



Pemodelan Penyakit Diabetes Mellitus dengan Pengaruh Bekam

Sugiyanto*, Muhammad Rodham Robbina

Mathematics Department, Faculty of Science and Technology, UIN Sunan Kalijaga - Indonesia

Email*: sugimath@yahoo.co.id

Abstrak. Diabetes melitus adalah penyakit kronis yang ditandai dengan kadar glukosa yang berada di atas normal dan disebabkan oleh ketidakmampuan tubuh untuk memproduksi hormon insulin atau karena penggunaan yang tidak efektif dari produksi insulin. Bekam merupakan pengobatan tradisional dengan cara mengeluarkan darah kotor dari dalam tubuh. Bekam dipercaya dapat menurunkan kadar gula darah bagi penderita diabetes mellitus. Penelitian ini bertujuan melihat pengaruh bekam terhadap pemodelan matematika penyakit diabetes mellitus dengan mengukur tingkat produksi gula darah tubuh sebelum dilakukan terapi bekam dan sesudah dilakukan terapi bekam.

Kata Kunci: Pemodelan Matematika; Diabetes; Bekam; Gula Darah

PENDAHULUAN

Diabetes mellitus adalah sebuah penyakit yang berkaitan dengan metabolisme tubuh yang ditandai dengan hiperglisemia yang dihasilkan oleh kerusakan pada sistem sekresi insulin dan penggunaan insulin atau keduanya. Hiperglisemia kronis dari penyakit diabetes biasanya disebabkan oleh kerusakan jangka panjang, disfungsi dan kegagalan berbagai macam organ, khususnya mata, ginjal, jantung, dan pembuluh darah (Adewale et.al, 2007). Diabetes juga menyebabkan kondisi tubuh tidak bisa secara sewajarnya memanfaatkan energi dari makanan yang sudah dimakan. Makanan setelah dimakan akan bertransformasi kedalam bentuk gula yang disebut glukosa yang merupakan sumber energi utama dari tubuh yang akan masuk kedalam aliran darah dan menuju sel yang akan merubahnya menjadi energi (American Diabetes Association, 2010).

Penyakit diabetes memiliki dua klasifikasi utama yang didasarkan pada etiologi hiperglisemia. Diabetes tipe 1 adalah diabetes yang disebabkan serangan imun otomatis pada sekresi insulin sel beta, sedangkan diabetes tipe 2 berhubungan dengan kekurangan masa sel beta (Kloppel et.al, 1985). Diabetes tipe 1 hanya terjadi pada 5%-10% dari total penderita diabetes, diabetes tipe ini terjadi karena penghancuran autoimun sel beta pankreas, yang diantaranya adalah autoantibodi terhadap sel islet, auto antibodi terhadap insulin, dan autoantibodi pada tirosin fosfatase, sedangkan diabetes tipe 2 disebabkan oleh resistensi insulin sehingga insulin tidak bekerja dengan baik dalam mengontrol gula darah (American Diabetes Association, 2013).

Bekam adalah pengobatan tradisional yang masih digunakan hingga saat ini. Bekam dilakukan untuk mengeluarkan darah kotor yang menjadi racun dalam tubuh. Beberapa manfaat dari pengobatan alternatif telah memperlihatkan keefektifannya dalam menangani

berbagai macam penyakit dan meningkatkan kualitas hidup seseorang yang menderita penyakit kronis (American Diabetes Association, 2013). WHO telah mengkampanyekan penerapan pengobatan alternatif setelah banyak pasien yang tidak puas dengan hasil pengobatan modern dalam menangani penyakit kronis (Burge et.al, 2002). Proses pembekaman dapat meningkatkan sensitivitas insulin pada orang yang sehat dengan kadar gula darah normal (WHO, 2002). Pendarahan yang diakibatkan bekam mampu menurunkan serum glukosa dan serum trigliserida pada penderita diabetes (Vakilinia et.al, 2016).

METODE PENELITIAN

Formulasi Model Penyakit Diabetes

Pada keadaan pasca absorptif, glukosa dialirkan melalui aliran darah dan oleh hati dan ginjal dihilangkan dari cairan perantara oleh seluruh sel yang ada di dalam tubuh, dan didistribusikan ke banyak bagian tubuh (seperti pembuluh arteri, pembuluh vena, dan cairan tulang belakang). Tingkat dari produksi dan penyerapan glukosa bergantung pada kadar glukosa dan konsentrasi insulin, hubungan ini diketahui dengan eksperimen menggunakan teknik penjepit glukosa, yang memungkinkan untuk melakukan pengukuran dari tingkat produksi dan penyerapan glukosa pada berbagai macam kondisi glukosa dan insulin. Pada konsentrasi insulin yang tetap, produksi glukosa akan menurun sedangkan penyerapan glukosa akan naik, keduanya berhubungan langsung dengan kadar glukosa.

Berdasarkan penelitian (Topp et.al, 2000) pada pemodelan ini jumlah kadar glukosa yang mengalir dalam darah dipengaruhi oleh jumlah produksi glukosa oleh tubuh dan penyerapan glukosa yang dilakukan dalam tubuh (Lowe, 2017). Jumlah produksi glukosa dalam tubuh dipengaruhi oleh produksi glukosa saat

glukosa 0 atau tubuh tidak memiliki glukosa, efektifitas produksi glukosa saat insulin 0 atau tubuh tidak memiliki insulin, sensitivitas insulin untuk produksi glukosa, konsentrasi insulin dalam darah, dan juga dipengaruhi oleh jumlah kadar glukosa yang ada. Jumlah penyerapan glukosa dipengaruhi oleh tingkat penyerapan glukosa saat glukosa 0, tingkat penyerapan glukosa saat insulin 0, sensitivitas insulin untuk penyerapan glukosa, jumlah kadar glukosa dan jumlah insulin yang ada .

Insulin disekresi oleh sel beta pankreas, dibersihkan oleh hati, ginjal, dan reseptor insulin, lalu didistribusikan ke beberapa cairan tubuh (seperti vena porta, darah tepi, dan cairan perantara). Konsentrasi insulin yang ada di dalam tubuh dipengaruhi oleh insulin yang disekresi oleh sel beta pankreas dan pembersihan insulin oleh hati, ginjal, dan reseptor insulin. Insulin yang disekresi oleh sel beta pankreas dipengaruhi oleh massa dari sel beta pankreas, pembersihan konstan yang merupakan kombinasi penyerapan insulin di hati, ginjal, dan reseptor insulin, dan juga dipengaruhi oleh konsentrasi insulin yang ada.

Massa sel beta pankreas yang ada di dalam tubuh dipengaruhi oleh tingkat replikasi sel beta pankreas untuk memperbanyak sel beta tersebut dan tingkat kematian dari sel beta. Tingkat replikasi sel beta dipengaruhi kadar glukosa dalam darah. Tingkat kematian sel beta pankreas dipengaruhi oleh tingkat kematian sel beta saat glukosa 0.

Tabel 1. Parameter.

| No | Simbol | Keterangan |
|----|----------------------------|---|
| 1 | G | Kadar glukosa dalam darah |
| 2 | I | Konsentrasi insulin dalam darah |
| 3 | β | Massa dari sel beta pankreas |
| 4 | R_{01} | Tingkat produksi bersih glukosa saat glukosa 0 sebelum bekam |
| 5 | R_{02} | Tingkat produksi bersih glukosa saat glukosa 0 setelah bekam |
| 6 | d_0 | Tingkat kematian glukosa saat glukosa 0 |
| 7 | e_{G0} | Total efektifitas glukosa saat insulin 0 |
| 8 | S_i | Total sensitivitas insulin |
| 9 | r_1 | Konstanta |
| 10 | r_2 | Konstanta |
| 11 | k | Pembersihan konstan yang merupakan kombinasi penyerapan insulin di hati, ginjal, dan reseptor insulin |
| 12 | σ | Pengeluaran insulin pada tingkat maksimal |
| 13 | $\frac{G^2}{\alpha + G^2}$ | Fungsi bukit dengan koefisien 2 yang menggabungkan rentang sigmoid dari 0 hingga 1 yang mencapai setengah maksimumnya pada $G = \alpha^{\frac{1}{2}}$ |

Pemodelan matematika ini dikembangkan dari paper Topp dkk (2000) penyakit diabetes mellitus ini didefinisikan menggunakan tiga faktor yang mempengaruhi yaitu $G(t)$, $I(t)$, dan $\beta(t)$. Selanjutnya

$G(t)$ memperlihatkan kadar gula darah dalam darah (yang diukur dengan satuan mg/d , $I(t)$ memperlihatkan konsentrasi hormon insulin yang mengalir dalam darah (yang diukur dengan satuan $\mu U/ml$, dan $\beta(t)$ memperlihatkan masa beta sel pankreas (yang diukur dengan satuan mg). Parameter yang akan digunakan untuk membentuk model penyakit diabetes mellitus ada dalam Tabel (1). Model matematika dari penyakit diabetes sebagai berikut.

$$\frac{dG}{dt} = R_0 - (e_{G0} + S_i I)G \tag{1}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta \sigma G^2}{\alpha + G^2} - KI \tag{2}$$

$$\frac{d\beta}{dt} = (-d_0 + r_1 G - r_2 G^2) \beta \tag{3}$$

Kestabilan Titik Ekuilibrium dari Penyakit Diabetes

Teorema 1. Titik ekuilibrium dari model penyakit diabetes adalah

$$TE_1 = \left(\frac{R_0}{e_{G0}}, 0, 0 \right),$$

Bukti. Titik ekuilibrium dari model penyakit diabetes adalah titik ekuilibrium dari sistem persamaan differensial (1), (2), dan (3). Dari persamaan (3) didapatkan $\beta = 0$. Dari persamaan (1) didapatkan $G = \frac{R_0}{e_{G0} + S_i I}$ yang selanjutnya akan disebut sebagai persamaan (4). Persamaan (4) disubstitusikan kedalam persamaan (2) didapatkan $I = 0$ dan $G = \frac{R_0}{e_{G0}}$.

Eksistensi dari titik ekuilibrium model penyakit diabetes ada jika $e_{G0} > 0$. Selanjutnya akan didiskusikan analisis kestabilan dari titik ekuilibrium penyakit diabetes.

Teorema 2. Diberikan

$$a = -d_0 + \frac{r_1 R_0}{e_{G0}} - \frac{r_2 R_0^2}{e_{G0}^2}$$

Jika $a < 0$, maka titik ekuilibrium

$$TE_1 = \left(\frac{R_0}{e_{G0}}, 0, 0 \right),$$

Stabil saimtotik.

Bukti. Nilai eigen dari matriks Jacobian adalah sebagai berikut

$$\lambda_1 = -e_{G0}, \lambda_2 = -k, \lambda_3 = a$$

Karena asumsi $e_{G0} > 0$, $k > 0$, $R_0 > e_{G0}$, $0 < r_1 < 1$, dan $0 < r_2 < 1$, maka titik equilibrium TE_1 stabil asimtotik.

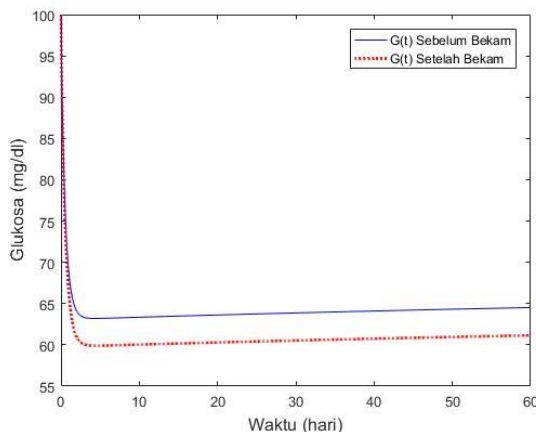
HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi Pengaruh Bekam Terhadap Model Penyakit Diabetes

Pada pembahasan ini akan dilakukan simulasi numerik pada model matematika penyakit diabetes. Kita menggunakan aplikasi MATLAB untuk melakukan simulasi pada sistem. Simulasi numerik pada titik ekuilibrium akan menggunakan nilai parameter seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Parameter.

| Parameter | Nilai | Satuan | Referensi |
|-----------|-----------------------|------------------------|--------------|
| S_I | 0.72 | $ml.\mu U^{-1}d^{-1}$ | (Lowe, 2017) |
| E_{G0} | 1.44 | d^{-1} | (Lowe, 2017) |
| R_0 | 98.48 | $mg.dl^{-1}$ | Data Primer |
| R_0' | 93.33 | $mg.dl^{-1}$ | Data Primer |
| σ | 43.2 | $\mu U.ml^{-1}.d^{-1}$ | (Lowe, 2017) |
| A | 2000 | $mg^2.dl^{-1}$ | (Lowe, 2017) |
| K | 432 | d^{-1} | (Lowe, 2017) |
| d_0 | 0.06 | d^{-1} | (Lowe, 2017) |
| r_1 | 0.84×10^{-3} | $mg^{-1}.dl.d^{-1}$ | (Lowe, 2017) |
| r_2 | 0.24×10^{-3} | $mg^{-2}.dl^2.d^{-1}$ | (Lowe, 2017) |

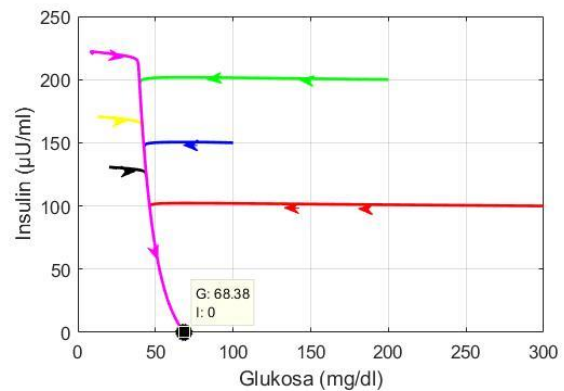


Gambar 1. Trayektori Pengaruh Bekam Terhadap $G(t)$.

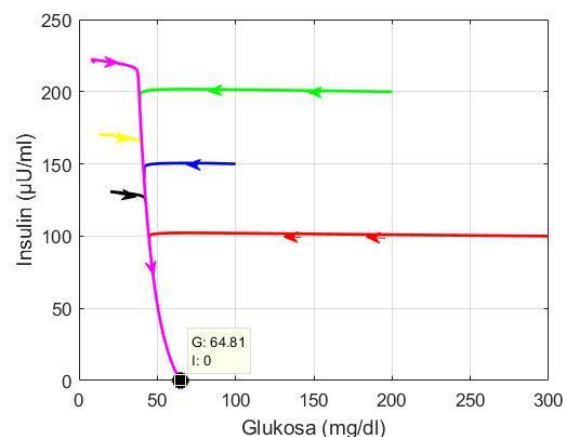
Simulasi dilakukan dengan menggunakan nilai awal untuk $G(0)=100$, berdasarkan Gambar 1, terlihat jumlah kadar glukosa mengalami penurunan meskipun tidak terlalu signifikan, hal ini terjadi dikarenakan pengaruh satu kali terapi bekam yang bisa menurunkan kadar gula darah, penurunan yang terjadi dapat lebih signifikan jika terapi bekam dilakukan rutin, tidak hanya satu kali. Dari simulasi yang dilakukan, secara garis besar satu kali terapi bekam memiliki pengaruh terhadap laju perubahan kadar glukosa dalam darah, laju perubahan ini tentunya akan lebih signifikan jika terapi bekam dilakukan secara rutin.

Simulasi pada Gambar 2 dan Gambar 3 dapat dilihat bahwa titik ekuilibrium stabil asimtotik. Hal ini ditunjukkan oleh pergerakan solusi sistem yang diambil untuk sebarang nilai awal, keseluruhannya bergerak menuju ke titik ekuilibrium yakni saat sebelum bekam

$(G, I) = (68.38, 0)$ dan setelah bekam $(G, I) = (64.81, 0)$. Secara biologis dapat diinterpretasikan bahwa pada saat mencapai kondisi ini, penyakit diabetes sudah menghilang.



Gambar 2. Proyeksi Potret Fase Model Penyakit Diabetes Sebelum Bekam.



Gambar 3. Proyeksi Potret Fase Model Penyakit Diabetes Setelah Bekam.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari simulasi trayektori, diperoleh bahwa satu kali terapi bekam memberikan pengaruh terhadap penurunan kadar glukosa dalam darah dengan $G < 140mgdl^{-1}$ sehingga membuktikan bahwa bekam bisa menjadi pengobatan alternatif bagi para penderita diabetes. Simulasi potret fase menunjukkan bahwa titik ekuilibrium dari model stabil asimtotik.

DAFTAR PUSTAKA

American Diabetes Association, Diagnosis and classification of diabetes mellitus, Diabetes care 33, Supplement 1 (2010), S62-S69.
 American Diabetes Association., Diagnosis and classification of diabetes mellitus, Diabetes care 36, Supplement 1 (2013), S67-S74.

- B. Topp, K. Promislow, G. Devries, R. M. Miura, and T. Finegood, A model of β -cell mass, insulin, and glucose kinetics: pathways to diabetes, *Journal of theoretical biology* 206.4 (2000), 605-619.
- D. T. Lowe, Cupping therapy: An analysis of the effects of suction on skin and the possible influence on human health. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 29 (2017), 162-8.
- G. Kloppel, M. Lohr, K. Habich, M. Oberholzer and P. U. Heitz, Islet Pathology and the pathogenesis of type 1 and type 2 diabetes mellitus revisited, *Survey and synthesis of pathology research* 4.2 (1985), 110-125.
- S. K. Burge, T. L. Albright, and Residency Research Network Of South Texas (RRNeST) Investigators, Use of complementary and alternative medicine among family practice patients in south Texas, *American Journal of Public Health* 92.10 (2002), 1614- 1616.
- S. O. Adewale, R. O. Ayeni, O. A. Ajala and T. Adeniran, A new generalized mathematical model for the study of diabetes mellitus, *ADM* 92.109.7582 (2007), 120-6918.
- S. R. Vakilinia, D. Bayat, and M. Asghari, Hijama (Wet Cupping or Dry Cupping) for Diabetes Treatment, *Iranian Journal of Medical Sciences* 41.3 Suppl (2016), S37.
- WHO, WHO Traditional Medicine Strategy 2002-2005, No. WHO/EDM/TRM/2002.1, Geneva, World Health Organization, 2002.