

**MODEL MATEMATIKA KANKER PARU – PARU AKIBAT PENGARUH  
SISA ASAP ROKOK DAN PENCEGAHANNYA****Roni Al Maududi**Program Studi Informatika, Universitas Indraprasta PGRI  
E-Mail: ronialmaududi@gmail.com**Abstrak**

Kanker paru – paru adalah salah satu kanker yang paling banyak menyebabkan kasus kematian di dunia. Salah satu faktor risiko yang paling penting dalam perkembangan kanker paru – paru adalah sisa asap rokok. Dalam artikel ini, digunakan sebuah model Matematika kanker paru – paru yang direpresentasikan oleh sistem persamaan diferensial nonlinear yang bertujuan untuk memodelkan dinamika dari suatu populasi yang terdapat perokok di dalamnya. *Basic reproduction number* ( $R_0$ ) dari model tersebut akan ditentukan dan selanjutnya dari  $R_0$  ini dapat dianalisis sensitivitas dari sistem dengan mengamati parameter-parameter yang dapat mempengaruhi perubahan nilai dari  $R_0$  secara signifikan. Simulasi numerik menggunakan data-data yang realistis pada parameter-parameter penyusun model akan disajikan untuk menggambarkan dinamika dari populasi tersebut. Hasil yang diperoleh dalam artikel ini adalah suatu model Matematika yang dapat menjelaskan dinamika yang terjadi dalam suatu populasi yang berkaitan dengan perkembangan kanker paru – paru akibat keberadaan perokok dan sisa asap rokoknya dalam populasi tersebut dan usaha – usaha yang relevan dalam pencegahannya.

**Kata kunci:** dinamika populasi, *basic reproduction number* ( $R_0$ ).

**Abstract**

*Lung cancer is one of the most common cancers that cause many death cases in the world. Cigarette smoke or secondhand smoke is one of the most important risk factors in the development of lung cancer. In this study, a Mathematical model for lung cancer represented by a non-linear system of differential equation is used to model the dynamics of a population which includes smokers. The basic reproduction number ( $R_0$ ) from the model will be determined and then by looking at this  $R_0$ , we can analyze the sensitivity of the system by observing the parameters that can significantly change the value of  $R_0$ . Numerical simulation using realistic data toward the model's parameters will be provided to illustrate the dynamics of this population. The result of this study is a Mathematical model which can explain the dynamics of development of lung cancer in a population as a consequence of the existence of smokers and secondhand smoke in that population and the relevant efforts as prevention.*

**Keywords:** *population dynamics, basic reproduction number ( $R_0$ )*

**Pendahuluan**

Kanker paru-paru (*Bronchogenic Carcinomas*) adalah salah satu penyebab utama kematian di dunia yang diakibatkan oleh penyakit kanker. Kanker ini menyebabkan kerusakan sel-sel tubuh yang berada di dalam paru-paru dan saluran udara *Broncheal*.

Menurut hasil laporan dari *International Agency for Research on Cancer* (IARC), diakses dari [http://globocan.iarc.fr/Pages/fact\\_sheets\\_population.aspx](http://globocan.iarc.fr/Pages/fact_sheets_population.aspx), pada tahun 2012 ada sekitar 1.589.925 kasus dari 8.201.575 kasus kematian yang terjadi akibat kanker paru-paru (19,4% kasus kematian). Dan dari 14.067.894 kasus kanker yang terjadi di dunia, 13% kasus diantaranya (1.824.701 kasus) merupakan kasus kanker paru-paru. Kanker paru-paru termasuk ke dalam 5 besar kanker yang paling sering terjadi di dunia.

Merokok tembakau merupakan faktor risiko paling utama penyebab kanker paru-paru. Merokok menyebabkan terjadinya 9 dari 10 kasus kanker paru-paru pada pria dan 8 dari 10 kasus kanker paru-paru pada wanita.

Penelitian menunjukkan bahwa risiko terkena kanker paru-paru akibat merokok meningkat sesuai dengan jumlah banyaknya rokok yang diisap per hari atau per tahun. Karena di dalam asap rokok terkandung lebih dari 7.000 zat kimia, dengan lebih dari 250 zat diantaranya beracun dan sekitar 70 zat bersifat karsinogenik (menyebabkan kanker), sehingga perokok aktif mempunyai risiko untuk terkena kanker paru-paru 20 kali lebih besar dari perokok pasif atau bukan perokok.

Menjadi perokok pasif juga salah satu faktor risiko penyebab terkena kanker paru-paru, meskipun dalam jumlah yang lebih sedikit. Perokok pasif adalah orang yang menghirup udara yang terkontaminasi oleh sisa asap rokok yang dihembuskan oleh perokok aktif. Kemungkinan untuk perokok (aktif/pasif) terkena kanker paru-paru tergantung dari beberapa aspek diantaranya : umur ketika mulai merokok, sudah berapa lama merokok, banyak rokok yang diisap per hari, dan seberapa dalam perokok menghirup/mengisap asap rokok. Sisa asap rokok menyebabkan lebih dari 600.000 kasus kematian prematur setiap tahunnya. Di Amerika terjadi lebih dari 7.300 kasus kematian karena kanker paru-paru akibat sisa asap rokok (menjadi perokok pasif) selama tahun 2005-2009.

Dari fakta – fakta tentang sisa asap rokok akibat merokok tembakau dan kanker paru-paru di atas akan dibahas suatu model Matematika tentang kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok dalam suatu populasi. Tujuan utama dari artikel ini adalah untuk menjelaskan hubungan antara terjadinya kanker paru – paru akibat pengaruh sisa asap rokok dalam suatu populasi. Selain itu untuk menunjukkan pengaruh interaksi antara perokok dan bukan perokok dalam hubungannya sehingga menyebabkan terkena kanker paru – paru dalam suatu populasi. Artikel ini juga bertujuan untuk menentukan usaha pencegahan yang efektif dalam mengurangi laju perkembangan kanker paru – paru pada perokok dan bukan perokok.

Diharapkan dari artikel ini akan memberikan manfaat dalam usaha pencegahan perkembangan kanker paru – paru yang terjadi akibat pengaruh sisa asap rokok dalam suatu populasi dengan melihat faktor – faktor yang menyebabkan terjadinya dinamika dalam populasi tersebut dari model Matematika yang terbentuk.

### **Tinjauan Pustaka**

Menurut Rinaldi Munir (2015) model Matematika adalah suatu bentuk persamaan Matematika yang memodelkan permasalahan yang terjadi di dunia nyata untuk mencari suatu solusi.

Menurut Brauer dan Chavez (2011) dinamika populasi adalah laju pertumbuhan populasi per kapita yang secara alami dibatasi oleh kapasitas muatan (*carrying capacity*) yang terus berubah dalam suatu lingkungan (*environment*). Laju pertumbuhan dari populasi bersifat tidak tetap (*not fixed*), tetapi merupakan fungsi – fungsi dari perubahan lingkungan (*functions of changing environment*). Bentang darat (*landscape*) dari lingkungan bersifat dinamis dan sering kali mengalami perubahan dramatis karena inovasi teknologi (seperti pengendalian kelahiran, penyakit, kelaparan, emisi karbon, dan perang) yang terkadang mengubah batas – batas dari sesuatu hal yang mungkin terjadi.

Menurut Jones (2007) *basic reproduction number* ( $R_0$ ) adalah nilai ekspektasi dari kasus sekunder yang dihasilkan oleh infeksi tunggal (khusus) ke dalam suatu populasi yang rentan terinfeksi.

### Metodologi Penelitian

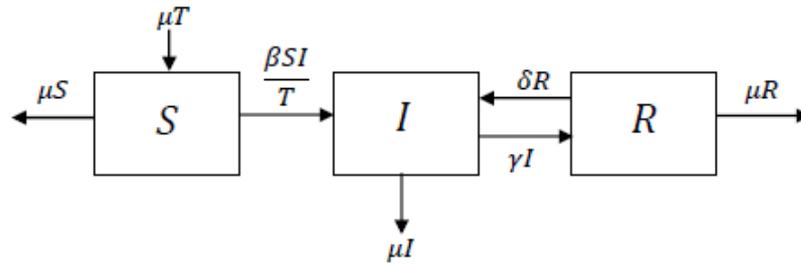
Dalam penyusunan artikel ini, digunakan metode pustaka (*library research*) dengan membaca beberapa literatur berupa buku-buku, *paper*, dan jurnal yang berhubungan dengan tema dan judul dari artikel ini. Kemudian digunakan juga metode *surfing* internet dengan membaca laman-laman yang berhubungan dengan tema dan judul artikel ini untuk menambah bahan-bahan penyusunan artikel.

Rancangan kegiatan yang digunakan dalam penulisan artikel ini dapat dirinci sebagai berikut:

1. Studi literatur dan *surfing* internet  
Mencari sumber – sumber bacaan yang berhubungan dengan tema dan judul yang dibahas dalam artikel ini untuk digunakan dalam pembentukan asumsi – asumsi yang akan menjadi dasar dari pembentukan model Matematika.
2. Pembentukan model dan penyelesaian secara analitik dan numerik  
Membuat suatu model Matematika sesuai dengan bahasan artikel ini dari asumsi – asumsi yang telah ditentukan dan selanjutnya mengumpulkan data yang relevan untuk menguji keabsahan model Matematika yang telah dibentuk. Data yang diperoleh dalam artikel ini bersifat asumsi dan estimasi berdasarkan fakta – fakta yang terjadi di dunia nyata. Sumber estimasi data ditentukan berdasarkan fakta – fakta yang diambil dari internet. Penyelesaian secara analitik dilakukan untuk menentukan titik – titik penting dari model untuk selanjutnya digunakan dalam pengujian keabsahan model dengan simulasi. Pengujian keabsahan model dengan melakukan simulasi numerik menggunakan program Matlab 2010 dan hasilnya berupa grafik yang menjelaskan dinamika yang terjadi dalam suatu populasi. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap hasil analitik dan simulasi yang dihasilkan
3. Interpretasi dan simpulan  
Analisis dari penyelesaian secara analitik dan simulasi menghasilkan suatu interpretasi dari model berupa penjelasan tentang faktor – faktor yang memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap dinamika yang terjadi dalam suatu populasi. Dengan melihat faktor – faktor tersebut kemudian dapat diambil suatu simpulan dan kemudian dapat ditentukan usaha – usaha pencegahan yang relevan terhadap perkembangan kanker paru – paru akibat pengaruh sisa asap rokok dalam suatu populasi.

### Hasil dan Pembahasan

Dalam pembentukan model matematika kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok pada artikel ini, digunakan model Matematika pengaruh penyebaran perokok dalam suatu populasi yang telah diajukan oleh Carlos Castillo-Garsow, *et al.* dalam artikel dengan judul: *Mathematical Models for the Dynamics of Tobacco Use, Recovery, and Relapse* sebagai model dasar yang kemudian dikembangkan dengan menggunakan asumsi-asumsi yang akan ditentukan selanjutnya. Model dasar yang digunakan adalah model yang menjelaskan tentang pengaruh adanya perokok reguler dalam suatu populasi. Dalam model dasar ini terdapat 3 variabel utama yang berperan penting terhadap dinamika perubahan dalam populasi tersebut. Pada waktu  $t$ , populasi tersebut dibagi menjadi 3 kelas yang terdiri dari calon perokok yang dilambangkan dengan  $S(t)$ , perokok reguler yang dilambangkan dengan  $I(t)$ , dan mantan perokok yang dilambangkan dengan  $R(t)$ . Perubahan jumlah populasi masing-masing kelas dipengaruhi oleh faktor-faktor tertentu yang menjadi parameter-parameter dalam pembentukan model. Model tersebut dijelaskan dalam diagram alir berikut:



Gambar 1. Diagram Model Pengaruh Perokok dalam Suatu Populasi

Dari diagram alir di atas, diperoleh persamaan untuk model Matematika pengaruh perokok dalam suatu populasi yang direpresentasikan oleh sistem persamaan diferensial nonlinear berikut:

$$\frac{dS}{dt} = \mu T - \frac{\beta SI}{T} - \mu S \tag{1}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta SI}{T} + \delta R - (\mu + \gamma)I \tag{2}$$

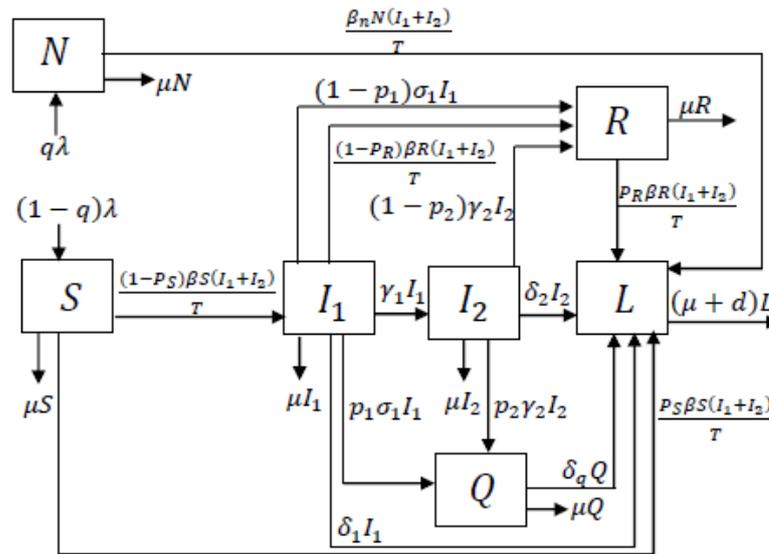
$$\frac{dR}{dt} = \gamma I - \delta R - \mu R \tag{3}$$

Selanjutnya dari model dasar ini kemudian akan dikembangkan menjadi model Matematika kanker paru-paru karena pengaruh sisa asap rokok dengan menggunakan asumsi-asumsi berikut:

1. Populasi dibagi menjadi dua subpopulasi yang terdiri dari individu-individu yang tidak pernah merokok yang respon terhadap penyuluhan pencegahan (subpopulasi terdidik/bukan perokok) yang dilambangkan dengan  $N$  dan individu-individu yang kurang respon terhadap penyuluhan pencegahan (subpopulasi kurang terdidik/calon perokok) yang dilambangkan dengan  $S$ . Masing-masing subpopulasi dibagi menjadi 1 dan 6 kelas berbeda.
2. Setiap individu dapat masuk ke dalam populasi melalui dua jalan dengan peluang tertentu, yaitu dengan jalan masuk ke dalam kelas bukan perokok ( $N$ ) atau masuk ke dalam kelas calon perokok ( $S$ ).
3. Individu-individu di setiap kelas rentan terkena kanker paru-paru sebagai akibat dari sisa asap rokok.
4. Individu dalam kelas calon perokok ( $S$ ) dapat menjadi perokok ringan ( $I_1$ ), yaitu individu yang hanya sedikit merokok karena kurangnya pendidikan/penyuluhan atau pengaruh pergaulan dari perokok reguler.
5. Individu yang telah masuk ke dalam kelas perokok ringan ( $I_1$ ) tak dapat kembali ke dalam kelas calon perokok ( $S$ ), tetapi hanya dapat masuk ke dalam kelas perokok berat ( $I_2$ ) atau ke dalam kelas mantan perokok sementara ( $R$ ) atau ke dalam kelas mantan perokok permanen ( $Q$ ) atau terkena kanker paru-paru ( $L$ ).
6. Individu yang masuk ke dalam kelas perokok berat ( $I_2$ ) dapat berhenti merokok sementara ( $R$ ) atau berhenti merokok permanen ( $Q$ ) atau terkena kanker paru-paru ( $L$ ).
7. Individu perokok berat ( $I_2$ ) awalnya selalu perokok ringan ( $I_1$ ).
8. Individu perokok yang berhenti merokok sementara ( $R$ ) dapat menjadi perokok ringan ( $I_1$ ) kembali atau terkena kanker paru-paru ( $L$ ).
9. Individu mantan perokok permanen ( $Q$ ) mempunyai peluang lebih besar terkena kanker paru-paru daripada bukan perokok ( $N$ ).

10. Laju kematian alami per kapita sama untuk semua kelas kecuali untuk kelas kanker paru-paru ( $L$ ) yang mempunyai laju kematian yang lebih besar.

Dari model dasar dan asumsi-asumsi di atas, selanjutnya akan dibentuk model Matematika kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok dalam suatu populasi. Model ini sudah pernah diajukan oleh Carlos A. Acevedo – Estefanía, et al. dalam jurnal dengan judul: *A Mathematical Model for Lung Cancer: The Effects of Second-Hand Smoke and Education*. Pembentukan model tersebut digambarkan melalui diagram alir berikut:



Gambar 2. Diagram Model Kanker Paru-paru karena Pengaruh Sisa Asap Rokok

Dari diagram alir di atas kemudian diperoleh bentuk model Matematika kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok dalam suatu populasi yang direpresentasikan melalui sistem persamaan diferensial nonlinear dengan 7 variabel berikut:

$$\frac{dS}{dt} = (1 - q)\lambda - \frac{\beta S(I_1 + I_2)}{T} - \mu S \tag{4}$$

$$\frac{dI_1}{dt} = \frac{((1 - P_S)\beta S + (1 - P_R)\beta R)(I_1 + I_2)}{T} - (\sigma_1 + \gamma_1 + \delta_1 + \mu)I_1 \tag{5}$$

$$\frac{dI_2}{dt} = \gamma_1 I_1 - (\gamma_2 + \delta_2 + \mu)I_2 \tag{6}$$

$$\frac{dQ}{dt} = p_2 \gamma_2 I_2 + p_1 \sigma_1 I_1 - (\delta_q + \mu)Q \tag{7}$$

$$\frac{dL}{dt} = \frac{(P_S \beta S + P_R \beta R + \beta_n N)(I_1 + I_2)}{T} + \delta_1 I_1 + \delta_2 I_2 + \delta_q Q - (\mu + d)L \tag{8}$$

$$\frac{dR}{dt} = (1 - p_1)\sigma_1 I_1 + (1 - p_2)\gamma_2 I_2 - \frac{\beta R(I_1 + I_2)}{T} - \mu R \tag{9}$$

$$\frac{dN}{dt} = q\lambda - \frac{\beta_n N(I_1 + I_2)}{T} - \mu N \tag{10}$$

dengan  $T = N + S + I_1 + I_2 + R + Q + L$

Persamaan (4) menyatakan perubahan jumlah kelas calon perokok ( $S(t)$ ) terhadap waktu  $t$ . Persamaan (5) menyatakan perubahan jumlah kelas perokok ringan ( $I_1(t)$ ) terhadap waktu  $t$ . Persamaan (6) menyatakan perubahan jumlah kelas perokok berat ( $I_2(t)$ ) terhadap waktu  $t$ . Persamaan (7) menyatakan perubahan jumlah kelas mantan perokok permanen ( $Q(t)$ ) terhadap waktu  $t$ . Persamaan (8) menyatakan perubahan jumlah kelas mantan perokok sementara ( $R(t)$ ) terhadap waktu  $t$ . Persamaan (9) menyatakan perubahan jumlah kelas individu yang terkena kanker paru-paru ( $L(t)$ ) terhadap waktu  $t$ . Dan persamaan (10) menyatakan perubahan jumlah kelas bukan perokok ( $N(t)$ ) terhadap waktu  $t$ .

Dari model Matematika yang telah terbentuk selanjutnya akan ditentukan titik-titik kesetimbangan dari model Matematika tersebut. Ada dua jenis titik kesetimbangan yang diperoleh dari model Matematika kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok ini, yaitu:

1. Titik  $E_1 = (\frac{\lambda(1-q)}{\mu}, 0, 0, 0, 0, 0, \frac{q\lambda}{\mu})$  yaitu titik kesetimbangan bebas sisa asap rokok (*smoke-free equilibrium*). Titik  $E_1$  ini mempunyai interpretasi bahwa dalam suatu populasi tertentu untuk selang waktu menuju tak hingga, pada saat waktu  $t$  di dalamnya tidak terdapat perokok ( $I_1 = 0$  dan  $I_2 = 0$ ) sehingga di dalam populasi tersebut hanya dihuni oleh kelas calon perokok ( $S(t)$ ) dan kelas bukan perokok ( $N(t)$ ) yang akan mengalami perubahan terhadap waktu.
2. Titik kesetimbangan  $E_2 = (S, I_1, I_2, Q, R, L, N)$  yaitu titik kesetimbangan endemik (*endemic equilibria*). Titik  $E_2$  ini mempunyai interpretasi yang menyatakan bahwa dalam suatu populasi tertentu untuk selang waktu menuju tak hingga, pada saat waktu  $t$  di dalamnya diisi oleh seluruh komponen penyusun populasi tersebut yang terdiri dari 7 kelas berbeda yang semua komponennya mengalami perubahan terhadap waktu, yaitu kelas  $S(t)$ ,  $I_1(t)$ ,  $I_2(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $R(t)$ ,  $L(t)$ , dan  $N(t)$ . Dengan kata lain bahwa titik ini menunjukkan adanya kelas perokok yang mempengaruhi populasi tersebut sehingga individu di setiap kelas rentan terkena kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok. Titik ini diperoleh dengan melakukan penyelesaian persamaan aljabar pada setiap persamaan (4) hingga persamaan (10) yang sama dengan 0, sehingga diperoleh titik  $E_2$  dalam bentuk implisit.

Selanjutnya akan dibahas mengenai eksistensi dan kestabilan dari titik kesetimbangan endemik ini dengan menggunakan *basic reproduction number* ( $R_0$ ) yang merupakan nilai ekspektasi dari terjadinya kasus kelahiran populasi perokok reguler baru karena masuknya satu perokok reguler lama ke dalam suatu populasi yang semuanya bukan perokok.  $R_0$  ini akan sangat berguna untuk membantu menentukan pengaruh keberadaan perokok dalam suatu populasi terhadap risiko terkena kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok. Dengan menggunakan  $R_0$  ini dapat dilihat dinamika dari model yang telah terbentuk yaitu kestabilan dari titik-titik kesetimbangan yang sudah diperoleh. Dengan menggunakan nilai eigen dari matriks Jacobi pada model Matematika kanker paru – paru di atas untuk titik kesetimbangan bebas asap rokok  $E_1$ , diperoleh definisi dari  $R_0$  dalam ketaksamaan berikut:

$$R_0 = \frac{(1 - P_S)\beta(1 - q)(\gamma_1 + \gamma_2 + \delta_2 + \mu)}{(\gamma_2 + \delta_2 + \mu)(\gamma_1 + \sigma_1 + \delta_1 + \mu)}$$

$$= \left( \frac{(1 - q)(1 - P_S)\beta}{\gamma_1 + \sigma_1 + \delta_1 + \mu} \right) + \left( \frac{\gamma_1}{\gamma_1 + \sigma_1 + \delta_1 + \mu} \right) \left( \frac{(1 - q)(1 - P_S)\beta}{\gamma_2 + \delta_2 + \mu} \right) < 1$$

Dari nilai  $R_0$  ini dapat dikatakan bahwa jika nilai  $R_0 < 1$ , maka populasi tersebut bebas dari pengaruh sisa asap rokok karena ketiadaan kelas perokok (ringan atau berat), sehingga tidak

ada individu-individu dalam populasi tersebut yang terkena kanker paru-paru karena pengaruh sisa asap rokok. Jika  $R_0 > 1$ , maka titik kesetimbangan bebas asap rokok ini menjadi tidak stabil dan titik-titik kesetimbangan endemik menjadi stabil. Hal ini menunjukkan bahwa dalam populasi tersebut terdapat pengaruh dari sisa asap rokok yang signifikan terhadap dinamika dalam populasi itu, sehingga populasi tersebut rentan untuk terkena kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa titik bebas asap rokok  $E_1$  akan stabil asimtotik lokal jika dan hanya jika  $R_0 < 1$ . Jika  $R_0 > 1$ , maka titik kesetimbangan bebas asap rokok  $E_1$  ini menjadi tidak stabil dan titik-titik kesetimbangan endemik  $E_2$  akan menjadi stabil.

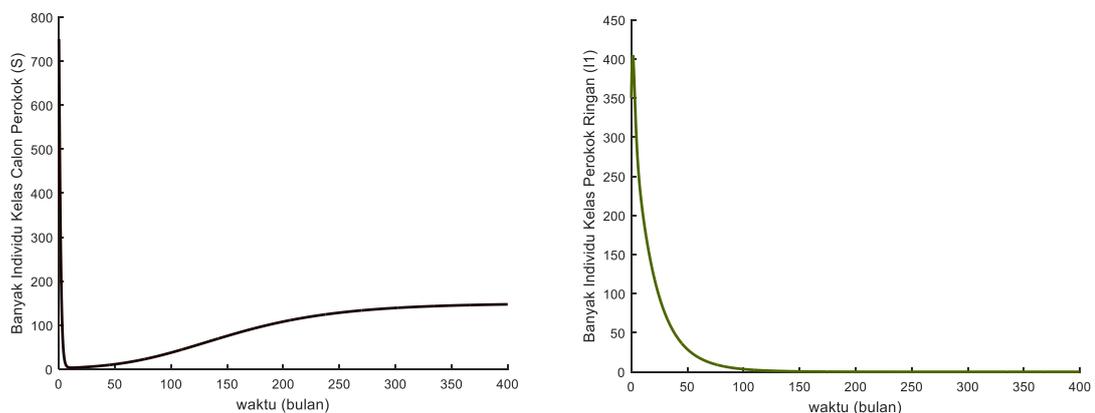
Selanjutnya dilakukan simulasi numerik menggunakan MATLAB, dengan data – data nilai – nilai variabel dan parameter (berubah – ubah) berikut:

**Tabel 1. Asumsi Nilai-Nilai Variabel**

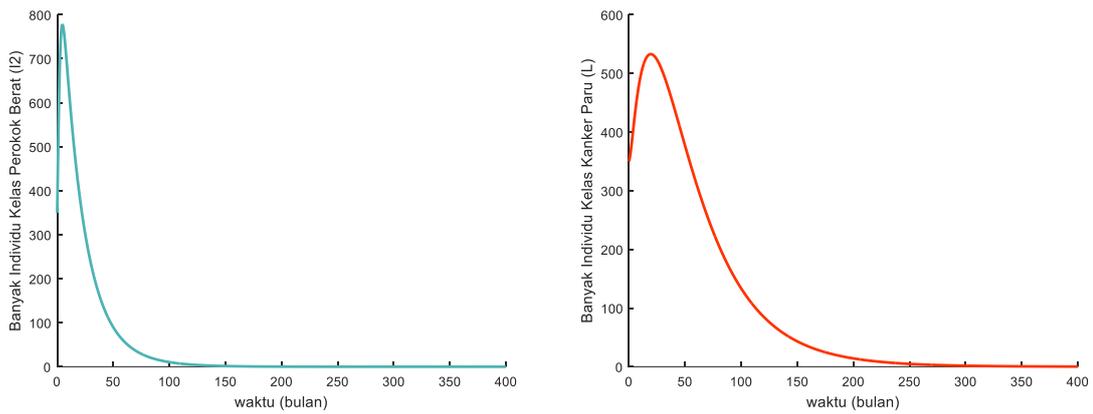
No	Variabel	Nilai
1.	$S(0)$	750
2.	$I_1(0)$	350
3.	$I_2(0)$	350
4.	$Q(0)$	350
5.	$R(0)$	350
6.	$L(0)$	350
7.	$N(0)$	350
8.	$T(0)$	2.850

**Tabel 2. Estimasi Nilai-Nilai Parameter**

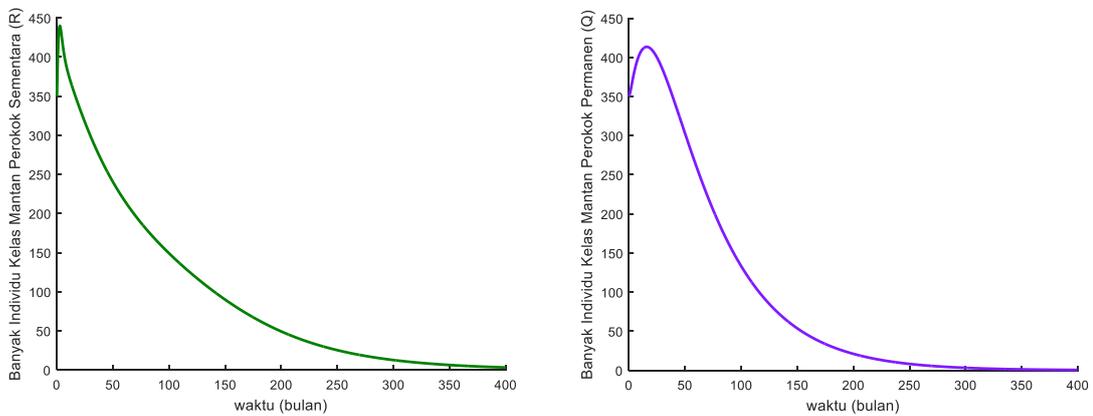
No	Parameter	Nilai	No	Parameter	Nilai
1.	$\lambda$	14	9.	$\gamma_2$	0,25
2.	$\mu$	0,014	10.	$\sigma_1$	0,50
3.	$\beta$	2	11.	$d$	0,016
4.	$\beta_n$	0,00001	12.	$q$	0,85
5.	$\delta_1$	0,015	13.	$P_S$	0,00001
6.	$\delta_2$	0,03	14.	$P_R$	0,0001
7.	$\delta_q$	0,005	15.	$p_1$	0,04
8.	$\gamma_1$	0,769	16.	$p_2$	0,04



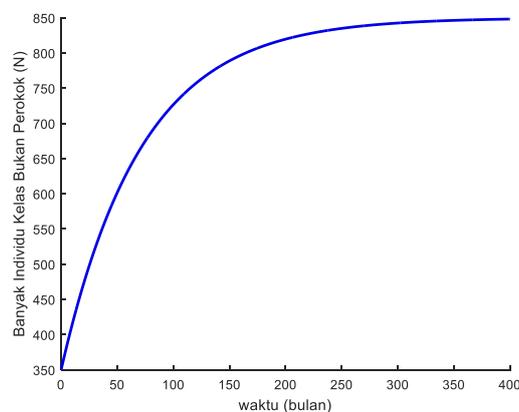
**Gambar 3. Grafik Banyak Individu Kelas Calon Perokok (S) (kiri) dan Banyak Individu Kelas Perokok Ringan ( $I_1$ ) (kanan) dengan  $q = 0,85$ ,  $R_0 = 0,83566 < 1$ , Titik  $E_1$  stabil**



**Gambar 4. Grafik Banyak Individu Kelas Perokok Berat ( $I_2$ ) (kiri) dan Banyak Individu Kelas Kanker Paru - paru ( $L$ ) (kanan) dengan  $q = 0,85$ ,  $R_0 = 0,83566 < 1$ , Titik  $E_1$  Stabil**



**Gambar 5. Grafik Banyak Individu Kelas Mantan Perokok Sementara ( $R$ ) (kiri) dan Banyak Individu Kelas Mantan Perokok Permanen ( $Q$ ) (kanan) dengan  $q = 0,85$ ,  $R_0 = 0,83566 < 1$ , Titik  $E_1$  Stabil**



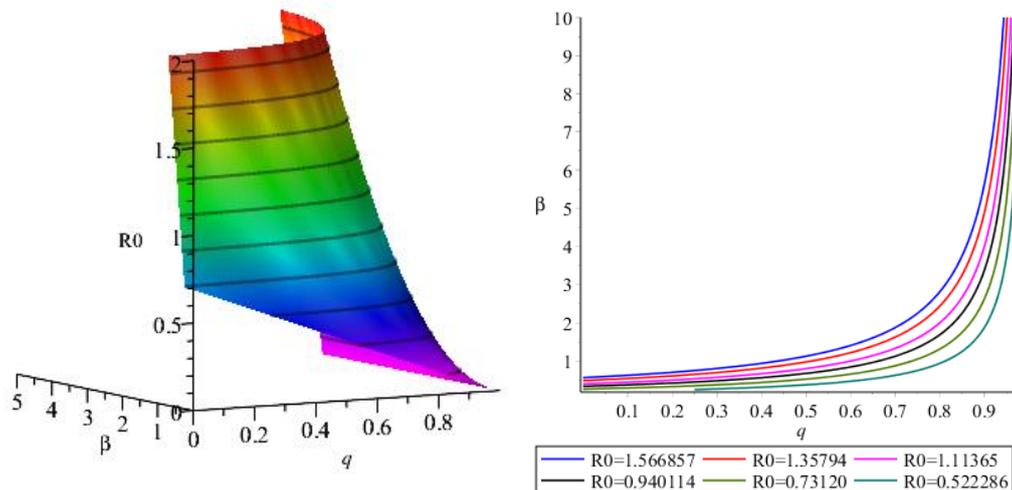
**Gambar 6. Grafik Banyak Individu Kelas Bukan Perokok ( $N$ ) dengan  $q = 0,85$ ,  $R_0 = 0,83566 < 1$ , Titik  $E_1$  Stabil**

Simulasi dilakukan dengan mengubah – ubah (menaikkan atau menurunkan) beberapa nilai parameter tertentu yaitu  $q$ ,  $\beta$ ,  $\sigma_1$ , dan  $\gamma_2$ , dengan tujuan untuk menganalisis sensitivitas perubahan nilai – nilai parameter tersebut terhadap nilai  $R_0$ , sehingga diperoleh beberapa kesimpulan berikut:

1. Semakin besar nilai parameter  $q$  hingga mendekati 1, maka nilai  $R_0$  akan semakin lebih kecil dari 1 dan semakin kecil nilai parameter  $q$  hingga mendekati 0, maka nilai  $R_0$  akan semakin lebih besar dari 1.
2. Semakin besar nilai parameter  $\beta$ , maka nilai  $R_0$  akan semakin lebih besar dari 1, dan sebaliknya semakin kecil nilai parameter  $\beta$ , maka nilai  $R_0$  akan semakin lebih kecil dari 1.
3. Semakin besar nilai parameter  $\gamma_2$ , maka nilai dari  $R_0$  akan semakin mendekati 1, dan dapat dibuat menjadi lebih kecil dari 1 jika nilai dari parameter  $\gamma_2$  ini dibuat cukup besar (nilai  $\gamma_2 \rightarrow \infty$ ).
4. Semakin besar nilai parameter  $\sigma_1$ , maka nilai dari  $R_0$  akan semakin lebih kecil dari 1, dan semakin kecil nilai parameter  $\sigma_1$ , maka nilai dari  $R_0$  akan semakin besar dari 1.

Dari kesimpulan berkaitan dengan analisis sensitivitas perubahan parameter  $q$ ,  $\beta$ ,  $\gamma_2$ , dan  $\sigma_1$  terhadap nilai  $R_0$  di atas, parameter-parameter yang memberikan pengaruh yang paling signifikan terhadap perubahan nilai  $R_0$  adalah parameter  $q$  dan  $\beta$ . Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar atau kecilnya peluang individu baru untuk masuk ke dalam populasi tersebut melalui jalan masuk ke dalam kelas bukan perokok ( $N$ ), akan memberikan pengaruh signifikan terhadap dinamika yang terjadi di dalam populasi itu yang berkaitan dengan terjadinya endemik kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok. Dan hal ini juga menunjukkan bahwa semakin besar atau kecilnya laju perpindahan individu antar kelas pada subpopulasi kurang terdidik, akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perkembangan kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok di dalam populasi tersebut.

Sensitivitas perubahan nilai parameter  $q$  dan  $\beta$  terhadap nilai  $R_0$  yang telah dijelaskan di atas dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 7. Grafik Sensitivitas Perubahan Nilai Parameter  $q$  dan  $\beta$  terhadap Nilai  $R_0$  (kiri) dan Kurva Ketinggian (*level set*) dari Perubahan Nilai  $q$  dan  $\beta$  terhadap Nilai  $R_0$  (kanan).

Dari grafik di atas dapat dilihat sensitivitas dari perubahan nilai parameter  $q$  dan  $\beta$  terhadap nilai  $R_0$ . Semakin besar nilai parameter  $q$  hingga mendekati 1 dengan nilai parameter  $\beta$  yang semakin kecil atau semakin besar dan dibuat tetap, maka nilai dari  $R_0$  akan semakin lebih kecil dari 1. Tetapi semakin kecil nilai parameter  $q$  hingga mendekati 0 dan dibuat tetap dengan nilai parameter  $\beta$  yang semakin besar, maka nilai dari  $R_0$  akan semakin lebih besar dari 1. Dari sini dapat dilihat bahwa semakin besar peluang individu baru yang masuk ke dalam suatu populasi dengan jalan masuk ke dalam kelas bukan perokok, maka populasi tersebut akan semakin bisa bebas dari endemik kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok.

## Simpulan dan Saran

### Simpulan

Dari seluruh pembahasan yang telah dijelaskan, dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Model Matematika kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok dalam suatu populasi yang telah terbentuk menjelaskan tentang adanya pengaruh dari perokok dalam kaitannya terhadap risiko terkena kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok dalam suatu populasi tertentu.
2. Interaksi yang terjadi di dalam suatu populasi antara kelas bukan perokok dan kelas calon perokok dengan kelas perokok (ringan atau berat) dalam hubungannya terkait perkembangan kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok dapat dilihat dari banyaknya individu baru yang masuk ke dalam bukan perokok atau masuk ke dalam kelas calon perokok. Semakin besar peluang individu baru untuk masuk ke dalam kelas bukan perokok, maka populasi tersebut akan semakin bisa bebas dari terjadinya endemik kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok, karena individu yang menjadi perokok semakin berkurang sehingga dalam populasi tersebut tidak ada sisa asap rokok yang menyebabkan terjadinya kanker paru-paru. Sebaliknya jika semakin kecil peluang individu baru untuk masuk ke dalam kelas bukan perokok, maka hal ini akan memperbesar peluang individu baru tersebut untuk masuk ke dalam kelas calon perokok, sehingga perkembangan banyaknya individu yang akan menjadi perokok menjadi semakin besar. Jika laju individu calon perokok untuk menjadi perokok semakin besar, maka perkembangan endemik kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok di dalam populasi tersebut akan semakin besar pula.
3. Usaha pencegahan yang efektif yang dapat dilakukan untuk mengurangi risiko terkena kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok dalam suatu populasi adalah dengan memaksimalkan usaha pendidikan dan meningkatkan upaya penyadaran di masyarakat mengenai bahaya rokok dan sisa asap rokok, sehingga peluang individu baru untuk menjadi calon perokok menjadi semakin kecil dan peluang individu baru untuk tidak menjadi perokok menjadi semakin besar. Usaha pencegahan lainnya adalah dengan mencegah pengenalan produk tembakau kepada individu calon perokok sehingga individu tersebut cenderung untuk tidak tertarik menjadi perokok dan dapat mengurangi laju banyaknya individu calon perokok tersebut untuk menjadi perokok. Selain itu juga dengan cara memaksimalkan suatu usaha agar perokok ringan dan perokok berat dapat segera berhenti merokok.

### Saran

Dalam artikel ini pembentukan model Matematika kanker paru-paru akibat sisa pengaruh asap rokok dalam suatu populasi hanya terfokus pada bertambahnya kelas kanker paru-paru sebagai akibat adanya interaksi berupa perpindahan kelas dan adanya pengaruh dari sisa asap rokok sehingga individu di kelas bukan perokok juga mempunyai risiko terkena kanker paru-

paru akibat pengaruh dari sisa asap rokok tersebut. Sementara itu pengurangan dari banyaknya individu di kelas kanker paru-paru hanya berasal dari faktor kematian dari individu yang berada di kelas ini. Padahal dapat dibentuk model yang memperhitungkan sembuhnya penderita kanker paru-paru dari penyakitnya tersebut, yaitu dengan menambahkan 1 kelas baru dalam populasi tersebut dimana individu dari kelas kanker paru-paru dapat menuju kelas baru tersebut. Untuk itu masih diperlukan banyak perbaikan dari pembentukan model Matematika kanker paru-paru akibat pengaruh sisa asap rokok dalam suatu populasi ini. Simulasi yang lebih rinci diperlukan yaitu dengan mengamati perubahan nilai-nilai semua parameter yang menyusun model yang dapat mempengaruhi dinamika dari populasi yang dimodelkan tersebut.

### Daftar Pustaka

- A. Acevedo – Estefanía, Carlos, et al. (2000). A Mathematical Model for Lung Cancer: The Effects of Second-Hand Smoke and Education. *BU-1525-M*, Agustus 2000. 521 – 548.
- Castillo-Garsow, Carlos, et al. (1997). Mathematical Models for the Dynamics of Tobacco Use, Recovery, and Relapse. *BU-1505-M*, Januari 1997. 17 – 44.
- Munir, Rinaldi. (2015). *Metode Numerik*. Edisi ke – 4. Bandung: Informatika
- Brauer, Fred and Carlos Castillo-Chavez. (2011). *Mathematical Models in Population Biology and Epidemiology* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: Springer
- Jones, James Holland. (2007). *Notes On  $R_0$* . Departement of Anthropological Sciences, Stanford University.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2012). Diakses dari IARC website: [http://globocan.iarc.fr/Pages/fact\\_sheets\\_population.aspx](http://globocan.iarc.fr/Pages/fact_sheets_population.aspx)
- Centers for Disease Control and Prevention. (2009). Diakses dari CDC website: [http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6347a4.htm?s\\_cid=mm6347a4\\_w](http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6347a4.htm?s_cid=mm6347a4_w).
- American Association for Cancer Research (AACR). (2013). Diakses dari AACR website: [http://www.aacr.org/AdvocacyPolicy/GovernmentAffairs/Documents/AACRStatement\\_TobaccoUseCancerPat](http://www.aacr.org/AdvocacyPolicy/GovernmentAffairs/Documents/AACRStatement_TobaccoUseCancerPat)
- American Lung Association. (2009). Diakses dari website: <http://www.lung.org/lung-disease/lung-cancer/resources/facts-figures/lung-cancer-fact-sheet.html#1>
- World Population Prospects – UN DESA – the United Nations. (2015). Diakses dari website: [http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key\\_Findings\\_WPP\\_2015.pdf](http://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/Key_Findings_WPP_2015.pdf), hal 5.