

INTISARI

MODEL PREDIKSI PENYEBARAN PENYAKIT MENULAR DENGAN ASUMSI MARKOV/SEMI-MARKOV HYBRID DAN PERLUASAN KURVA RICHARDS UNTUK KASUS MULTI GELOMBANG

Oleh

FAIHATUZ ZUHAIROH

19/450316/SPA/00698

Model multi-state dengan asumsi Markov banyak digunakan dalam bidang epidemiologi. Namun, model ini memiliki sifat tanpa memori, sehingga kurang cocok untuk aplikasi tertentu. Salah satu solusi untuk masalah ini adalah dengan menggunakan asumsi tambahan dengan memperhatikan waktu tinggal di state tertentu, yang membawa model ini ke dalam bentuk semi-Markov. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan penyebaran penyakit menular dengan menggabungkan asumsi Markov dan semi-Markov dalam satu model multi-state yang dikenal dengan model Markov/semi-Markov hybrid. Penyebaran penyakit menular umumnya digambarkan dengan menggunakan model matematika. Pertama, melakukan formulasi model epidemi SVIRD (*Susceptible-Vaccinated-Infected-Recovered-Deceased*) dengan state terinfeksi dibagi menjadi dua yaitu terinfeksi tanpa vaksinasi dan terinfeksi setelah divaksinasi. Kedua, menyelidiki apakah model epidemi SVIRD memenuhi asumsi Markov atau tidak. Jika memenuhi, maka menggunakan asumsi Markov untuk menentukan probabilitas transisi. Jika tidak maka melakukan uji semi-Markov yaitu melakukan estimasi waktu tinggal dari setiap transisi pada model epidemi SVIRD baik waktu diskrit maupun kontinu. Ketiga, melakukan estimasi parameter dengan metode maksimum *likelihood* kemudian membandingkan nilai keakuratan ketiga asumsi model menggunakan nilai AIC (*Akaike information criterion*). Model Markov/semi-Markov hybrid bertujuan untuk mengurangi kompleksitas model dalam hal jumlah parameter yang akan diestimasi dengan hanya memperhitungkan waktu tinggal untuk transisi yang tidak memenuhi asumsi Markov. Langkah terakhir adalah membuat prediksi dengan menentukan jumlah individu yang terinfeksi penyakit menular pada waktu $t + 1$.

Selanjutnya prediksi menggunakan perluasan model kurva Richards untuk kasus multi gelombang. Perluasan model kurva Richards menggunakan metode pendeteksian titik perubahan (*change point*) untuk mendeteksi gelombang epidemi yang terjadi dengan membagi data menjadi beberapa segmen. Hasil prediksi dapat

menemukan puncak pandemi dan kapan berakhirnya epidemi di suatu daerah.

Berdasarkan hasil kajian teoritis diperoleh hasil estimasi parameter model epidemi SVIRD dan persamaan prediksi dengan model Markov/semi-Markov hybrid. Model Markov/semi-Markov hybrid merupakan model terbaik dibandingkan model Markov dan semi-Markov. Selain itu juga diperoleh algoritma perluasan model kurva Richards untuk kasus multi gelombang. Hasil kajian empirik menunjukkan bahwa model Markov/semi-Markov hybrid dapat dijadikan alternatif untuk melakukan prediksi beberapa periode ke depan dari penyebaran penyakit menular dan perluasan model kurva Richards untuk prediksi pada kasus multi gelombang.

Kata-kata kunci: Model epidemi SVIRD, Markov/semi-Markov hybrid, waktu tinggal, perluasan kurva Richards, multi gelombang.

ABSTRACT

TRANSMISSION DISEASE SPREAD PREDICTION MODEL WITH HYBRID MARKOV/SEMI-MARKOV ASSUMPTION AND EXTENSION OF THE RICHARDS CURVE FOR MULTI-WAVE CASES

By

FAIHATUZ ZUHAIROH

19/450316/SPA/00698

Multi-state models with Markov assumptions are widely used in the field of epidemiology. However, this model is memoryless, making it less suitable for specific applications. One solution to this problem is to use additional assumptions for the sojourn time in a particular state, which brings this model into a semi-Markov form. This study aims to model the spread of infectious diseases by combining Markov and semi-Markov assumptions in a multi-state model known as the hybrid Markov/semi-Markov model. The spread of infectious diseases is generally described using a mathematical model. First, formulate the SVIRD epidemic model (*Susceptible-Vaccinated-Infected-Recovered-Deceased*) with the infected state divided into two, namely infected without vaccination and infected after being vaccinated. Second, investigate whether or not the SVIRD epidemic model satisfies the Markov assumptions. If it is fulfilled, use the Markov assumption to determine the transition probability. If not, do a semi-Markov test to estimate the sojourn time of each transition in the SVIRD epidemic model, both in discrete and continuous time. Third, estimate parameters using the maximum *likelihood* method and then compare the accuracy values of the three model assumptions using the AIC value (*Akaike information criterion*). The hybrid Markov semi-Markov model aims to reduce the complexity of the model in terms of the number of parameters to be estimated by only taking into account the sojourn time for transitions that do not meet the Markov assumptions. The final step is to make short-term predictions by determining the number of individuals infected with an infectious disease at time $t + 1$.

Furthermore, long-term predictions use the extension of the Richards curve model for multi-wave cases. Extension of the Richards curve model uses the change-point method to detect epidemic waves by dividing the data into several segments. The prediction results can be used to find the pandemic's peak and when the epidemic will end in an area.

Based on the results of the theoretical study, the parameter estimates for the SVIRD epidemic model and the prediction equation for the hybrid Markov/semi-Markov model were found. The hybrid Markov/semi-Markov model is the best compared to the Markov and semi-Markov models. Also, the algorithm for extension of the Richards curve model in the case of multiple waves is found. The results of the empirical study show that the hybrid Markov/semi-Markov model can be used as an alternative to making short-term predictions of the spread of infectious diseases and an extension of the Richards curve model for long-term predictions for multi-wave cases.

Keywords: SVIRD epidemic model, hybrid Markov/semi-Markov, sojourn time, the extension of the Richards curve, multi-wave.