

SKRIPSI

**ESTIMASI TINGKAT MORTALITAS INDONESIA TAHUNAN
BERDASARKAN DATA WHO MENGGUNAKAN METODE
GRADUASI *WHITTAKER-HENDERSON***



GABRIELLE ARETHA SETIADY

NPM: 6162001009

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2024**

FINAL PROJECT

**ESTIMATION OF INDONESIA'S ANNUAL MORTALITY
RATES BASED ON WHO DATA USING
WHITTAKER-HENDERSON GRADUATION METHOD**



GABRIELLE ARETHA SETIADY

NPM: 6162001009

**DEPARTMENT OF MATHEMATICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCES
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

ESTIMASI TINGKAT MORTALITAS INDONESIA TAHUNAN BERDASARKAN DATA WHO MENGGUNAKAN METODE GRADUASI *WHITTAKER-HENDERSON*

Gabrielle Aretha Setiady

NPM: 6162001009

Telah lulus ujian skripsi pada 16 Januari 2024 dengan penguji:
Agus Sukmana, M.Sc. dan Taufik Limansyah, M.T.

Bandung, 25 Januari 2024

Menyetujui,

Pembimbing

Felivia Kusnadi, M.Act.Sc.

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Jonathan Hoseana, Ph.D.

PERNYATAAN

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

**ESTIMASI TINGKAT MORTALITAS INDONESIA TAHUNAN
BERDASARKAN DATA WHO MENGGUNAKAN METODE GRADUASI
*WHITTAKER-HENDERSON***

adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung segala risiko dan sanksi yang dijatuhkan kepada saya, apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non-formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini.

Dinyatakan di Bandung,
25 Januari 2024



Gabrielle Aretha Setiady
NPM: 6162001009

ABSTRAK

Dalam ilmu aktuaria dan industri asuransi, tingkat mortalitas merupakan suatu hal yang penting untuk pengambilan berbagai keputusan, juga melakukan prediksi dan estimasi, seperti dalam perhitungan premi dan mengalkulasi cadangan. Pada skripsi ini, tingkat mortalitas diestimasi menggunakan proses interpolasi, ekstrapolasi, dan metode graduasi. Metode graduasi diaplikasikan untuk memperbaiki dan menghaluskan tingkat mortalitas. Metode graduasi yang digunakan adalah metode graduasi *Whittaker-Henderson*, di mana nilai peluang kematian digunakan dalam perhitungan. Tujuan dari perhitungan yaitu menciptakan tingkat mortalitas yang lebih halus agar dapat diestimasi dengan lebih baik. Proses estimasi tingkat mortalitas tahunan diaplikasikan pada data tingkat mortalitas *World Health Organization* (WHO) Indonesia tahun 2019, lalu hasil penghalusannya dibandingkan dengan data Tabel Mortalitas Indonesia (TMI) IV. Setelah dilakukan proses perhitungan, diperoleh hasil bahwa metode graduasi *Whittaker-Henderson* paling optimal didapatkan saat nilai tingkat kehalusan $h = 100$ dan orde *differencing* $z = 3$, serta tingkat mortalitas jenis kelamin pria lebih tinggi daripada tingkat mortalitas jenis kelamin wanita. Selain itu, tingkat mortalitas data WHO Indonesia jauh lebih besar dibandingkan dengan data TMI IV yang disebabkan oleh pengambilan data WHO Indonesia yang lebih menyeluruh dibandingkan dengan TMI IV yang telah sebelumnya menyaring peserta asuransinya melalui proses *underwriting*.

Kata-kata kunci: Tingkat mortalitas; metode graduasi; metode *Whittaker-Henderson*; tingkat mortalitas WHO Indonesia; Tabel Mortalitas Indonesia IV.

ABSTRACT

In actuarial science and the insurance industry, mortality rates are an important matter for making various decisions, as well as making predictions and estimations, such as in calculating premiums and reserves. In this thesis, the mortality rates are estimated using interpolation, extrapolation and graduation method. Graduation method is functioned to improve and smooth mortality rates. The graduation method used is called the Whittaker-Henderson method, where the value of the probability of death is applied in the calculation. The aim of the calculation is to create smoother mortality rates so that it can be estimated better. The annual mortality rate estimation process is applied to the World Health Organization (WHO) Indonesia 2019's mortality rates data, then the refined results are compared to the data of *Tabel Mortalitas Indonesia* (TMI) IV. After carrying out the calculation process, the result shows that the most optimal Whittaker-Henderson graduation method is obtained when smoothing value $h = 100$ and differencing order $z = 3$, with the mortality rates of male are higher than the female's mortality rate. Furthermore, mortality rates from the WHO Indonesia data are much greater compared to the TMI IV data which is due to WHO Indonesia's more comprehensive data collection compared to TMI IV which has filtered its insurance participants through underwriting process.

Keywords: Mortality rates; estimation; interpolation; extrapolation; graduation method; Whittaker-Henderson method; probability of death; smooth; WHO Indonesia mortality rates; *Tabel Mortalitas Indonesia* IV.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yesus atas anugerah dan penyertaan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu. Skripsi yang berjudul "Estimasi Tingkat Mortalitas Indonesia Tahunan Berdasarkan Data WHO Menggunakan Metode Graduasi *Whittaker-Henderson*" disusun sebagai salah satu syarat wajib untuk menyelesaikan studi Strata-1 Program Studi Matematika, Fakultas Teknologi Informasi dan Sains, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembacanya. Masa studi dan proses penyusunan skripsi ini adalah bagian dari pembelajaran bagi penulis, di mana penulis mendapatkan banyak ilmu dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

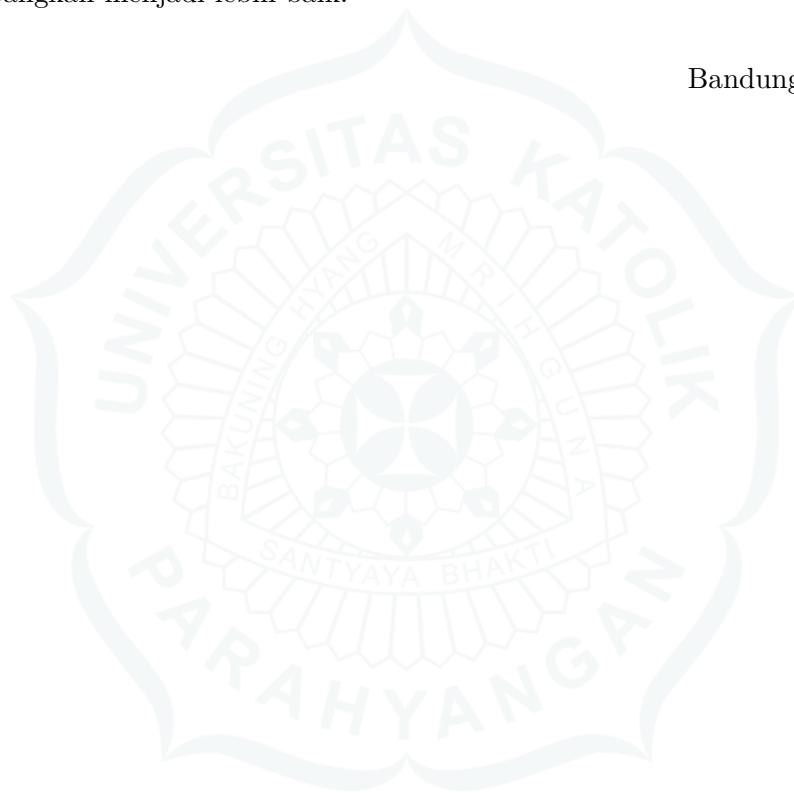
- Kedua orang tua penulis yang telah memberikan doa, kasih sayang, dukungan, dan nasihat selama penyelesaian skripsi ini.
- Ibu Felivia Kusnadi, M.Act.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing juga memberikan nasihat dan saran untuk menyelesaikan skripsi ini. Tanpa bantuan beliau skripsi ini tidak dapat diselesaikan dengan baik.
- Bapak Agus Sukmana, M.Sc. selaku dosen wali dan dosen penguji pertama yang telah membantu selama masa perkuliahan juga Bapak Taufik Limansyah, M.T. selaku dosen penguji kedua yang telah memberikan masukan dan saran sehingga membuat skripsi ini menjadi lebih baik.
- Bapak Dr. Daniel Salim selaku koordinator skripsi yang telah memberikan informasi terkait proses penyelesaian skripsi.
- Seluruh staf Tata Usaha dan karyawan FTIS yang telah membantu dalam melengkapi segala hal yang diperlukan selama proses perkuliahan.
- Seluruh dosen Program Studi Matematika UNPAR yang telah mendidik dan memberikan ilmunya pada penulis.
- Jenisha Then dan Anastasia Michelle yang menjadi teman seperjuangan sejak awal masa perkuliahan sampai saat ini.
- Jerremy Joelnathan S. yang selalu berusaha memahami dan menerima penulis serta memberikan dukungan secara fisik dan mental.
- Ashley Keiko, Cessya Janice, Jessica Alma, Jessie Colleen, Kenzo Christandy, dan Edrick Hansel selaku sahabat-sahabat yang setia mendukung dan menemani melalui masa perkuliahan ini.
- Teman-teman Matematika UNPAR angkatan 2020, khususnya "Jgn Gt" dan "Darurat" yang selalu memberikan dukungan, membangkitkan semangat, dan menemani penulis selama perkuliahan.
- Teman-teman Matematika UNPAR angkatan 2018, 2019, 2021, dan 2022 yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

- Alvin Hartanto, Alvina Tjia, Kresentia Amelia, dan Agung Christian selaku kakak-kakak mentor yang memberikan doa, dukungan, saran, nasihat, dan waktunya untuk penulis. Mereka yang selalu meyakinkan bahwa penulis mampu melewati setiap proses ini.
- Teman-teman CLCC Bandung yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.
- Guru-guru SMAK Trimulia Bandung yang secara tidak langsung membantu dengan memberikan ilmunya selama masa sekolah.
- Semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan untuk penulis selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, sehingga segala kritik dan saran yang konstruktif dari pembaca akan diterima dengan tangan terbuka oleh penulis agar skripsi ini menjadi lebih baik. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan dapat dikembangkan menjadi lebih baik.

Bandung, 25 Januari 2024

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 <i>State of the Art</i>	2
1.5 Sistematika Pembahasan	3
2 LANDASAN TEORI	4
2.1 Tabel Mortalitas	4
2.1.1 Tingkat Mortalitas WHO Indonesia Tahun 2019	5
2.1.2 Tabel Mortalitas Indonesia IV	5
2.2 Interpolasi <i>Spline</i> Kubik	6
2.3 Ekstrapolasi	9
2.4 Metode <i>Differencing</i>	10
3 METODE PENGOLAHAN TINGKAT MORTALITAS BERDASARKAN DATA WHO INDONESIA TAHUN 2019	13
3.1 Interpolasi <i>Spline</i> Kubik	14
3.2 Ekstrapolasi	15
3.3 Penerapan Metode Graduasi <i>Whittaker-Henderson</i>	16
4 ANALISIS HASIL PENGOLAHAN TINGKAT MORTALITAS INDONESIA	18
4.1 Persiapan Data	18
4.2 Pengolahan Data	19
4.2.1 Proses Interpolasi	19
4.2.2 Proses Ekstrapolasi	20
4.3 Metode Graduasi <i>Whittaker-Henderson</i>	21
4.3.1 Penentuan Parameter Metode Graduasi <i>Whittaker-Henderson</i>	21
4.3.2 Hasil Proses Graduasi <i>Whittaker-Henderson</i> pada Data WHO Indonesia Tahun 2019	22
4.3.3 Perbandingan Tingkat Mortalitas pada Data WHO Indonesia 2019 dan TMI IV	23
5 KESIMPULAN DAN SARAN	26
5.1 Kesimpulan	26
5.2 Saran	26

DAFTAR REFERENSI	28
A HASIL INTERPOLASI TINGKAT MORTALITAS WHO INDONESIA TAHUN 2019	30
B HASIL EKSTRAPOLASI TINGKAT MORTALITAS WHO INDONESIA TAHUN 2019	34
C HASIL METODE GRADUASI <i>Whittaker-Henderson</i> TERHADAP TINGKAT MORTALITAS WHO INDONESIA TAHUN 2019	38
D TABEL MORTALITAS INDONESIA IV	42



DAFTAR GAMBAR

2.1	Ilustrasi proses interpolasi	6
2.2	Ilustrasi interpolasi spline kubik	7
3.1	Diagram alir proses estimasi tingkat mortalitas tahunan data WHO Indonesia . . .	13
3.2	Tingkat mortalitas WHO Indonesia tahun 2019	14
4.1	Estimasi tingkat mortalitas Indonesia berdasarkan WHO Indonesia tahun 2019 . .	23
4.2	Grafik tingkat mortalitas pria	24
4.3	Grafik tingkat mortalitas wanita	24



DAFTAR TABEL

2.1	Data (x, y)	7
4.1	Ilustrasi Tabel Mortalitas Indonesia IV	18
4.2	Ilustrasi tingkat mortalitas WHO Indonesia tahun 2019	19
4.3	Data (x, y)	19
4.4	Nilai parameter B dan c untuk ekstrapolasi menggunakan hukum <i>Gompertz</i>	20
4.5	Nilai M untuk $h = 10$	21
4.6	Nilai M untuk $h = 50$	21
4.7	Nilai M untuk $h = 100$	22
4.8	Ilustrasi tingkat mortalitas tergraduasi WHO Indonesia tahun 2019	22
A.1	Hasil interpolasi peluang kematian gabungan	31
A.2	Hasil interpolasi peluang kematian pria	32
A.3	Hasil interpolasi peluang kematian wanita	33
B.1	Hasil ekstrapolasi peluang kematian gabungan	35
B.2	Hasil ekstrapolasi peluang kematian pria	36
B.3	Hasil ekstrapolasi peluang kematian wanita	37
C.1	Tingkat mortalitas tergraduasi gabungan WHO Indonesia tahun 2019	39
C.2	Tingkat mortalitas tergraduasi pria WHO Indonesia tahun 2019	40
C.3	Tingkat mortalitas tergraduasi wanita WHO Indonesia tahun 2019	41
D.1	TMI IV pria	43
D.2	TMI IV wanita	44

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan dalam ilmu aktuaria dan dunia asuransi, tampak bahwa jumlah polis asuransi jiwa meningkat sebesar 1,8% atau sebanyak 17,78 juta *year on year* (yoy) pada kuartal I tahun 2021 [1]. Hal ini menunjukkan bahwa orang-orang semakin menyadari pentingnya asuransi sebagai proteksi keuangan dan kehidupan mereka. Karena hal ini, perhitungan tingkat mortalitas menjadi topik yang menarik banyak perhatian dalam kalangan aktuaris beserta pemangku jabatan penting lainnya dalam industri asuransi karena tingkat mortalitas dapat membantu dalam perhitungan premi dan mengalkulasi cadangan yang dibutuhkan dalam perusahaan asuransi. Data tingkat mortalitas diperlukan di Indonesia untuk menghitung premi dan cadangan pada program Jaminan Hari Tua (JHT) dan Jaminan Pensiun dari BPJS Ketenagakerjaan,¹ di mana kedua program ini memberikan perlindungan finansial saat usia pensiun sampai meninggal dunia. Dalam acara peluncuran buku tabel mortalitas BPJS Ketenagakerjaan 2022, seorang perwakilan dari Persatuan Aktuaris Indonesia, Bapak Awal Putra Kurnianto mengemukakan bahwa tingkat mortalitas secara lengkap dapat ditemukan dalam sebuah instrumen yang disebut tabel mortalitas. Tabel mortalitas merupakan suatu alat utama yang sangat berguna bagi kalangan aktuaris untuk melakukan perhitungan premi, mengalkulasi cadangan, dan membangun model-model aktuaria lainnya [2].

Tingkat mortalitas yang terangkum dalam tabel mortalitas juga merupakan hal yang penting untuk sebuah negara karena negara memerlukan data demografis dari penduduknya. Tingkat mortalitas ini akan membawa pengaruh besar pada beberapa bidang, seperti perekonomian, kesehatan, dan pertumbuhan penduduk. Tingkat mortalitas yang tinggi dapat memberikan dampak negatif pada ketiga bidang tersebut. Pada bidang pertumbuhan penduduk, jumlah kematian yang terlalu banyak dapat menyebabkan berkurangnya penduduk, sehingga terjadi penurunan jumlah tenaga kerja. Pada bidang kesehatan, tingkat mortalitas yang tinggi menunjukkan adanya masalah kesehatan masyarakat yang serius, sehingga negara perlu melakukan upaya untuk meningkatkan kualitas layanan dan akses kesehatan. Kedua bidang tersebut akan berdampak negatif pada pembangunan ekonomi negara. Maka dari itu, tingkat mortalitas harus terus diperbaharui agar dapat menggambarkan kondisi terbaru masyarakat dalam suatu negara.

Pada jurnal yang ditulis oleh Wang, dkk. [3, hlm. 2], dibahas mengenai pemodelan tingkat mortalitas menggunakan model Lee-Carter. Model ini digunakan untuk mengestimasi tingkat mortalitas pada populasi kecil, yaitu tingkat mortalitas pria di Taiwan. Setelah model terbentuk,

¹<https://www.bpjsketenagakerjaan.go.id/artikel/17422/artikel-beda-jht-dan-jp,-cari-tahu-informasi-selengkapnnya-yuk!.bpjs>, diakses pada 23 Januari 2024

diketahui bahwa model Lee-Carter menghasilkan estimasi yang tidak akurat dalam mengestimasi tingkat mortalitas populasi negara Taiwan. Pada skripsi ini, penggunaan model Lee-Carter akan diganti menggunakan metode graduasi.

Metode graduasi merupakan suatu metode yang berfungsi untuk melakukan penghalusan terhadap tingkat mortalitas. Metode ini dapat mengatasi data yang mengandung loncatan atau fluktuasi yang cukup jauh untuk dua usia yang saling berdekatan [4, hlm. 7]. Pada penelitian ini, akan diestimasi tingkat mortalitas untuk populasi lebih besar, yaitu populasi di Indonesia. Tingkat mortalitas akan diestimasi berdasarkan data tingkat mortalitas *World Health Organization* (WHO) Indonesia menggunakan metode graduasi *Whittaker-Henderson* yang dibahas oleh Chanco [5]. Pada akhirnya, hasil estimasi menggunakan metode *Whittaker-Henderson* pada data tingkat mortalitas WHO Indonesia dibandingkan dengan Tabel Mortalitas Indonesia (TMI) IV, di mana perbedaan antara peluang kematian keduanya akan dianalisis secara lebih mendalam.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan, masalah yang dirumuskan dalam skripsi ini adalah

1. Bagaimana cara mengestimasi tingkat mortalitas tahunan di Indonesia?
2. Bagaimana penerapan metode graduasi dalam memperhalus tingkat mortalitas tahunan di Indonesia?
3. Bagaimana hasil yang diperoleh dari perhitungan estimasi tingkat mortalitas tahunan?
4. Apa perbedaan hasil estimasi tingkat mortalitas antara kedua data yang digunakan?

1.3 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai melalui penulisan skripsi ini adalah

1. Mengestimasi tingkat mortalitas tahunan di Indonesia dengan proses interpolasi dan ekstrapolasi.
2. Menerapkan metode graduasi *Whittaker-Henderson* yang paling baik untuk memperhalus tingkat mortalitas tahunan pada data WHO Indonesia.
3. Menganalisis hasil perhitungan estimasi tingkat mortalitas tahunan pada data WHO Indonesia.
4. Membandingkan dan menganalisis tingkat mortalitas yang diestimasi dari data WHO dengan tingkat mortalitas dari TMI IV.

1.4 *State of the Art*

Berdasarkan subbab 1.1, jurnal Wang, dkk. [3] mengestimasi tingkat mortalitas dengan jumlah populasi yang kecil menggunakan model Lee-Carter. Menurut hasil penelitiannya, model Lee-Carter menghasilkan estimasi yang tidak akurat sehingga diperbaiki menggunakan metode *Partial Standard*

Mortality Ratio. Namun, metode ini juga memiliki kelemahan, yaitu hanya dapat digunakan untuk populasi yang kecil.

Dalam penelitian ini, akan diestimasi tingkat mortalitas untuk populasi di Indonesia. Menurut data dari *The World Bank* [6], Indonesia memiliki populasi yang cukup besar, yaitu sekitar 273 juta penduduk. Maka dari itu, akan dikembangkan sebuah metode graduasi lain yang cocok digunakan pada populasi besar, yaitu metode *Whittaker-Henderson*. Dalam jurnal berjudul "*Mortality Rates Estimation using Whittaker-Henderson Graduation Technique*" yang ditulis oleh Chanco, metode *Whittaker-Henderson* digunakan untuk mengestimasi tingkat mortalitas negara Filipina dari tahun 2003 sampai 2012 [5, hlm. 7]. Pada skripsi ini, metode *Whittaker-Henderson* akan diaplikasikan pada data tingkat mortalitas di Indonesia, yaitu data WHO Indonesia.

1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan skripsi ini adalah

- BAB I PENDAHULUAN

Bab ini merupakan pendahuluan dari skripsi yang mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan, *state of the art*, dan sistematika pembahasan.

- BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas mengenai teori-teori dan perhitungan dasar yang menunjang pembahasan dalam skripsi ini. Hal-hal yang dibahas yaitu tabel mortalitas, interpolasi, ekstrapolasi, dan metode *differencing*.

- BAB III METODE PENGOLAHAN TINGKAT MORTALITAS BERDASARKAN DATA WHO INDONESIA TAHUN 2019

Bab ini membahas mengenai metode pengolahan data tingkat mortalitas, yaitu dengan proses interpolasi dan ekstrapolasi. Selain itu, akan dibahas pula metode graduasi *Whittaker-Henderson* untuk proses penghalusan tingkat mortalitas. Pembahasan meliputi pengenalan dasar mengenai metode terkait, rumus yang digunakan pada metode, dan pengaplikasian metode pada data aktual.

- BAB IV ANALISIS HASIL ESTIMASI TINGKAT MORTALITAS INDONESIA

Bab ini mencakup hasil pengolahan menggunakan proses interpolasi dan ekstrapolasi serta pengaplikasian metode graduasi pada data aktual, yaitu tingkat mortalitas WHO Indonesia tahun 2019, analisis dari hasil yang diperoleh, dan perbandingan antara TMI IV dan data WHO Indonesia tahun 2019.

- BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan hasil estimasi tingkat mortalitas dan saran pengembangan lebih lanjut dari skripsi ini.