

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejak tahun 1930-an, istilah “*silent killer*” atau “pembunuh senyap” digunakan untuk merujuk pada penyakit-penyakit berbahaya yang mengancam jiwa dengan ciri utamanya adalah kemampuan untuk berkembang dan memburuk tanpa gejala yang tampak (Setianto, 2024). Penyakit diabetes melitus sering disebut dengan “*silent killer*” karena penyakit ini berpengaruh pada semua organ tubuh dan dapat menyebabkan berbagai keluhan (Udayani & Meriyani, 2016). Keluhan yang dialami seperti keluhan pada mata, katarak, jantung, ginjal, impotensi seksual, luka yang sulit sembuh, infeksi paru-paru, gangguan pembuluh darah, dan *stroke* (Trisnawati & Setyorogo, 2013). Hal ini menunjukkan bahwa penyakit DM merupakan kelainan metabolik kronis yang memiliki pengaruh signifikan terhadap kesehatan seseorang, kualitas hidup, harapan hidup pasien, dan sistem pelayanan kesehatan (Abraham & San, 2015). Salah satu gejala utama yang terkait dengan DM adalah meningkatnya kadar glukosa darah atau biasa dikenal dengan istilah hiperglikemia. Kondisi hiperglikemia dapat terjadi ketika terdapat gangguan sekresi insulin, kerja insulin, atau oleh keduanya (Rammang dkk., 2023).

Prevalensi DM terus mengalami peningkatan di dunia (Azis dkk., “dalam Haq dkk., 2024”). Menurut *International Diabetes Federation* (IDF), terdapat sekitar 536,6 juta orang di seluruh dunia yang menderita DM pada tahun 2021 dan angka ini diperkirakan akan meningkat menjadi 783,2 juta pada tahun 2045 (Hong dkk., 2021). Berdasarkan data *International Diabetes Foundation* (IDF) pada tahun 2021, Indonesia menempati urutan kelima jumlah penderita DM di dunia dengan jumlah kasus DM di Indonesia berada di angka 19,5 juta orang dan diprediksi akan terus meningkat hingga 28,5 juta pada tahun 2045 (Kautsar, 2024). Kasus DM di Indonesia umumnya meningkat di antara populasi yang lebih tua dan prevalensi DM pada kelompok lansia di Indonesia adalah 34,4% (Roglic, 2016).

Diabetes melitus memiliki dua tipe yaitu DM tipe 1 yang disebabkan oleh reaksi autoimun terhadap protein sel pankreas, kemudian DM tipe 2 yang disebabkan oleh kombinasi faktor genetik yang berhubungan dengan gangguan sekresi insulin, resistensi insulin, dan faktor lingkungan seperti obesitas, makan berlebihan, kurang olahraga, stress, serta penuaan (Ozougwu, 2013). Resistensi insulin adalah gangguan yang pertama kali teridentifikasi pada DM tipe 1 (Taylor, 2013). DM tipe 1 adalah suatu kondisi kronis di mana sistem kekebalan tubuh menyerang dan merusak sel-sel beta di pankreas yang menghasilkan insulin (Lestari dkk., 2021). Sementara itu, DM tipe 2 disebabkan oleh gangguan pada reseptor sel beta pankreas, sehingga insulin yang dihasilkan tidak dapat berfungsi secara efektif, seperti kurangnya kemampuan insulin dalam meningkatkan kadar pemecahan glukosa dalam darah (Alpian & Alfarizi, 2022).

Dinamika jumlah penderita DM dapat dilakukan tindakan untuk mencegah dan dikendalikan seperti menjalani gaya hidup sehat, pengobatan, dan memberikan insulin. Berdasarkan informasi dari Kemenkes (2016), 80% DM dapat dicegah atau dapat ditunda dengan tatalaksana pengobatan yang optimum serta dapat dikontrol. Menurut Ruslianti (dalam “Rismayanthi, 2015”), pengobatan DM harus dikelola melalui beberapa tahapan yang paling terkait. Pengelolaan DM ini meliputi edukasi, perencanaan makan, latihan jasmani, dan penggunaan obat-obatan baik oral maupun insulin. Adanya pengobatan dan perawatan yang tepat, kadar gula darah dapat dikendalikan dan mendekati normal (Sutandi, 2012).

Keterkaitan jumlah penderita DM, faktor genetik, dan perawatan dapat dimodelkan secara matematis. Pemodelan matematika merupakan salah satu metode untuk mengubah permasalahan nyata menjadi bentuk matematis (Yenni & Subhan, 2022). Model matematika adalah suatu penyederhanaan dan konstruksi matematis yang terkait dengan kenyataan serta dirancang untuk tujuan tertentu (Ndii, 2019).

Beberapa peneliti sebelumnya sudah melakukan pengembangan dari model matematika yang membahas tentang penyakit DM. Ardiansah & Kharis (2012),

mengkaji model matematika penyakit diabetes melitus tanpa faktor genetik dengan model epidemi *Susceptible, Exposed, and Infected* atau biasa dikenal dengan *SEI*. Abraham & San (2015), meneliti model matematika *SEI* namun menggunakan faktor genetik. Asmaidi & Suryanto (2017), meneliti model matematika *SEIR* pada penyakit DM dengan tidak menggunakan faktor genetik namun menggunakan pengobatan insulin. Asmaidi & Suryanto (2019), meneliti model *SEII_T* untuk DM, namun dipengaruhi oleh pengobatan dan faktor genetik. Side dkk., (2019), meneliti solusi numerik untuk diabetes melitus tanpa faktor genetik dengan pengobatan menggunakan metode Runge-Kutta. Fitriyah dkk., (2021), melakukan penelitian diabetes melitus menggunakan model matematika yang berbeda dengan peneliti sebelumnya yaitu *Susceptible, Exposed, Infected, and Infected with Treatment (SEII_T)*, dengan kelas subpopulasi *I* merupakan kelas yang tidak menerima pengobatan dan *I_T* yang menerima pengobatan. Nurazizah dkk., (2024), meneliti model matematika *Susceptible, Exposed, Infected, and Recovery (SEIR)* pada penyakit DM tipe 2 dengan tidak menggunakan faktor genetik.

Peneliti sebelumnya yaitu Fajri dkk., (2020), membahas model matematika DM *SEII_TR* dengan faktor insulin dan faktor perawatan. Model ini adalah pengembangan dari model *SEII_T* dan *SEIR*. Model *SEII_TR* dikategorikan dan didefinisikan subpopulasinya oleh Fajri dkk. Subpopulasi rentan *S* adalah individu yang belum pernah terpapar DM, subpopulasi terpapar *E* adalah individu yang memiliki kebiasaan hidup buruk, penurunan hormon insulin, dan peningkatan kadar glukosa darah sehingga hal ini dapat menyebabkan populasi tersebut kemungkinan besar akan menunjukkan gejala DM. Individu yang termasuk ke dalam subpopulasi terinfeksi *I* adalah individu yang sudah menderita DM tetapi tidak menerima pengobatan. Individu yang termasuk ke dalam subpopulasi *I_T* adalah individu yang sudah menderita DM dan sedang menerima pengobatan. Individu yang terinfeksi tanpa pengobatan *I* akan menjadi subpopulasi *R (recovery)* akibat pemberian insulin.

Penelitian sebelumnya mengembangkan model *SEII_TR* dengan mempertimbangkan faktor insulin dan perawatan, namun terdapat kekeliruan dalam

Gloria Angelica Abolla, 2025

MODEL MATEMATIKA DINAMIKA JUMLAH PENDERITA DIABETES MELITUS DENGAN PENGARUH POLA HIDUP DAN PERAWATAN BERDASARKAN FAKTOR RISIKO BIOLOGIS

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

asumsi model yang perlu diluruskan. Dalam model tersebut, transisi dari individu rentan (S) ke terpapar (E) dimungkinkan hanya melalui faktor genetik, padahal secara ilmiah, faktor genetik tidak cukup menyebabkan peningkatan kadar glukosa darah tanpa didukung oleh pola hidup yang buruk seperti diet tidak sehat, kurang aktivitas fisik, atau obesitas (Qin dkk., 2021). Faktor genetik dan pola hidup merupakan satu kesatuan yang saling berkaitan dan tidak dapat dipisahkan dalam memicu pradiabetes. Selain itu, terdapat inkonsistensi dalam penempatan parameter insulin, di mana insulin justru dihubungkan dengan individu yang tidak menerima pengobatan (I), sedangkan individu yang sedang menjalani perawatan (I_T) tidak dikaitkan secara eksplisit dengan pemberian insulin, yang secara medis seharusnya menjadi bagian utama dari proses pengobatan. Hal ini menunjukkan bahwa perlu adanya penyesuaian model untuk merepresentasikan dinamika DM secara lebih realistis.

Penelitian ini berfokus pada model matematika dinamika jumlah penderita DM dengan pengaruh perawatan dan faktor genetik. Model yang digunakan merupakan modifikasi dari peneliti sebelumnya. Model yang digunakan pada penelitian ini adalah *SEITR*. Perbedaan dengan peneliti sebelumnya terdapat pada model dan asumsi yang digunakan. Pada penelitian ini ditetapkan beberapa kompartemen untuk menganalisa model. Kemenkes (2021) menyatakan bahwa

Perlu diketahui bahwa penyakit diabetes tidak hanya disebabkan pola hidup yang kurang sehat. Tapi, diabetes juga bisa terjadi karena faktor keturunan, faktor usia, faktor komplikasi penyakit sehingga setiap orang berpotensi mengalami diabetes manakala diikuti dengan gaya hidup yang buruk seperti kurang aktivitas fisik, kegemukan, hipertensi, merokok, dan diet tidak seimbang.

Melalui pernyataan tersebut, penulis mengelompokkan individu yang menjadi subpopulasi *susceptible* (S) adalah individu yang rentan terkena penyakit DM. Subpopulasi *exposed* (E) adalah individu yang kadar gula darahnya meningkat (pradiabetes) akibat memiliki kombinasi pola hidup yang buruk, faktor genetik, komplikasi penyakit, faktor usia, faktor obesitas, penurunan hormon insulin, dan peningkatan glukosa darah (Nurazizah dkk., 2024).

Faktor genetik memiliki peran dalam menentukan kerentanan seseorang terhadap DM. Namun, keberadaan faktor genetik saja tidak serta-merta menyebabkan lonjakan kadar glukosa darah, perlu adanya gaya hidup yang buruk untuk memicu progresi dari rentan menjadi pradiabetes (Qin dkk., 2021). Meskipun DM bukan penyakit menular secara biologis, pola hidup tidak sehat yang menjadi faktor risikonya dapat menyebar melalui interaksi sosial dan lingkungan (Christakis dkk., 2007). Selain faktor genetik, adanya faktor non genetik yang menyebabkan pradiabetes bahkan hingga diabetes. Seiring bertambahnya usia, fungsi pankreas dan sensitivitas insulin menurun, namun pola hidup sehat dapat mitigasi risiko DM (ADA, 2022). Adanya lemak tubuh menyebabkan resistensi insulin, sehingga menyebabkan obesitas dan kadar gula darah naik, namun dapat dicegah dengan gaya hidup yang baik (Suwinawati dkk., 2020). Individu yang kadar gula darahnya naik (pradiabetes) seiring berjalannya waktu jika tidak ditangani akan terkena diabetes melitus (Prakoso dkk., 2023). Dengan adanya perawatan yang tepat seperti perubahan gaya hidup, terapi insulin, dan pengobatan oral, maka kadar gula darah pada penderita DM akan dapat dikendalikan sehingga kembali mendekati normal (ADA, 2022). Pada hakikatnya, DM tidak dapat disembuhkan dan bersifat kekal seumur hidup (Fantarika dkk., 2024) maka penulis menganggap kompartemen R merupakan individu yang kadar gula darahnya kembali normal atau turun setelah melakukan perawatan pada T . Seseorang yang kadar gula darahnya kembali normal setelah melakukan pengobatan, akan memungkinkan kembali mengalami peningkatan kadar gula darah jika tidak melakukan kontrol secara rutin dan tidak menjalani tatalaksana yang konsisten (Abimanyu dkk., 2023). Hal ini menyebabkan penulis menganggap bahwa subpopulasi R dapat kembali *relapse* ke E . Sebuah studi menunjukkan bahwa intervensi gaya hidup seperti diet sehat, olahraga teratur, pengelolaan berat badan dapat menurunkan risiko progresi pradiabetes menjadi diabetes serta meningkatkan kemungkinan regresi kembali ke kadar gula normal (Liberty, 2023). Berdasarkan hal tersebut, penulis menganggap individu yang terdapat di E akan dapat berpindah ke T . Begitupun sebaliknya, walaupun kadar gula darah dapat dikendalikan melalui pengobatan, ketidakpatuhan dalam perawatan dapat menyebabkan kadar gula darah kembali meningkat (Juwita dkk.,

Gloria Angelica Abolla, 2025

MODEL MATEMATIKA DINAMIKA JUMLAH PENDERITA DIABETES MELITUS DENGAN PENGARUH POLA HIDUP DAN PERAWATAN BERDASARKAN FAKTOR RISIKO BIOLOGIS

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

2020), sehingga individu yang sedang menjalani pengobatan T dapat berpindah ke E . Dengan demikian, tujuan dari model ini adalah untuk mengetahui pengaruh pola hidup yang kurang baik serta efektivitas perawatan dalam individu yang memiliki faktor genetik maupun non genetik.

Model matematika *SEITR* akan berbentuk sistem persamaan diferensial. Sistem tersebut dapat ditentukan perubahan atau dinamika jumlah penderitanya melalui titik kesetimbangan (ekuilibrium) berupa titik bebas penyakit atau penurunan jumlah penderita serta titik endemik atau penyebarannya meningkat. Nilai harapan banyaknya populasi rentan menjadi terinfeksi direpresentasikan dengan bilangan reproduksi dasar (R_0). Penyebaran dinamika jumlah penderita DM dapat dilihat dengan menggunakan metode Runge-Kutta Fehlberg (RKF 45) dengan menyelesaikan sistem persamaan diferensial nonlinier.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis merumuskan beberapa masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana model matematika *SEITR* pada dinamika jumlah penderita diabetes melitus dengan pengaruh pola hidup dan perawatan berdasarkan faktor risiko biologis?
2. Bagaimana titik ekuilibrium dan kestabilan titik ekuilibrium dari model *SEITR* pada dinamika jumlah penderita diabetes melitus dengan pengaruh pola hidup dan perawatan berdasarkan faktor risiko biologis?
3. Bagaimana bilangan reproduksi dasar R_0 dari model *SEITR* pada dinamika jumlah penderita diabetes melitus dengan pengaruh pola hidup dan perawatan berdasarkan faktor risiko biologis?
4. Bagaimana dinamika jumlah penderita diabetes melitus yang dimodelkan secara matematika dengan pengaruh pola hidup dan perawatan berdasarkan faktor risiko biologis?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan model matematika yang menggambarkan dinamika jumlah penderita sehingga memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai dinamika penyebaran dan faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangan DM melalui simulasi secara numerik pada jangka waktu tertentu.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang terdapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Model matematika yang digunakan pada penelitian ini adalah *SEITR*.
2. Penyakit Diabetes Melitus yang dibahas merupakan Diabetes secara umum tanpa membedakan tipe satu dan tipe dua.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Manfaat Teoritis:
 - Menjabarkan proses pembentukan model matematika untuk dapat memperlihatkan dinamika penderita Diabetes Melitus.
 - Menjelaskan pemanfaatan model matematika untuk menganalisis bagaimana seseorang dapat terkena DM serta memberikan wawasan tentang perkembangan Diabetes Melitus.
2. Manfaat Praktis:
 - Bagi dunia kesehatan, penelitian ini dapat menjadi dasar untuk merancang optimalisasi perawatan.
 - Bagi dunia masyarakat, penelitian ini dapat menjadi literatur tambahan mengenai perawatan yang mempengaruhi Diabetes Melitus sehingga dapat dicegah dan dapat mengedukasi diri.