



Mathematical Modeling of Diabetes Mellitus Type 2 Due to Obesity from Food and Physical Inactivity

Permodelan Matematika Diabetes Melitus Tipe 2
Akibat Obesitas karena Makanan dan Inaktivitas Fisik

Iqbal Ma'ruf Al Ashari
Universitas Negeri Semarang
imachrufaa10@students.unnes.ac.id

Previanda Arditama
Universitas Negeri Semarang
previ.arditama@gmail.com

Karima Khoirunnisa
Universitas Negeri Semarang
karimakhoirunnisa1@students.unnes.ac.id

Muhammad Kharis
Universitas Negeri Semarang
kharis.mat@mail.unnes.ac.id

Abstract

Diabetes mellitus (DM) is a symptom that arises due to metabolic disorders that result in an increase in blood sugar levels. This narrative review aims to form a mathematical modeling of type 2 diabetes mellitus due to obesity due to food and physical inactivity as well as recommendations in accordance with the resulting model. The research method used is literature study with expository techniques and using secondary data sources with search keywords related to the goal. The result of the writing that is achieved is the formation of a mathematical model of diabetes mellitus type 2 due to obesity due to food and physical inactivity as well as recommendations based on the model that has been produced.

Keywords: *physical activity, diabetes mellitus, mathematical modeling, food, obesity*

Abstrak

Diabetes melitus (DM) merupakan gejala yang timbul akibat tubuh mengalami gangguan metabolik yang mengakibatkan peningkatan kadar gula darah. *Narrative review* ini bertujuan untuk membentuk permodelan matematika penyakit diabetes melitus tipe 2 akibat obesitas karena makanan dan inaktivitas fisik serta rekomendasi yang sesuai dengan model yang dihasilkan. Metode penelitian yang digunakan adalah studi literatur dengan teknik ekspositori dan menggunakan sumber data sekunder dengan kata kunci pencarian terkait tujuan. Hasil penulisan yang dicapai adalah terbentuknya model matematika penyakit diabetes melitus tipe 2 akibat obesitas karena makanan dan inaktivitas fisik serta rekomendasi yang berdasar pada model yang telah dihasilkan.

Kata kunci: *aktivitas fisik, diabetes melitus, permodelan matematika, makanan, obesitas*

PENDAHULUAN

Diabetes melitus (DM) merupakan gejala yang timbul akibat tubuh mengalami gangguan metabolik yang mengakibatkan peningkatan kadar gula darah. Diabetes melitus diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu: DM tipe 1 (dikenal sebagai *insulin-dependent* atau *childhood onset diabetes*), DM tipe 2 (dikenal sebagai *non-insulin dependent* atau *adult onset diabetes*), dan diabetes gestasional (diabetes akibat hiperglikemia yang didapat ketika masa kehamilan) (Depkes, 2014).

Menurut International Diabetes Federation (IDF), pada tahun 2019 jumlah penderita diabetes melitus dunia mencapai 463 juta orang, dengan proporsi 98% populasi penderita adalah DM tipe 2. Jumlah ini kemungkinan akan meningkat dua kali lipat lebih pada 2030 (IDF, 2019).



World Health Organization (WHO) memprediksi kenaikan jumlah penderita DM di Indonesia dari 10,3 juta pada tahun 2017 menjadi 21,3 juta pada tahun 2040.

Faktor yang memberikan andil besar pada prevalensi DM tipe 2 adalah genetika atau keturunan. Orang yang memiliki riwayat keluarga menderita diabetes melitus lebih berisiko menderita DM dibandingkan dengan orang yang tidak memiliki riwayat DM. Hal ini selaras dengan penelitian yang pernah ada sebelumnya, yang menunjukkan bahwa DM tipe 2 akan meningkat dua sampai enam kali lipat jika orang tua atau saudara kandung memiliki penyakit ini.

Tingginya prevalensi diabetes melitus tipe 2 salah satunya disebabkan oleh obesitas (kondisi di mana tubuh seseorang memiliki kadar lemak yang terlalu tinggi). Pada penderita diabetes melitus, pankreas menghasilkan insulin, akan tetapi insulin tidak dapat bekerja optimal membantu sel-sel tubuh menyerap glukosa karena terganggu oleh komplikasi-komplikasi obesitas akibat kadar lemak darah yang tinggi, terutama kolesterol dan trigliserida (Olvista, 2011). Orang dewasa dengan DM tipe 2, lebih dari 80% mengalami obesitas dengan indeks massa tubuh (IMT) lebih dari 25. Hal ini menunjukkan bahwa obesitas memiliki pengaruh signifikan terhadap DM tipe 2.

Adanya pengaruh obesitas terhadap diabetes melitus disebabkan karena kurangnya aktivitas fisik dan tingginya konsumsi karbohidrat, protein, lemak, dan makanan cepat saji yang menimbulkan efek negatif bagi tubuh. Pada orang yang jarang beraktivitas fisik, zat makanan yang masuk dalam tubuh tidak dibakar, tetapi ditimbun dalam bentuk lemak dan gula sehingga menyebabkan obesitas (Trisnawati dan Setyorogo, 2013). Dalam Kurniawaty dan Yanita (2016) disebutkan hasil penelitian di Indian Pima, orang-orang dengan aktivitas fisik yang rendah 2,5 kali lebih berisiko mengalami diabetes melitus dibanding dengan orang-orang yang tiga kali lebih aktif.

Penelitian mengenai model matematika yang mengkaji perkembangan penyakit diabetes melitus sudah banyak diteliti oleh beberapa ahli. Akan tetapi, belum ada pengkajian mengenai model matematika perkembangan diabetes melitus yang diakibatkan oleh obesitas terutama karena makanan dan kurangnya aktivitas fisik. Sehingga, pada penelitian ini akan dibuat model matematika penyakit diabetes melitus tipe 2 akibat obesitas karena faktor makanan dan inaktivitas fisik. Model matematika ini akan dianalisis berdasar titik keseimbangannya (titik *equilibrium*) untuk kemudian berdasarkan hasil analisis model matematika ini dapat disusun rekomendasi yang dapat diberikan pada penderita DM tipe 2.

METODE

Narrative review yang dihasilkan dilakukan dengan pencarian secara daring/*online* yang dilakukan pada bulan Agustus 2020 hingga September 2020 dengan menggunakan data sekunder untuk mengambil informasi mengenai permodelan matematika penyakit diabetes melitus tipe 2 akibat obesitas karena faktor makanan dan inaktivitas fisik. Literatur bersumber dari basis data Google Scholar dan ScienceDirect, dengan menggunakan kata kunci permodelan matematika, penyakit diabetes melitus, obesitas, dan aktivitas fisik. Data-data yang diperoleh kemudian dibuat asumsi-asumsi untuk melengkapi fakta-fakta yang telah dikumpulkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Diabetes melitus (DM) adalah gangguan metabolisme berupa hilangnya toleransi karbohidrat dengan gangguan klinis berupa hiperglikemia puasa dan *postprandial*, *aterosklerosis* dan penyakit *vascular mikroangiopati* (Fatimah, 2015). Diabetes diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu: DM tipe 1, DM tipe 2, dan diabetes gestasional. DM tipe 1 dikenal sebagai *insulin-dependent* atau *childhood onset diabetes*, ditandai dengan kurangnya produksi insulin, DM tipe 2, dikenal dengan *non-insulin dependent* atau *adult onset diabetes*, disebabkan oleh ketidakmampuan tubuh untuk menggunakan insulin secara efektif, dan diabetes gestasional, yang merupakan hiperglikemia yang didapatkan ketika masa kehamilan. DM biasa disebut sebagai *the silent killer* karena penyakit ini dapat mengenai semua organ tubuh dan menimbulkan berbagai macam penyakit, antara lain gangguan penglihatan, penyakit *kardiovaskular*, *pneumonia*, impotensi seksual, luka sulit sembuh dan membusuk, gangguan pembuluh darah, *stroke* dan sebagainya (Depkes, 2014). DM tipe 2 disebabkan oleh gaya hidup yang diabetogenik (asupan kalori berlebihan, aktivitas fisik yang rendah, obesitas) ditambah kecenderungan secara genetik.

Berdasarkan data dari International Diabetes Federation (IDF), jumlah penderita diabetes melitus di dunia pada tahun 2019 mencapai 463 juta orang, dengan proporsi kejadian DM tipe 2 adalah 98% dari populasi penderita diabetes melitus di dunia (IDF, 2019). Berdasarkan data dari American Diabetes Association (ADA), DM dapat disebabkan karena dua faktor, yaitu: faktor risiko yang tidak dapat diubah dan faktor risiko yang dapat diubah. Faktor risiko yang tidak dapat diubah meliputi riwayat keluarga dengan diabetes melitus, usia ≥ 45 tahun, riwayat menderita penyakit diabetes gestasional, dan riwayat lahir dengan berat badan $< 2,5$ kg. Faktor risiko yang dapat diubah antara lain obesitas, inaktivitas fisik, dislipidemi dan gaya hidup tidak sehat (ADA, 2015).

Angka kejadian penderita diabetes melitus yang besar berpengaruh terhadap peningkatan komplikasi. Komplikasi pada diabetes melitus dibagi menjadi dua, yaitu: komplikasi mikrovaskuler dan komplikasi makrovaskuler. Komplikasi mikrovaskuler berupa retinopati, nefropati, neuropati, dan kaki diabetik. Sedangkan, komplikasi makrovaskuler berupa: penyakit jantung koroner, penyakit serebrovaskular, dan penyakit arteri perifer (ADA, 2017). Diabetes melitus tidak dapat disembuhkan, akan tetapi glukosa darah dapat dikendalikan melalui empat pilar penatalaksanaan diabetes melitus, seperti: edukasi (konseling), diet, olahraga, dan obat-obatan.

Statistik menunjukkan bahwa 70% kematian akibat DM terjadi di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia. Prevalensi DM yang terjadi di Indonesia sekitar 4,8%, dengan 58,8% kasus DM adalah DM tidak terdiagnosis. Diabetes melitus merupakan penyakit tidak menular, sehingga dapat dilakukan pencegahan dengan mengendalikan faktor risiko kejadian.

Obesitas didefinisikan sebagai kondisi terdapat akumulasi lemak yang berlebihan di jaringan adiposa yang mencapai kadar tertentu sehingga dapat merusak kesehatan. Obesitas dapat terjadi karena adanya ketidakseimbangan antara energi yang masuk ke tubuh dengan energi yang keluar. Obesitas saat ini menjadi permasalahan dunia, bahkan WHO mendeklarasikannya sebagai *epidemic global* (Hendra, Manampiring, dan Budiarsa, 2016).

Perkeni (2011) menyatakan bahwa salah satu faktor risiko DM tipe 2 adalah obesitas, yaitu sekitar 80% dari penderita penyakit tersebut menderita obesitas. Terdapat hubungan yang signifikan antara obesitas dengan kadar glukosa darah, pada derajat kegemukan dengan IMT > 23 dapat menyebabkan peningkatan kadar glukosa darah menjadi 200mg% (Fatimah, 2015). Kadar glukosa darah sangat erat kaitannya dengan penyakit diabetes melitus. Peningkatan kadar

glukosa darah sewaktu ≥ 200 mg/dL yang disertai dengan gejala poliuria, polidipsia, polifagia, dan penurunan berat badan sudah cukup untuk menegakkan diagnosis diabetes melitus (Amir, Wungouw, dan Pangemanan, 2015).

Pada pasien DM tipe 2 terjadi gangguan metabolisme lemak yaitu dislipidemia. Perubahan profil lemak yang terjadi yaitu peningkatan kadar Kolesterol Total, *Low Density Lipoprotein* (LDL), dan trigliserida, serta penurunan kadar *High Density Lipoprotein* (HDL). Pada subjek obesitas, konsentrasi asam lemak bebas, trigliserida, kolesterol LDL lebih tinggi dibandingkan dengan orang yang tidak mengalami obesitas. Penelitian Koampa, Pandelaki, dan Wongkar (2016) dengan analisis bivariat, yaitu dengan uji korelasi Pearson, menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara indeks massa tubuh dengan kadar HDL (*High Density Lipoprotein*).

Perubahan gaya hidup dalam hal mengonsumsi makanan, khususnya di kota besar dipicu oleh perbaikan/peningkatan di sektor pendapatan (ekonomi), kesibukan kerja yang tinggi, dan promosi makanan ala Barat, seperti *fast food*, namun tidak diimbangi dengan pengetahuan dan kesadaran gizi yang akan menyebabkan kegemukan sehingga dapat meningkatkan risiko terserang diabetes melitus. Peningkatan berat badan merupakan prediktor kuat bagi risiko diabetes melitus tipe 2, di mana peningkatan BB >20 kg setelah usia 18 tahun meningkatkan risiko diabetes melitus tipe 2 hingga 12 kali, dan risiko meningkat menjadi 61 kali jika IMT >35 kg/m². IMT dikatakan sebagai faktor utama berkembangnya resistensi insulin pada penderita diabetes melitus. Resistensi insulin terjadi akibat penimbunan lemak yang menyebabkan terjadinya peningkatan berat badan. Nilai *body mass index* (BMI) pemicu diabetes melitus berbeda-beda.

Aktivitas fisik adalah setiap pergerakan otot-otot yang mengakibatkan pengeluaran energi. Aktivitas fisik yang dilakukan secara rutin dapat mencegah risiko terjadinya penyakit tidak menular seperti penyakit *kardiovaskular*, diabetes melitus, kanker dan sebagainya. Kurangnya aktivitas fisik merupakan faktor risiko independen dari penyakit kronis, dan diperkirakan sebagai penyebab kematian secara global (WHO, 2010).

Usia 40 tahun ke atas terjadi pelemahan organ-organ vital dan tubuh mulai mengalami kepekaan terhadap insulin. Peningkatan intoleransi glukosa, yang menyebabkan berkurangnya kemampuan sel beta pankreas dalam memproduksi insulin. Selain itu, pada orang dengan usia tua terdapat penurunan aktivitas mitokondria di sel-sel otot sebesar 35%, dan berhubungan dengan peningkatan kadar lemak di otot sebesar 30% yang memicu resistensi insulin.

Permodelan matematika adalah suatu proses merepresentasikan masalah dunia nyata dalam istilah matematika yang bertujuan untuk mencari solusi dari suatu masalah (Hartono dan Kasnasih, 2017). Suatu permodelan matematika dapat dipertimbangkan sebagai penyederhanaan dari masalah dunia nyata atau situasi yang kompleks ke dalam bentuk matematika.

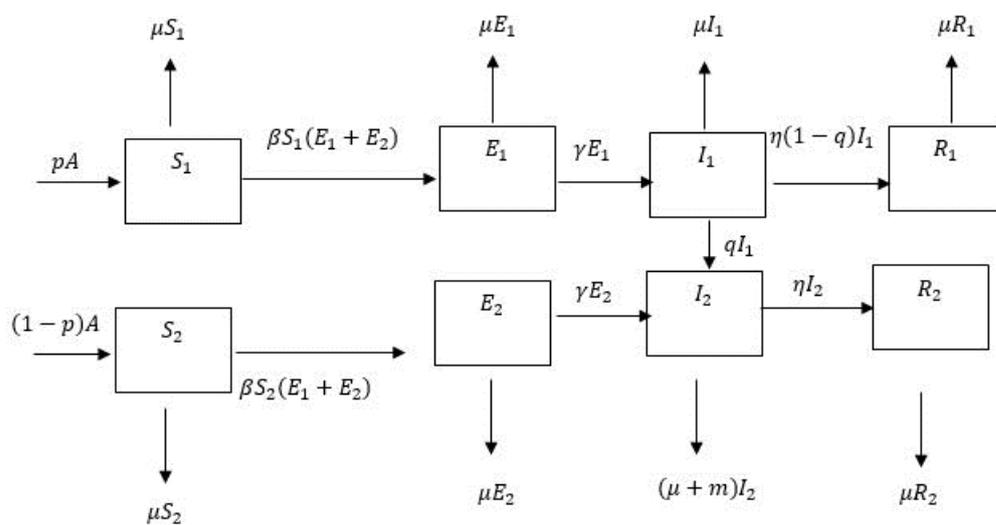
Menurut Blum dan Ferri (2009) permodelan matematika merupakan proses perubahan antara dunia nyata dan matematika secara dua arah. Hal ini menunjukkan bahwa proses permodelan bukan hanya memodelkan dunia nyata ke dalam model matematika saja, tetapi juga bagaimana representasi matematika dalam dunia nyata. Di antara kedua proses tersebut terdapat proses analisa matematis.

Pembahasan

Model yang akan dihasilkan dalam *narrative review* ini berdasar pada asumsi-asumsi, bahwa populasi manusia dibagi menjadi empat kondisi utama, yaitu: *susceptible* (*S*), *exposed* (*E*), *ill* (*I*), dan *recovered* (*R*). Untuk *susceptible* dibagi menjadi dua kompartemen, yaitu: individu rentan obesitas tanpa faktor gen DM (S_1) dan individu rentan obesitas dengan faktor gen DM (S_2). Untuk *exposed* dibagi menjadi dua, yaitu: individu yang memiliki pola hidup tidak sehat tanpa faktor gen DM (E_1) dan individu yang memiliki pola hidup tidak sehat dengan faktor gen

DM (E_2). Untuk *ill* dibagi menjadi dua, yaitu: individu menderita obesitas tanpa DM (I_1) dan individu menderita obesitas sekaligus DM (I_2). Serta untuk *recovered* dibagi menjadi dua, yaitu: individu yang telah pulih dari obesitas tanpa DM (R_1) dan individu yang telah pulih dari obesitas yang terkena DM (R_2). Serta diasumsikan bahwa individu yang telah sembuh dari obesitas akan selalu menjaga pola hidup sehat, sehingga tidak akan menjadi rentan kembali terhadap obesitas.

Berdasarkan asumsi-asumsi tersebut, bentuk model yang sesuai adalah model *SEIR*. Untuk memperoleh model yang sesuai diberikan diagram transfer seperti pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram Transfer Model Matematika Penyakit Diabetes Mellitus Akibat Obesitas Karena Makanan dan Inaktivitas Fisik.

Nilai-nilai $S(t)$, $E(t)$, $I(t)$, dan $R(t)$ masing-masing menyatakan jumlah individu yang rentan, tidak sehat, menderita obesitas, serta pulih/sembuh saat t . Parameter-parameter positif yang digunakan dalam model, disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Keterangan Variabel dan Parameter Model

Variabel/ Parameter	Deskripsi
A	Laju individu masuk populasi
p	Proporsi individu yang masuk populasi tidak membawa faktor DM
μ	Laju kematian alami ($\frac{1}{\mu}$ menyatakan angka harapan hidup manusia normal)
β	Peluang kontak infeksi (terkena pengaruh) antara manusia rentan dengan manusia yang mempunyai pola hidup tidak sehat
γ	Laju perpindahan orang yang mempunyai perilaku hidup (pola makan dan aktivitas tubuh) tidak sehat ($\frac{1}{\gamma}$ menyatakan rata-rata waktu yang diperlukan orang mengalami obesitas)
q	Proporsi orang yang obesitas tanpa DM terkena DM
m	Laju kematian karena DM
η	Laju kesembuhan ($\frac{1}{\eta}$ menyatakan rata-rata waktu yang diperlukan orang obesitas sembuh)

Berdasarkan Gambar 1 diperoleh model matematika yang berupa sistem persamaan diferensial biasa (PDB) yang memuat variabel S , E , I , dan R . Sehingga sistem PDB dari Gambar 1 adalah sebagai berikut.

$$\left. \begin{aligned} \frac{dS_1}{dt} &= pA - S_1[\mu + \beta(E_1 + E_2)] \\ \frac{dS_2}{dt} &= (1-p)A - S_2[\mu + \beta(E_1 + E_2)] \\ \frac{dE_1}{dt} &= \beta S_1(E_1 + E_2) - (\mu + \gamma)E_1 \\ \frac{dE_2}{dt} &= \beta S_2(E_1 + E_2) - (\mu + \gamma)E_2 \\ \frac{dI_1}{dt} &= \gamma E_1[\mu + q + \eta(1-q)]I_1 \\ \frac{dI_2}{dt} &= \gamma E_2 + qI_1 - (\mu + m + \eta)I_2 \\ \frac{dR_1}{dt} &= \eta(1-q)I_1 - \mu R_1 \\ \frac{dR_2}{dt} &= \eta I_2 - \mu R_2 \end{aligned} \right\} (1)$$

Titik kesetimbangan (titik *equilibrium*) diperoleh dengan cara mengubah setiap persamaan pada sistem (1) sama dengan 0. Diperoleh sistem persamaan di bawah ini.

$$\left. \begin{aligned} pA - S_1[\mu + \beta(E_1 + E_2)] &= 0 \\ (1-p)A - S_2[\mu + \beta(E_1 + E_2)] &= 0 \\ \beta S_1(E_1 + E_2) - (\mu + \gamma)E_1 &= 0 \\ \beta S_2(E_1 + E_2) - (\mu + \gamma)E_2 &= 0 \\ \gamma E_1 - [\mu + q + \eta(1-q)]I_1 &= 0 \\ \gamma E_2 + qI_1 - (\mu + m + \eta)I_2 &= 0 \\ \eta(1-q)I_1 - \mu R_1 &= 0 \\ \eta I_2 - \mu R_2 &= 0 \end{aligned} \right\} (2)$$

Dari persamaan-persamaan pada sistem (2) diperoleh persamaan berikut.

$$\left. \begin{aligned} \beta S_1(E_1 + E_2) &= pA - \mu S_1 \\ \beta S_2(E_1 + E_2) &= (1-p)A - \mu S_2 \\ S_1 &= \frac{pA - (\mu + \gamma)E_1}{\mu} \\ S_2 &= \frac{(1-p)A - (\mu + \gamma)E_2}{\mu} \\ I_1 &= \frac{\gamma E_1}{\mu + q + \eta(1-q)} \\ I_2 &= \frac{\gamma E_2 + qI_1}{(\mu + m + \eta)} \\ R_1 &= \frac{\eta(1-q)I_1}{\mu} \\ R_2 &= \frac{\eta I_2}{\mu} \end{aligned} \right\} (3)$$

Akan diperoleh dua titik keseimbangan, yaitu: titik bebas penyakit dan titik tidak bebas penyakit. Berdasarkan persamaan pertama pada sistem (3) diperoleh: $S_1 = \frac{pA}{\beta(E_1 + E_2) + \mu}$. Saat $E_1 = 0$, dan $E_2 = 0$ diperoleh titik *equilibrium* $S_1 = \frac{pA}{\mu}$ dan $S_2 = \frac{(1-p)A}{\mu}$ untuk populasi bebas penyakit dan untuk $E_1 > 0$, dan $E_2 > 0$, nilai $S_1 < \frac{pA}{\mu}$ dan $S_2 < \frac{(1-p)A}{\mu}$ karena untuk $t \rightarrow \infty$ berlaku $S_{1eq} \leq \frac{pA}{\mu}$ dan $S_{2eq} \leq \frac{(1-p)A}{\mu}$.

Jadi diperoleh pembatasan domain $D = \{(S_1, S_2, E_1, E_2, I_1, I_2, R_1, R_2) \in R_8^+ \mid 0 \leq E, I, R < S_1 \leq \frac{pA}{\mu}\}$ dengan R_8^+ menyatakan himpunan bagian non-negatif dari R^8 . Teorema yang berkaitan dengan eksistensi titik keseimbangan model disebutkan pada Teorema 1 berikut.

$$\text{Dipunyai } R_0 = \frac{\beta p A}{\mu(1+\mu)}$$

Dari persamaan (3) dan berdasarkan nilai R_0 tersebut, diperoleh:

1. Jika $R_0 < 1$, maka sistem persamaan (3) hanya memiliki satu titik kesetimbangan bebas penyakit, yaitu: $P_0 = (S_1, S_2, E_1, E_2, I_1, I_2, R_1, R_2) = \left(\frac{pA}{\mu}, \frac{(1-p)A}{\mu}, 0, 0, 0, 0, 0, 0\right)$.
2. Jika $R_0 > 1$, maka sistem persamaan (3) memiliki dua titik kesetimbangan, yaitu: titik kesetimbangan bebas penyakit $P_0 = (S_1, S_2, E_1, E_2, I_1, I_2, R_1, R_2) = \left(\frac{pA}{\mu}, \frac{(1-p)A}{\mu}, 0, 0, 0, 0, 0, 0\right)$, dan titik kesetimbangan endemik tak bebas penyakit $P_1 = (S_1^*, S_2^*, E_1^*, E_2^*, I_1^*, I_2^*, R_1^*, R_2^*) = \left(\frac{pA - (\mu + \gamma)E_1}{\mu}, \frac{(1-p)A - (\mu + \gamma)E_2}{\mu}, \frac{pA - \mu S_1}{\mu + \gamma}, \frac{(1-p)A - \mu S_2}{\mu + \gamma}, \frac{\gamma E_1}{\mu + q + \eta(1-q)}, \frac{\gamma E_2 + q I_1}{(\mu + m + \eta)}, \frac{\eta(1-q)I_1}{\mu}, \frac{\eta I_2}{\mu}\right)$.

Bukti:

Titik kesetimbangan diperoleh dengan menggunakan sistem persamaan (3) dengan membuat setiap persamaan pada sistem (3) sama dengan nol. Titik keseimbangan bebas penyakit adalah keadaan di mana setiap individu tidak akan menderita penyakit. Untuk mendapatkan titik bebas penyakit, maka dimisalkan $E_1 = 0$, dan $E_2 = 0$. Kemudian substitusikan nilai $E_1 = 0$, dan $E_2 = 0$ ke persamaan 1 dan 2 pada sistem (3), diperoleh nilai $S_1 = \frac{pA}{\mu}$ dan $S_2 = \frac{(1-p)A}{\mu}$.

Jadi, saat $E_1 = 0$, dan $E_2 = 0$ diperoleh titik keseimbangan bebas penyakit $P_0 = (S_1, S_2, E_1, E_2, I_1, I_2, R_1, R_2) = \left(\frac{pA}{\mu}, \frac{(1-p)A}{\mu}, 0, 0, 0, 0, 0, 0\right)$.

Untuk kasus $E_1 \neq 0$ dan $E_2 \neq 0$, diperoleh: $E_1^* = \frac{pA - \mu S_1}{\mu + \gamma}$, dan $E_2^* = \frac{(1-p)A - \mu S_2}{\mu + \gamma}$, jelas $E_1 > 0$ dan $E_2 > 0$ apabila $\frac{\beta p A}{\mu(1+\mu)} > 1$. Misalkan $R_0 = \frac{\beta p A}{\mu(1+\mu)}$, jadi untuk $S_1^* = \frac{pA - (\mu + \gamma)E_1}{\mu}$, $S_2^* = \frac{(1-p)A - (\mu + \gamma)E_2}{\mu}$, $I_1^* = \frac{\gamma E_1}{\mu + q + \eta(1-q)}$, $I_2^* = \frac{\gamma E_2 + q I_1}{(\mu + m + \eta)}$, $R_1^* = \frac{\eta(1-q)I_1}{\mu}$, dan $R_2^* = \frac{\eta I_2}{\mu}$.

Simulasi dilakukan untuk memberikan gambaran geometris eksistensi dan kestabilan titik *equilibrium* model. Berdasarkan penjelasan makna-makna parameter μ menyatakan laju kematian alami individu. p menyatakan proporsi individu yang masuk populasi tidak membawa faktor DM. β menyatakan peluang kontak infeksi (terkena pengaruh) antara manusia rentan dengan manusia yang mempunyai pola hidup tidak sehat. A menyatakan laju individu masuk populasi. γ menyatakan laju perpindahan orang yang mempunyai perilaku hidup (pola makan dan aktivitas tubuh) tidak sehat. q menyatakan proporsi orang yang obesitas tanpa DM terkena DM. m menyatakan laju kematian karena DM. Serta, η menyatakan laju kesembuhan. Jadi diasumsikan laju kematian individu adalah 65 tahun, maka:

$$\mu = \frac{1}{65 \times 12} = 0,0013; \beta = 0,0009 \text{ artinya rata-rata ada 9 individu rentan yang menjadi}$$

infeksi apabila ada 10000 individu yang rentan melakukan kontak, diasumsikan laju perpindahan orang yang mengalami obesitas 20 tahun, dan laju kesembuhan 62 tahun, sehingga diperoleh:

$$\gamma = \frac{1}{20 \times 12} = 0,0042; \eta = \frac{1}{62 \times 12} = 0,0013$$

Simulasi untuk $R_0 < 1$

Simulasi $R_0 < 1$ diberikan pada tabel untuk nilai-nilai parameter.

Tabel 2. Nilai-nilai Paramater untuk $R_0 < 1$

Parameter	Nilai
A	1
μ	0,0013
β	0,0009
γ	0,0042
η	0,0013

Dari nilai-nilai parameter yang telah diberikan, diperoleh nilai $R_0 = 0,6914$. Pada Teorema 1 disebutkan bahwa diperoleh 1 titik kesetimbangan pada saat $R_0 < 1$, yaitu titik $P_0 = (S_1, S_2, E_1, E_2, I_1, I_2, R_1, R_2) = \left(\frac{pA}{\mu}, \frac{(1-p)A}{\mu}, 0, 0, 0, 0, 0, 0\right)$. $E(t) \rightarrow 0$ artinya dengan bertambahnya waktu jumlah individu yang masuk kelas *exposed* akan hilang. $I(t) \rightarrow 0$ artinya jumlah individu yang masuk kelas *ill* akan hilang, $R(t) \rightarrow 0$ artinya jumlah individu yang masuk kelas *recovered* bertambah.

Simulasi untuk $R_0 > 1$

Simulasi $R_0 < 1$ diberikan pada tabel untuk nilai-nilai parameter.

Tabel 3. Nilai-nilai Paramater untuk $R_0 > 1$

Parameter	Nilai
A	2
μ	0,0013
β	0,0009
γ	0,0042
η	0,0013

Dari nilai-nilai parameter yang telah diberikan, diperoleh nilai $R_0 = 1,3828$. Pada Teorema 1 disebutkan bahwa diperoleh 2 titik kesetimbangan pada saat $R_0 > 1$, yaitu titik $P_0 = (S_1, S_2, E_1, E_2, I_1, I_2, R_1, R_2) = \left(\frac{pA}{\mu}, \frac{(1-p)A}{\mu}, 0, 0, 0, 0, 0, 0\right)$ dan $P_1 = (S_1^*, S_2^*, E_1^*, E_2^*, I_1^*, I_2^*, R_1^*, R_2^*) = \left(\frac{pA - (\mu + \gamma)E_1}{\mu}, \frac{(1-p)A - (\mu + \gamma)E_2}{\mu}, \frac{pA - \mu S_1}{\mu + \gamma}, \frac{(1-p)A - \mu S_2}{\mu + \gamma}, \frac{\gamma E_1}{\mu + q + \eta(1-q)}, \frac{\gamma E_2 + q I_1}{(\mu + m + \eta)}, \frac{\eta(1-q)I_1}{\mu}, \frac{\eta I_2}{\mu}\right)$. $E(t) \rightarrow E^*$ artinya jumlah individu *exposed* akan tidak akan pernah hilang karena kontak infeksi. $I(t) \rightarrow I^*$ artinya jumlah individu yang masuk kelas *ill* tidak akan hilang, karena selalu ada individu yang memiliki kebiasaan buruk. $R(t) \rightarrow R^*$ artinya jumlah individu yang masuk kelas *recovered* tidak akan hilang, karena selalu ada individu yang memiliki kebiasaan buruk.

PENUTUP

Dari hasil dan pembahasan di atas, diperoleh kesimpulan bahwa penyakit diabetes melitus tipe 2 akibat obesitas karena makanan dan inaktivitas fisik dapat hilang dengan bertambahnya waktu dengan jumlah individu dengan kebiasaan buruk yang tidak bisa hilang. Hal ini karena penyakit DM tipe 2 tidak dapat disembuhkan. Rekomendasi yang dapat diberikan adalah adanya penelitian lanjutan tentang deteksi awal diabetes melitus tipe 2 akibat makanan karena dan inaktivitas fisik.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustine, D. (2013). Model Matematika Penyakit Diabetes dengan Pengaruh Transmisi Vertikal. *Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika*. 9, November 2013, Yogyakarta, Indonesia. 33-38
- American Diabetes Association. (2015). *Classification and Diagnosis of Diabetes Mellitus*. *Diabetes Care*. Jan; 38 (Supplement 1): S8-S16. <https://doi.org/10.2337/dc15-S005>
- American Diabetes Association. (2015). Risk Factors for Type 2 Diabetes.
- Amir, S. M. J., Wungouw H., Pangemanan D. (2015). Kadar Glukosa Darah Sewaktu Pada Pasien Diabetes Melitus Tipe 2 di Puskesmas Bahu Kota Manado. *Jurnal e-Biomedik (eBm)*. 3(1). 33-36.
- Blum, W. dan Ferri, R. B. (2009). Mathematical modelling: Can it be taught and learnt? *Journal of mathematical modelling and application*, 1(1), 45-58.
- Departemen Kesehatan. (2014). *Situasi dan Analisis Diabetes*.
- Fatimah, R. N. (2015). Diabetes Melitus Tipe 2. *J Majority*. 4(5). 93-97.
- Hartono, J. A., dan Kasnasih, I. (2017). Pentingnya Pemodelan Matematis dalam Pembelajaran Matematika. *Seminar Nasional Matematika UNIMED 2017*. 6, Mei 2017, Medan, Indonesia.
- Hendra, C., Manampiring, A.E., Budiarmo, F. (2016). Faktor-Faktor Risiko Terhadap Obesitas Pada Remaja di Kota Bitung. *Jurnal e-Biomedik (eBm)*. 4(1).
- Hermann, G., Herbst, A., Schütt, M., Kempe, H. P., Krakow, D., Müller-Korbsch, M., ... & Diabetes Patienten Verlaufsdokumentation (DPV)-initiative and the BMBF Competence Network Diabetes Mellitus. (2014). Association of physical activity with glycaemic control and cardiovascular risk profile in 65 666 people with Type 2 diabetes from Germany and Austria. *Diabetic medicine*, 31(8), 905-912.
- International Diabetes Federation. (2019). *International Diabetes Federation Diabetes Atlas 9th Edition*. Diakses pada November 25, 2019. www.diabetesatlas.org
- Irwan, M., Irwan, Jusrawati. (2019). Model Matematika Penyakit Diabetes Melitus. *Jurnal Varian*. 2(2). 68-69
- Kemkes, RI. (2010). *Petunjuk Teknis Pengukuran Faktor Risiko Diabetes Melitus*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Koampa, P. H., Pandelaki K., Wongkar M. C. P. (2016). Hubungan Indeks Massa Tubuh dengan Profil Lipid Pada Pasien Diabetes Melitus Tipe 2. *Jurnal e- Clinic (eCl)*. 4(1).
- Kurniawaty, E., dan Yanita, B. (2016). Faktor-faktor yang berhubungan dengan diabetes melitus tipe II. *J Majority*. 5(2). 27-28
- Lou, J., Jing, L., Yang, H., Qin, F., Long, W., & Shi, R. (2019). Risk factors for diabetic nephropathy complications in community patients with type 2 diabetes mellitus in Shanghai: logistic regression and classification tree model analysis. *The International journal of health planning and management*, 34(3), 1013-1024.
- Nangge, M., Masi, G., Oroh, W. 2018. Hubungan Obesitas dengan Kejadian Diabetes Melitus di Wilayah Kerja Puskesmas Ranomut Kota Manado. *e- journal Keperawatan (e-Kp)*, 6(1), 2.
- Nuraisyah Fatma. (2017). Faktor Risiko Diabetes Tipe 2. *Jurnal Kebidanan dan Keperawatan Aisyiah Yogyakarta*. Vol 13, (2). 120-127. <http://dx.doi.org/10.31101/jkk.395>
- Nurayati, L., Adriani, M. (2017). Hubungan Aktivitas Fisik dengan Kadar Gula Darah Puasa Penderita Diabetes Melitus Tipe 2. *Jurnal Universitas Airlangga*. 83-85.
- Olvista. (2011). *Diabetes dan Obesitas (Kegemukan)*. <http://www.olvista.com/kesehatan/diabetes-dan-obesitas>. Diakses pada 25 November 2019
- Perkumpulan Endokrinologi Indonesia. (2011). *Konsensus Pengelolaan dan Pencegahan Diabetes Mellitus tipe II di Indonesia*. Jakarta: PB PERKENI
- Soetiarto, F., Roselinda, Suhardi. (2010). Hubungan Diabetes Mellitus dengan Obesitas Berdasarkan Indeks Masa Tubuh dan Lingkar Pinggang Data Riskesdas 2007. *Bul. Penelit. Kesehat*, 38(1), 41.
- Trisnawati, S. K. dan Setyorogo, S. (2013). Faktor Risiko Kejadian Diabetes Melitus Tipe II di Puskesmas Kecamatan Cengkareng Jakarta Barat Tahun 2012. *Jurnal Ilmiah Kesehatan*. 5(1). 6-9.

- Ulfah, J., Kharis, M., Chotim M. (2014). Model Matematika Untuk Penyakit Diabetes Mellitus Tanpa Faktor Genetik dengan Perawatan. *Unnes Journal of Mathematics*. 3(1). 26-27.
- World Health Organization. (2010). *Global status report on noncommunicable diseases 2010*.
- World Health Organization. (2018). *WHO Independent High-level Commission NCDs Technical Consultation*.
- Zhang, D., Cheng, C., Cao, M., Wang, T., Chen, X., Zhao, Y., ... & Chen, X. (2020). TXNIP hypomethylation and its interaction with obesity and hypertriglyceridemia increase type 2 diabetes mellitus risk: A nested case-control study. *Journal of Diabetes*.