

Model Matematika Terapi Hormon pada Kanker Payudara Menggunakan Jaringan Kanker Linear

Rizqa Hariq Hazana^{#1}, Muhammad Subhan^{*2}

[#]*Student of Mathematics Department Universitas Negeri Padang, Indonesia*

^{*}*Lecturers of Mathematics Department Universitas Negeri Padang, Indonesia*

¹rizqahariqhazana@gmail.com

²13subhan@fmipa.unp.ac.id

Abstract—Cancer is a disease in which abnormal growth of cells occurs. Breast cancer is a cancer that starts in the breast vessels which is usually known as epithelial cells. The goal of this study is to form a mathematical model that can illustrate how hormone therapy prevents estrogen receptors in breast epithelial cells to help cancer cells divide. Model is a differential equation system which has four equations and five fixed points. From the results of the analysis it was found that the fixed point P_1 is always unstable, while the fixed points P_2 to P_5 are stable depending on certain conditions.

Keywords—Mathematical Models, Breast Cancer, Hormone Therapy, Linear Cancer Network.

Abstrak—Kanker merupakan suatu penyakit dimana terjadi pertumbuhan abnormal dari sel. Kanker payudara adalah kanker yang dimulai pada pembuluh payudara yang biasanya dikenal sebagai sel epitel. Penelitian ini bertujuan untuk membentuk suatu model matematika yang dapat menggambarkan bagaimana terapi hormon mencegah estrogen receptor pada sel epitel payudara untuk membantu sel kanker membelah diri. Model yang diperoleh berbentuk sistem persamaan diferensial yang terdiri dari empat persamaan dan memiliki lima titik tetap. Dari hasil analisis diperoleh bahwa titik tetap P_1 selalu tidak stabil, sedangkan titik tetap P_2 hingga P_5 stabil tergantung pada kondisi tertentu.

Kata kunci—Model Matematika, Kanker Payudara, Terapi Hormon, Jaringan Kanker Linear.

PENDAHULUAN

Kanker adalah istilah umum untuk sekelompok besar penyakit yang dapat mempengaruhi setiap bagian dari tubuh yang juga disebut dengan tumor ganas dan neoplasma [1]. Kanker terjadi ketika sel normal mulai tumbuh secara abnormal dan memperbanyak diri secara cepat [2].

Salah satu jenis kanker yang paling banyak terjadi saat ini yaitu kanker payudara yang paling banyak menyerang wanita [3]. Berdasarkan data globocan International Agency for Research on Cancer (IARC), diketahui bahwa pada tahun 2018 diperkirakan terdapat 18 juta kasus baru kanker dan 9.5 juta kematian akibat kanker diseluruh dunia. Sebanyak 2 juta dari 18 juta kasus tersebut merupakan kanker payudara [4]. Hal ini berarti 11.6 % dari keseluruhan kejadian merupakan kanker payudara.

Kanker payudara dimulai pada pembuluh payudara yang dikenal dengan sel epitel yang dapat terjadi dalam banyak bentuk seperti, receptor positif untuk estrogen (ER+), receptor positif untuk progesteron (PR+), HER2 positif, dan negatif dari ketiganya [5]. Dari ketiga jenis tersebut yang paling sering terjadi adalah ER+ yaitu ketika kadar estrogen meningkat karena peningkatan rata-rata penghasilan sel di receptor positif endokrin kanker payudara [3].

Pengobatan kanker payudara yang terjadi karena adanya pengaruh reseptor hormonal dapat dilakukan dengan terapi hormon [6]. Terapi hormon terdiri dari beberapa bentuk seperti obat tamoxifen yang secara spesifik dapat mencegah estrogen mengikat receptor estrogen pada sel epitel kanker atau mencegah tubuh memproduksi estrogen [5].

Untuk dapat melihat gambaran tentang bagaimana respon obat terapi terhadap tubuh penderita tentunya dapat dilakukan terapi secara langsung. Namun hasil dari terapi tersebut hanya dapat diketahui setelah terapi dilakukan. Sehingga tidak dapat diketahui dengan jelas bagaimana efektivitas obat terapi terhadap tubuh penderita. Untuk itu dibutuhkan suatu cara untuk dapat mengetahui bagaimana pengaruh terapi terhadap tubuh penderita sebelum terapi tersebut dilakukan.

Permasalahan ini dapat dimodelkan kedalam matematika sehingga dapat menimbulkan pemahaman yang lebih efektif dalam mengetahui bagaimana pengaruh terapi hormon sebagai salah satu pengobatan untuk kanker payudara [7].

Penelitian ini bertujuan untuk membentuk model matematika terapi hormon pada kanker payudara kemudian menganalisis model tersebut serta menginterpretasikan hasil analisis yang diperoleh dari model tersebut.

METODE

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian dasar, menggunakan metode studi kepustakaan dengan menganalisis teori – teori yang sesuai dengan masalah yang diangkat dalam penelitian ini. Langkah – langkah yang dilakukan untuk memperoleh jawaban dari permasalahan tersebut adalah :

1. Mengidentifikasi masalah sesungguhnya yang akan diangkat dalam penelitian yaitu tentang masalah terapi hormon pada kanker payudara.
2. Mengumpulkan teori – teori yang sesuai dengan masalah terapi hormon pada kanker payudara.
3. Menentukan metode yang akan digunakan dalam penyelesaian masalah yaitu mengenai masalah terapi hormon pada kanker payudara menggunakan model matematika
4. Membentuk model matematika terapi hormon pada kanker payudara dengan terlebih dahulu menentukan variabel, parameter serta asumsi yang berkaitan dengan masalah tersebut.
5. Menganalisis model matematika terapi hormon pada kanker payudara yang telah diperoleh dengan menentukan titik tetap model, serta menentukan kestabilan titik tetap tersebut.
6. Menginterpretasikan hasil analisis dari model yang diperoleh
7. Membuat kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model Matematika Terapi Hormon pada Kanker Payudara Menggunakan Jaringan Kanker Linear

Model matematika terapi hormon pada kanker payudara dibentuk dengan empat variabel yaitu

- \bar{A} = Populasi sel kanker (Unit)
- \bar{B} = Populasi sel tumor (Unit)
- \bar{C} = Populasi sel sehat (Unit)
- \bar{Z} = Populasi estrogen (Pg)

Sedangkan parameter yang digunakan yaitu :

- k = Laju pertumbuhan sel kanker (Per Hari)
- q = Laju pertumbuhan sel sehat (Per Hari)
- r = laju pertumbuhan estrogen (Per Hari)
- m_1 = kapasitas maksimum sel kanker (Unit)
- m_2 = kapasitas maksimum sel tumor (Unit)
- m_3 = kapasitas maksimum sel sehat (Unit)
- n = Kapasitas maksimum estrogen (Pg)
- d_1 = Tingkat kematian sel kanker karena kekurangan estrogen (Per Hari)
- d_2 = Tingkat kematian sel tumor karena kekurangan estrogen (Per Hari)
- d_3 = Tingkat kematian sel sehat karena kekurangan estrogen (Per Hari)
- s = efektivitas Tamoxifen (Per Mg)
- f = Dosis Tamoxifen (Mg Per Hari)

Dalam pemodelan ini asumsi yang digunakan yaitu interaksi antara sel kanker dengan sel tumor menggunakan jaringan kanker linear, yang berarti bahwa

sel kanker tetap konstan namun sel tumor akan diproduksi secara linear oleh sel kanker, tidak ada kematian alami pada sel tumor, serta pertumbuhan sel kanker, sel tumor, sel sehat dan estrogen mengikuti pertumbuhan logistik.

Berdasarkan variabel, parameter, serta asumsi yang telah diperoleh maka dapat dibentuk model matematika sebagai berikut :

$$\frac{d\bar{A}}{dt} = \left(\frac{k\bar{Z}}{n}\right)\bar{A}\left(1 - \frac{\bar{A}}{m_1}\right) - d_1\left(1 - \frac{\bar{Z}}{n}\right)\bar{A} \quad (1)$$

$$\frac{d\bar{B}}{dt} = \left(\frac{k\bar{Z}}{n}\right)\bar{A}\left(\frac{\bar{A}}{m_1}\right)\left(1 - \frac{\bar{B}}{m_2}\right) - d_2\left(1 - \frac{\bar{Z}}{n}\right)\bar{B} \quad (2)$$

$$\frac{d\bar{C}}{dt} = \left(\frac{q\bar{Z}}{n}\right)\bar{C}\left(1 - \frac{\bar{C}}{m_3}\right) - d_3\left(1 - \frac{\bar{Z}}{n}\right)\bar{C} \quad (3)$$

$$\frac{d\bar{Z}}{dt} = r\bar{Z}\left(1 - \frac{\bar{Z}}{n}\right) - s f \bar{Z} \quad (4)$$

Untuk mempermudah dalam melakukan analisis model maka dilakukan penyederhanaan terhadap model dengan mendefinisikan variabel serta parameter baru sebagai berikut :

$$\frac{\bar{A}}{m_1} = A, \delta_1 = \frac{d_1}{k}$$

$$\frac{\bar{B}}{m_2} = B, \delta_2 = \frac{d_2}{k}$$

$$\frac{\bar{C}}{m_3} = C, \delta_3 = \frac{d_3}{k}, \gamma = \frac{q}{k}$$

$$\frac{\bar{Z}}{n} = Z, \rho = \frac{r}{k}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \mu, \sigma = \frac{s f}{k}$$

Sehingga diperoleh model yang lebih sederhana yaitu

$$ZA(1 - A) - \delta_1(1 - Z)A = 0 \quad (5)$$

$$ZA^2\mu(1 - B) - \delta_2(1 - Z)B = 0 \quad (6)$$

$$\gamma ZC(1 - C) - \delta_3(1 - Z)C = 0 \quad (7)$$

$$\rho Z(1 - Z) - \sigma Z = 0 \quad (8)$$

B. Analisis Model Matematika Terapi Hormon pada Kanker Payudara Menggunakan Jaringan Kanker Linear

1) Titik Tetap Model

Dengan melakukan analisis terhadap persamaan (5) - (8) diatas diperoleh lima titik tetap model yaitu :

- a. Titik tetap $P_1 = (0, 0, 0, 0)$, yaitu titik dimana tidak terdapat sel baik itu sel kanker, sel tumor, ataupun sel sehat, sehingga tidak terdapat pengikatan estrogen
- b. Titik tetap bebas kanker

$$P_2 = (0, 0, 0, Z^*) = \left(0, 0, 0, \frac{\rho - \sigma}{\rho}\right) \text{ yaitu titik dimana}$$

tidak ada sel kanker, sel tumor maupun sel sehat, namun estrogen tersedia.

- c. Titik tetap terinfeksi kanker

$$P_3 = (A^*, B^*, 0, Z^*) = \left(\frac{\rho - \sigma - \delta_1 \sigma}{\rho - \sigma}, \frac{\mu(\rho - \sigma - \delta_1 \sigma)^2}{\mu(\rho - \sigma - \delta_1 \sigma)^2 + \delta_2 \sigma(\rho - \sigma)}, 0, \frac{\rho - \sigma}{\rho} \right)$$

yaitu titik dimana sel kanker dan sel tumor ada dengan ketersediaan estrogen namun sel sehat mati.

d. Titik tetap bebas kanker

$$P_4 = (0, 0, C^*, Z^*) = \left(0, 0, \frac{\gamma \rho - \gamma \sigma - \delta_3 \sigma}{\gamma \rho - \gamma \sigma}, \frac{\rho - \sigma}{\rho} \right), \text{ yaitu titik}$$

dimana sel kanker dan sel tumor mati dan hanya sel sehat yang mampu bertahan dengan ketersediaan estrogen

e. Titik tetap terinfeksi kanker

$$P_5 = (A^*, B^*, C^*, Z^*) = \left(\frac{\rho - \sigma - \delta_1 \sigma}{\rho - \sigma}, \frac{\mu(\rho - \sigma - \delta_1 \sigma)^2}{\mu(\rho - \sigma - \delta_1 \sigma)^2 + \delta_2 \sigma(\rho - \sigma)}, \frac{\gamma \rho - \gamma \sigma - \delta_3 \sigma}{\gamma \rho - \gamma \sigma}, \frac{\rho - \sigma}{\rho} \right)$$

yaitu titik dimana semua sel hidup berdampingan dan estrogen tersedia.

Untuk menentukan kapan masing – masing nilai dari titik tetap ada, maka harus ditetapkan kondisi untuk memastikan bahwa setiap titik berada pada R_+^4 .

i) Z^* adajika

$$\frac{\rho - \sigma}{\rho} > 0 \quad (9)$$

$$\rho > \sigma$$

ii) A^* adajika

$$\frac{\rho - \sigma - \delta_1 \sigma}{\rho} > 0 \quad (10)$$

$$\delta_1 < \frac{\rho - \sigma}{\sigma}$$

iii) C^* adajika

$$\frac{\gamma \rho - \gamma \sigma - \delta_3 \sigma}{\gamma \rho - \gamma \sigma} > 0 \quad (11)$$

$$\delta_3 < \frac{\gamma(\rho - \sigma)}{\sigma}$$

2) Uji Kestabilan Titik Tetap Model

Kestabilan titik tetap model dapat dilihat dengan mencari nilai eigen dari masing – masing titik tetap. Nilai eigen dapat diketahui dengan menggunakan rumus

$$\det(\lambda I - j(P)) = 0, \text{ dimana } j(P) \text{ adalah matriks jacobii.}$$

Jika nilai eigen dari masing-masing titik tetap bertanda negatif, maka dapat dikatakan bahwa titik tetap tersebut stabil, namun jika nilai eigen yang diperoleh bertanda positif maka dapat dikatakan bahwa titik tersebut tidak stabil. Adapun matriks jacobii yang diperoleh dari model yaitu

$$j[P] = \begin{bmatrix} D - 2AD - \delta_1 + \delta_1 D & 0 & 0 & A - A^2 + \delta_1 A \\ 2\mu AD - 2\mu ADB & -\mu DA^2 - \delta_3 + \delta_3 D & 0 & \mu A^2 - \mu A^2 B + \delta_3 B \\ 0 & 0 & \gamma D - 2\gamma DC - \delta_3 + \delta_3 D & \gamma C - \gamma C^2 + \delta_3 C \\ 0 & 0 & 0 & \rho - 2\rho D - \sigma \end{bmatrix}$$

Berikut analisis kestabilan dari kelima titik tetap model :

a. Analisis kestabilan titik tetap P_1

Diperoleh nilai eigen sebagai berikut :

$$\lambda_1 = -\delta_1, \lambda_2 = -\delta_2, \lambda_3 = -\delta_3, \text{ dan } \lambda_4 = \rho - \sigma$$

Dari matriks jacobii diperoleh bahwa salah satu nilai eigen bertanda positif . Hal tersebut berdasarkan pada kondisi (9) diatas, sehingga jelas bahwa titik tetap P_1 akan selalu tidak stabil.

b. Analisis kestabilan titik tetap P_2

Diperoleh nilai eigen sebagai berikut :

$$\lambda_1 = \frac{\rho - \sigma}{\rho} - \frac{\delta_1 \sigma}{\rho}$$

$$\lambda_2 = -\left(\frac{\delta_2 \sigma}{\rho} \right)$$

$$\lambda_3 = -\frac{\gamma(\rho - \sigma)}{\rho} - \frac{\delta_3 \sigma}{\rho}$$

$$\lambda_4 = -(\rho - \sigma)$$

Diperoleh tiga nilai eigen negatif yaitu $\lambda_2 = -\left(\frac{\delta_2 \sigma}{\rho} \right)$

$$\lambda_3 = -\frac{\gamma(\rho - \sigma)}{\rho} - \frac{\delta_3 \sigma}{\rho}, \text{ dan } \lambda_4 = -(\rho - \sigma) \text{ serta satu}$$

nilai eigen lainnya yaitu $\lambda_1 = \frac{\rho - \sigma}{\rho} - \frac{\delta_1 \sigma}{\rho}$.

Titik tetap P_2 stabil asimtotik jika :

$$\text{i) } \delta_1 > \frac{\rho - \sigma}{\sigma}$$

c. Analisis kestabilan titik tetap P_3

Diperoleh nilai eigen sebagai berikut :

$$\lambda_1 = -(\rho - \sigma)$$

$$\lambda_2 = \gamma \left(\frac{\rho - \sigma}{\rho} \right) - \delta_3 \frac{\sigma}{\rho}$$

$$\lambda_3 = -\left(\frac{\rho - \sigma}{\rho} \right) + \frac{\delta_1 \sigma}{\rho}$$

$$\lambda_4 = -\frac{\mu(\rho - \sigma - \delta_1 \sigma)^2}{\rho(\rho - \sigma)} - \frac{\delta_2 \sigma}{\rho}$$

Diperoleh dua nilai eigen yaitu $\lambda_1 = -(\rho - \sigma)$ dan

$$\lambda_4 = -\frac{\mu(\rho - \sigma - \delta_1 \sigma)^2}{\rho(\rho - \sigma)} - \frac{\delta_2 \sigma}{\rho} \text{ serta 2 nilai eigen}$$

lainnya yaitu

$$\lambda_2 = \gamma \left(\frac{\rho - \sigma}{\rho} \right) - \delta_3 \frac{\sigma}{\rho} \text{ dan}$$

$$\lambda_3 = -\left(\frac{\rho - \sigma}{\rho} \right) + \frac{\delta_1 \sigma}{\rho}$$

Titik tetap P_3 stabil asimtotik jika :

$$\text{i) } \delta_1 < \frac{\rho - \sigma}{\sigma},$$

$$\text{ii) } \delta_3 > \frac{\gamma(\rho - \sigma)}{\sigma}$$

d. Analisis kestabilan titik tetap P_4
Diperoleh nilai eigen sebagai berikut :

$$\lambda_1 = \frac{\rho - \sigma}{\rho} - \frac{\delta_1 \sigma}{\rho}$$

$$\lambda_2 = -\frac{\delta_2 \sigma}{\rho}$$

$$\lambda_3 = -\frac{\gamma(\rho - \sigma)}{\rho} + \frac{\delta_3 \sigma}{\rho}$$

$$\lambda_4 = -(\rho - \sigma)$$

Diperoleh dua nilai eigen yaitu $\lambda_2 = -\left(\frac{\delta_2 \sigma}{\rho}\right)$ dan

$\lambda_4 = -(\rho - \sigma)$ yang bernilai negatif dan dua nilai eigen

lainnya yaitu $\lambda_1 = \frac{\rho - \sigma}{\rho} - \frac{\delta_1 \sigma}{\rho}$ dan

$\lambda_3 = \frac{-\gamma(\rho - \sigma)}{\rho} + \frac{\delta_3 \sigma}{\rho}$. Titik tetap P_4 stabil asimtotik

jika :

i) $\delta_1 > \frac{\rho - \sigma}{\sigma}$

ii) $\delta_3 < \frac{\gamma(\rho - \sigma)}{\sigma}$

e. Analisis kestabilan titik tetap P_5

Diperoleh nilai eigen sebagai berikut :

$$\lambda_1 = -\frac{\rho - \sigma}{\rho} + \frac{\delta_1 \sigma}{\rho}$$

$$\lambda_2 = -\left(\frac{\mu(\rho - \sigma - \delta_1 \sigma)^2}{\rho(\rho - \sigma)} + \frac{\delta_2 \sigma}{\rho}\right)$$

$$\lambda_3 = -\gamma\left(\frac{\rho - \sigma}{\rho}\right) + \frac{\delta_3 \sigma}{\rho}$$

$$\lambda_4 = -(\rho - \sigma)$$

Diperoleh dua nilai eigen negatif yaitu $\lambda_4 = -(\rho - \sigma)$

dan $\lambda_2 = -\left(\frac{\mu(\rho - \sigma - \delta_1 \sigma)^2}{\rho(\rho - \sigma)} + \frac{\delta_2 \sigma}{\rho}\right)$ serta dua nilai

eigen lainnya yaitu

$$\lambda_1 = -\frac{\rho - \sigma}{\rho} + \frac{\delta_1 \sigma}{\rho} \text{ dan } \lambda_3 = -\gamma\left(\frac{\rho - \sigma}{\rho}\right) + \frac{\delta_3 \sigma}{\rho}$$

Titik tetap P_5 stabil asimtotik jika :

i) $\delta_1 < \frac{\rho - \sigma}{\sigma}$,

ii) $\delta_3 < \frac{\gamma(\rho - \sigma)}{\sigma}$

C. Simulasi Kestabilan Titik Tetap Model Matematika Terapi Hormon pada Kanker Payudara Menggunakan Jaringan Kanker Linear

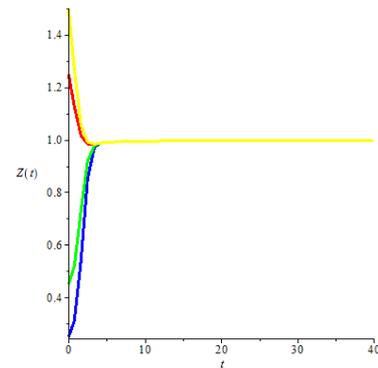
Simulasi kestabilan titik tetap model dilakukan dengan membentuk trayektori dari beberapa kondisi awal yang berbeda dan menggunakan nilai parameter yang telah ditentukan.

1) Kasus I

Nilai parameter yaitu :

$$\rho=1 \quad \gamma=0,75 \quad \delta_2=0,65 \quad \mu=0,50$$

$$\sigma=0,05 \quad \delta_1=25 \quad \delta_3=20$$



Gambar1. Gambar Fase Titik Tetap Kasus I

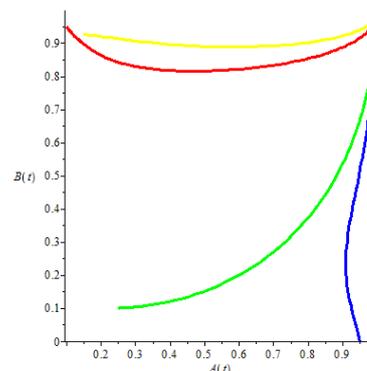
Titik tetap yang diperoleh jika parameter diatas di substitusi kan adalah $P_1 = (0, 0, 0, 0)$ dan $P_2 = (0, 0, 0, 0,95)$. Dari gambar dapat dilihat bahwa arah gerak kurva yang diperoleh sama – sama menjauhi titik tetap P_1 dan mendekati titik tetap P_2 . Hal ini menunjukkan bahwa titik tetap P_1 bersifat tidak stabil sedangkan titik tetap P_2 bersifat stabil. Dari sini dapat diidentifikasi bahwa setelah diberikan pengobatan semua sel kanker, sel tumor, dan sel sehat mati. Hanya estrogen yang tersedia.

2) Kasus II

Nilai parameter yaitu :

$$\rho=1 \quad \gamma=0,75 \quad \delta_2=0,65 \quad \mu=0,50$$

$$\sigma=0,05 \quad \delta_1=0,20 \quad \delta_3=25$$



Gambar2. Gambar Fase Titik Tetap Kasus II

Titik tetap yang diperoleh jika parameter diatas di substitusi kan adalah $P_1 = (0, 0, 0, 0)$, $P_2 = (0, 0, 0, 0,95)$ dan $P_4 = (0,9894736842, 0,9346802771, 0, 0,95)$. Dari gambar 2 dapat dilihat bahwa arah gerak kurva yang

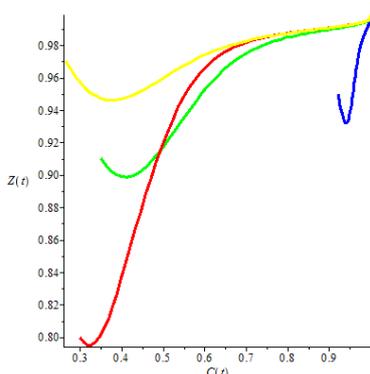
diperoleh sama – sama menjauhi titik tetap P_1 dan mendekati titik tetap P_4 . Hal ini menunjukkan bahwa titik tetap P_1 bersifat tidak stabil sedangkan titik tetap P_4 bersifat stabil. Dari sini dapat diidentifikasi bahwa ketika dilakukan pengobatan maka populasi sel kanker dan sel tumor bergerak menuju titik tetap terinfeksi kanker yang stabil, sehingga seiring dengan berjalannya waktu pengobatan maka populasi sel kanker dan sel tumor akan terus meningkat, sedangkan populasi sel sehat akan semakin menurun. Pada kasus ini dapat dikatakan bahwa terapi hormon tidak berhasil dilakukan.

3) Kasus III

Nilai parameter yaitu :

$$\rho=1 \quad \gamma=0,75 \quad \delta_2=0,45 \quad \mu=0,50$$

$$\sigma=0,05 \quad \delta_1= 20 \quad \delta_3=0,15$$



Gambar 3. Gambar Fase Titik Tetap Kasus III

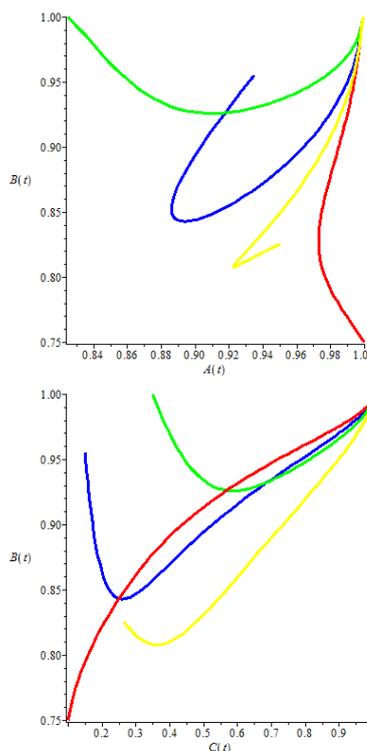
Titik tetap yang diperoleh jika parameter diatas di substitusi kan adalah $P_1 = (0, 0, 0, 0), P_2 = (0, 0, 0, 0,95)$ dan $P_3 = (0, 0, 0,9894736842, 0,95)$. Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa arah gerak kurva yang diperoleh sama – sama menjauhi titik tetap P_1 dan mendekati titik tetap P_3 . Hal ini menunjukkan bahwa titik tetap P_1 bersifat tidak stabil sedangkan titik tetap P_3 bersifat stabil. Dari sini dapat diidentifikasi bahwa ketika dilakukan pengobatan maka populasi sel sehat bergerak menuju titik tetap bebas kanker yang stabil, dan populasi sel kanker dan sel tumor bergerak menjauhi titik tetap, sehingga seiring dengan berjalannya waktu pengobatan maka populasi sel kanker dan sel tumor akan terus menurun diakibatkan oleh kurangnya jumlah estrogen yang dapat memicu pertumbuhan sel kanker. Berkurangnya jumlah estrogen ini diakibatkan oleh terapi hormon yang dilakukan sehingga dapat mencegah tubuh untuk memproduksi estrogen, hal ini mengakibatkan populasi sel sehat akan semakin meningkat. Sehingga pada kasus ini dapat dikatakan bahwa terapi hormon berhasil dilakukan.

4) Simulasikasus IV

Nilai parameter yaitu :

$$\rho=1 \quad \gamma=0,75 \quad \delta_2=0,45 \quad \mu=0,50$$

$$\sigma=0,05 \quad \delta_1= 20 \quad \delta_3=0,15$$



Gambar4. Gambar Fase Titik Tetap Kasus IV

Titik tetap yang diperoleh jika parameter diatas disubstitusikan adalah

$$P_1 = (0, 0, 0, 0)$$

$$P_2 = (0, 0, 0, 0,95)$$

$$P_3 = (0, 0, 0,9894736842, 0,95)$$

$$P_4 = (0,9868421053, 0,9685917967, 0, 0,95)$$

$$P_5 = (0,9868421053, 0,9685917967, 0,9894736842, 0,95)$$

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa arah gerak kurva yang diperoleh sama – sama menjauhi titik tetap $P_1 - P_4$ dan mendekati titik tetap P_5 . Hal ini menunjukkan bahwa titik tetap $P_1 - P_4$ bersifat tidak stabil sedangkan titik tetap P_5 bersifat stabil. Dari sini dapat diidentifikasi bahwa ketika dilakukan pengobatan semua sel kanker, sel tumor, sel sehat dan estrogen tersedia.

D. Interpretasi Model Matematika Terapi Hormon pada Kanker Payudara Menggunakan jaringan Kanker linear

Berdasarkan analisis dan simulasi yang telah dilakukan dapat dilihat faktor yang paling menentukan dalam keberhasilan terapi hormon pada kanker payudara yaitu besarnya tingkat kematian sel kanker karena kekurangan estrogen dan tingkat kematian sel sehat karena kekurangan estrogen. Hal tersebut dipengaruhi oleh besarnya pertumbuhan estrogen dan seberapa efektif obat terapi yang diberikan dengan dosis obat yang sama.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang didapat dari model matematika terapi hormon pada kanker payudara menggunakan jaringan kanker linear diperoleh sistem persamaan diferensial biasa non-linear yang terdiri dari empat persamaan. Persamaan pertama merupakan laju pertumbuhan sel kanker, persamaan kedua merupakan laju pertumbuhan sel tumor, persamaan ketiga merupakan laju pertumbuhan sel sehat dan persamaan keempat merupakan laju pertumbuhan estrogen. Dari analisis yang dilakukan diperoleh lima titik tetap yang diuji dengan menggunakan beberapa kasus sehingga diperoleh untuk semua kasus terdapat titik tetap yang stabil.

REFERENSI

- [1] World Health Organization. 2018. *Cancer*. Diakses pada tanggal 20 September 2018. www.who.int.
- [2] Muslim, Choirul. 2003. *Buku Bahan Ajar Biologi Molekuler Sel*. Jurusan biologi Universitas Bengkulu.
- [3] Rasjidi, Imam. 2010. *Epidemiologi kanker Pada Wanita*. Jakarta : CV Sagungseto.
- [4] International Agency for research on Cancer. 2018. *Cancer Today*. Diakses pada tanggal 20 September 2018. www.iarc.fr.
- [5] McDuffie, M. 2014. A Hormone Therapy Model For Breast Cancer Using Linear Cancer Networks. USA, Rose Hulman Undergraduate Mathematics Journal.
- [6] Manuaba, Tjakra, W., dkk. 2010. *Panduan Penatalaksanaan Kanker Solid Peraboi 2010*. Jakarta : CV Sagung Seto.
- [7] Widowati & Sutimin. 2007. *Buku ajar Pemodelan Matematika*. Jurusan Matematika Universitas Diponegoro.