

ABSTRAK

MODEL *HOST*-VEKTOR DENGAN PENGENDALIAN DAN FAKTOR KO-EKSISTENSI

Oleh

Edwin Setiawan Nugraha

NIM: 30114014

(Program Studi Doktor Matematika)

Penyakit infeksi disebabkan oleh virus, bakteri, atau parasit. Penyakit ini dapat ditularkan baik secara langsung maupun tidak langsung. Penularan penyakit secara langsung melalui kontak fisik, contoh penyakit HIV/AIDS yang dapat ditularkan melalui hubungan seksual, sedangkan secara tidak langsung terjadi melalui perantara yang dinamakan vektor atau media lain, contoh penyakit dengue, chikungunya, dan zika ditularkan melalui gigitan nyamuk.

Penyakit infeksi merupakan masalah kesehatan utama yang dihadapi manusia selama berabad-abad. Menurut data terbaru dari WHO pada tahun 2016, penyakit infeksi masuk dalam kelompok sepuluh penyakit penyebab kematian tertinggi di dunia dan menempati penyakit penyebab kematian pertama di negara-negara dengan penghasilan rendah. Seperempat sampai sepertiga kematian di dunia disebabkan oleh penyakit infeksi.

Masalah ini memotivasi para peneliti melakukan kajian pemodelan penyebaran penyakit. Kajian ini mempunyai peran penting dalam meningkatkan pemahaman dinamika populasi infeksi. Selain itu, kajian ini memberikan simulasi dan prediksi dalam pengendalian dan pencegahan penyakit dengue dan chikungunya. Hasil penelitian ini bermanfaat bagi para pemegang kebijakan dalam bidang kesehatan supaya program-program penanggulangan penyakit berjalan efektif.

Penelitian ini mengkaji analisis model host-vektor (SIR-SI) yang melibatkan vaksinasi dan treatment. Analisis kestabilan global titik endemik dilakukan dengan menggunakan fungsi Lyapunov. Eksistensi bifurkasi *backward* pada model ini ditunjukkan dengan menggunakan teori *manifold* pusat. Prilaku bifurkasi terjadi ketika jumlah orang sakit melebihi kapasitas treatment. Kehadiran vaksinasi dapat menurunkan rasio reproduksi dasar, tetapi tidak dapat mengubah eksistensi bifurkasi *backward*. Hasil analisis numerik menunjukkan bahwa peningkatan vaksinasi dan treatment mengakibatkan titik endemik semakin sulit terbentuk.

Kajian berikutnya merancang kontrol intervensi berupa vaksinasi dan fumigasi pada model host-vektor. Intervensi ini bertujuan untuk mengendalikan populasi infeksi dengan menggunakan metode linierisasi input-*output*. Kajian ini dibatasi hanya untuk

sistem *single input single output* (SISO). Vaksinasi dan fumigasi berperan sebagai input dan populasi infeksi manusia sebagai *output*. Contoh simulasi hasil rancangan vaksinasi dan fumigasi diberikan untuk kasus epidemik dengue. Hasilnya menunjukkan rancangan vaksinasi dan fumigasi dapat mengurangi *output* dan asimtotik menuju nol lebih cepat dibandingkan tanpa vaksinasi atau tanpa fumigasi.

Kajian terakhir membangun dan menganalisis model host-vektor yang melibatkan faktor ko-eksistensi dua penyakit infeksi. Kajian ini mengambil contoh kasus ko-eksistensi dengue dan chikungunya. Ketika terjadi epidemik dengue dan chikungunya, beberapa orang dapat terinfeksi oleh kedua penyakit tersebut sekaligus (ko-infeksi). Karena umur nyamuk jauh lebih pendek dari pada umur manusia, maka populasi nyamuk dapat dieliminasi dengan menggunakan pendekatan *quasi steady state*. Formulasi rasio reproduksi dasar diturunkan menggunakan matriks *next generation*. Dari hasil analisis diperoleh tiga titik ekuilibrium secara eksplisit diantaranya satu titik bebas penyakit dan dua titik endemik. Analisis lebih lanjut menunjukkan eksistensi titik ko-endemik untuk kasus simetri secara implisit. Rasio reproduksi dasar berperan penting dalam menentukan kestabilan global titik bebas penyakit dan kestabilan lokal titik endemik. Selanjutnya diagram eksistensi dan kestabilan titik ekuilibrium, phase potret dan kontinuitas titik ko-endemik terhadap parameter bobot infeksi chikungunya disajikan. Perhitungan eksponen Lyapunov memberikan indikasi bahwa model memiliki perilaku *chaos*. Persamaan sensitivitas orde pertama diselesaikan secara numerik untuk mengidentifikasi parameter mana yang berpengaruh secara signifikan terhadap populasi infeksi. Kajian ini menunjukkan bahwa dengue dan chikungunya sama-sama bertahan dalam populasi jika selisih rasio reproduksi dasar dengue dan chikungunya semakin kecil dan infeksi pertama tidak menghasilkan imunitas terhadap infeksi kedua. Kontak manusia dan nyamuk merupakan faktor penting dalam mengendalikan penyakit.

Kata Kunci: *Epidemiologi, penyakit infeksi, pemodelan matematika, model host-vektor, bifurkasi backward, vaksinasi, treatment, rasio reproduksi dasar, linierisasi input-output, dengue, chikungunya.*

ABSTRACT

HOST-VECTOR MODEL WITH CONTROL STRATEGIES AND CO-EXISTENCE FACTOR

by

Edwin Setiawan Nugraha

NIM: 30114014

(Doctoral Study Program of Mathematics)

Infectious diseases are caused by viruses, bacteria, or parasites. This disease can be transmitted both directly and indirectly. Direct transmission of disease through physical contact, examples of HIV / AIDS that can be transmitted through sexual contact, while indirect transmission of disease occurs through an intermediary called vector or other media, examples of dengue fever, chikungunya and zika are transmitted through mosquito bites.

Infectious diseases are a major health problem faced by humans for centuries. According to WHO data in 2016, infectious diseases are among the 10 causes of death in the world and are the first cause of death in low-income countries. A quarter to one third of deaths in the world are caused by infectious diseases.

This problem motivates mathematicians to conduct modeling studies on the spread of disease. This research plays an important role in increasing understanding of infection population dynamics. In addition, this study provides simulations and predictions in the control and prevention of dengue and chikungunya. The results are useful for providing input to policy holders in the health sector in order to disease prevention programs are effective.

In this study, an analysis of the SIR-SI model involving vaccination and treatment is presented. Global stability analysis is carried out using the Lyapunov function. The existence of backward bifurcation behavior in this model is shown using the central manifold theorem This behavior occurs when the number of people infected exceeds the capacity of treatment. The presence of vaccination can reduce the basic reproductive rate, but does not affect the existence of the backward bifurcation. The results of numerical analysis show that increasing vaccination and treatment will increase the difficulty in forming endemic points

In the next study, the intervention control in the form of vaccination and fumigation on the host-vector model is designed. This intervention aims to control the infectious population using the input-output linearization method. This study is limited to single single output (SISO) systems. Vaccination and fumigation act as input and human infection populations as output. Examples of simulations of the effects of vaccination

and fumigation are given for case of dengue transmission. The results show that vaccination and fumigation designs can reduce output and asymptotically to zero faster than without vaccination or without fumigation.

In the last study, host-vector model involving the co-existence factor is developed and analyzed. This study takes the case of co-existence of dengue and chikungunya in which humans can be infected by both diseases at the same time (co-infection). Because the age of mosquitoes is much shorter than human age, the mosquito population can be eliminated using the quasi steady state approach. Basic reproduction ratio formulations are derived using matrix next generation. The analysis shows that this model has three equilibrium points explicitly including one disease-free point and two endemic points. Further analysis showed the existence of co-endemic points for symmetry cases implicitly. The basic reproductive ratio plays an important role in determining the global stability of disease-free points and local stability of endemic points. Furthermore, the existence diagram and the equilibrium point stability, the portrait phase and the continuity of the co-end point to the weight parameters of the chikungunya infection are presented. Calculation of lyapunov exponents gives an indication that the model has behavior chaos. The first-order sensitivity equation is solved numerically to identify which parameters significantly influence the infection population. This study shows that the possibility of dengue and chikungunya co-endemic is greater if the difference in the basic reproductive number of dengue and chikungunya gets smaller and the first infection does not produce immunity to the second infection. Human and mosquito contact is an important factor in controlling the diseases.

Keywords: *Epidemiology, infectious diseases, mathematical modeling, host-vector model, backward bifurcation, vaccination, treatment, basic reproduction ratio, input-output linearization, dengue, chikungunya.*