

# Proyeksi Beban Penyakit Kardiovaskular di Indonesia hingga Tahun 2045

Muhammad Rizky Mangkuwidjaya<sup>1\*</sup>, Mardhani Riasetiawan<sup>2</sup>, Lutfan Lazuardi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Kebijakan dan Manajemen Kesehatan, Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat, dan Keperawatan Universitas Gadjah Mada

<sup>2</sup>Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada

\*rmangkuwidjaya@gmail.com

Received: 08 Juli 2025

Accepted: 16 Agustus 2025

Published online: 31 Agustus 2025

## ABSTRAK

**Latar Belakang:** Penyakit kardiovaskular menjadi penyebab utama kematian di seluruh dunia. Penelitian ini bertujuan untuk memproyeksikan beban PKV di Indonesia dari tahun 2025 hingga 2045 dengan mempertimbangkan berbagai faktor risiko yang berkontribusi terhadap mortalitas, prevalensi, insidensi, dan DALYs penyakit ini.

**Metode:** Penelitian ini menggunakan data sekunder yang bersumber dari Global Burden of Disease Study 2021 dan Data Proyeksi Penduduk BPS. Analisis proyeksi menggunakan metode ARIMA (autoregressive integrated moving average), GAM (Generalized Additive Model) dan Prophet. Sedangkan evaluasi model proyeksi menggunakan metode rolling-cross validation.

**Hasil:** Proyeksi menunjukkan laju mortalitas, prevalensi, insidensi, dan DALYs PKV (Crude Rate) akan meningkat hingga tahun 2045. Namun, tren yang berbeda terlihat pada kelompok usia baku (age-standardized). Laju kematian akibat PKV pada kelompok usia baku diperkirakan menurun tipis 0,2%, begitu pula DALYs yang menurun 3,38%. Sebaliknya, prevalensi dan insidensi usia baku tetap meningkat. Terdapat keterbatasan ketersediaan data dalam GBD Study

**Kesimpulan:** Beban penyakit kardiovaskular di Indonesia diperkirakan akan meningkat hingga 2045. Meskipun ada potensi penurunan beban melalui pengurangan faktor risiko, implementasi program intervensi faktor risiko penyakit kardiovaskular perlu dioptimalkan.

**Kata Kunci:** Penyakit kardiovaskular, faktor risiko, proyeksi, mortalitas, DALYs

## ABSTRACT

**Background:** Cardiovascular disease is the leading cause of death worldwide. This study aims to project the burden of cardiovascular disease in Indonesia from 2025 to 2045, considering various risk factors

that contribute to mortality, prevalence, incidence and DALYs of this disease.

**Method:** This study utilized secondary data from the Global Burden of Disease Study 2021, and Population Projection Data from the Central Statistics Agency (BPS). Projection analysis employed the ARIMA (autoregressive integrated moving average), GAM (Generalized Additive Model), and Prophet Method. Model evaluation utilized rolling-cross validation.

**Results:** The projections indicate that the crude rates of mortality, prevalence, incidence, and DALYs due to CVD will continue to increase through 2045. However, a different pattern emerges for age-standardized indicators. Age-standardized mortality from CVD is expected to decline slightly by 0.2%, and age-standardized DALYs are projected to decrease by 3.38%. In contrast, age-standardized prevalence and incidence will continue to rise. These findings should be interpreted with caution due to limitations in the availability and completeness of data within the GBD Study.

**Conclusion:** The burden of cardiovascular disease in Indonesia is projected to continue increasing until 2045. Although there is potential for reducing the burden through risk factor reduction, the implementation of cardiovascular disease risk factor intervention programs needs to be optimized.

**Keywords:** Cardiovascular disease, risk factors, projections, mortality, DALYs

## PENDAHULUAN

Penyakit kardiovaskular (PKV) merupakan penyebab utama kematian di seluruh dunia. Terjadi pergeseran beban PKV dari negara maju menuju negara berkembang, salah satunya Indonesia.<sup>1,2</sup> Di tingkat nasional, beban PKV terus meningkat seiring tingginya paparan faktor risiko seperti obesitas, merokok, dislipidemia, hiperglikemia, dan hipertensi, dengan variasi beban yang cukup besar antarwilayah di Indonesia.<sup>3,4</sup>

Gambaran tersebut diperkuat oleh hasil Survei Kesehatan Indonesia (SKI) 2023 yang melaporkan prevalensi penyakit jantung nasional sebesar 0,85%, dengan rentang 1,67% di DI Yogyakarta hingga 0,11% di Papua Pegunungan.<sup>5</sup> Ketimpangan ini mencerminkan perlunya program kesehatan yang lebih merata dan tepat sasaran di berbagai provinsi untuk mengatasi disparitas tersebut.

Besarnya tantangan ini menuntut penerapan kebijakan kesehatan yang berbasis bukti (*evidence-based health policy*), di mana pengambilan keputusan perlu didukung oleh analisis data yang komprehensif serta pemanfaatan alat bantu yang tepat. Oleh karena itu, data merupakan komponen penting yang menjadi dasar dalam merumuskan dan menetapkan kebijakan kesehatan yang komprehensif.<sup>6</sup>

Dalam konteks Visi Indonesia Emas 2045 dan RPJPMN 2025–2045, pemerintah menargetkan peningkatan kualitas kesehatan melalui penguatan layanan dasar, pengendalian penyakit tidak menular, serta peningkatan kapasitas surveilans. Proyeksi beban PKV menjadi sangat penting bagi perencanaan program jangka panjang.

Sejumlah studi terdahulu telah dilakukan, seperti proyeksi PKV pada tingkat regional Asia oleh Goh *et al*<sup>7</sup> serta proyeksi diabetes di Indonesia oleh Wahidin *et al*.<sup>8</sup> Namun, kajian mengenai proyeksi beban PKV di Indonesia dalam konteks nasional masih relatif terbatas dan menyisakan kesenjangan yang bermakna. Berangkat dari kondisi tersebut, studi ini bertujuan untuk memproyeksikan beban PKV di Indonesia pada periode 2025 hingga 2045, mencakup mortalitas, prevalensi, insiden, dan DALYs, beserta faktor risiko yang menyertainya. Hasil studi ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai tantangan yang akan dihadapi dan memberikan rekomendasi yang relevan bagi pengambilan kebijakan di masa depan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain kuantitatif non-eksperimental dengan memanfaatkan data sekunder yang berasal dari *Global Burden of Disease (GBD) Study* 2021 yang dilakukan oleh *Institut Health Metrics and Evaluation*. Data yang diambil merupakan data dari 34 provinsi di Indonesia antara tahun 1990 hingga 2021 menggunakan dataset yang dapat diakses publik.

Variabel yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah Proyeksi Beban PKV yang terdiri dari: Mortalitas, DALYs, Prevalensi, Insiden, Biaya. Dalam pemodelan proyeksi beban PKV mempertimbangkan faktor risiko PKV yang terdiri dari: Indeks Masa Tubuh Tinggi, Tekanan Darah Sistolik Tinggi, Glukosa Plasma Puasa Tinggi, Hiperkolesterolemia, Disfungsi Ginjal, Merokok, Pola Makan, Aktivitas Fisik, Polusi Udara, dan Suhu Tidak Optimal.

Proyeksi beban PKV pada penelitian ini menggunakan metode ARIMA (*autoregressive*

*integrated moving average*), GAM (*Generalized Additive Model*) dan Prophet. Metode terbaik dengan *error* terkecil digunakan untuk melakukan proyeksi beban PKV hingga tahun 2045 dievaluasi menggunakan metode *rolling cross validation*.

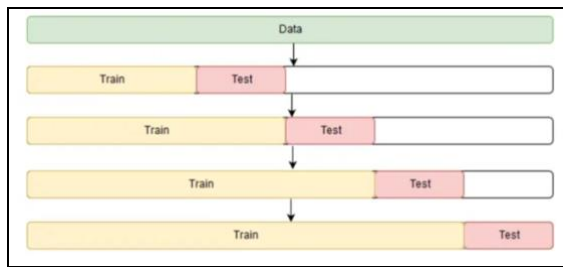
ARIMA merupakan metode prediksi runtun waktu yang terdiri dari tiga komponen utama yaitu autoregresi, diferensiasi, dan rata-rata bergerak.<sup>9</sup> Metode ARIMA telah banyak digunakan untuk memprediksi berbagai kasus dalam dunia kesehatan. Diantaranya penelitian telah dilakukan oleh Liu *et al*<sup>10</sup> memprediksi jumlah kasus demam berdarah dengan sindrom ginjal (*hemorrhagic fever with renal syndrome*) di China, Tosepu dan Ningsi<sup>11</sup> memperkirakan jumlah kejadian diare di Sulawesi menggunakan metode ARIMA.

Metode GAM merupakan pengembangan dari model regresi linier yang didasarkan pada GLM (*Generalized Linear Model*) dan model aditif. GAM dikenal fleksibel karena variabel prediktornya dapat berbentuk linear maupun non-linear serta dapat diterapkan pada data dengan berbagai jenis distribusi data.<sup>12</sup> GAM menggunakan pendekatan non-parametrik yang tidak menetapkan asumsi terhadap hubungan antara variabel respon dan prediktor.<sup>13</sup> Metode Generalized Additive Model (GAM) telah banyak diaplikasikan dalam penelitian di bidang kesehatan, sebagaimana ditunjukkan oleh studi Teng *et al*<sup>14</sup> yang memprediksi jumlah penderita Penyakit Paru Obstruktif Kronis di China serta penelitian Mellor *et al*<sup>15</sup> yang memprediksi jumlah pasien rawat inap akibat infeksi virus influenza pada tingkat sub-regional di Inggris.

Prophet adalah algoritma peramalan yang dikembangkan oleh Meta. Model ini menggunakan pendekatan regresi aditif, yaitu dengan mengenali pola, musiman, dan hari libur, lalu menggabungkannya untuk meningkatkan akurasi prediksi. Prophet mengombinasikan algoritma non-linear dan linear, serta memanfaatkan waktu sebagai variabel prediktor utama.<sup>16,17</sup> Metode Prophet telah digunakan dalam dunia penelitian kesehatan diantaranya dalam penelitian oleh Aditya Satrio *et al*<sup>18</sup> yang melakukan prediksi angka kasus baru, kematian dan kesembuhan akibat Covid-19 di Indonesia dan penelitian oleh Borges and Nascimento<sup>19</sup> yang melakukan peramalan kebutuhan ICU akibat Covid-19 dengan mempertimbangkan tingkat vaksinasi, intervensi non-farmasi, indeks isolasi sosial, serta tingkat okupansi tempat tidur rumah sakit di Brazil.

Guna mengukur performa metode proyeksi, evaluasi metode proyeksi dilakukan dengan pendekatan *rolling cross validation* yaitu melakukan pembagian data menjadi data *training* dan *testing* secara bergantian, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1.

Pada penelitian ini, pembagian data *training* dan *testing* didasarkan pada periode data GBD Study dari tahun 1990-2021 dengan rasio mendekati 80:20, sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 1.



**Gambar 1. Ilustrasi Pembagian Data Training dan Testing**

**Tabel 1. Pembagian Data Trainig dan Testing**

| Lipatan | Training  | Testing   |
|---------|-----------|-----------|
| 1       | 1990-2013 | 2014-2019 |
| 2       | 1990-2014 | 2015-2020 |
| 3       | 1990-2015 | 2016-2021 |

Selanjutnya RMSE (*Root Mean Square Error*) data testing dihitung tiap lipatan (*fold*). Metode terbaik dipilih berdasarkan rata-rata RMSE yang memiliki nilai terkecil.

## HASIL

### 1. Tren Beban Penyakit Kardiovaskular di Indonesia

Tren beban PKV di Indonesia pada periode 1990–2021, yang diukur per 100.000 penduduk dan disajikan sebagai angka kasar (*crude rate*) maupun umur baku (*age-standardized rate*), secara umum menunjukkan peningkatan pada mortalitas, prevalensi, insidensi, dan DALYs pada tingkat populasi (Gambar 2). Namun, ketika dilihat berdasarkan umur baku, pola kenaikannya tampak lebih moderat; beberapa indikator bahkan mencapai puncak sekitar 2010 dan kemudian cenderung menurun. Perbedaan antara angka kasar dan umur baku ini mengindikasikan bahwa kenaikan beban absolut PKV terutama dipengaruhi oleh perubahan struktur umur penduduk, sementara risiko mendasar dalam populasi yang telah disesuaikan umur mulai menunjukkan perbaikan.

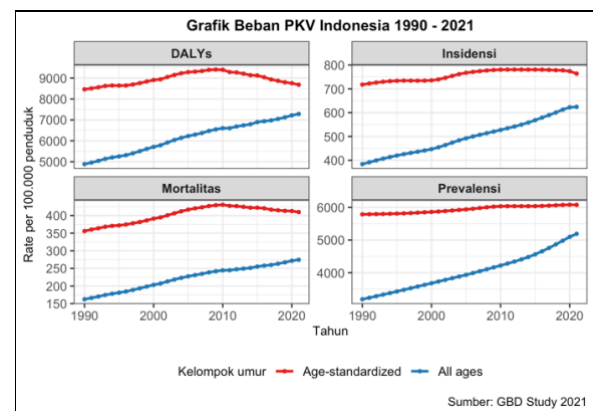
### 2. Evaluasi Metode Proyeksi Beban PKV

Evaluasi Metode Proyeksi Beban PKV dilakukan dengan pendekatan *rolling cross validation* dengan melakukan pembagian data menjadi *data training* dan *testing* secara bergulir dalam 3 lipatan (tabel 1). Selanjutnya RMSE *data testing* dihitung tiap lipatan dan metode terbaik dipilih berdasarkan rata-rata RMSE yang memiliki nilai terkecil (Tabel 2).

Proyeksi beban PKV pada tabel 3 menunjukkan bahwa laju mortalitas per 100.000 penduduk diperkirakan meningkat dari 2670,5 pada tahun 2025 menjadi 347,1 pada tahun 2045 (+28,32%). Namun, jika disesuaikan menurut umur

baku laju mortalitas menurun sebesar 0,2% dari 422,1 menjadi 421,3 per 100.000 penduduk. Laju Prevalensi meningkat 5622,3 menjadi 7993,3 (+41,10%), maupun secara *age standardized* dari 6110,8 menjadi 6250,5 (+ 2,29%).

Laju Insidensi diperkirakan meningkat dari 674,5 menjadi 899,2 per 100.000 penduduk (+33,32%), secara *age standardized* naik sebesar 7.02% dari 775,5 menjadi 767,1 per 100.000 penduduk. Adapun DALYs meningkat dari 7230,1 menjadi 8843,9 (+22,32%), sementara secara *age standardized rate* menurun 3,38% dari 9060,2 menjadi 8754,0 per 100.000 penduduk pada tahun 2045.



**Gambar 2. Grafik Beban PKV di Indonesia 1990 – 2021**

Temuan pada Tabel 3 menunjukkan peningkatan *crude rate* pada semua indikator mengindikasikan bahwa beban PKV secara absolut di fasilitas kesehatan akan meningkat drastis. Hal ini kemungkinan didorong oleh pertumbuhan dan penuaan populasi (struktur demografi). Perbaikan sebagian beban pada usia baku (mortalitas dan DALYs) mengindikasikan bahwa jika faktor struktur umur dihilangkan, sebenarnya terdapat perbaikan dalam penanganan atau pencegahan PKV yang fatal. Namun, perbaikan ini belum cukup, karena laju insidensi dan prevalensi usia baku masih terus meningkat.

**Tabel 3. Hasil Proyeksi Beban PKV**

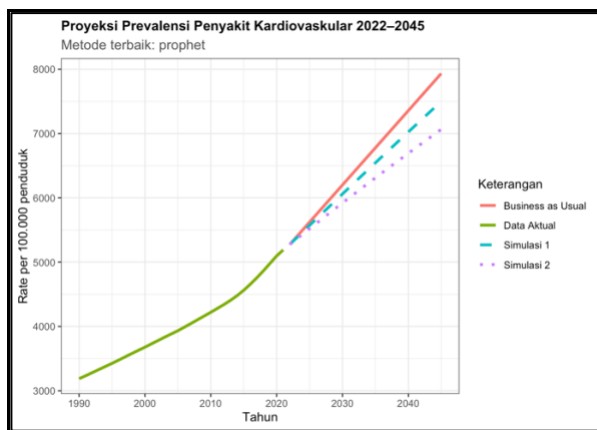
|                   | Crude Rate |        | Diff.  | Age-Std Rates |        | Diff.  |
|-------------------|------------|--------|--------|---------------|--------|--------|
|                   | 2025       | 2050   |        | 2025          | 2050   |        |
| <b>Mortalitas</b> |            |        |        |               |        |        |
|                   | 270.5      | 347.1  | 28.32% | 422.1         | 421.3  | -0.20% |
| <b>Prevalensi</b> |            |        |        |               |        |        |
|                   | 5622.3     | 7993.3 | 41.10% | 6110.8        | 6250.5 | 2.29%  |
| <b>Insiden</b>    |            |        |        |               |        |        |
|                   | 674.5      | 899.2  | 33.32% | 788.4         | 843.7  | 7.02%  |
| <b>DALYs</b>      |            |        |        |               |        |        |
|                   | 7230.1     | 8843.9 | 22.32% | 9060.2        | 8754.0 | -3.38% |

Tabel 2. Evaluasi Metode Proyeksi Beban PKV

| Beban PKV  | Kelompok Usia | RMSE ARIMA    | RMSE GAM     | RMSE PROPHET | Faktor Risiko                                                                                                                          |
|------------|---------------|---------------|--------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mortalitas | Semua Usia    | <b>2.89</b>   | 8.04         | 10.61        | -                                                                                                                                      |
| Mortalitas | Usia Baku     | <b>4.21</b>   | 14.96        | 11.33        | -                                                                                                                                      |
|            |               |               |              |              | Glukosa Plasma Puasa Tinggi, Tekanan Darah Sistolik Tinggi, Pola Makan, Aktivitas Fisik Rendah, Kolesterol LDL Tinggi dan Polusi Udara |
| Insidensi  | Semua Usia    | 8.42          | <b>3.36</b>  | 24.17        | -                                                                                                                                      |
| Insidensi  | Usia Baku     | <b>11.85</b>  | 12.03        | 15.97        | -                                                                                                                                      |
|            |               |               |              |              | Tekanan Darah Sistolik Tinggi, Gangguan Ginjal dan Polusi Udara                                                                        |
| Prevalensi | Semua Usia    | 85.42         | 117.73       | <b>71.33</b> | -                                                                                                                                      |
|            |               |               |              |              | Tekanan Darah Sistolik Tinggi, Gangguan Ginjal dan Polusi Udara                                                                        |
| Prevalensi | Usia Baku     | 20.93         | <b>12.42</b> | 21.36        | -                                                                                                                                      |
| DALYs      | Semua Usia    | <b>60.25</b>  | 277.96       | 299.48       | -                                                                                                                                      |
| DALYs      | Usia Baku     | <b>141.71</b> | 355.59       | 239.08       | -                                                                                                                                      |

### 3. Simulasi Penurunan Faktor Risiko terhadap Proyeksi Beban PKV

Hasil proyeksi menggunakan model Prophet menunjukkan bahwa prevalensi PKV di Indonesia akan terus meningkat dari tahun 2022 hingga 2045 apabila tidak ada intervensi terhadap faktor risiko utama. Simulasi dilakukan dengan memanfaatkan fitur regressor tambahan pada model Prophet. Model Prophet memungkinkan pelibatan faktor risiko sebagai variabel eksternal. Skenario 'Business as Usual' (Garis Merah) dibuat menggunakan proyeksi nilai SEV historis. Sementara 'Simulasi 1' (Garis Biru) dan 'Simulasi 2' (Garis Ungu) dibuat dengan memodifikasi input SEV untuk ketiga faktor risiko (Tekanan Darah Sistolik Tinggi, Disfungsi Ginjal, Polusi Udara) pada tahun 2022-2045 yang nilainya diturunkan secara gradual hingga mencapai target total 5% dan 10% pada tahun 2045.



Gambar 3. Proyeksi Prevalensi PKV dengan Simulasi Penurunan Faktor Risiko 2022-2045

Pada Simulasi 1, SEV diturunkan secara bertahap hingga mencapai 95% pada tahun 2045. Angka prevalensi PKV pada tahun 2045 diperkirakan turun menjadi 7.499 per 100.000 penduduk, atau lebih rendah sekitar 434 kasus dibandingkan skenario tanpa intervensi. Sementara itu, Simulasi 2 yang menerapkan penurunan SEV hingga 90% menunjukkan dampak yang lebih signifikan. Prevalensi PKV pada tahun 2045 diproyeksikan turun menjadi 7.065 per 100.000 penduduk. Dibandingkan skenario *business as usual*, ini berarti terdapat pengurangan sebesar 868 kasus per 100.000 penduduk, menunjukkan bahwa semakin besar penurunan eksposur terhadap faktor risiko, semakin besar pula dampak pencegahan yang dihasilkan.

## PEMBAHASAN

### 1. Proyeksi Beban PKV hingga tahun 2045

Penelitian ini memproyeksikan beban PKV di Indonesia dengan pendekatan metode runtun waktu klasik serta *machine learning* (ARIMA, GAM, Prophet) dan mengeksplorasi faktor-faktor risiko PKV berdasarkan kelompok usia baku dan semua usia. Peneliti melakukan perbandingan hasil penelitian pada kelompok umur baku dengan tren negara lain pada regional Asia. Hal ini dilakukan karena karakteristik populasi negara Asia berbeda dengan karakteristik populasi negara barat.<sup>20</sup> Sebagai pembandingan dipilih dua negara dengan tingkat pendapatan berbeda berdasarkan klasifikasi Bank Dunia. China dipilih sebagai negara berpendapatan menengah atas (*upper-middle income*) yang sama seperti Indonesia, dan Singapura sebagai negara berpendapatan tinggi (*high income*).<sup>21</sup>

Berdasarkan hasil penelitian, Laju mortalitas semua usia diproyeksikan menggunakan metode

ARIMA meningkat 28% dari 270,5 menjadi 347,1 per 100.000 penduduk antara tahun 2025 hingga 2045. Laju mortalitas kelompok usia baku yang juga diproyeksikan menggunakan metode ARIMA cenderung stagnan dari 422 kasus per 100.000 penduduk pada tahun 2025 menjadi 421 pada tahun 2045. Sebagai perbandingan, dalam kurun waktu dua dekade sebelumnya (2001–2021) Singapura berhasil menurunkan angka kematian akibat PKV berdasarkan kelompok usia baku dari 190 menjadi 76 per 100.000 penduduk (-60%), sedangkan China menurun dari 385 menjadi 280 per 100.000 penduduk (-27,3%). Sementara itu, Indonesia mengalami peningkatan dari 395 menjadi 410 per 100.000 (+3,8%) pada periode yang sama.

Proyeksi laju prevalensi pada kelompok semua usia menggunakan metode GAM meningkat dari 5.622 per 100.000 penduduk pada tahun 2025 menjadi 7.933 per 100.000 penduduk pada tahun 2045. Faktor risiko dalam pemodelan ini adalah tekanan darah sistolik tinggi, disfungsi ginjal, dan polusi udara. Hal ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Goh *et al.*, Deferrari *et al.*, dan Franklin *et al.*<sup>7,22,23</sup>

Prevalensi kelompok usia baku diproyeksikan menggunakan metode Prophet meningkat 2.29% dari 6.110 per 100.000 penduduk pada tahun 2025 menjadi 6.250 per 100.000 pada tahun 2045. Faktor risiko dalam pemodelan ini adalah obesitas, disfungsi ginjal, dan polusi udara. Hal ini sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Goh *et al.*, Deferrari *et al.*, dan Franklin *et al.*<sup>7,22,23</sup> Sebagai perbandingan, dalam periode 2001–2021 Singapura berhasil menurunkan prevalensi PKV pada kelompok usia baku dari 5.122 menjadi 4.580 per 100.000 penduduk (-10,6%), sedangkan China mengalami peningkatan dari 6.199 menjadi 6.604 (+6,5%). Di sisi lain, Indonesia mengalami kenaikan dari 5.872 menjadi 6.077 (+3,5%) pada periode yang sama.

Proyeksi laju insiden pada kelompok semua usia juga meningkat dari 674 menjadi 899 kasus per 100.000 penduduk. Metode yang digunakan adalah GAM yang mengindikasikan hubungan non-linear antara insiden dengan faktor risiko seperti glukosa darah tinggi, tekanan darah tinggi, diet tidak sehat, kolesterol LDL tinggi, dan polusi udara. Insiden kelompok usia baku diperkirakan meningkat 7.02% dari 788 menjadi 843 per 100.000 penduduk pada tahun 2045. Hal ini berbalikan dengan penurunan insiden kelompok usia baku di Singapura dari 567 menjadi 429 per 100.000 penduduk (-24,3%) antara 2001 hingga 2021. China juga menunjukkan penurunan ringan dari 820 menjadi 812 per 100.000 (-1%), sedangkan Indonesia pada periode yang sama justru mengalami kenaikan dari 739 menjadi 764 per 100.000 (+3,4%).

Proyeksi laju DALYs pada kelompok semua usia juga meningkat dari 7.230 per 100.000 penduduk pada tahun 2025 menjadi 8.843 per 100.000 penduduk pada tahun 2045. Angka ini menandakan terdapat

meningkatnya jumlah tahun hidup yang hilang akibat kematian dini dan disabilitas akibat PKV. DALYs kelompok usia baku (*age-standardized*) diperkirakan menurun 3.38% dari 9.060 per 100.000 penduduk pada tahun 2025 menjadi 8.753 per 100.000 pada tahun 2045. Penurunan tersebut belum sebanding dengan penurunan DALYs dalam dua dekade sebelumnya di Singapura dari 4.058 menjadi 1.731 per 100.000 penduduk (-57,3%), dan China dari 7.221 menjadi 5.120 per 100.000 penduduk (-29,1%). Sedangkan Indonesia hanya mengalami penurunan kecil dari 8.939 menjadi 8.680 (-2,9%) pada periode yang sama.

## 2. Pemilihan Metode Pemodelan dan Keterkaitannya dengan Ketersediaan Data (Data Availability)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada (Tabel 2), Metode ARIMA lebih banyak memberikan performa yang lebih baik dibanding metode GAM dan Prophet. Padahal metode GAM dan Prophet mengakomodasi faktor risiko yang berpengaruh terhadap PKV berdasarkan literatur yang telah dijelaskan pada telaah pustaka. Fenomena ini membuka ruang diskusi mengenai metode yang digunakan terhadap kualitas serta struktur data GBD Study yang menjadi basis analisis dalam penelitian ini.

GBD Study menyediakan data beban penyakit dan faktor risiko dengan menggabungkan data primer yang tersedia dengan estimasi statistik dari model global, regional, dan subnasional yang bersumber dari registrasi vital, autopsi verbal, data registri, survei, kepolisian, atau sistem surveilans di seluruh negara dan wilayah.<sup>24</sup>

Mboi *et al.*<sup>25</sup> sebagai kolaborator GBD Study subnasional Indonesia telah menyajikan estimasi beban penyakit pada tahun 1990 - 2019 di tingkat nasional dan provinsi. Estimasi tersebut menggunakan berbagai data primer seperti 317 *location-years* untuk data penyebab kematian spesifik di Indonesia. Namun dengan 286 penyebab kematian selama 30 tahun dan meliputi 34 wilayah seharusnya dibutuhkan 8580 *location-years* untuk tingkat nasional dan 291.720 *location-years* untuk tingkat subnasional agar data dapat dikatakan lengkap. Tingkat kelengkapan data hanya berkisar antara 3,7% hingga 9,6% pada level nasional, dan antara 0,4% hingga 2,0% pada level subnasional untuk data faktor risiko, penyebab kematian, dan penyakit non-fatal.<sup>26</sup>

Rendahnya kelengkapan data tersebut menunjukkan adanya celah ketersediaan data dalam sistem kesehatan Indonesia yang digunakan pada GBD Study baik secara spasial yang membuat tidak semua provinsi terwakili, tetapi juga secara temporal yang menggambarkan dengan data tidak tersedia pada setiap tahun.

Sebagaimana dijelaskan oleh Vos *et al.*<sup>27</sup>, ketergantungan pada hasil estimasi model GBD Study

meningkat ketika data primer terbatas, sehingga akurasi hasil sangat bergantung pada validitas prediksi dari model statistik yang digunakan dalam penyusunan estimasi data GBD study. Dalam konteks penelitian ini, ARIMA lebih sering menghasilkan performa terbaik dalam memproyeksikan beban PKV dibandingkan GAM dan Prophet yang berbasis faktor risiko. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur data GBD Study yang telah melalui proses imputasi dan pemulusan lebih sesuai dimodelkan menggunakan pendekatan statistik yang mengasumsikan kestasioneran dan kestabilan pola historis.

Model ARIMA mampu memberikan estimasi jangka pendek yang akurat pada fase ketika tren data telah stabil, dengan syarat memiliki jumlah observasi historis yang setidaknya 16 hingga 20 titik data.<sup>28</sup> Sebaliknya, meskipun dalam beberapa studi GAM terbukti unggul dibanding Prophet dan ARIMA dalam memodelkan dinamika penyakit baik pada skala nasional dan lokal, performanya sangat dipengaruhi oleh kemampuan fungsi smoothing dalam menyesuaikan diri terhadap pola tren epidemi secara fleksibel.<sup>15</sup>

Temuan ini memiliki implikasi praktis bagi penguatan sistem informasi kesehatan nasional. Ketergantungan pada data GBD yang sebagian besar terimputasi menunjukkan urgensi perbaikan sistem surveilans penyakit tidak menular di Indonesia. Agar proyeksi di masa depan lebih akurat dan intervensi lebih tepat sasaran, Indonesia perlu memperkuat registri penyakit, meningkatkan kelengkapan *vital registration*, dan mengintegrasikan data layanan BPJS dengan data survei kesehatan secara longitudinal.

### 3. Pengaruh Faktor Risiko dan Simulasi Intervensi

Hasil proyeksi beban PKV di Indonesia akan meningkat signifikan dari tahun 2022 hingga 2045 apabila tidak ada intervensi terhadap faktor risikonya. Simulasi penurunan nilai *Summary Exposure Value (SEV)* secara bertahap terhadap ketiga faktor risiko tersebut menunjukkan dampak pencegahan yang bermakna. Pada Simulasi 1, penurunan SEV sebesar 5% pada tahun 2045 dapat menurunkan angka prevalensi menjadi 7.499 per 100.000 penduduk, atau berkurang 434 kasus dibandingkan skenario tanpa intervensi. Sedangkan pada Simulasi 2 dengan target penurunan SEV sebesar 10%, prevalensi dapat ditekan hingga 7.065 per 100.000 penduduk, menunjukkan pengurangan sebesar 868 kasus.

Di sisi kebijakan, pemerintah Indonesia telah mengupayakan berbagai program untuk menanggulangi Penyakit Tidak Menular (PTM). Sejak implementasi *Universal Health Coverage (UHC)* pada tahun 2014 melalui BPJS Kesehatan, sistem ini telah mencakup lebih dari 279 juta penduduk dan memberikan akses terhadap layanan promotif dan preventif, termasuk pengelolaan penyakit kronis seperti hipertensi dan diabetes yang merupakan komorbid utama dalam PKV.<sup>29</sup>

Salah satu program yang mendukung upaya ini adalah Program Pengelolaan Penyakit Kronis (Prolanis). Prolanis ditujukan untuk pengendalian faktor risiko penyakit kronis secara berkelanjutan di fasilitas kesehatan tingkat pertama. Namun pada pelaksanaannya program ini masih menghadapi keterbatasan dalam hal prosedur operasional standar, sumber daya, dan pendanaan.<sup>30</sup>

Terdapat juga kebijakan seperti pencantuman informasi gizi pada makanan olahan sejak 2013, pembentukan Komite Nasional Penanggulangan Penyakit Kardiovaskular pada 2016, dan peluncuran program Cek Kesehatan Gratis pada tahun 2025.<sup>31</sup> Hal ini sudah menunjukkan adanya kebijakan yang mendukung deteksi dini dan pengendalian faktor risiko PKV.

Meskipun berbagai program telah tersedia, tren peningkatan prevalensi PKV yang telah terjadi (1990-2021) dan hasil proyeksi penelitian ini mengindikasikan bahwa implementasi intervensi terhadap faktor risiko masih belum optimal. Proyeksi yang dilakukan mengkonfirmasi bahwa program seperti Prolanis dan skrining hipertensi belum mampu membendung laju penyakit. Sebagai contoh, data menunjukkan bahwa dari sekitar 34% penduduk yang mengalami hipertensi, hanya 18,1% yang patuh menjalani terapi antihipertensi secara medis.<sup>31</sup> Kegagalan dalam kepatuhan dan cakupan intervensi inilah yang jika dibiarkan akan merealisasikan skenario *'Business as Usual'*.

Oleh karena itu, hasil proyeksi ini semakin menegaskan pentingnya memperkuat pelaksanaan kebijakan yang sudah ada, sekaligus mendorong kerja sama lintas sektor agar penanganan PKV bisa lebih efektif dan menyeluruh. Secara praktis, temuan ini dapat mendukung agenda Transformasi Kesehatan Kementerian Kesehatan. Proyeksi peningkatan prevalensi dan insidensi menegaskan perlunya penguatan pilar pertama (layanan primer) melalui deteksi dini faktor risiko di Puskesmas. Simulasi kami (Gambar 3) membuktikan bahwa intervensi populasi (Simulasi 2) yang menargetkan faktor risiko kunci seperti hipertensi dan polusi udara dapat secara signifikan mengurangi beban penyakit di masa depan, sejalan dengan fokus pada pilar promotif-preventif.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Beban penyakit kardiovaskular (PKV) di Indonesia, terutama pada laju *crude rate* mortalitas, prevalensi, insidensi, dan DALYs, diperkirakan akan terus meningkat signifikan hingga tahun 2045. Meskipun begitu, laju *age-standardized* untuk mortalitas dan DALYs diproyeksikan sedikit menurun, menunjukkan adanya potensi perbaikan penanganan jika faktor penuaan populasi distandarisasi.

2. Simulasi penurunan faktor risiko (Tekanan Darah Sistolik Tinggi, Disfungsi Ginjal, Polusi Udara) memiliki potensi signifikan untuk menurunkan beban prevalensi PKV. Namun, proyeksi yang tetap meningkat ini mengindikasikan bahwa program pemerintah yang ada, seperti UHC dan Prolanis, pelaksanaannya belum optimal dalam mengendalikan faktor risiko di populasi.
3. Terdapat keterbatasan ketersediaan data primer dalam GBD Study. Struktur data GBD yang telah melalui proses imputasi dan penghalusan ini ditemukan lebih cocok dimodelkan menggunakan pendekatan statistik klasik (ARIMA) dibandingkan model berbasis faktor risiko (GAM/Prophet)

Dengan beberapa rekomendasi sebagai berikut:

1. Kebijakan kesehatan harus memprioritaskan pengendalian faktor risiko penyakit kardiovaskular.
2. Optimalisasi program yang sudah ada di layanan primer, dengan fokus khusus pada peningkatan kepatuhan pengobatan untuk mencegah skenario *business as usual*.
3. Mendorong penguatan sistem informasi kesehatan dan registri PTM nasional untuk menghasilkan data primer yang lebih lengkap dan reliabel, sehingga mengurangi ketergantungan pada data estimasi GBD untuk perencanaan kebijakan

## KEPUSTAKAAN

1. Roth GA, Mensah GA, Johnson CO, *et al*. Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors, 1990-2019: Update From the GBD 2019 Study. *J Am Coll Cardiol*. 2020;76(25):2982-3021. doi:10.1016/j.jacc.2020.11.010
2. Maharani A, Tampubolon G. Unmet needs for cardiovascular care in Indonesia. *PLoS ONE*. 2014;9(8). doi:10.1371/journal.pone.0105831
3. Harmadha WSP, Muharram FR, Gaspar RS, *et al*. Explaining the increase of incidence and mortality from cardiovascular disease in Indonesia: A global burden of disease study analysis (2000–2019). *PLoS ONE*. 2023;18(12 December). doi:10.1371/journal.pone.0294128
4. Adisasmito W, Amir V, Atin A, Megraini A, Kusuma D. Geographic and socioeconomic disparity in cardiovascular risk factors in Indonesia: Analysis of the basic health research 2018. *BMC Public Health*. 2020;20. doi:10.1186/s12889-020-09099-1
5. Kemenkes BKPK. *Survei Kesehatan Indonesia (SKI) 2023 Dalam Angka*. Kementerian Kesehatan Badan Kebijakan Pembangunan Kesehatan; 2023.
6. Baicker K, Chandra A. Evidence-Based Health Policy. *N Engl J Med*. 2017;377(25):2413-2415. doi:10.1056/nejmp1709816
7. Goh RSJ, Chong B, Jayabaskaran J, *et al*. The burden of cardiovascular disease in Asia from 2025 to 2050: a forecast analysis for East Asia, South Asia, South-East Asia, Central Asia, and high-income Asia Pacific regions. *Lancet Reg Health - West Pac*. 2024;49. doi:10.1016/j.lanwpc.2024.101138
8. Wahidin M, Achadi A, Besral B, *et al*. Projection of diabetes morbidity and mortality till 2045 in Indonesia based on risk factors and NCD prevention and control programs. *Sci Rep*. 2024;14(1). doi:10.1038/s41598-024-54563-2
9. Mbonyinshuti F, Nkurunziza J, Niyobuhungiro J, Kayitare E. Health supply chain forecasting: a comparison of ARIMA and LSTM time series models for demand prediction of medicines. *Acta Logist*. 2024;11(02):269-280. doi:10.22306/al.v11i2.510
10. Liu Q, Liu X, Jiang B, Yang W. Forecasting incidence of hemorrhagic fever with renal syndrome in China using ARIMA model. *BMC Infect Dis*. 2011;11:218. doi:10.1186/1471-2334-11-218
11. Tosepu R, Ningsi NY. Forecasting of diarrhea disease using ARIMA model in Kendari City, Southeast Sulawesi Province, Indonesia. *Heliyon*. 2024;10(22):e40247. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e40247
12. Hastie T, Tibshirani R. Generalized additive models for medical research. *Stat Methods Med Res*. 1995;4(3):187-196. doi:10.1177/096228029500400302
13. Xiao D, Wu K, Tan X, *et al*. Modeling and predicting hemorrhagic fever with renal syndrome trends based on meteorological factors in Hu County, China. *PLoS One*. 2015;10(4):e0123166. doi:10.1371/journal.pone.0123166
14. Teng Y, Jian Y, Chen X, Li Y, Han B, Wang L. Comparison of Three Prediction Models for Predicting Chronic Obstructive Pulmonary Disease in

- China. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2023;18:2961-2969. doi:10.2147/COPD.S431115
15. Mellor J, Christie R, Overton CE, *et al*. Forecasting influenza hospital admissions within English sub-regions using hierarchical generalised additive models. *Commun Med*. 2023;3(1):190. doi:10.1038/s43856-023-00424-4
16. Ali Hussein H, M. E. Mahmoud M, A. Eisa H. Performance Evaluation of ARIMA and FB-Prophet Forecasting Methods in the Context of Endemic Diseases: A Case Study of Gedaref State in Sudan. *EAI Endorsed Trans Smart Cities*. 2023;7(2):e1. doi:10.4108/eetsc.v7i2.3023
17. Chang V, Akpomedaye O, Jesus V, Xu Q, Hall K, Ganatra M. Forecasting of COVID-19 Pandemic Using ARIMA and Fb-Prophet Models: UK Case Study: In: *Proceedings of the 8th International Conference on Complexity, Future Information Systems and Risk*. SCITEPRESS - Science and Technology Publications; 2023:85-93. doi:10.5220/0011990300003485
18. Aditya Satrio CB, Darmawan W, Nadia BU, Hanafiah N. Time series analysis and forecasting of coronavirus disease in Indonesia using ARIMA model and PROPHET. *Procedia Comput Sci*. 2021;179:524-532. doi:10.1016/j.procs.2021.01.036
19. Borges D, Nascimento MCV. COVID-19 ICU demand forecasting: A two-stage Prophet-LSTM approach. *Appl Soft Comput*. 2022;125:109181. doi:10.1016/j.asoc.2022.109181
20. Dalakoti M, Lin NHY, Yap J, *et al*. Primary Prevention of Cardiovascular Disease in Asia: Opportunities and Solutions. *JACC Adv*. 2025;4(4):101676. doi:10.1016/j.jacadv.2025.101676
21. World Bank. World Bank income groups. Published online 2024. Accessed June 26, 2025. <https://ourworldindata.org/grapher/world-bank-income-groups>
22. Deferrari G, Cipriani A, La Porta E. Renal dysfunction in cardiovascular diseases and its consequences. *J Nephrol*. 2021;34(1):137-153. doi:10.1007/s40620-020-00842-w
23. Franklin BA, Brook R, Arden Pope C. Air pollution and cardiovascular disease. *Curr Probl Cardiol*. 2015;40(5):207-238. doi:10.1016/j.cpcardiol.2015.01.003
24. Ferrari AJ, Santomauro DF, Aali A, *et al*. Global incidence, prevalence, years lived with disability (YLDs), disability-adjusted life-years (DALYs), and healthy life expectancy (HALE) for 371 diseases and injuries in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet*. 2024;403(10440):2133-2161. doi:10.1016/S0140-6736(24)00757-8
25. Mboi N, Syailendrawati R, Ostroff SM, *et al*. The state of health in Indonesia's provinces, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Glob Health*. 2022;10(11):e1632-e1645. doi:10.1016/S2214-109X(22)00371-0
26. Maher CG, Ferreira G, Jones C. Global Burden of Disease data for Indonesia. *Lancet Glob Health*. 2023;11(3):e335. doi:10.1016/S2214-109X(23)00005-0
27. Vos T, Lim SS, Abbafati C, *et al*. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*. 2020;396(10258):1204-1222. doi:10.1016/S0140-6736(20)30925-9
28. Christodoulos C, Michalakelis C, Varoutas D. Forecasting with limited data: Combining ARIMA and diffusion models. *Technol Forecast Soc Change*. 2010;77(4):558-565. doi:10.1016/j.techfore.2010.01.009
29. Agustina R, Dartanto T, Sitompul R, *et al*. Universal health coverage in Indonesia: concept, progress, and challenges. *Lancet Lond Engl*. 2019;393(10166):75-102. doi:10.1016/S0140-6736(18)31647-7
30. Rachmawati S, Prihhastuti-Puspitasari H, Zairina E. The implementation of a chronic disease management program (Prolanis) in Indonesia: a literature review. *J Basic Clin Physiol Pharmacol*. 2019;30(6):/j/jbcpp.2019.30.issue-6/jbcpp-2019-0350/jbcpp-2019-0350.xml. doi:10.1515/jbcpp-2019-0350
31. Santoso A, Citraningtyas T, Viora E, *et al*. Towards integrated cardiovascular and mental health management in primary health care in Indonesia: a policy outlook. *Lancet Reg Health - Southeast Asia*. 2025;37:100605. doi:10.1016/j.lansea.2025.100605