

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Selama tujuh dekade terakhir, kesehatan populasi global menunjukkan kemajuan signifikan yang ditandai dengan peningkatan angka harapan hidup secara konsisten (World Health Organization, 2023). World Health Organization (2023) melaporkan bahwa angka harapan hidup rata-rata dunia meningkat dari 46,5 tahun pada tahun 1950 menjadi 73,0 tahun pada 2048. Pencapaian ini mencerminkan perbaikan besar dalam sistem kesehatan global, meskipun masih terdapat ketimpangan antarwilayah (World Health Organization, 2023).

Peningkatan harapan hidup menjadi fenomena global yang juga terjadi di Indonesia. Badan Pusat Statistik (2018) memproyeksikan jumlah penduduk lansia usia 65 tahun ke atas akan terus meningkat hingga tahun 2045. Pada periode 2015-2030, proyeksi skenario A dan skenario B relatif sama, tetapi setelah 2035, jumlah penduduk lansia pada skenario A lebih tinggi, yakni mencapai 44,99 juta jiwa dibandingkan 43,37 juta jiwa pada skenario B (Badan Pusat Statistik, 2018). Fenomena *ageing population* ini menimbulkan tantangan demografis yang serius karena berimplikasi pada meningkatnya kebutuhan dana pensiun dan pelayanan kesehatan.

Peningkatan populasi lansia membawa dampak langsung terhadap meningkatnya kebutuhan pembiayaan sosial, terutama pada sektor pensiun dan kesehatan. Sistem pensiun publik dituntut untuk mampu menjamin kesejahteraan penerima manfaat secara berkelanjutan. Ketika umur hidup semakin panjang, maka periode pembayaran manfaat pensiun juga semakin lama. Hal ini berimplikasi pada semakin besarnya risiko finansial yang harus ditanggung oleh penyelenggara sistem pensiun. Oleh karena itu, ketepatan dalam mengestimasi harapan hidup menjadi faktor yang sangat krusial dalam perencanaan sistem pensiun.

Tantangan tersebut semakin diperparah oleh penurunan *dependency ratio*, yaitu perbandingan antara penduduk usia nonproduktif dan penduduk usia produktif. Organisation for Economic Co-operation and Development (2023),

menunjukkan adanya tren penurunan *dependency ratio* di berbagai negara, yang mengindikasikan semakin sedikit tenaga kerja produktif yang menopang semakin banyak penduduk lansia. Penurunan rasio ini meningkatkan tekanan finansial pada sistem pensiun publik dan memperbesar risiko ketidakseimbangan antara kontribusi dan manfaat yang dibayarkan Organisation for Economic Co-operation and Development (2023).

Dalam konteks tersebut, proyeksi usia harapan hidup memegang peranan penting dalam menentukan besarnya kewajiban pembayaran manfaat pensiun. Estimasi yang terlalu rendah berpotensi menyebabkan kekurangan dana di masa mendatang, sedangkan estimasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan ketidakefisienan dalam pengelolaan dana. Oleh karena itu, metode estimasi yang digunakan harus mampu menghasilkan proyeksi yang akurat dan stabil, khususnya untuk perencanaan jangka panjang.

Namun, metode konvensional dalam pemodelan mortalitas dan harapan hidup umumnya masih mengandalkan satu model statistik tunggal. Pendekatan ini memiliki keterbatasan karena tidak selalu mampu beradaptasi terhadap variasi data dan perubahan pola mortalitas dari waktu ke waktu. Selain itu, ketergantungan pada satu model tertentu membuat hasil estimasi sangat sensitif terhadap asumsi model yang digunakan.

Permasalahan utama dari pendekatan model tunggal adalah adanya ketidakpastian dalam pemilihan model yang paling sesuai, yang dikenal sebagai model *uncertainty*. Literatur statistik menunjukkan bahwa tidak ada satu model mortalitas pun yang selalu unggul pada semua kondisi data. Setiap model memiliki asumsi, kelebihan, dan keterbatasan masing-masing, sehingga pemilihan satu model saja berisiko menghasilkan kesalahan proyeksi yang signifikan.

(Barigou dkk., 2023) menegaskan bahwa ketergantungan pada satu model mortalitas dapat menyebabkan risiko model *misspecification* dan *overconfidence* dalam proyeksi jangka panjang. Dalam konteks peramalan mortalitas, mereka menunjukkan bahwa kesalahan akibat pemilihan model yang tidak tepat dapat berdampak lebih besar dibandingkan kesalahan estimasi parameter di dalam model itu sendiri (Barigou dkk., 2023). Temuan ini menjadi sangat relevan dalam perencanaan sistem pensiun yang sangat sensitif terhadap asumsi usia harapan hidup.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan pendekatan statistik yang mampu mengakomodasi ketidakpastian model secara eksplisit. Salah satu

pendekatan yang berkembang dalam literatur statistik adalah *Bayesian Model Averaging* (BMA). Secara konseptual, BMA tidak memilih satu model terbaik, melainkan menggabungkan beberapa model kandidat dengan memberikan bobot berdasarkan probabilitas posterior masing-masing model, sehingga mampu mengurangi risiko kesalahan akibat pemilihan model tunggal (Hinne dkk., 2020).

Keunggulan pendekatan BMA telah dibuktikan dalam berbagai bidang, termasuk dalam peramalan mortalitas. (Barigou dkk., 2023) menunjukkan bahwa penerapan BMA dengan *leave-future-out validation* mampu meningkatkan akurasi prediksi mortalitas dibandingkan model tunggal, serta menghasilkan proyeksi yang lebih fleksibel terhadap perubahan pola mortalitas dari waktu ke waktu. Hasil ini menegaskan bahwa BMA merupakan pendekatan yang relevan untuk perencanaan jangka panjang seperti sistem pensiun.

Dalam konteks Indonesia, penerapan *Bayesian Model Averaging* juga telah digunakan dalam pemodelan angka harapan hidup. Arafat and Izati (2025) menerapkan BMA untuk memodelkan angka harapan hidup di Indonesia dan menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu menghasilkan estimasi yang lebih stabil dengan mempertimbangkan ketidakpastian pemilihan model. Studi ini memberikan dasar empiris bahwa BMA relevan digunakan dalam kajian mortalitas dan demografi di Indonesia.

Selain itu, literatur konseptual menegaskan bahwa fleksibilitas BMA menjadikannya pendekatan yang banyak digunakan dalam berbagai konteks statistik. (Hinne dkk., 2020) menyatakan bahwa BMA memungkinkan setiap model diberi bobot berdasarkan dukungan data, sehingga inferensi yang dihasilkan menjadi lebih robust. Pendekatan ini juga telah diaplikasikan dalam berbagai bidang lain, seperti fisika komputasi dan energi, yang menunjukkan bahwa BMA bersifat adaptif dan tidak terbatas pada satu disiplin ilmu Jay and Neil (2021); (Doubleday dkk., 2020).

Pendekatan serupa juga diterapkan oleh Jay and Neil 2021 dalam bidang fisika komputasi, di mana mereka menggunakan BMA untuk menggabungkan hasil dari beberapa model eksperimental. Metode ini terbukti memberikan hasil estimasi yang lebih konsisten dan dapat diandalkan (Jay & Neil, 2021).

Dalam bidang aktuaria dan perencanaan pensiun, (Barigou dkk., 2023) menggunakan pendekatan ini untuk memperbaiki akurasi prediksi mortalitas jangka panjang dengan metode *leave-future-out validation*. Hasilnya menunjukkan bahwa BMA mampu menghasilkan proyeksi mortalitas yang lebih

fleksibel terhadap perubahan pola mortalitas dari waktu ke waktu (Barigou dkk., 2023).

Penelitian yang paling relevan dengan konteks Indonesia dilakukan oleh (Bravo & Ayuso, 2021), yang menerapkan BMA untuk mengaitkan estimasi harapan hidup dengan desain sistem pensiun publik. Hasilnya menunjukkan bahwa pendekatan ini menghasilkan estimasi yang lebih stabil dibandingkan model tunggal serta membantu perencana kebijakan dalam mengantisipasi risiko ketidakpastian umur panjang pada sistem pensiun (Bravo & Ayuso, 2021).

Selain di bidang mortalitas dan pensiun, fleksibilitas BMA juga dimanfaatkan dalam bidang energi. (Doubleday dkk., 2020) menggunakan pendekatan ini untuk memprediksi daya listrik tenaga surya dan menemukan bahwa BMA mampu meningkatkan akurasi prediksi serta mengurangi ketidakpastian proyeksi (Doubleday dkk., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa BMA merupakan pendekatan statistik yang adaptif dan dapat diterapkan di berbagai konteks, termasuk dalam perencanaan sistem pensiun di Indonesia.

Meskipun berbagai penelitian menunjukkan keunggulan BMA, penerapan pendekatan ini dalam konteks sistem pensiun di Indonesia masih tergolong terbatas. Padahal, peningkatan harapan hidup dan fenomena *ageing population* secara langsung berdampak pada keberlanjutan dana pensiun nasional. Ketidakpastian dalam estimasi harapan hidup berpotensi menimbulkan risiko finansial yang besar bagi penyelenggara sistem pensiun. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mampu menghasilkan estimasi yang tidak hanya akurat, tetapi juga stabil terhadap ketidakpastian model.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada penerapan *Bayesian Model Averaging* (BMA) untuk mengestimasi harapan hidup penerima pensiun serta menghitung nilai manfaat pensiun pada sistem pensiun publik. Pendekatan BMA digunakan untuk mengakomodasi ketidakpastian pemilihan model mortalitas sehingga diharapkan menghasilkan estimasi harapan hidup yang lebih robust dan akurat, yang selanjutnya dimanfaatkan dalam valuasi manfaat pensiun guna memberikan gambaran yang lebih realistik mengenai kewajiban pembayaran di masa mendatang. Dalam penelitian ini, sistem pensiun publik secara khusus merujuk pada sistem pensiun Pegawai Negeri Sipil (PNS) atau Aparatur Sipil Negara (ASN) di Indonesia yang diselenggarakan oleh pemerintah dan dibiayai melalui mekanisme keuangan negara, sehingga pembahasan dibatasi pada penerima manfaat pensiun PNS/ASN dan tidak

mencakup skema pensiun swasta atau dana pensiun perusahaan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah pada skripsi ini yaitu:

1. Bagaimana harapan hidup (*life expectancy*) penerima pensiun dapat diestimasi menggunakan pendekatan *Bayesian Model Averaging*?
2. Bagaimana nilai manfaat pensiun dapat dihitung berdasarkan hasil estimasi harapan hidup tersebut dengan pendekatan *Bayesian Model Averaging*?

1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian ini hanya berfokus pada estimasi harapan hidup penerima pensiun dengan pendekatan *Bayesian Model Averaging*, sehingga model mortalitas yang digunakan dibatasi pada dua model kandidat, yaitu distribusi Weibull dan distribusi Gompertz sebagai baseline model.
2. Valuasi manfaat pensiun dalam penelitian ini dihitung berdasarkan hasil estimasi harapan hidup tersebut dengan menggunakan pendekatan *Net present value* (NPV), tanpa membahas metode valuasi lain maupun aspek kebijakan dalam sistem pensiun.
3. Penelitian ini dibatasi pada penerima pensiun Pegawai Negeri Sipil (PNS) atau Aparatur Sipil Negara (ASN) di Indonesia sebagai representasi sistem pensiun publik, dan tidak mencakup skema pensiun swasta atau dana pensiun perusahaan.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengestimasi harapan hidup (*life expectancy*) penerima pensiun menggunakan pendekatan *Bayesian Model Averaging*.
2. Menghitung nilai manfaat pensiun berdasarkan hasil estimasi harapan hidup menggunakan pendekatan *Net Present Value* (NPV).

1.5 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

- a. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan literatur aktuaria, khususnya dalam penerapan *Bayesian Model Averaging* untuk permasalahan pensiun.
- b. Menambah referensi akademik terkait pemodelan mortalitas dan valuasi manfaat pensiun dalam satu kerangka pendekatan statistik yang mempertimbangkan ketidakpastian model.
- c. Menunjukkan fleksibilitas pendekatan BMA sebagai alternatif dari pendekatan konvensional dalam estimasi harapan hidup dan proyeksi kewajiban pensiun.

2. Manfaat Praktis

- a. Memberikan informasi yang lebih akurat bagi penyelenggara dana pensiun publik dalam memperkirakan kewajiban pembayaran manfaat pensiun jangka panjang.
- b. Menjadi masukan bagi pembuat kebijakan (*policy makers*) dalam merancang strategi keberlanjutan sistem pensiun di tengah tren peningkatan harapan hidup dan *ageing population*.
- c. Mendukung perencanaan keuangan jangka panjang lembaga pensiun dengan mempertimbangkan ketidakpastian model mortalitas.