluang kematian yang lebih tinggi dibandingkan perempuan, sementara perempuan memiliki harapan hidup yang lebih panjang pada seluruh kelompok usia. Kesenjangan harapan hidup antara laki-laki dan perempuan cenderung menurun seiring bertambahnya usia. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa model Gompertz–Makeham memberikan kecocokan yang lebih baik dibandingkan model Gompertz dalam merepresentasikan pola mortalitas, terutama pada usia lanjut. Hal ini ditunjukkan oleh nilai RMSE yang lebih kecil dan nilai koefisien determinasi yang lebih tinggi. Analisis dekomposisi menunjukkan bahwa kelompok usia lanjut, khususnya di atas 70 tahun, memberikan kontribusi terbesar terhadap kesenjangan harapan hidup. Oleh karena itu, upaya pengurangan kesenjangan harapan hidup perlu difokuskan pada peningkatan kesehatan dan pengendalian faktor risiko pada kelompok usia lanjut, terutama pada laki-laki.

REFERENSI

- [1] M. G. Haas and U. Sunde, “Decomposing longevity: How life expectancy changes around the world,” *J. Econ. Ageing*, vol. 32, no. 280092119, p. 100587, 2025.
- [2] G. M. Ogungbenle, “Does the Male’s Parameters Always Exceed Female’s Parameters in a Generally Coexisting Patterns of Death Under Generalized Makeham’s Mortality Intensity?,” *Ceylon J. Sci.*, vol. 54, no. 1, pp. 3–16, 2025.
- [3] K. N. Sari, N. Arfan, A. Dzakiya, and J. G. Rusli, “Construction of Mortality Rate Using Heligman Pollard Model,” *ITM Web Conf.*, vol. 75, p. 04003, 2025.
- [4] P. Z. C. Kertayanda, T. Yulita, D. T. Julianty, A. Ginting, and M. N. A. Simanjuntak, “Life Table Prediction Using the Lee-Carter Model,” *J. Actuar. Financ. Risk Manag.*, vol. 3, no. 1, p. 20, 2024.
- [5] A. Nurhaliza, D. S. Susanti, and A. S. Lestia, “Perbandingan Hukum Mortalitas Gompertz Dan Makeham Dalam Konstruksi Tabel Mortalitas Indonesia Iv,” *J. Gaussian*, vol. 14, no. 2, pp. 445–456, 2025.
- [6] T. Dei Alibazah, A. Prabowo, and B. Hendriva Guswanto, “Weibull Mortality Tables based on Indonesian Mortality Table 2019,” *Int. J. Math. Stat. Comput.*, vol. 1, no. 4, pp. 76–83, 2023.
- [7] A. Golubev, “Invariances in relations between the rates of mortality and aging captured by a generalization of the Gompertz-Makeham law : Lessons from Caucasus,” *Res. Sq.*, pp. 1–30, 2024.
- [8] F. C. de Souza, W. Bernardino, and S. C. Patricio, “How life-table right-censoring affected the Brazilian social security factor: an application of the gamma-Gompertz-Makeham model,” *J. Popul. Res.*, vol. 41, no. 3, 2024.
- [9] J. Ashwin and A. Scott, “A Bayesian model of later life mortality trends and implications for longevity,” *J. R. Stat. Soc. Ser. A Stat. Soc.*, 2025.
- [10] G. Wettstein and Y. Yin, “How Has the Variance of Longevity Changed Over Time?,” *Cent. Retire.*

- Res. Bost. Coll.*, vol. 1, no. January, p. 40, 2025.
- [11] M. D. J. W. Wijesinghe, "A tale of three pandemics: Impacts on life expectancy and lifespan inequality," 2025.
- [12] M. R. A. Putra, Nurjannah, and M. Kurniawaty, "Estimation of Gompertz Mortality Parameter Models on Indonesian Population Mortality Table 2023," *J. Mat. Murni dan Apl.*, pp. 1–13, 2025.
- [13] J. B. Tanujaya, F. J. Permana, and J. Hoseana, "Premium Calculation of Endowment Life Insurance in the Indonesian Market Whose Benefit Follows a Ratchet-Type Equity-Indexed Annuity Under Constant and Stochastic Interest Rates," *IAENG Int. J. Appl. Math.*, vol. 55, no. 11, pp. 3841–3846, 2025.
- [14] Muhajirin, Risnita, and Asrulla, "PENDEKATAN PENELITIAN KUANTITATIF DAN KUALITATIF SERTA TAHAPAN PENELITIAN," *J. Genta Mulia*, vol. 15, no. 1, pp. 82–92, 2024.
- [15] M. Warahmah, Risnita, and M. S. Jailani, "Pendekatan Dan Tahapan Penelitian Dalam Kajian Pendidikan Anak Usia Dini," *J. DZURRIYAT J. Pendidik. Islam Anak Usia Dini*, vol. 1, no. 2, pp. 72–81, 2023.
- [16] F. Castellares, S. Patrício, and A. J. Lemonte, "On the Gompertz–Makeham law: A useful mortality model to deal with human mortality," *Brazilian J. Probab. Stat.*, vol. 36, no. 3, pp. 613–639, 2022.
- [17] D. Campbell, L. Boyle, M. Webb, M. Mistry, and T. G. Short, "Biodemography of Human Aging (Gompertz–Makeham Law) Applied to Surgical Mortality Modeling: A Retrospective National Cohort Study," *J. Anesthesiol.*, vol. 141, no. 6, pp. 1086–1094, 2024.
- [18] K. Nisa, A. S. Susianto, D. Syahfitri, D. Rahayuningtyas, and E. B. Aulia, "Prediksi Angka Harapan Hidup di Indonesia Berdasarkan Jenis Kelamin Menggunakan Regresi Linear," *J. Ilm. Media Sisfo*, vol. 19, no. 2, pp. 116–123, 2025.
- [19] F. B. Arafat and P. P. Izati, "Pemodelan Angka Harapan Hidup Di Indonesia Dengan Pendekatan Bayesian: Bayesian Adaptive Sampling Dan Bayesian Model Averaging Dalam Seleksi Variabel," *J. Gaussian*, vol. 14, no. 2, pp. 325–334, 2025.
- [20] E. Wulandari and Siti Nurhayati, "Determinan Umur Harapan Hidup Di Indonesia," *J. Ekon. Trisakti*, vol. 4, no. 1, pp. 217–224, 2024.
- [21] Ratih Nurfitri and Teti Sofia Yanti, "Pemodelan Umur Harapan Hidup di Jabar Tahun 2021 Menggunakan Spatial Durbin Model," *J. Ris. Stat.*, pp. 137–146, 2023.
- [22] Fitriani, H. Cipta, and Rina Widyasari, "Penerapan Model Lee-Carter untuk Peramalan Angka Harapan Hidup Berdasarkan Usia di Kota Medan," *Leibniz J. Mat.*, vol. 5, no. 02, pp. 129–140, 2025.
- [23] R. González-velastín and C. R. Schwartz, "Deaths of Despair : Trends from 1979 to 2022," *Popul. Dev. Rev. (Popul Dev Rev)*, 2025.
- [24] D. M. Arini, D. R. Arindari, S. M. Sari, S. Maharani, L. Aini, and Latifah, "PENGARUH PENDIDIKAN KESEHATAN TERHADAP TINGKAT PENGETAHUAN REMAJA TENTANG BAHAYA MEROKOK DI RT. 13 KELURAHAN ARIO KEMUNING," *J. Front. Vet. Sci.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–16, 2025.
- [25] N. Ainistikmalia, "Determinants of the Elderly Female Population With," *J. Ilmu Ekon. Terap.*, vol. 4, no. 2, pp. 85–100, 2020.

