

## Pemodelan Kemeruapan dan Gelembung dalam Pasaran Mata Wang Kripto menggunakan Pendekatan Rantaian Markov Tersembunyi (Modeling Volatility and Bubbles in Cryptocurrency Markets using Hidden Markov Chain Approach)

NURUL 'AIN SYAFIQAH M.SAFEE & SAIFUL IZZUAN HUSSAIN\*

*Jabatan Sains Matematik, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia*

*Diserahkan: 23 Mei 2024/Diterima: 27 Disember 2024*

### ABSTRAK

Keadaan pasaran mata wang kripto sukar untuk dijangkakan kerana mempunyai kemeruapan yang tinggi. Kajian ini menggunakan model rantaian Markov tersembunyi dalam mengelaskan pergerakan utama mata wang kripto. Hasil kajian menunjukkan pasaran mata wang kripto beralih antara lima keadaan yang dikelaskan kepada beberapa pasaran menaik dan menurun mengikut tahap kemeruapan. Kejadian letusan gelembung pasaran yang berlaku semasa krisis mata wang kripto dikesan banyak berada dalam keadaan pasaran menurun dengan kemeruapan tertinggi. Hasil kajian yang diperoleh ini termasuklah kebarangkalian peralihan dapat digunakan oleh para pelabur bagi menyusun strategi pelaburan yang berkesan untuk memperoleh pulangan yang tinggi.

Kata kunci: Model rantaian Markov tersembunyi; pasaran menaik; pasaran menurun

### ABSTRACT

The cryptocurrency market is difficult to predict due to its high volatility. This study uses a hidden Markov chain model to classify the major movements of cryptocurrencies. The results of the study show that the cryptocurrency market alternates between five states, which are categorized into several bullish and bearish markets depending on the degree of volatility. The bursting of market bubbles that occurred during the cryptocurrency crisis was mostly found in bear market states with the highest volatility. Among the results of this study is the transition probability, which can be used by investors to formulate an effective investment strategy to achieve high returns.

Keywords: Bear market; bull market; hidden Markov model

### PENGENALAN

Mata wang kripto merupakan aset digital yang menggunakan teknologi kriptografi dan dianggap sebagai mata wang alternatif (Chee & Omar 2020). Bitcoin yang mula diperkenalkan pada tahun 2009 oleh Satoshi Nakamoto pula merupakan perintis kepada mata wang kripto (Manimuthu et al. 2019). Mata wang kripto telah menarik perhatian orang ramai di seluruh pelusuk dunia disebabkan oleh sistem desentralisasi yang diamalkan. Dengan adanya sistem ini, setiap transaksi kewangan yang berlaku tidak akan melibatkan pihak ketiga. Justeru, transaksi kewangan menjadi lebih pantas, tidak memerlukan sebarang kos dan lebih selamat kerana mata wang kripto sukar untuk dipalsukan oleh mana-mana pihak (İçellioglu & Öner 2019).

Mata wang kripto mula menjadi tarikan para pelabur selepas berlakunya siri kenaikan harga Bitcoin yang mendadak dan seterusnya meletakkan mata wang kripto ini sebagai salah satu pelaburan yang dianggap penting dalam kalangan pelabur (Ismail, Hussain & Noorani

2020). Pelaburan ini sesuai kepada para pelabur yang sukakan risiko disebabkan kemampuan untuk memberikan pulangan yang tinggi sehingga boleh menyebabkan lonjakan dan kejatuhan yang besar dalam pasaran (Nekhili & Sultan 2020). Kemeruapan mata wang kripto ini lebih tinggi berbanding pasaran saham yang lain (Malik & Bandyopadhyay 2021). Menurut Chuen, Guo dan Wang (2018), kemeruapan yang tinggi ini adalah disebabkan oleh sentimen para pelabur terhadap pasaran mata wang kripto yang mana sentimen ini boleh memberi kesan kepada pulangan mata wang kripto terutamanya dalam situasi ekstrim. Justeru, banyak kajian yang dilakukan bagi menilai prestasi mata wang kripto terutamanya ketika berlakunya krisis kewangan.

Keadaan pasaran mata wang kripto sukar untuk dijangkakan. Para pelabur mungkin mendapat pulangan yang tinggi daripada pelaburan mereka sewaktu pasaran saham sedang naik. Namun begitu, mereka juga berisiko untuk menghadapi kerugian yang besar pada masa hadapan sekiranya tidak mengambil kira faktor lain serta

tidak berhati-hati dalam membuat keputusan. Oleh kerana pemilihan portfolio dalam mata wang kripto adalah sangat penting, para pelabur perlulah membuat keputusan yang bijak sebelum memulakan sebarang pelaburan untuk mengelakkan kerugian pada masa akan datang (Mba & Mwambi 2020).

Pelbagai model matematik telah diaplikasikan oleh pengkaji lepas dalam mata wang kripto. Berdasarkan Cretarola dan Figà-Talamanca (2020), kajian terkini yang menggunakan model peralihan-rejim untuk memodelkan pulangan mata wang kripto dengan lebih baik. Menurut Giudici dan Abu Hashish (2020) pula, model rantaian Markov tersembunyi (HMM) banyak digunakan dalam kajian terkini berbanding model yang lain seperti model vektor autoregresif. Hal ini disebabkan oleh model HMM senang untuk diaplikasikan terutamanya dalam bidang kewangan dan sebagai model untuk menganalisis kemeruapan (Pennoni et al. 2021). Selain model HMM, model peralihan-Markov GARCH (MSGARCH) yang telah digunakan oleh Caporale dan Zekokh (2019) untuk memodelkan kemeruapan mata wang kripto berdasarkan nilai berisiko (VaR) dan anggaran kejatuhan (ES) mendapati bahawa model ini menghasilkan ketepatan yang lebih baik berbanding model GARCH biasa.

Dalam kajian ini, pemodelan mata wang kripto yang dilakukan merangkumi pengenalan rejim mengikut nilai min dan sisihan piawai pulangan mata wang kripto serta peralihan rejim. Menurut Özgür (2020), model matematik yang berkesan perlulah mengambil kira peralihan rejim. Rejim yang dikenal pasti dapat menggambarkan keadaan sebenar pasaran mata wang kripto sama ada menaik atau menurun seperti kejadian krisis kewangan dengan kemeruapan yang tinggi (Chen, Yi & Zhao 2020; Schwaiger 2013). Keadaan pasaran saham menaik merujuk kepada harga pasaran saham yang sedang menaik yang dapat digambarkan oleh rejim dengan nilai min pulangan positif dan sebaliknya untuk pasaran saham menurun. Perubahan yang berlaku dalam harga saham pula amat berkait rapat dengan perubahan dalam keadaan pasaran saham (Chen, Yi & Zhao 2020).

Oleh itu, apabila rejim telah dikenal pasti dan dapat menggambarkan keadaan pasaran bagi mata wang kripto, maka model HMM yang dipilih dapat dijadikan rujukan dan seterusnya digunakan oleh para pelabur dalam membuat peramalan harga mata wang kripto pada masa hadapan supaya keputusan pelaburan sama ada perlu membeli atau menjual dapat dibuat. Para pelabur akan membeli saham apabila harga rendah dan menjual saham apabila harga tinggi namun mereka tidak tahu waktu yang tepat untuk berbuat sedemikian. Justeru, kajian ini dijalankan bagi mengenal pasti rejim berdasarkan nilai min dan sisihan piawai pulangan setiap mata wang kripto bagi menjelaskan keadaan pasaran mata wang kripto dalam tempoh tersebut. Selain itu, kajian ini juga bertujuan untuk mengenal pasti peralihan yang berlaku antara rejim dan pola pergerakan mata wang kripto dari tahun 2018 hingga pertengahan tahun 2021. Tempoh 2018 hingga pertengahan tahun 2021

dipertimbangkan dalam kajian ini kerana tempoh tersebut dicirikan mempunyai kemeruapan yang tinggi dengan kenaikan dan penurunan harga yang ketara dalam pasaran mata wang kripto. Hasil kajian ini dapat digunakan oleh para pelabur untuk membuat jangkaan pada masa hadapan untuk memperoleh pulangan yang tinggi dan mengelakkan kerugian.

#### TATAKAEADAH

Data yang digunakan dalam kajian ini adalah berdasarkan data harian harga tutup bagi lima mata wang kripto iaitu Bitcoin, Cardano, Dogecoin, Ethereum dan Ripple dari Januari 2018 hingga Jun 2021 yang diperoleh daripada laman sesawang *investing.com*. Data harian harga tutup tersebut seterusnya digunakan untuk mendapatkan pulangan bagi setiap mata wang kripto dengan menggunakan rumus pulangan seperti berikut:

$$R_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \quad (1)$$

dengan  $P_t$  ialah Harga mata wang kripto bagi hari  $t$ ;  $P_{t-1}$  ialah Harga mata wang kripto bagi hari  $t - 1$ ; dan  $R_t$  ialah Pulangan mata wang kripto bagi hari  $t$ .

#### MODEL RANTAIAN MARKOV TERSEMBUNYI

Model rantaian Markov tersembunyi (HMM) merupakan model statistik yang mula diperkenalkan oleh Baum dan Petrie pada tahun 1966. Aplikasi pertama yang menggunakan model ini adalah dalam pengecaman pertuturan pada tahun 1989 oleh Rabiner. Model ini memiliki sifat Markov dan melibatkan kebarangkalian bagi keadaan yang tidak dapat diperhatikan. Kajian ini menggunakan pendekatan HMM dalam pemodelan mata wang kripto kerana model ini lebih sesuai dan telah banyak digunakan oleh para pengkaji yang lepas.

Model Rantaian Markov Tersembunyi (HMM) digunakan untuk memodelkan kemeruapan mata wang kripto. Notasi berikut digunakan dalam model ini:

1.  $Q_t$  : Merujuk kepada keadaan tersembunyi (rejim) pada masa  $t$ , yang tidak dapat diperhatikan secara langsung. Dalam konteks ini,  $Q_t$  mewakili keadaan pasaran mata wang kripto (contohnya, pasaran menaik atau menurun).
2.  $O_t$ : Menunjukkan data yang boleh diperhatikan atau pulangan mata wang kripto pada masa  $t$ . Nilai ini dihasilkan daripada keadaan tersembunyi  $Q_t$ .
3.  $t$ : Merujuk kepada masa semasa dalam model.
4.  $T$ : Merujuk kepada jumlah keseluruhan langkah masa dalam dataset.
5.  $i, j$ : Indeks yang mewakili keadaan tertentu dalam HMM. Contohnya,  $i, j = 1, 2, \dots, N$ , dengan  $N$  adalah jumlah keseluruhan keadaan tersembunyi.

6.  $k$ : Merujuk kepada indeks bagi simbol yang boleh diperhatikan dalam model.
7.  $M$ : Jumlah keseluruhan simbol yang boleh diperhatikan (atau nilai output yang mungkin) dalam dataset.
8.  $v_k$ : Mewakili simbol ke- $k$  yang boleh diperhatikan. Dalam kajian ini,  $v_k$  merujuk kepada nilai pulangan atau kategori tertentu yang diperoleh daripada data mata wang kripto.

Elemen yang terlibat dalam pemodelan mata wang kripto menggunakan HMM adalah seperti berikut:

1. Ruang sampel keadaan tersembunyi.

$$S_1 = \{1, 2, \dots, N\} \quad (2)$$

yang  $i, j = 1, 2, \dots, N$

2. Keadaan tersembunyi pada masa  $t$ . Dalam konteks pemodelan mata wang kripto, keadaan tersembunyi merupakan keadaan sebenar pasaran mata wang kripto sama ada pasaran menaik atau menurun

$$\{Q_t, t = 1, 2, \dots, T\} \quad (3)$$

$$\forall t : Q_t \in S_1 \quad (4)$$

3. Ruang sampel nilai bagi simbol yang boleh diperhatikan. Dalam kajian ini, simbol mengambil nilai pulangan mata wang kripto

$$S_2 = \{v_k, k = 1, 2, \dots, M\} \quad (5)$$

4. Simbol yang boleh diperhatikan pada masa  $t$ . Dalam konteks pemodelan mata wang kripto,  $O_t$  merupakan pulangan wang kripto pada masa  $t$ .

$$\{O_t, t = 1, 2, \dots, T\} \quad (6)$$

$$\forall t : O_t \in S_2 \quad (7)$$

5. Kebarangkalian peralihan dari keadaan  $i$  pada masa  $t$  kepada keadaan  $j$  pada masa  $t + 1$ . Jika  $a_{ij} = 0$ , maka tiada peralihan dari keadaan  $i$  ke keadaan  $j$

$$a_{ij} = P(Q_t = j \mid Q_{t-1} = i) \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} = 1 \quad (9)$$

6. Matriks kebarangkalian peralihan

$$A = [a_{ij}] \quad (10)$$

Elemen  $a_{ij}$  mewakili kebarangkalian untuk beralih daripada keadaan  $i$  kepada keadaan  $j$ , yang ditentukan seperti berikut:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{N1} & \dots & a_{NN} \end{bmatrix}$$

7. Kebarangkalian untuk menjana simbol yang boleh diperhatikan apabila keadaan pada masa  $t$  adalah  $j$

$$b_j(k) = P(O_t = v_k \mid Q_t = j) \quad (11)$$

untuk  $j = 1, 2, \dots, N$  dan  $k = 1, 2, \dots, M$

8. Matriks kebarangkalian bagi simbol yang boleh diperhatikan atau boleh dikenali dengan lebih ringkas sebagai matriks kebarangkalian pemerhatian

$$B = [b_j(k)] \quad (12)$$

Elemen  $b_j(k)$  menggambarkan kebarangkalian  $N$  simbol  $k$  diperhatikan dalam keadaan  $j$ :

$$A = \begin{bmatrix} b_1(1) & \dots & b_1(M) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_N(1) & \dots & b_N(M) \end{bmatrix}$$

9. Matriks/Vektor kebarangkalian awal pada masa  $t = 1$  bagi setiap keadaan

$$\pi = [\pi_i] \quad (13)$$

$$\pi_i = P(Q_1 = i) \quad (14)$$

untuk  $i = 1, 2, \dots, N$

Parameter bagi HMM terdiri daripada matriks kebarangkalian peralihan  $A$ , matriks kebarangkalian pemerhatian  $B$  dan kebarangkalian awal pada masa  $t = 1$  bagi setiap keadaan. Ia boleh ditulis dengan lebih ringkas dengan mewakili ketiga-tiga parameter sebagai

$$\lambda = \{A, B, \pi\} \quad (15)$$

Dalam kajian ini, kebarangkalian pemerhatian diandaikan mempunyai taburan Gaussian  $b_i(O_t) \sim N(O_t = v_k, \mu_i, \sigma_i)$  yang mana  $\mu_i$  merupakan nilai min dan  $\sigma_i$  ialah sisihan piawai bagi taburan tersebut. Nilai  $v_k$  boleh diabaikan disebabkan oleh simbol yang boleh diperhatikan terlalu banyak. Justeru, parameter HMM boleh ditulis semula seperti berikut,

$$\lambda = \{A, \mu, \sigma, \pi\} \quad (16)$$

## ALGORITMA KE DEPAN

Dalam konteks mata wang kripto, Algoritma ke Depan digunakan untuk menganalisis peralihan antara rejim pasaran menaik dan menurun berdasarkan data pulangan yang diperhatikan. Kajian terkini oleh Giudici dan Abu Hashish (2020) menunjukkan bahawa Algoritma ke Depan dalam HMM dapat mengesan perubahan rejim dengan tepat, terutamanya dalam pasaran yang mempunyai kemeruapan tinggi seperti mata wang kripto.

Andaikan kebarangkalian tercantum bagi keadaan  $i$  dan data yang boleh diperhatikan pada masa  $t$  iaitu  $O_t$  diwakili oleh  $\alpha_t(i)$  dengan  $\alpha_t(i) = P(O_1, O_2, \dots, O_t, Q_t = S_i | \lambda)$  yang mana data yang boleh diperhatikan dari masa  $t = 1$  hingga masa  $t$  diketahui. Langkah-langkah dan formula yang digunakan dalam algoritma ini adalah seperti berikut:

1. Mulakan dengan mencari  $\alpha_1(i)$  untuk  $i = 1, 2, \dots, N$ . Andaikan kebarangkalian data pada masa  $t = 1$  berada dalam keadaan  $i$  sebagai  $b_i(O_1)$

$$\alpha_1(i) = \pi_i b_i(O_1) \quad (17)$$

2. Cari  $\alpha_t(j)$  untuk  $t = 1, 2, \dots, T$  dan  $i = 1, 2, \dots, N$

$$\alpha_t(j) = \left[ \sum_{i=1}^N \alpha_{t-1}(i) a_{ij} \right] b_j(O_t) \quad (18)$$

3. Cari  $P(O|\lambda)$

$$P(O|\lambda) = \sum_{i=1}^N \alpha_T(i) \quad (19)$$

$$\alpha_T(i) = P(O_1, O_2, \dots, O_T, Q_T = i | \lambda) \quad (20)$$

Andaikan  $\beta_t(i)$  mewakili kebarangkalian bersyarat dengan  $\beta_t(i) = P(O_{t+1}, O_{t+2}, \dots, O_T | Q_t = i, \lambda)$  yang mana data yang boleh diperhatikan selepas masa  $t$  diketahui. Pengiraan dalam algoritma ini adalah secara terbalik dengan pengiraan dalam algoritma ke depan yang mana pengiraan ini dimulakan daripada data pada masa  $t = T$ . Langkah-langkah dan formula yang digunakan dalam algoritma ini adalah seperti berikut:

1. Mulakan dengan mengandaikan nilai  $\beta_T(i) = 1$  untuk  $i = 1, 2, \dots, N$
2. Cari  $\beta_t(i)$  untuk  $t = T - 1, T - 2, \dots, 1$  dan  $i = 1, 2, \dots, N$

$$\beta_t(i) = \sum_{j=1}^N a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j) \quad (21)$$

3. Cari  $P(O|\lambda)$

$$P(O|\lambda) = \sum_{i=1}^N \pi_i b_i(O_1) \beta_1(i) \quad (22)$$

Algoritma viterbi digunakan untuk mencari susunan keadaan tersembunyi,  $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_T\}$  yang terbaik untuk mewakili susunan data yang boleh diperhatikan,  $O = \{O_1, O_2, \dots, O_T\}$ . Dalam algoritma ini, susunan keadaan tersembunyi dikenali sebagai laluan dan hanya satu laluan yang terbaik sahaja yang diambil kira. Andaikan  $\delta_t(i)$  sebagai kebarangkalian tertinggi bagi setiap keadaan di sepanjang laluan pada masa  $t$  untuk  $t = 1, 2, \dots, T$  yang mengambil kira data yang boleh diperhatikan pada masa  $t$  yang pertama dan keadaan pada masa  $t$ . Secara matematik,  $\delta_t(i)$  boleh ditulis sebagai

$$\delta_t(i) = \max_{Q_1, Q_2, \dots, Q_{t-1}} (Q_1, Q_2, \dots, Q_{t-1}, O_1, O_2, \dots, O_t | \lambda) \quad (23)$$

Menggunakan kaedah induksi,

$$\delta_t(j) = [\max_i \delta_t(i) a_{ij}] \cdot b_j(O_{t+1}) \quad (24)$$

Langkah-langkah dan formula yang terlibat dalam algoritma ini adalah seperti berikut:

1. Argumen yang diperlukan dalam algoritma ini ialah  $\psi_t(j)$ . Andaikan nilai bagi  $\psi_1(i) = 0$  dan kira  $\delta_1(i)$  untuk  $i = 1, 2, \dots, N$ .

$$\delta_1(i) = \pi_i b_i(O_1) \quad (25)$$

2. Menggunakan kaedah rekursi, dapatkan  $\delta_t(j)$  dan  $\psi_t(j)$  untuk  $t = 1, 2, \dots, T$  dan  $j = 1, 2, \dots, N$

$$\delta_t(j) = \max [\delta_{t-1}(i) a_{ij}] b_j(O_t) \quad (26)$$

$$\psi_t(j) = \operatorname{argmax} [\delta_{t-1}(i) a_{ij}] \quad (27)$$

3. Tamatkan pengiraan dalam algoritma viterbi apabila keadaan tersembunyi pada masa  $T$  yang mempunyai kebarangkalian tertinggi diperoleh

$$P^* = \max [\delta_T(i)] \quad (28)$$

$$q_T^* = \operatorname{argmax} [\delta_T(i)] \quad (29)$$

4. Pembalikan susunan keadaan untuk  $t = T - 1, T - 2, \dots, 1$

$$q_t^* = \psi_{t+1}(q_{t+1}^*) \quad (30)$$

## ALGORITMA BAUM-WELCH

Algoritma Baum-Welch yang diperkenalkan oleh Baum et al. pada tahun 1970 digunakan bagi menganggar parameter  $\lambda = \{A, B, \pi\}$  untuk memaksimumkan  $P(O|\lambda)$ . Justeru, penganggar kebolehjadian maksimum (MLE) perlulah digunakan. Langkah-langkah dan formula yang terlibat dalam algoritma Baum-Welch dibahagikan kepada dua bahagian. Bahagian pertama merangkumi langkah-langkah dan formula yang digunakan bagi mencari nilai yang diperlukan untuk penganggaran parameter  $\lambda$  manakala bahagian kedua pula adalah langkah-langkah dan formula bagi menganggar parameter  $\lambda$  sehingga menumpu pada nilai yang optimum secara tempatan. Langkah-langkah dan formula untuk bahagian pertama adalah seperti berikut:

1. Dapatkan nilai bagi kebarangkalian ke depan,  $\alpha_t(i)$  dan kebarangkalian ke belakang,  $\beta_t(i)$  daripada algoritma ke depan dan ke belakang. Hitung nilai  $\gamma_t(i)$  iaitu kebarangkalian berada dalam keadaan  $i$  pada masa  $t$  dengan susunan data yang boleh diperhatikan diketahui pada masa sebelum dan selepas  $t$  dan diberi parameter  $\lambda$ . Dalam erti kata lain,  $\gamma_t(i)$  merupakan gabungan bagi  $\alpha_t(i)$  dan  $\beta_t(i)$ .

$$\alpha_t(i) = P(O_1, O_2, \dots, O_t, Q_t = i | \lambda) \quad (31)$$

$$\beta_t(i) = P(O_{t+1}, O_{t+2}, \dots, O_T | Q_t = i, \lambda) \quad (32)$$

$$\gamma_t(i) = P(Q_t = i | O, \lambda) \quad (33)$$

$$\gamma_t(i) = \frac{\alpha_t(i)\beta_t(i)}{P(O|\lambda)} = \frac{\alpha_t(i)\beta_t(i)}{\sum_{j=1}^N \alpha_t(j)\beta_t(j)} \quad (34)$$

$$\sum_{i=1}^N \gamma_t(i) = 1 \quad (35)$$

2. Dapatkan kebarangkalian berada dalam keadaan  $i$  pada masa  $t$  dan keadaan  $j$  pada masa  $t + 1$  diberi susunan data yang boleh diperhatikan dan parameter  $\lambda$ . Kebarangkalian ini boleh diwakilkan dengan  $\xi_t(i, j)$ .

$$\xi_t(i, j) = P(Q_t = i, Q_{t+1} = j | O, \lambda) \quad (36)$$

$$\xi_t(i, j) = \frac{\alpha_t(i)a_{ij}b_j(O_{t+1})\beta_{t+1}(j)}{P(O|\lambda)} \quad (37)$$

$$\xi_t(i, j) = \frac{\alpha_t(i)a_{ij}b_j(O_{t+1})\beta_{t+1}(j)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_t(i)a_{ij}b_j(O_{t+1})\beta_{t+1}(j)} \quad (38)$$

Langkah-langkah dan formula bagi menganggar parameter  $\lambda$  sehingga menumpu pada nilai yang optimum secara tempatan adalah seperti berikut:

1. Mulakan dengan mencari nilai kekerapan berada dalam keadaan  $i$  pada masa  $t = 1$  untuk  $i = 1, 2, \dots, N$

$$\pi^* = \gamma_1(i) \quad (39)$$

2. Cari kebarangkalian peralihan dan matriks kebarangkalian peralihan yang baru untuk  $i, j = 1, 2, \dots, N$ .

$$a_{ij}^* = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \xi_t(i, j)}{\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i)} \quad (40)$$

$$\gamma_t(i) = \sum_{j=1}^N \xi_t(i, j) \quad (41)$$

$$A^* = [a_{ij}^*] \quad (42)$$

dengan  $\sum_{t=1}^{T-1} \xi_t(i, j)$  ialah Jangkaan bilangan peralihan dari keadaan  $i$  ke  $j$ ; dan  $\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i)$  ialah Jangkaan bilangan peralihan dari keadaan  $i$ .

3. Cari kebarangkalian untuk menjana simbol yang boleh diperhatikan apabila keadaan pada masa  $t$  adalah  $j$  yang baru untuk  $j = 1, 2, \dots, N$  dan  $k = 1, 2, \dots, M$ .

$$b_j^*(k) = \frac{\sum_{t=1, O_t=v_k}^T \gamma_t(j)}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j)} \quad (43)$$

dengan  $\sum_{t=1, O_t=v_k}^T \gamma_t(j)$  ialah Jangkaan bilangan kekerapan masa berada dalam keadaan  $j$  dan memerhatikan simbol  $v_k$ , dan  $\sum_{t=1}^T \gamma_t(j)$  ialah Jangkaan bilangan kekerapan masa berada dalam keadaan  $j$ .

4. Oleh kerana kebarangkalian pemerhatian diandaikan mempunyai taburan Gaussian, maka  $b_j^*(k)$  boleh diabaikan atau tidak perlu dicari sama sekali. Sebaliknya nilai  $\mu_i^*$  dan  $\sigma_i^*$  yang baharu perlu dicari.

$$\mu_i^* = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i) O_t}{\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i)} \quad (44)$$

$$\sigma_i^* = \frac{\sum_{t=1}^T \gamma_t(i) (O_t - \mu_i) (O_t - \mu_i)'}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(i)} \quad (45)$$



5. Anggaran parameter  $\lambda^*$  diteruskan sehingga menumpu

$$\lambda^* = \{A^*, \mu_i^*, \sigma_i^*, \pi^*\} \quad (46)$$

#### UJIAN AIC

Dalam kajian ini, ujian AIC digunakan bagi memilih model HMM yang terbaik antara model HMM dengan 3 hingga 5 keadaan. Berikut merupakan formula bagi ujian AIC:

$$AIC = -2 \ln(L) + 2k \quad (47)$$

dengan  $L$  ialah Fungsi kebolehdadian bagi model; dan  $k$  ialah Bilangan anggaran parameter bagi model.

#### HASIL KAJIAN

Jadual 1 menunjukkan statistik perihalan bagi pulangan harian lima mata wang kripto yang dipertimbangkan dalam kajian ini. Data ini memberi gambaran keseluruhan mengenai nilai min, median, sisihan piawai dan taburan pulangan setiap mata wang kripto sepanjang tempoh kajian. Berdasarkan Jadual 1, min pulangan mata wang kripto yang tertinggi ialah Dogecoin iaitu sebanyak 0.2619% manakala Ripple pula mempunyai min pulangan yang terendah dengan nilai negatif iaitu -0.0808%. Hal ini menunjukkan bahawa pelabur berpotensi untuk memperoleh keuntungan yang lebih tinggi sekiranya melabur dalam Dogecoin jika dibandingkan dengan mata wang kripto yang lain namun pelabur perlulah lebih berhati-hati dalam membuat pelaburan untuk Ripple disebabkan potensi kerugian pada hari yang berikutnya lebih tinggi. Oleh kerana Dogecoin mempunyai min pulangan yang tinggi maka, kemaruapan bagi mata wang ini juga yang boleh diukur dengan nilai sisihan piawai adalah tinggi berbanding mata wang kripto yang lain iaitu sebanyak 18.5535%. Semakin tinggi pulangan mata wang kripto, semakin tinggi kemaruapan. Kenaikan dan penurunan harga Dogecoin yang tidak menentu berlaku terutamanya pada tahun awal tahun 2020 iaitu sewaktu bermulanya pandemik COVID-19. Pada waktu ini, ekonomi negara berada dalam keadaan yang tidak stabil sehingga menyebabkan harga mata wang kripto jatuh secara drastik. Kejatuhan Dogecoin menunjukkan nilai minimum pulangan iaitu -415.5892 dicapai pada hari berikutnya setelah mata wang tersebut mencapai nilai maksimum iaitu 414.1786. Bagi wang kripto yang lain pula, nilai sisihan piawai tidak menunjukkan perbezaan yang ketara iaitu antara 4% hingga 7%.

Jadual 2 menunjukkan nilai min pulangan bagi setiap mata wang kripto dalam rejim yang dikenal pasti menggunakan model HMM. Berdasarkan Jadual 2, kesemua mata wang kripto mempunyai nilai min terendah yang negatif dalam rejim 4 kecuali Cardano. Walaupun nilai min pulangan bagi rejim 4 untuk Cardano bukan yang terendah tetapi nilainya masih negatif. Hasil

kajian ini mempunyai persamaan dengan kajian oleh Zakamulin (2020) yang juga mendapati bahawa rejim 4 mempunyai nilai min pulangan yang negatif. Selain itu, dapat diperhatikan juga dua mata wang kripto mempunyai nilai min pulangan tertinggi dalam rejim 1 dan 3 manakala hanya satu sahaja mata wang kripto yang mempunyai nilai min tertinggi dalam rejim 5. Rejim 2 pula menunjukkan nilai min pulangan negatif bagi semua mata wang kripto kecuali Dogecoin. Secara ringkasnya, Bitcoin dan Ripple mempunyai 3 pasaran menaik iaitu dalam rejim 1, 3 dan 5 manakala 2 pasaran menurun pula berada dalam rejim 2 dan 4. Cardano, Dogecoin dan Ethereum pula mempunyai persamaan dengan jumlah pasaran menaik dan menurun yang sama iaitu masing-masing sebanyak 2 dan 3 namun memiliki perbezaan dari segi nilai min pulangan positif dan negatif untuk setiap rejim.

#### NILAI SISIHAN PIAWAI REJIM

Jadual 3 menunjukkan nilai sisihan piawai pulangan mata wang kripto bagi setiap rejim. Maklumat ini memberikan penjelasan lanjut mengenai kemaruapan dalam rejim yang berlainan dengan penekanan pada tahap ketidakstabilan pasaran. Berdasarkan Jadual 3, kemaruapan tertinggi bagi Dogecoin dan Ripple adalah dalam rejim 1 disebabkan kedua-dua mata wang kripto ini mempunyai nilai min pulangan yang tertinggi dalam rejim 1. Justeru, sekiranya pasaran Dogecoin dan Ripple berada dalam rejim 1, maka pelabur akan terdedah dengan kemaruapan yang tinggi oleh kerana mereka berpotensi untuk memperoleh keuntungan yang tinggi daripada pelaburan mereka. Walau bagaimanapun, keadaan ini berbeza dengan Bitcoin, Cardano dan Ethereum yang mempunyai kemaruapan tertinggi dalam rejim 4 dengan nilai min pulangan negatif. Hal ini menunjukkan bahawa situasi ekstrim berada dalam rejim tersebut dengan kenaikan dan penurunan harga mata wang kripto tersebut berlaku secara tidak menentu. Bagi rejim 2 pula, kemaruapan yang terendah bagi Cardano, Ethereum dan Ripple berada dalam rejim tersebut manakala rejim 5 mempunyai kemaruapan terendah bagi Bitcoin dan Dogecoin. Oleh itu, pasaran mata wang kripto dalam kedua-dua rejim ini berada dalam keadaan stabil walaupun nilai min bagi mata wang Cardano, Dogecoin, Ethereum dan Ripple adalah negatif.

#### POLA PERGERAKAN MATA WANG KRIPTO

Rajah 1 hingga 5 menggambarkan pola pergerakan harga setiap mata wang kripto mengikut masa, dengan rejim tersembunyi yang dikenal pasti oleh model HMM turut divisualisasikan. Rajah ini memberi pandangan yang jelas tentang bagaimana setiap mata wang kripto melalui peralihan antara rejim pasaran menaik dan menurun sepanjang tempoh kajian. Penerangan bagi pola pergerakan mata wang kripto akan dibahagikan kepada beberapa bahagian mengikut tahun. Pada awal tahun 2018, Bitcoin mengalami krisis kejatuhan harga yang sangat teruk yang

JADUAL 1. Statistik perihalan

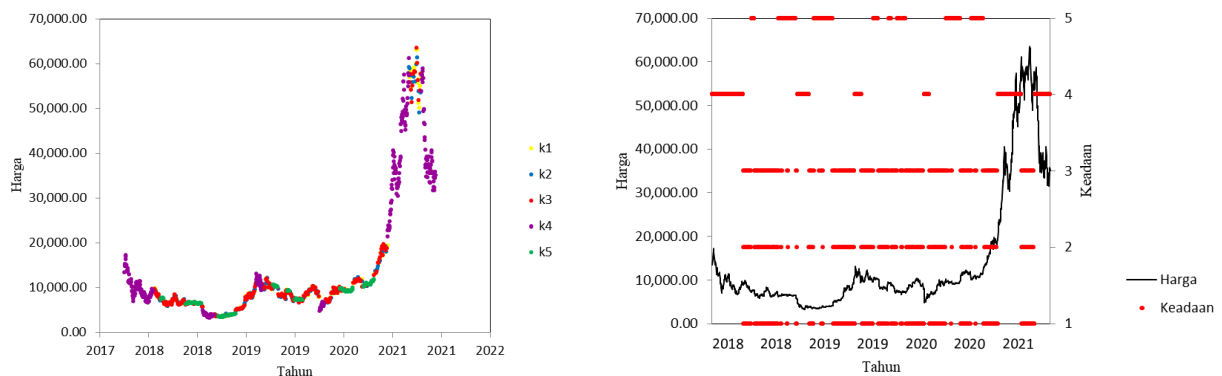
Parameter	Bitcoin	Cardano	Dogecoin	Ethereum	Ripple
Min	0.0727	0.0523	0.2619	0.0882	-0.0808
Median	0.1292	0.0000	-0.1026	0.1508	-0.0421
Sisihan piawai	4.1881	6.4586	18.5535	5.4692	6.4784
Kurtosis	17.2953	6.1375	395.4165	12.9484	12.2718
Kepencongan	-1.3844	-0.1721	0.4395	-1.2619	-0.0254
Minimum	-49.7278	-53.7199	-415.5892	-58.9639	-54.1017
Maksimum	17.7424	34.8770	414.1786	23.0772	44.8991

JADUAL 2. Nilai min pulangan mata wang kripto dalam setiap rejim

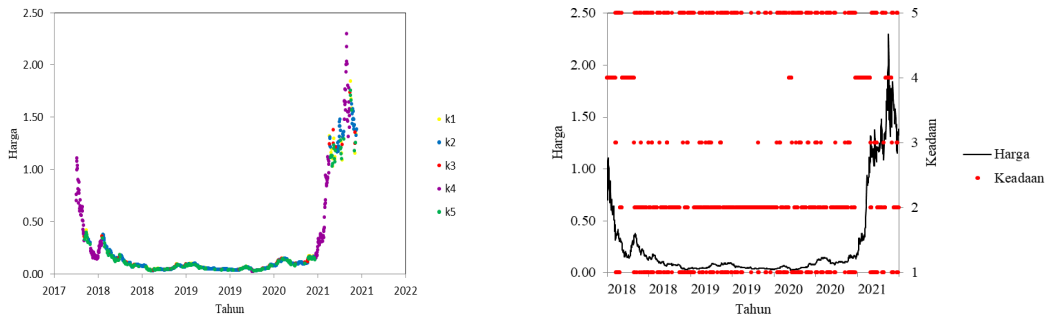
Keadaan/Rejim	1	2	3	4	5
Bitcoin	0.3867	-0.4264	0.6121	-0.6336	0.0568
Cardano	3.0498	-0.3063	9.5252	-2.1491	-4.5097
Dogecoin	31.8151	2.6522	-0.0065	-1.2458	-0.0891
Ethereum	-2.1141	-0.8214	0.7693	-4.0566	2.9125
Ripple	3.0077	-0.0940	0.0050	-0.9407	0.0311

JADUAL 3. Nilai sisihan piawai pulangan mata wang kripto dalam setiap rejim

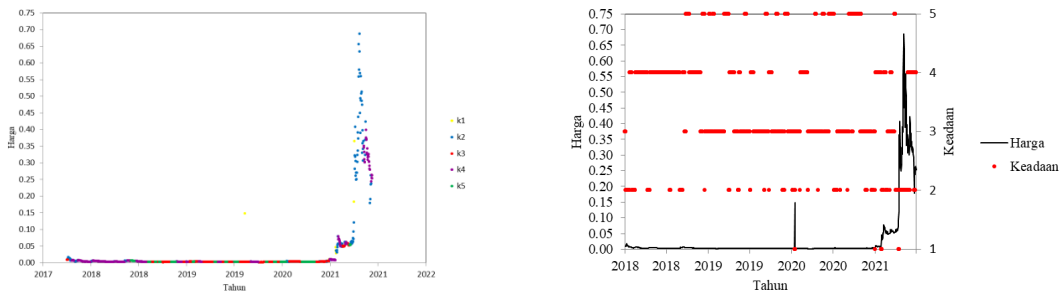
Keadaan/Rejim	1	2	3	4	5
Bitcoin	1.5552	2.7126	5.0957	7.0395	1.0747
Cardano	3.7631	2.7982	6.9047	13.6939	5.4471
Dogecoin	208.3053	13.9595	2.6091	4.7448	0.9284
Ethereum	7.5175	1.6001	5.3684	16.4211	2.0821
Ripple	17.6347	1.4884	3.0134	5.8714	6.0346



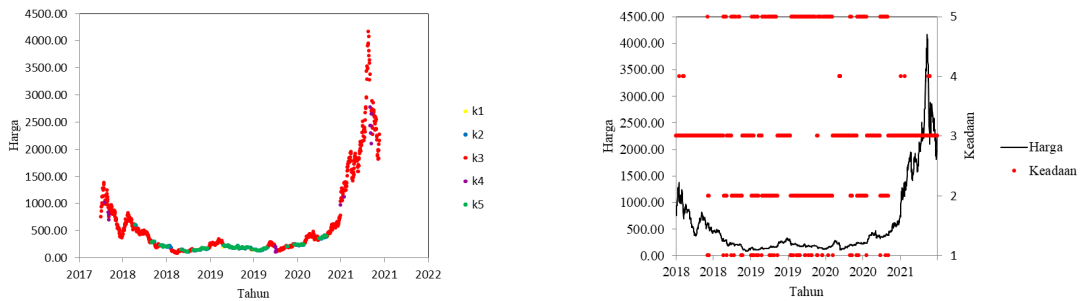
RAJAH 1. Graf harga Bitcoin dengan susunan keadaan tersembunyi mengikut masa



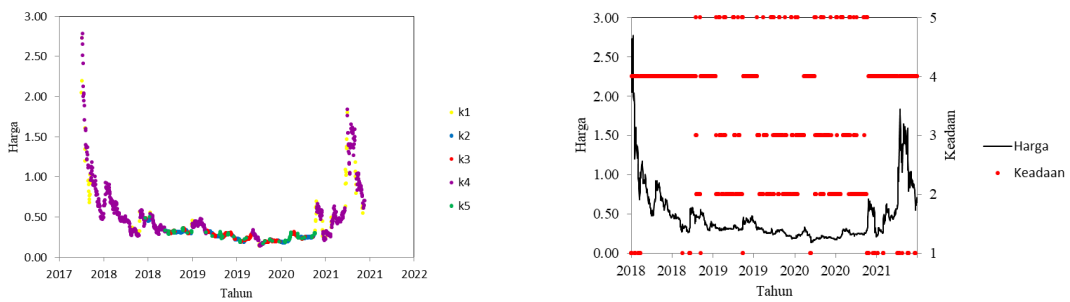
RAJAH 2. Graf harga Cardano dengan susunan keadaan tersembunyi mengikut masa



RAJAH 3. Graf harga Dogecoin dengan susunan keadaan tersembunyi mengikut masa



RAJAH 4. Graf harga Ethereum dengan susunan keadaan tersembunyi mengikut masa



RAJAH 5. Graf harga Ripple dengan susunan keadaan tersembunyi mengikut masa



dinamakan sebagai letusan gelembung pasaran. Hal ini berlaku rentetan daripada kejadian gelembung pasaran pada akhir tahun 2017 yang menunjukkan kenaikan harga dalam suatu jangka masa sehinggalah mencapai nilai yang maksimum dan kemudian harga tersebut mula mengalami kejatuhan yang drastik dari semasa ke semasa atau lebih dikenali sebagai letusan gelembung pasaran (Agosto & Cafferata 2020). Kejatuhan harga ini akan berterusan sehinggalah pasaran mata wang kripto kembali pulih dan menjadi stabil semula. Kenaikan dan kejatuhan harga Bitcoin diikuti oleh beberapa mata wang kripto yang lain seperti yang dapat dilihat dalam rajah tersebut yang mana kesemua mata wang kripto mengalami kejatuhan harga yang drastik kecuali Dogecoin kerana harganya terlalu kecil namun masih turut mengalami kejatuhan. Menurut Drozdz et al. (2020), kerugian yang dialami oleh Bitcoin dianggarkan sebanyak 80% dan hampir 99% kerugian dialami oleh mata wang kripto yang lain pada bulan Januari tahun 2018.

Hampir keseluruhan kejatuhan harga pada awal tahun 2018 ini dapat dilihat berada dalam keadaan 4 yang mempunyai nilai min pulangan negatif dengan kemaruapan yang tinggi untuk semua mata wang kripto. Hal ini kerana kejatuhan harga tersebut memberikan risiko dan potensi kerugian yang tinggi kepada pelabur. Oleh sebab itu, ramai pelabur mula berasa panik dan menjual saham mereka sehingga menyebabkan kejatuhan harga mata wang kripto menjadi lebih teruk. Walau bagaimanapun, Ethereum hanya berada dalam keadaan 4 untuk tempoh masa yang singkat sahaja berbanding dengan mata wang kripto yang lain. Justeru, model HMM tidak dapat mengesan kejatuhan harga dalam pasaran Ethereum dengan baik kerana kejatuhan harga ini banyak berada dalam keadaan pasaran menaik.

Selepas tahun 2018, gelembung pasaran juga turut berlaku pada awal hingga pertengahan tahun 2019 untuk beberapa mata wang kripto sahaja iaitu Bitcoin dan Ethereum. Gelembung pasaran ini kemudian meletus dari pertengahan hingga akhir tahun 2019. Berdasarkan Rajah 1 dan 4, dapat diperhatikan bahawa keadaan pasaran menaik dengan kemaruapan tertinggi banyak berlaku apabila pasaran kedua-dua mata wang kripto ini menghampiri kemuncak gelembung pasaran. Hal ini menunjukkan bahawa para pelabur mempunyai potensi yang lebih tinggi untuk memperoleh pulangan yang tinggi dalam tempoh masa ini berbanding dengan tempoh masa gelembung pasaran yang lain. Selain itu, dapat dilihat juga tiada keadaan 4 yang dapat dikesan dalam gelembung pasaran Bitcoin dan Ethereum. Justeru, keputusan kajian ini bertentangan dengan kajian oleh Pennoni et al. (2021) yang mendapati keadaan pasaran menurun dengan kemaruapan tertinggi juga dapat dilihat beberapa kali semasa berlakunya gelembung pasaran pada tahun 2019. Keadaan 4 dalam kajian ini bagi Bitcoin hanya dapat dilihat berada

pada awal kejadian letusan gelembung sahaja manakala Ethereum pula tidak menunjukkan sebarang keberadaan dalam keadaan 4 semasa letusan gelembung ini berlaku.

Pada tahun 2020, kesemua mata wang kripto mengalami kejatuhan harga pada kuartar pertama iaitu setelah China mengumumkan pandemik COVID-19. Rajah menunjukkan bahawa mata wang kripto berada dalam keadaan pasaran menurun dengan kemaruapan yang tinggi namun dalam tempoh masa yang singkat sahaja. Selain itu, Dogecoin juga didapati mempunyai nilai ekstrim pada awal tahun 2020 iaitu 0.1482 yang menunjukkan lonjakan harga secara drastik namun kenaikan harga tersebut tidak berkekalan kerana keesokannya pula harga tersebut terus menjunam semula ke 0.0023 yang juga merupakan nilai ekstrim. Pasaran mata wang kripto kembali pulih selepas kuartar pertama tahun 2020 dan mula menunjukkan kenaikan harga semula dengan peralihan keadaan antara pasaran menaik dan menurun yang mempunyai kemaruapan sederhana dan rendah sahaja.

Oleh itu, dapat disimpulkan bahawa pandemik COVID-19 menjejaskan pasaran mata wang kripto untuk tempoh masa yang singkat sahaja disebabkan terdapatnya sentimen negatif dalam kalangan pelabur pada awal pandemik COVID-19 berlaku namun keadaan pasaran menurun ini kembali stabil dengan kadar yang segera. Hasil kajian ini menyokong kajian daripada Caferra dan Vidal-Tomás (2021) yang menunjukkan bahawa keadaan menurun mata wang kripto berakhir pada akhir bulan Mac pada tahun 2020 berbanding pasaran saham yang masih kekal berada dalam keadaan menurun. Bukan itu sahaja, hasil kajian ini juga dapat menjelaskan perbezaan hasil kajian daripada Conlon dan McGee (2020) yang dijalankan sehingga bulan Mac tahun 2020 dan mendapati mata wang kripto tidak boleh digunakan sebagai pelaburan *safe haven* dan kajian daripada Iqbal et al. (2021) yang mengambil data sehingga bulan Jun tahun 2021 dan mendapati bahawa mata wang kripto boleh dijadikan sebagai pelaburan *safe haven* sewaktu pandemik COVID-19.

Seterusnya, pada tahun 2021 pula dapat dilihat dengan jelas kejadian gelembung pasaran berulang lagi dengan kenaikan harga yang mendadak untuk semua mata wang kripto pada kuartar pertama tahun 2021. Namun begitu, gelembung pasaran yang berlaku pada waktu ini dikaitkan dengan faktor luaran atau peristiwa eksogenus. Kejatuhan harga ini juga didorong oleh beberapa faktor yang lain seperti sekatan yang dikenakan oleh negara China kepada institusi kewangan dalam penggunaan mata wang kripto (Menton 2021). Justeru, dapat diperhatikan bahawa pasaran mata wang kripto berada dalam keadaan 4 pada akhir bulan Mei. Bitcoin, Dogecoin dan Ripple bahkan kekal berada dalam keadaan 4 tanpa menunjukkan sebarang peralihan kepada keadaan lain sehingga akhir bulan Jun. Walau bagaimanapun, model HMM juga tidak dapat mengesan kejatuhan harga Ethereum dengan baik pada waktu ini.

## KESIMPULAN

Penyelidikan ini dijalankan bagi memilih model rantaian Markov tersembunyi (HMM) yang terbaik dalam menjelaskan keadaan pasaran bagi lima mata wang kripto iaitu Bitcoin, Cardano, Dogecoin, Ethereum dan Ripple dari tahun 2018 hingga pertengahan tahun 2021. Berdasarkan ujian AIC yang telah dijalankan, model HMM dengan 5 keadaan tersembunyi dipilih disebabkan model ini mempunyai nilai AIC yang lebih rendah berbanding model HMM yang lain. Keputusan kajian ini menyokong kajian oleh Pennoni et al. (2021).

Model HMM dengan 5 keadaan tersembunyi yang dipilih ini didapati berjaya mengesan keadaan sebenar pasaran mata wang kripto. Keputusan kajian menunjukkan bahawa Bitcoin dan Ripple mempunyai 3 pasaran menaik iaitu dalam rejim 1, 3 dan 5 manakala 2 pasaran menurun pula berada dalam rejim 2 dan 4. Cardano, Dogecoin dan Ethereum pula mempunyai persamaan dengan jumlah pasaran menaik dan menurun yang sama iaitu masing-masing sebanyak 2 dan 3 namun memiliki perbezaan dari segi nilai min pulangan positif dan negatif untuk setiap rejim.

Seterusnya, pola pergerakan dalam tempoh masa tersebut dapat dijelaskan dengan baik mengikut keadaan termasuklah gelembung pasaran yang berlaku. Namun begitu, model HMM tidak dapat menjelaskan keadaan pasaran yang berlaku dalam Ethereum dengan baik sepenuhnya kerana kekerapan keberadaan dalam keadaan pasaran menaik semasa berlakunya letusan gelembung adalah tinggi. Walaupun begitu, secara keseluruhan, model HMM dengan lima keadaan tersembunyi terbukti dapat digunakan untuk memahami pola pergerakan mata wang kripto dengan baik, termasuk ciri pasaran seperti kemeruapan dan peralihan rejim.

## RUJUKAN

- Agosto, A. & Cafferata, A. 2020. Financial bubbles: A study of co-explosivity in the cryptocurrency market. *Risks* 8(2): 34. doi:10.3390/risks8020034
- Baum, L.E., Petrie, T., Soules, G. & Weiss, N. 1970. A maximization technique occurring in the statistical analysis of probabilistic functions of Markov chains. *Annals of Mathematical Statistics* 41(1): 164-171. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177697196>
- Caferra, R. & Vidal-Tomás, D. 2021. Who raised from the abyss? A comparison between cryptocurrency and stock market dynamics during the COVID-19 pandemic. *Finance Research Letters* 43: 101954. doi:10.1016/j.frl.2021.101954
- Caporale, G.M. & Zekokh, T. 2019. Modelling volatility of cryptocurrencies using Markov-Switching GARCH models. *Research in International Business and Finance* 48: 143-155. doi:10.1016/j.ribaf.2018.12.009
- Chee, K.C. & Omar, N. 2020. Bitcoin price prediction based on sentiment of news article and market data with LSTM model. *Asia-Pacific Journal of Information Technology and Multimedia* 09(01): 1-16. doi:10.17576/apjitm-2020-0901-01
- Chen, P., Yi, D. & Zhao, C. 2020. Trading strategy for market situation estimation based on hidden Markov model. *Mathematics* 8(7): 1126. <https://doi.org/10.3390/math8071126>
- Chuen, D.L.K., Guo, L. & Wang, Y. 2018. Cryptocurrency: A new investment opportunity? *Journal of Alternative Investments* 20(3): 16-40. doi:10.3905/jai.2018.20.3.016
- Conlon, T. & McGee, R. 2020. Safe haven or risky hazard? Bitcoin during the COVID-19 bear market. *Finance Research Letters* 35: 101607. doi:10.1016/j.frl.2020.101607
- Cretarola, A. & Figà-Talamanca, G. 2020. Bubble regime identification in an attention-based model for Bitcoin and Ethereum price dynamics. *Economics Letters* 191: 108831. doi:10.1016/j.econlet.2019.108831
- Drozd, S., Kwapień, J., Oświecimka, P., Stanisiz, T. & Watorek, M. 2020. Complexity in economic and social systems: Cryptocurrency market at around COVID-19. *Entropy* 22(9): 1043. doi:10.3390/E22091043
- Giudici, P. & Abu Hashish, I. 2020. A hidden Markov model to detect regime changes in cryptoasset markets. *Quality and Reliability Engineering International* 36(6): 2057-2065. doi:10.1002/qre.2673
- İçellioğlu, C.S. & Öner, S. 2019. An investigation on the volatility of cryptocurrencies by means of heterogeneous panel data analysis. *Procedia Computer Science* 158: 913-920. doi:10.1016/j.procs.2019.09.131
- Ismail, M.S., Hussain, S.I. & Noorani, M.S.M. 2020. Detecting early warning signals of major financial crashes in Bitcoin using persistent homology. *IEEE Access* 8: 179071-179087. doi:10.1109/ACCESS.2020.3015858
- Iqbal, N., Fareed, Z., Wan, G. & Shahzad, F. 2021. Asymmetric nexus between COVID-19 outbreak in the world and cryptocurrency market. *International Review of Financial Analysis* 73: 101613. doi:10.1016/j.irfa.2020.101613
- Malik, V. & Bandyopadhyay, S. 2021. Crypto-currency: A bubble waiting for a burst? *Economy Polity Environment: An International Peer-reviewed Journal of Social Studies* 3(1): 44-56.
- Manimuthu, A., Raja Sreedharan, V., Rejikumar, G. & Marwaha, D. 2019. A literature review on Bitcoin: Transformation of crypto currency into a global phenomenon. *IEEE Engineering Management Review* 47(1): 28-35. doi:10.1109/EMR.2019.2901431

- Mba, J.C. & Mwambi, S. 2020. A Markov-switching COGARCH approach to cryptocurrency portfolio selection and optimization. *Financial Markets and Portfolio Management* doi:10.1007/s11408-020-00346-4
- Menton, J. 2021. Bitcoin briefly crashed again, wiping out 2021 gains. Here's why. <https://www.usatoday.com/story/money/markets/2021/06/22/bitcoin-price-update-ethereum-dogecoin-crashing-heres-why/5304172001/> (Diakses pada 30 Desember 2021).
- Nekhili, R. & Sultan, J. 2020. Jump driven risk model performance in cryptocurrency market. *International Journal of Financial Studies* 8(2): 19. doi:10.3390/ijfs8020019
- Özgür, Ö. 2020. Trend detection through segmentation using discrete hidden markov model. *Journal of Economics and Administrative Sciences* 38(2): 267-295. doi:10.17065/huniibf.530209
- Pennoni, F., Bartolucci, F., Forte, G. & Ametrano, F. 2021. Exploring the dependencies among main cryptocurrency log-returns: A hidden Markov model. *Munich Personal RePEc Archive*. Paper No. 106150.
- Schwaiger, F. 2013. Inference and application of likelihood based methods for hidden Markov models. PhD thesis. Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät, Philipps-Universität Marburg. <http://archiv.ub.uni-marburg.de/diss/z2013/0416/>
- Zakamulin, V. 2020. Not all bull and bear markets are alike: Insights from a five-state hidden semi-Markov model. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3678004>

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: [sih@ukm.edu.my](mailto:sih@ukm.edu.my)