

# MODEL PENYEBARAN *MIDDLE EAST RESPIRATORY SYNDROME* (MERS) DENGAN PENGARUH PENGOBATAN

Lazarus Kalvein Beay<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>*SMA Negeri 1 Teluk Elpaputih, Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Provinsi Maluku  
Jalan Hitalia, Tananahu, Maluku Tengah*

<sup>1)</sup>kalveinsmantel@gmail.com

**Abstract**— *Middle East Respiratory Syndrome (MERS)* adalah salah satu penyakit pernafasan. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh parameter pengobatan pada penyebaran MERS. Metode yang digunakan yaitu studi literatur untuk menentukan variabel dan parameter yang digunakan untuk mendesain model. Desain model matematika yang dihasilkan berbentuk persamaan differensial. Analisa terhadap parameter pengobatan pada penyebaran penyakit dilakukan dengan menentukan bilangan reproduksi dasar. Selanjutnya, dilakukan simulasi numerik terhadap model dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari penelitian-penelitian sebelumnya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa bilangan reproduksi dasar dari model monoton turun ketika pengobatan meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa pengobatan yang diberikan pada individu yang terinfeksi, memiliki pengaruh pada penyebaran MERS.

**Keywords**— *MERS, model, pengobatan, bilangan reproduksi dasar.*

## I. PENDAHULUAN

*Middle East respiratory syndrome (MERS)* adalah penyakit pernafasan yang disebabkan oleh coronavirus. Penyakit ini teridentifikasi pertama kali di Arab Saudi pada tahun 2012. Pada umumnya gejala dari penyakit MERS meliputi demam, batuk, sesak nafas, dan juga diare. Untuk mengetahui seseorang positif menderita MERS harus dilakukan uji laboratorium. Para penderita diabetes, gagal ginjal, penyakit paru-paru kronis, dan orang-orang yang memiliki daya tahan tubuh lemah dianggap berisiko tinggi terkena penyakit tersebut (Anonimus, 2017a; Anonimus, 2017b; Jung & Sung, 2017; Shin dkk, 2017; Shin dkk, 2017).

Sejak munculnya pada tahun 2012, penyakit MERS telah menjadi masalah kesehatan diberbagai negara diantaranya; Aljazair, Austria, Bahrain, China, Mesir, Prancis, Jerman, Yunani, Republik Islam Iran, Italia, Yordania, Kuwait, Lebanon, Malaysia, Belanda, Oman, Filipina, Qatar, Republik Korea, Arab Saudi, Thailand, Tunisia, Turki, Uni Emirat Arab, Inggris, Amerika Serikat, dan Yaman. Sekitar 80% kasus tersebut ditemukan di Arab Saudi. Berbagai kasus yang ditemukan di

luar Timur Tengah, berawal dari orang-orang yang terinfeksi di Timur Tengah dan melakukan perjalanan ke daerah-daerah di luar Timur Tengah (Anonimus, 2017a; Amiroch & Rohmatullah, 2017). Sampai saat ini, belum ada vaksin atau pengobatan khusus yang tersedia untuk mencegah atau mengobati penyakit ini. Menurut WHO, sekitar 35% pasien yang terinfeksi MERS dilaporkan meninggal dunia. Secara global, pada bulan September 2012, terdapat sebanyak 1952 orang yang menderita MERS, dengan jumlah penderita yang meninggal sebanyak 693 orang (Anonimus, 2017a).

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mencegah penyebaran penyakit ini adalah dengan pengobatan berdasarkan gejala yang timbul terhadap individu yang terinfeksi (Anonimus, 2017a). Proses pengobatan pada penyebaran penyakit MERS merupakan suatu hal yang menarik untuk dikaji secara matematika. Model matematika yang dihasilkan dapat menjadi pilihan yang tepat untuk memahami dinamika penyebaran penyakit (Wu dan Feng, 2000; Li dkk, 2014; Huang dkk, 2017; Beay dkk, 2017; Amiroch & Rohmatullah, 2017).

Dalam artikel ini masalah yang akan dibahas adalah model penyebaran MERS dengan pengaruh pengobatan. Analisa akan dilakukan terhadap model untuk menentukan bilangan reproduksi dasar, titik kesetimbangan bebas penyakit dan endemik. Selanjutnya dilakukan simulasi model dengan nilai-nilai parameter yang diberikan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Dampak dari penyebaran penyakit MERS yaitu jumlah korban yang terus bertambah. Laporan terbaru dari WHO pada tahun 2017, secara global tercatat bahwa 2081 orang telah terinfeksi penyakit tersebut dengan 722 orang korban diantaranya meninggal dunia (Anonimus, 2017b).

Menurut Jung & Sung (2017), penyebaran penyakit MERS juga memiliki pengaruh terhadap sektor ekonomi yang diakibatkan oleh perubahan perilaku individu. Perubahan perilaku tersebut terjadi sebagai respons terhadap penyebaran MERS. Contohnya, masyarakat lebih cenderung melakukan belanja online daripada belanja offline

karena adanya kekuatiran terhadap penyebaran MERS yang dapat menular lewat kontak langsung dengan penderita. Pada tahun yang sama Shin dkk (2017), meneliti tentang pengaruh keputusan operasional penanganan korban infeksi dari penyebaran MERS di Republik Korea dan menekankan pada pentingnya penerapan model sistem dinamik yang efektif dengan mempertimbangkan berbagai interaksi yang terjadi dan juga pengobatan yang diberikan.

Strategi pengobatan yang diberikan kepada individu yang terinfeksi MERS merupakan suatu langkah efektif untuk mengontrol penyebaran penyakit dan memulihkan penderita dari infeksi yang dialami (Widagdo dkk, 2017). Hal tersebut dapat dikaji lewat model matematika yang digunakan.

Amiroch & Rohmatullah (2017), telah meneliti tentang pola penyebaran MERS dengan menggunakan Model Kimura. Hasilnya dapat diketahui pola distribusi penyakit tersebut secara geografis. Selanjutnya, pada artikel ini akan dibahas dinamika penularan MERS dengan menggunakan model SIQRS serta mempertimbangkan faktor pengobatan. Dalam model tersebut populasi dibagi menjadi empat kelas yakni; (1) *susceptible* yaitu kelas individu yang rentan, (2) *infected* yaitu kelas individu yang terinfeksi, (3) *quarantined* yaitu kelas individu terinfeksi yang dikarantina, dan (4) *recovered* yaitu individu yang sembuh dari penyakit (Wu dan Feng, 2000; Li dkk, 2014; Huang dkk, 2017).

### III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini pada dasarnya dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

- Melakukan studi literatur mengenai proses penyebaran penyakit yang akan dimodelkan khususnya mengenai penyebaran MERS dengan pengaruh pengobatan.
- Pencarian data sekunder yaitu data yang diperoleh dari penelitian-penelitian sebelumnya untuk keperluan simulasi.
- Pengumpulan semua variabel dan parameter model yang diperoleh dari identifikasi masalah.

- Mendesain model matematika dari masing-masing proses yang terjadi pada populasi yang rentan, terinfeksi, karantina hingga penyembuhan.
- Melakukan analisis secara kualitatif terhadap model yang telah dibangun.
- Menginterpretasikan hasil yang diperoleh untuk mengetahui pengaruh pengobatan dalam penyebaran penyakit.
- Melakukan simulasi solusi model.

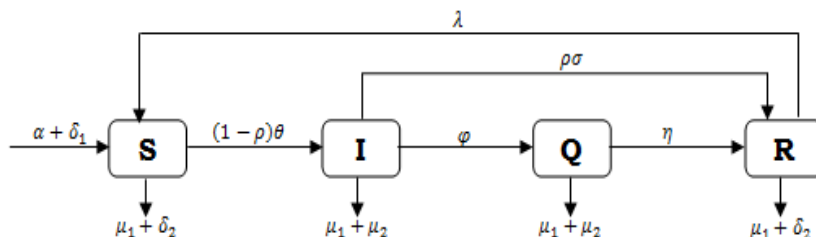
### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Model SIQRS Pada Penyebaran MERS

Model yang digunakan pada penyebaran MERS adalah model SIQRS. Model tersebut dimodifikasi dari model yang dikembangkan oleh Li dkk (2014). Pada model SIQRS, populasi dibagi menjadi empat kompartemen yaitu *susceptible* ( $S$ ), *infected* ( $I$ ), *quarantined* ( $Q$ ), dan *recovered* ( $R$ ). Diasumsikan bahwa total populasi ( $N$ ) adalah konstan, dengan  $N = S + I + Q + R$ .

Diasumsikan individu yang lahir dan yang melakukan imigrasi akan masuk ke dalam kelas *susceptible* dengan laju  $\alpha$  dan  $\delta_1$ , serta terjadi emigrasi dengan laju  $\delta_2$ . Infeksi MERS terjadi ketika terjadi kontak dengan individu yang terinfeksi pada kelas *infected* maupun *quarantined* dengan laju  $\beta$  dan  $\phi$ . Untuk mencegah penyebaran penyakit maka individu di dalam populasi diberikan pengobatan dengan laju  $\rho$  (termasuk individu yang berada pada kelas *susceptible*), dengan  $0 \leq \rho < 1$  dan jika  $\rho = 0$  berarti tidak terjadi pengobatan di dalam populasi. Untuk menghindari penularan penyakit akibat kontak dengan penderita, maka individu yang terinfeksi akan dikarantina dengan laju  $\varphi$ . Individu terinfeksi yang telah terobati akan sembuh dengan laju  $\sigma$ , dan akan kembali rentan terhadap penyakit dengan laju  $\lambda$ . Selain itu individu terinfeksi yang dikarantina akan sembuh dengan laju  $\eta$ . Selain terjadi kematian alami dengan laju  $\mu_1$ , penyakit yang menyebar dapat menyebabkan kematian dengan laju  $\mu_2$ .

Berdasarkan pada asumsi-asumsi tersebut maka skema proses penyebaran penyakit dapat disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema penyebaran penyakit MERS

Dari diagram transfer pada Gambar 1, maka diperoleh sistem persamaan differensial sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= (\alpha + \delta_1) - (1 - \rho)\theta S - (\mu_1 + \delta_2)S + \lambda R, \\ \frac{dI}{dt} &= (1 - \rho)\theta S - \varphi I - \rho\sigma I - (\mu_1 + \mu_2)I, \\ \frac{dQ}{dt} &= \varphi I - \eta Q - (\mu_1 + \mu_2)Q, \\ \frac{dR}{dt} &= \eta Q + \rho\sigma I - \lambda R - (\mu_1 + \delta_2)R.\end{aligned}\quad (1)$$

dengan,  $\theta = \beta I + \phi Q$ . Kondisi awal dari model dinyatakan dengan  $S(0) = S_0$ ,  $I(0) = I_0$ ,  $Q(0) = Q_0$ ,  $R(0) = R_0$ .

#### Solusi Steady State

Dengan menjadikan model (1) sama dengan nol, maka diperoleh dua solusi *steady state*. Solusi *steady state* yang pertama adalah

$$\Sigma^* = (S^*, I^*, Q^*, R^*) = \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}, 0, 0, 0\right), \quad (2)$$

dengan

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \alpha + \delta_1, \\ \varepsilon_2 &= \mu_1 + \delta_2.\end{aligned}$$

Solusi ini disebut titik kesetimbangan bebas penyakit karena tidak terdapat infeksi di dalam populasi. Selanjutnya, solusi *steady state* yang kedua adalah

$$\Sigma^{**} = (S^{**}, I^{**}, Q^{**}, R^{**}), \quad (3)$$

dengan

$$\begin{aligned}S^{**} &= \frac{\omega_1 \omega_2}{(1-\rho)(\beta \omega_2 + \phi \varphi)}, \\ I^{**} &= \omega_2 (\lambda + \varepsilon_2) \varpi, \\ Q^{**} &= \varphi (\lambda + \varepsilon_2) \varpi, \\ R^{**} &= (\eta \varphi + \rho \sigma \omega_2) \varpi, \\ \varpi &= \frac{(1-\rho)(\phi \varphi + \omega_2 \beta) \varepsilon_1 - \omega_1 \omega_2 \varepsilon_2}{(1-\rho)(\phi \varphi + \omega_2 \beta)(\omega_1 \omega_2 (\lambda + \varepsilon_2) + (\eta \varphi + \rho \sigma \omega_2)) \lambda}, \\ \omega_1 &= \rho \sigma + \varphi + \mu_1 + \mu_2, \\ \omega_2 &= \eta + \mu_1 + \mu_2.\end{aligned}$$

Solusi ini disebut titik kesetimbangan endemik penyakit karena terdapat infeksi di dalam populasi. Hal ini terjadi jika

$$(1 - \rho)(\phi \varphi + \omega_2 \beta) \varepsilon_1 > \omega_1 \omega_2 \varepsilon_2.$$

#### Bilangan Reproduksi Dasar

Bilangan reproduksi dasar merupakan sesuatu yang penting dalam model epidemik. Bilangan reproduksi dasar dari model (1) ditentukan dengan menggunakan matriks *next generation* dari model (1). Misalkan  $\mathcal{F}_i(\mathbf{x})$  adalah laju penambahan infeksi baru pada kompartemen  $i$  dan  $\mathcal{V}_i(\mathbf{x})$  adalah laju perpindahan individu pada kompartemen  $i$  dengan  $\mathbf{x} = (I, Q)$ , maka  $\mathcal{F}_i(\mathbf{x})$  dan  $\mathcal{V}_i(\mathbf{x})$  dari sistem (1) adalah sebagai berikut:

$$\mathcal{F}(\mathbf{x}) = \begin{pmatrix} (1 - \rho) \theta S \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$$\mathcal{V}(\mathbf{x}) = \begin{pmatrix} \omega_1 I \\ -\varphi I + \omega_2 Q \end{pmatrix}, \quad (5)$$

maka diperoleh matriks

$$F = \left(\frac{\partial \mathcal{F}_i}{\partial x_j}(\Sigma_0)\right) = \begin{pmatrix} \frac{(1-\rho)\beta \varepsilon_1}{\varepsilon_2} & \frac{(1-\rho)\beta \varepsilon_1}{\varepsilon_2} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$V = \left(\frac{\partial \mathcal{V}_i}{\partial x_j}(\Sigma_0)\right) = \begin{pmatrix} \omega_1 & 0 \\ -\varphi & \omega_2 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Dari persamaan (7) diperoleh invers matriks  $V$  adalah

$$V^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\omega_1} & 0 \\ \frac{\varphi}{\omega_1 \omega_2} & \frac{1}{\omega_2} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

sehingga diperoleh matriks  $FV^{-1}$  sebagai berikut:

$$FV^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{(1-\rho)\beta \varepsilon_1}{\varepsilon_2 \omega_1} + \frac{(1-\rho)\varphi \phi \varepsilon_1}{\varepsilon_2 \omega_1 \omega_2} & \frac{(1-\rho)\phi \varepsilon_1}{\varepsilon_2 \omega_2} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Dengan menyelesaikan persamaan  $\det(FV^{-1} - \lambda I) = 0$ ,

atau

$$\lambda^2 + \left(\frac{(\rho-1)(\beta \omega_2 + \phi \varphi) \varepsilon_1}{\omega_1 \omega_2 \varepsilon_2}\right) \lambda = 0.$$

Akar-akar dari persamaan karakteristik tersebut adalah

$$\lambda_1 = 0 \text{ dan } \lambda_2 = \frac{(1-\rho)(\beta \omega_2 + \phi \varphi) \varepsilon_1}{\omega_1 \omega_2 \varepsilon_2}.$$

Karena  $R_0$  merupakan spektral radius dari matriks  $FV^{-1}$  maka diperoleh:

$$R_0 = \frac{(1-\rho)(\beta \omega_2 + \phi \varphi) \varepsilon_1}{\omega_1 \omega_2 \varepsilon_2}. \quad (12)$$

Teorema 1: *Titik kesetimbangan bebas penyakit  $\Sigma^*$  stabil asimtotik secara lokal jika  $R_0 < 1$  dan tidak stabil jika  $R_0 > 1$ .*

Selanjutnya untuk melihat pengaruh parameter pengobatan  $\rho$  terhadap  $R_0$ , maka akan dilakukan analisa sensitivitas sebagai berikut:

$$\frac{\partial R_0}{\partial \rho} = -R_0 \kappa. \quad (13)$$

dengan

$$\kappa = \frac{1}{1-\rho} + \frac{\sigma}{\omega_1}.$$

Dari hasil  $\frac{\partial R_0}{\partial \rho} < 0$ , hal ini berarti semakin besar nilai parameter  $\rho$ , maka nilai  $R_0$  akan semakin kecil.

#### Simulasi Numerik

Pada bagian ini ditunjukkan beberapa simulasi numerik yang dilakukan untuk melihat dinamika bilangan reproduksi dasar  $R_0$  serta kondisi populasi ketika  $R_0 > 1$  dan  $R_0 < 1$ . Dalam hal ini,  $R_0$  merupakan bilangan reproduksi dasar yang didefinisikan pada persamaan (12). Nilai parameter yang digunakan pada model tersebut disajikan pada Tabel 1.

Kondisi awal rasio jumlah penduduk pada kelas *susceptible*, *infected*, *quarantined* dan *recovered* masing-masing adalah  $S_0 = 200$ ,  $I_0 = 10$ ,  $Q_0 = 0$  dan  $R_0 = 0$ .

Gambar 2 menunjukkan pengaruh nilai parameter  $\rho$  terhadap nilai  $R_0$ , dengan  $0 \leq \rho \leq 0,9$ . Ketika nilai parameter  $\rho = 0$ , diperoleh  $R_0 = 6,14 > 1$ . Hal ini berarti jika tidak terjadi pengobatan pada individu yang terinfeksi, maka penyakit akan tetap menyebar di dalam sistem sehingga titik kesetimbangan bebas penyakit  $\Sigma^*$  tidak stabil.

TABEL 1. NILAI PARAMETER

Parameter	Nilai	Referensi
$\alpha$	4	Huang dkk, 2017
$\rho$	0 - 0,9	asumsi
$\varphi$	0,25	Huang dkk, 2017
$\eta$	0,5	Huang dkk, 2017
$\sigma$	0,2	Huang dkk, 2017
$\lambda$	0,03	Huang dkk, 2017
$\beta$	0,61	asumsi
$\phi$	0,39	asumsi
$\delta_1$	0,49	asumsi
$\delta_2$	0,49	asumsi
$\mu_1$	0,04	Huang dkk, 2017
$\mu_2$	0,08	asumsi

Ketika nilai parameter ditingkatkan menjadi  $\rho = 0,9$ , maka diperoleh  $R_0 = 0,55 < 1$ . Hal ini berarti semakin meningkat pengobatan yang diberikan terhadap individu yang terinfeksi, maka nilai  $R_0$  akan semakin kecil sehingga titik kesetimbangan bebas penyakit  $\Sigma^*$  stabil. Hal ini menunjukkan bahwa pengobatan yang diberikan pada individu yang terinfeksi dapat mengontrol penyebaran penyakit MERS. Perubahan nilai  $R_0$  terhadap nilai parameter  $\rho$  disajikan pada Tabel 2.

Ketika nilai parameter  $\rho = 0$  maka  $\Sigma^{**} = (0,93; 11,46; 4,69; 4,19)$ . Pada kondisi tersebut titik kesetimbangan endemik  $\Sigma^{**}$  stabil atau dengan kata lain titik kesetimbangan bebas penyakit  $\Sigma^*$  tidak stabil, dengan  $I \neq 0$ . Selanjutnya, ketika nilai parameter  $\rho = 0,3$  maka nilai  $R_0 = 4,11 > 1$

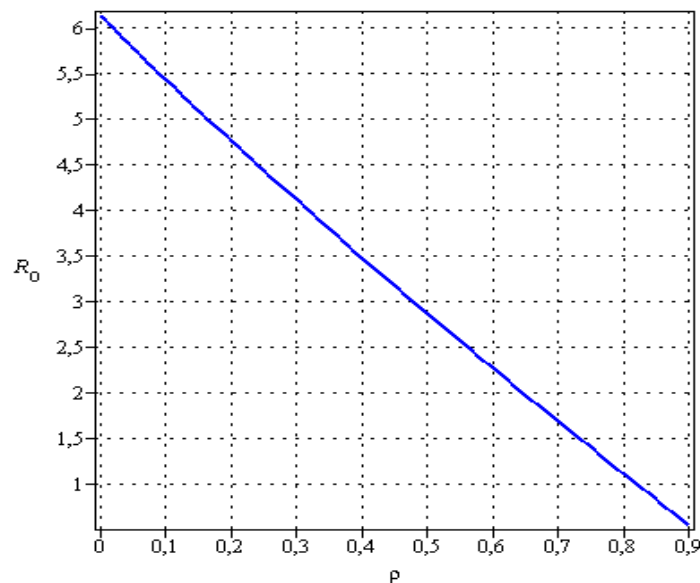
dan  $\Sigma^{**} = (1,55; 9,04; 3,71; 4,29)$ . Hasil tersebut mengakibatkan titik kesetimbangan endemik  $\Sigma^{**}$  masih stabil. Populasi pada kelas *infected*, *quarantined* dan *recovered* masih bernilai positif, artinya masih terdapat populasi pada kelas-kelas tersebut.

TABEL 2. PENGARUH NILAI  $\rho$  TERHADAP  $R_0$

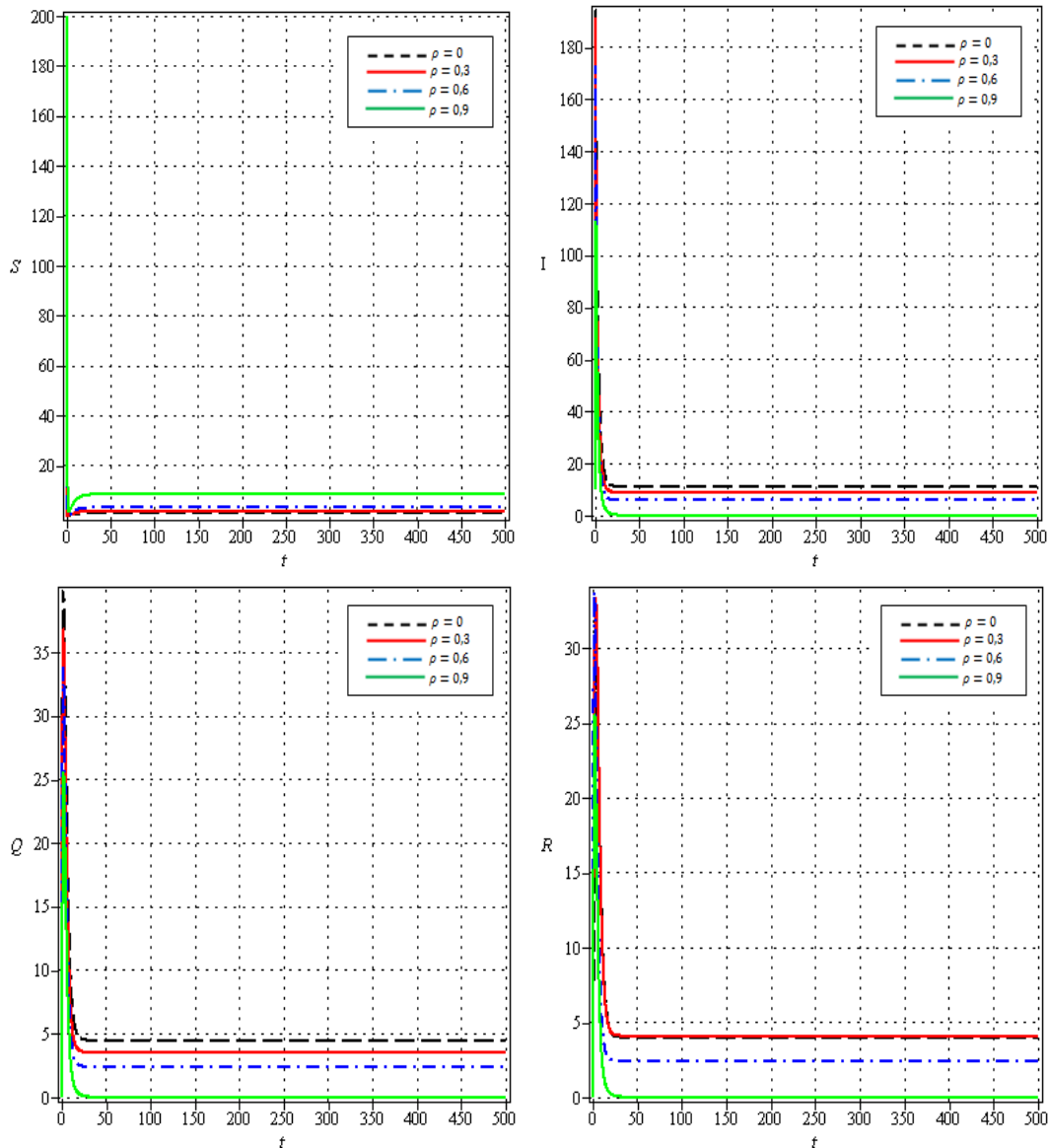
$\rho$	$R_0$	Keterangan
0	6,14	tidak stabil
0,3	4,11	tidak stabil
0,6	2,27	tidak stabil
0,9	0,55	stabil

Ketika nilai parameter  $\rho = 0,6$ , maka nilai  $R_0 = 2,27$  dan  $\Sigma^{**} = (3,09; 6,16; 2,53; 3,57)$ . Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai parameter  $\rho$ , maka nilai  $R_0$  akan semakin kecil. Namun pada kasus ini titik kesetimbangan endemik  $\Sigma^{**}$  juga masih stabil, sehingga populasi pada kelas *infected*, *quarantined* dan *recovered* juga masih bernilai positif.

Namun ketika proses pengobatan terjadi dengan laju  $\rho = 0,9$ , maka nilai bilangan reproduksi dasar semakin kecil. Hal ini mengakibatkan titik kesetimbangan endemik  $\Sigma^{**}$  tidak stabil atau dengan kata lain titik kesetimbangan bebas penyakit  $\Sigma^*$  menjadi stabil, dengan  $\Sigma^{**} = (13,92; -5,56; -2,27; -3,82)$ . Hasil tersebut menunjukkan bahwa populasi pada kelas *infected*, *quarantined* dan *recovered* bernilai negatif, artinya tidak terdapat populasi pada kelas-kelas tersebut. Dinamika populasi manusia pada kelas *susceptible*, *infected*, *quarantined* dan *recovered* ketika terjadi pengobatan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Grafik dari  $R_0$  ketika  $0 \leq \rho \leq 0,9$



Gambar 3. Dinamika perilaku populasi pada semua kelas saat individu yang terinfeksi diobati dengan nilai parameter  $\rho$  yang bervariasi.

### V. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini ditunjukkan untuk mengkaji pengaruh pengobatan terhadap penyebaran MERS. Berdasarkan hasil yang diperoleh, parameter pengobatan memiliki pengaruh terhadap bilangan reproduksi dasar. Semakin besar laju pengobatan yang diberikan maka semakin kecil peluang terjadi penyebaran penyakit pada populasi. Selanjutnya, disarankan untuk dilakukan penelitian lanjutan tentang kestabilan lokal dengan menggunakan kriteria Routh-Hurwitz dan kontrol optimal terhadap penyebaran penyakit MERS.

### DAFTAR PUSTAKA

Anonimus, 2017, Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) [online] Available at: <http://www.who.int/emergencies/mers-cov/en/> [Accessed 29 Mei 2017]

Anonimus, 2017, Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) – United Arab Emirates [Online] Available at: <http://www.who.int/csr/don/21-september-2017-mers-uae/en/> [Accessed 23 September 2017]

Amiroch, S., dan Rohmatullah, A., 2017, *Determining Geographical Spread Pattern of MERS-CoV by Distance Method using Kimura Model*, Symposium on Biomathematics (SYMOMATH 2016) AIP Conf. Proc. 1825, p.020001-1–020001-8.

Beay, L, K., Kasbawati., dan Toaha, S., 2017, *Effects of human and mosquito migrations on the dynamical behavior of the spread of malaria*. Symposium on Biomathematics (SYMOMATH 2016) AIP Conf. Proc. 1825, p.020006-1–020006-8.

Huang, S., Chen, F., dan Chen, L., 2017, *Global*

- dynamics of a network-based SIQRS epidemic model with demographics and vaccination*. Commun Nonlinear Sci Numer Simulat 43 p.296–310.
- Jung, E., dan Sung, H., 2017, “*The Influence of the Middle East Respiratory Syndrome Outbreak on Online and Offline Markets for Retail Sales*”, artikel. Sustainability 9, 411 p.1-23.
- Li, T., Wan, Y., dan Gua, Z., 2014, *Spreading dynamics of a SIQRS epidemic model on scale-free networks*. Commun Nonlinear Sci Numer Simulat 19 p.686–692.
- Shin, N., Kwag, T., Park, S., dan Kim, Y.H., 2017, “*Effects of operational decisions on the diffusion of epidemic disease: A system dynamics modeling of the MERS-CoV outbreak in South Republik Korea*”, Journal of Theoretical Biology 421 p.39–50.
- Widagdo, W., Nisreen, M.A., Okba, V. Stalin, R., dan Bart, L. H., 2017, “*MERS-coronavirus: From discovery to intervention*”, One Health 3 p.11–16.
- Wu, L., dan Feng, Z., 2000, *Homoclinic Bifurcation in an SIQR Model for Childhood Diseases*, Journal of Differential Equations 168, p.150167.