ABSTRACT

Infectious diseases are the main public health concerns worldwide. In controlling the re-emergence of infectious diseases, public health relies on achieving the herd immunity establishment in the population. The herd immunity is formed by having enough number of immune individuals in the population to reduce the transmission of infectious diseases and indirectly protect susceptible individuals against infection. There are two factors that affect herd immunity namely individuals' trust in public health and vaccines as well as wane of immunity in individuals. As these factors are modelled separately in most infectious disease models, this research aims to consolidate both individuals' trust in public health and vaccines as well as wane of immunity in individuals into one epidemiological model in maintaining herd immunity. The model in the research is known as Susceptible-Infected-Recovered-Trust-Vaccinated-Waned (SIRTVW) model. The SIRTVW model formulation into Equation-Based Model (EBM) with non-linear Ordinary Differential Equation (ODE) and Individual-Based Model (IBM) with rules assigned to the individuals have been implemented by using MATLAB (function ODE solver: ode15s) and NetLogo respectively. In addition, the integration of imitation dynamics based on game theory into EBM and IBM assists the vaccination decision of individuals. The verification and validation of EBM and IBM apply parameter sensitivity analysis and performance indicators such as accuracy percentage measurement metric of Root Mean Square Percentage Error (RMSPE) and execution time. Based on EBM and IBM simulations by using the actual parameter of Pertussis infectious disease in Malaysia, around 70% of individuals in EBM and 80% of individuals in IBM must acquire trust towards public health and vaccines to generate the optimum simulation results when validated to the actual prevalence. The RMSPE of 22.31% in IBM is lower than RMSPE of 56.12% in EBM due to the heterogeneity of individuals in

IBM of which EBM does not consider. As IBM mimics the actual prevalence, the 36.36% slower IBM simulation than EBM is acceptable. Furthermore, the individuals' trust towards public health and vaccines as well as the individuals' tendency to protect themselves against infection can reduce the transmission of infectious diseases in the population. In relation with herd immunity, a modified herd immunity threshold formula has been derived from SIRTVW model. The modification on the herd immunity threshold formula results in different threshold values due to sensitivity of certain parameters included in the formula. As herd immunity threshold is used to determine the minimum number of individuals that should be immune to induce herd immunity, the herd immunity threshold from the modified formula provides new insights for the establishment of herd immunity. It is very important to maintain the herd immunity establishment in the population as the disappearance of herd immunity becomes a barrier in controlling the transmission of infectious diseases.

Keywords: Herd immunity, herd immunity threshold, individuals' trust, wane of immunity, infectious disease modelling

Model Matematik Menggabungkan Keyakinan Individu, Keputusan Vaksinasi dan Pengurangan Imuniti untuk Menubuhkan Imuniti Kelompok

ABSTRAK

Penyakit berjangkit menjadi kebimbangan kesihatan awam di seluruh dunia. Dalam pengawalan kemunculan semula penyakit berjangkit, kesihatan awam bergantung kepada pencapaian penubuhan imuniti kelompok dalam populasi. Imuniti kelompok dibentuk dengan mempunyai bilangan individu imun yang cukup dalam populasi untuk mengurangkan penularan penyakit berjangkit dan secara tidak langsung melindungi individidu yang terdedah terhadap jangkitan. Terdapat dua faktor yang mempengaruhi imuniti kelompok iaitu keyakinan individu terhadap kesihatan awam dan vaksin, dan pengurangan imuniti dalam individu. Memandangkan faktor-faktor ini dimodelkan secara berasingan dalam kebanyakan model penyakit berjangkit, penyelidikan ini bertujuan untuk menyatukan kedua-dua keyakinan individu terhadap kesihatan awam dan vaksin, dan pengurangan imuniti dalam individu ke dalam satu model epidemiologi bagi mengekalkan imuniti kelompok. Model dalam penyelidikan ini dikenali sebagai model Susceptible-Infected-Recovered-Trust-Vaccinated-Waned (SIRTVW). Perumusan model SIRTVW menjadi Equation-Based Model (EBM) dengan Ordinary Differential Equation (ODE) bukan linear dan Individual-Based Model (IBM) dengan peraturan yang diberikan kepada individu telah dilaksanakan masing-masing dengan menggunakan MATLAB (fungsi penyelesaian ODE: ode15s) dan NetLogo. Di samping itu, penyatuan dinamik tiruan berdasarkan teori permainan ke dalam EBM dan IBM membantu keputusan vaksinasi individu. Penentusahan dan pengesahan EBM dan IBM mengaplikasi analisis sensitiviti parameter dan petunjuk prestasi seperti metrik pengukuran peratusan ketepatan Root Mean Square Percentage Error (RMSPE) dan masa pelaksanaan. Berdasarkan simulasi EBM dan

IBM dengan menggunakan parameter sebenar penyakit berjangkit Pertussis di Malaysia, sekitar 70% individu di EBM dan 80% individu di IBM mesti memperoleh keyakinan terhadap kesihatan awam dan vaksin untuk menghasilkan keputusan simulasi yang optimum apabila disahkan dengan penyebaran sebenar. RMSPE sebanyak 22.31% di IBM lebih rendah daripada RMSPE sebanyak 56.12% di EBM disebabkan oleh heterogenitas individu dalam IBM yang mana EBM tidak mengambil kira. Memandangkan IBM meniru penyebaran sebenar, simulasi IBM yang 36.36% lebih perlahan daripada EBM boleh diterima. Tambahan pula, keyakinan individu terhadap kesihatan awam dan vaksin, dan kecenderungan individu untuk melindungi diri daripada jangkitan boleh mengurangkan penularan penyakit berjangkit dalam populasi. Berkaitan dengan imuniti kelompok, satu formula ambang imuniti kelompok yang diubah suai telah diperoleh daripada model SIRTVW. Pengubahsuaian terhadap formula imuniti kelompok menghasilkan nilai ambang yang berbeza disebabkan oleh kepekaan parameter tertentu yang termasuk dalam formula. Memandangkan ambang imuniti kelompok digunakan untuk menentukan bilangan minimum individu yang sepatutnya imun untuk mendorong imuniti kelompok, ambang imuniti kelompok daripada formula yang diubah suai memberikan pandangan baharu untuk penubuhan imuniti kelompok. Adalah sangat penting untuk mengekalkan penubuhan imuniti kelompok dalam populasi kerana kehilangan imuniti kelompok menjadi penghalang dalam mengawal penularan penyakit berjangkit.

Kata kunci: *Imuniti kelompok, ambang imuniti kelompok, keyakinan individu, pengurangan imuniti, pemodelan penyakit berjangkit*