

PERAMALAN TAK LINEAR BAGI SIRI MASA KARBON MONOKSIDA DI KAWASAN DENGAN TABURAN PENDUDUK TINGGI DI SABAH (Nonlinear Prediction of Carbon Monoxide Time Series in Highly Populated Area in Sabah)

AHMAD BASRI RUSLAN*, NOR ZILA ABD HAMID & KHAIRUNNISA CHE JUSOH

ABSTRAK

Kajian ini bertujuan untuk meramal siri masa CO di kawasan dengan taburan penduduk tinggi di Kota Kinabalu, Sabah melalui pendekatan kalut. Terdapat empat objektif dalam kajian ini, iaitu i) untuk mengesan kehadiran dinamik kalut, ii) untuk meramal, iii) untuk mengaplikasikan kaedah penambahbaikan bagi menentukan nilai jiran terdekat k dan iv) untuk mengaplikasikan kaedah m -songsang dalam menentukan nilai m pada siri masa CO. Sebelum menjalankan proses peramalan, sifat data harus ditentukan terlebih dahulu sama ada bersifat kalut atau tidak. Melalui kaedah plot ruang fasa dan kaedah Cao, sifat kalut hadir dalam siri masa CO. Oleh itu, model peramalan dibina. Bagi proses peramalan, tiga parameter diperlukan, iaitu masa tunda τ , matra pembedaan m dan jiran terdekat k . Parameter τ ditentukan melalui penetapan $\tau=1$, parameter m ditentukan melalui kaedah m -songsang dan parameter k ditentukan melalui plot graf pekali korelasi (pk) melawan k . Nilai pk yang maksimum dihasilkan hasil gabungan parameter adalah direkodkan. Dengan menggunakan $\tau=1$, $m=3$ dan $k=6$, nilai pk di antara data sebenar dan data peramalan adalah 0.9641. Tambahan lagi, perbandingan hasil peramalan dengan menggunakan m -songsang memberikan hasil peramalan yang lebih cemerlang berbanding dengan nilai m yang diperolehi daripada kaedah Cao. Hasil peramalan yang cemerlang ditunjukkan apabila menggunakan parameter k daripada kaedah penambahbaikan dan m -songsang. Oleh itu, peramalan melalui pendekatan kalut boleh digunapakai ke atas siri masa CO di Malaysia. Selain itu, diharap peramalan melalui pendekatan kalut ini dapat membantu pihak bertanggungjawab untuk mengawal pencemaran CO di kawasan dengan taburan penduduk tinggi di Malaysia.

Kata kunci: pendekatan kalut; jiran terdekat; peramalan; m -songsang

ABSTRACT

This study aims to predict the time series of CO in highly populated area in Kota Kinabalu, Sabah using chaotic approach. There are four main objectives of this study i) to detect the presence of chaotic dynamic, ii) to predict, iii) to apply the improved method of determining the nearest neighbor value k and iv) to apply m -inverse as the method to determine the value of m for CO time series. Before predicting, the nature of the data must be determined whether it is chaotic or not. Through phase space plot and Cao method, chaotic dynamic is presented in the CO time series. Therefore, the prediction model is built. For prediction process, there are three parameters that need to be determined which is delay time τ , the embedding dimension m and the nearest neighbor value k . The τ parameter is setting of $\tau=1$, parameter m is determined by m -inverse method and the parameter k is determined through the graph plot of correlation coefficient (cc) against k . The maximum cc value generated as a result of a combined parameters is recorded. Using the $\tau=1$, $m=3$ and $k=6$, the value of cc value between the actual data and predicted data is 0.9641. Furthermore, the comparison of the prediction results by using m -inverse gives a better prediction result than m from the Cao method. Improved method of the nearest neighbor value k and m -inverse are used in prediction also gives an excellent result. Therefore, prediction of CO time series can be done through chaotic approach. In addition, it is hoped that chaotic approach can help the authorities to manage CO pollution in highly populated area in Malaysia.

Keywords: chaotic approach; nearest neighbor; prediction; m -inverse

1. Pengenalan

Pencemaran udara salah satu isu yang penting untuk dibincangkan. Pencemaran udara yang berlaku pada hari ini adalah hasil daripada kitaran fenomenon semula jadi yang memberikan kesan yang besar terutamanya kepada kesihatan (Janet *et al.* 2009). Di Malaysia, Jabatan Alam Sekitar Malaysia (JASM) merupakan pihak yang bertanggungjawab dalam mengawal selia tahap pencemaran bahan pencemar.

Karbon monoksida (CO) antara bahan pencemar utama di kawasan kediaman yang mana ianya terhasil daripada kenderaan bermotor (Kayode & Feyisayo 2013). Secara amnya, CO adalah hasil daripada pembakaran yang tidak lengkap bagi bahan api hidrokarbon. Mekanisma pertukaran darah adalah dengan melalui pigmen dalam darah, iaitu hemoglobin (Hb) yang membawa oksigen (O_2) ke seluruh badan. Namun, CO juga boleh bergabung dengan Hb membentuk karboksihemoglobin (COHb atau HbCO) dan ianya tidak efektif untuk mengangkut O_2 ke seluruh badan. Bernafas dengan gas CO dalam masa yang lama mampu meningkatkan tahap COHb dalam darah. Keadaan ini dinamakan Anoxemia. Disebabkan ini, O_2 yang diangkut oleh darah ke seluruh badan berkurangan (Akinyemi & Usikali 2013). Terdedah kepada CO pada kepekatan tinggi mampu meningkatkan risiko kematian akibat sakit jantung yang teruk atau masalah pernafasan. Bernafas dengan CO mampu menghalang daripada sel tisu badan daripada menerima O_2 dan berpotensi menjadi pesakit kanser (Peter *et al.* 2015). Disebabkan itu, kajian ini penting bagi meramal bacaan kepekatan siri masa CO sebagai langkah awal bagi membantu pihak berwajib bagi membantu mereka yang mempunyai masalah pernafasan seperti asma bagi langkah berjaga-jaga.

Kajian ini menggunakan pendekatan kalut dalam meramal kepekatan CO. Pendekatan kalut dipilih dalam kajian ini kerana ianya hanya memerlukan data siri masa yang terdahulu sahaja untuk melakukan peramalan. Beberapa pendekatan lain pernah digunakan dalam melakukan peramalan seperti kaedah regresi linear oleh Ul-Saufie *et al.* (2012). Kaedah berkenaan memberikan hasil peramalan yang cemerlang. Namun, kaedah berkenaan melibatkan penggunaan data pembolehubah daripada faktor yang banyak seperti faktor meteorologi, suhu, gas dan lain-lain lagi. Jika dibandingkan dengan pendekatan kalut, peramalan boleh dilakukan dengan menggunakan data lepas sahaja dan tidak memerlukan data pembolehubah lain untuk melakukan peramalan. Walaupun pendekatan kalut masih baharu di Malaysia, beberapa kajian sebelum ini telah dijalankan ke atas siri masa ozon (O_3) (Zaim 2018), siri masa suhu (Hamid 2018), siri masa CO (Ruslan & Hamid 2019), siri masa hidrologi (Mashuri *et al.* 2019), siri masa CO (Ruslan *et al.* 2020a) dan beberapa siri masa lain. Hasil daripada kajian berkenaan menunjukkan peramalan menggunakan pendekatan kalut memberikan hasil peramalan yang cemerlang.

Peramalan menggunakan pendekatan kalut melibatkan dua peringkat, iaitu i) pembinaan semula ruang fasa dan ii) proses peramalan. Pada peringkat pertama, pengesanan kehadiran dinamik kalut perlu dilakukan. Dinamik data terbahagi kepada dua, iaitu berketentuan atau rawak (Abarbanel 1996; Sprott 2003). Bagi meneruskan kajian, dinamik siri masa yang diperhatikan perlu bertelatah kalut. Jika dinamik kalut tidak dapat dikenalpasti, maka kajian tidak boleh diteruskan dan perlu dihentikan. Terdapat beberapa kaedah untuk menentukan kehadiran dinamik kalut dalam siri masa yang digunakan. Bagi kajian ini, plot ruang fasa dan kaedah Cao digunakan dalam mengesan kehadiran dinamik kalut. Ruslan dan Hamid (2019) menggunakan plot ruang fasa dan berjaya mengesan kehadiran dinamik kalut pada siri masa CO di Shah Alam pada Jun 2014. Bahari dan Hamid (2019), Ali dan Hamid (2019) dan

Mashuri *et al.* (2019) turut menggunakan plot ruang fasa dan berjaya mengesan kehadiran dinamik kalut. Oleh itu, kajian ini juga turut menggunakan plot ruang fasa bagi mengesan kehadiran dinamik kalut. Kaedah Cao digunakan dalam mengesan kehadiran dinamik kalut kerana i) tidak melibatkan pengiraan paramater lain selain τ dan ii) tidak bergantung kepada bilangan data siri masa yang digunakan (Cao 1997). Jika dinamik kalut didapati hadir melalui plot ruang fasa dan kaedah Cao, maka kajian boleh diteruskan dengan proses peramalan.

Sebelum proses peramalan dapat diteruskan, tiga parameter yang terlibat perlu ditentukan, iaitu masa tunda (τ), matra pembenaman (m) dan bilangan jiran terdekat (k). Pemilihan τ mempengaruhi struktur penarik yang membina ruang fasa dan seterusnya memberikan kesan terhadap hasil peramalan (Liebert & Schuster 1989). Menurut Adenan dan Noorani (2015), pemilihan nilai τ adalah sesuatu yang sangat subjektif. Oleh itu, kaedah yang terbaik dalam menentukan nilai optimum τ tidak dapat dikenalpasti kerana ciri-ciri optimum τ adalah tidak jelas (Kantz & Schreiber 2004). Nilai τ yang terlalu kecil mampu mempengaruhi vektor ruang fasa yang tidak bergantung dan menyebabkan kehilangan ciri-ciri penarik. Jika nilai τ terlalu besar, koordinat berbeza mungkin tidak berkorelasi dan menyebabkan kehilangan maklumat dari sistem asal (Regonda *et al.* 2005). Berdasarkan kajian lepas, penetapan nilai $\tau = 1$ digunakan untuk peramalan ke atas pelbagai data siri masa dan memberikan hasil peramalan yang cemerlang. Oleh itu, dalam kajian ini juga turut menetapkan $\tau = 1$ untuk digunakan dalam peramalan.

Bagi parameter m , pengiraan bagi mendapatkan nilai m yang optimum dilakukan menggunakan kaedah Cao (Cao 1997). Penentuan paramater bagi pembinaan ruang fasa dengan kaedah Cao tidak dapat memberikan jaminan mengenai kaedah yang sesuai untuk diaplikasikan terhadap siri masa (Adenan & Noorani 2015). Oleh itu, nilai m dalam kajian ini akan menggunakan m daripada kaedah songsang atau m -songsang. Kaedah m -songsang ini terbukti boleh menghasilkan model peramalan yang cemerlang ke atas siri masa O_3 (Hamid *et al.* 2013) dan siri masa aliran sungai (Adenan & Noorani 2013). Aplikasi ke atas siri masa CO menggunakan nilai m daripada kaedah m -songsang belum pernah dilakukan sebelum ini. Oleh itu, kaedah m -songsang turut digunakan dalam kajian ini.

Akhir sekali, pemilihan nilai k . Tiada kajian yang menunjukkan terdapat nilai k yang tetap yang boleh digunakan untuk peramalan. Kajian sebelum ini menggunakan kaedah cuba jaya dalam pemilihan nilai k . Antara nilai k yang pernah digunakan dalam kajian lepas melalui kaedah cuba dan jaya adalah $k = 50$ (Zaim & Hamid 2017), $k = 100$ (Hamid *et al.* 2013) dan $k = 200$ (Hamid & Noorani 2013). Selain itu, Adenan dan Noorani (2015) menggunakan nilai k berdasarkan $k = 2m$ dimana m adalah matra pembenaman. Dalam kajian ini, penentuan nilai k dilakukan dengan kaedah plot graf k melawan pekali korelasi (pk). Nilai k diuji daripada nilai 1 sehingga 200. Nilai k awal yang memberikan nilai pk yang maksimum adalah dinamakan k -terbaik dan turut direkodkan. Kaedah ini digunakan dalam kajian sebelum ini oleh Ruslan dan Hamid (2019) pada siri masa CO di Shah Alam memberikan prestasi peramalan yang cemerlang. Kajian ke atas siri masa CO di Kota Kinabalu oleh Ruslan *et al.* (2020a) turut memberikan nilai peramalan yang cemerlang dengan menggunakan kaedah penambahbaikan dalam penentuan nilai k . Oleh itu, kaedah penambahbaikan dalam penentuan nilai k , iaitu dengan plot graf k melawan pk turut digunakan dalam kajian ini.

Sumbangan kajian ini adalah untuk mengesan kehadiran dinamik dikalut dan melakukan peramalan bagi siri masa CO di kawasan berkepadatan tinggi di Sabah. Selain itu, kajian sebelum ini menggunakan kaedah Cao dalam menentukan nilai m . Bagi kajian ini pula menggunakan kaedah m -songsang dalam menentukan nilai m untuk mendapatkan hasil peramalan yang terbaik. Penggunaan kaedah penambahbaikan dalam menentukan nilai k

juga dilakukan bagi melihat kelebihan kaedah ini dengan menggabungkan dengan kaedah m -songsang dalam mendapatkan parameter yang optimum untuk menghasilkan peramalan yang terbaik.

2. Data Siri Masa

Jabatan Alam Sekitar Malaysia (JASM) adalah badan yang bertanggungjawab dalam mengawal selia kualiti udara di Malaysia. JASM mencerap bacaan CO di stesen pencerapan di Kota Kinabalu. Kota Kinabalu merupakan ibu negeri bagi negeri Sabah dan dinobatkan sebagai bandar pada tahun 2000. Laporan Statistik oleh Jabatan Statistik Malaysia (JSM) 2010 menunjukkan jumlah penduduk di Sabah merupakan negeri ke tiga tertinggi, iaitu dengan 3.21 juta penduduk. Bandar ini terletak di pantai barat laut Borneo menghadap Laut Cina Selatan. JSM (2019) melaporkan jumlah populasi di negeri Sabah daripada tahun 2015 sehingga tahun 2019 adalah sebanyak 3.72 juta (2015), 3.80 juta (2016), 3.86 juta (2017), 3.90 juta (2018) dan dianggarkan lebih 3.90 juta (2019) sehingga Oktober 2019. United Nations melaporkan jumlah populasi di Kota Kinabalu daripada tahun 1991 sehingga 2017 adalah sebanyak 76 120 orang (1991), 226 297 orang (2000), 207 214 orang (2010) dan 244 700 orang (2017). Kota Kinabalu memainkan peranan penting dalam kegiatan politik dan ekonomi penduduk serta merupakan pusat hub perniagaan bagi negeri Sabah (Adnan 2018). Jumlah penduduk yang tinggi secara langsung akan meningkatkan dan merencanakan aktiviti harian di setiap tempat. Tambahan lagi, pembebasan asap daripada trafik jalan raya adalah punca utama dalam pencemaran udara di kawasan bandar (Azeez *et al* 2018). Shafie *et al.* (2018) dalam kajiannya menyatakan pembandaran secara nyata memberi impak negatif terhadap masalah pencemaran udara di Lembah Klang. Keadaan ini dibuktikan oleh Abdullah *et al.* (2012) menyatakan bahawa kepekatan PM10 di Klang yang merupakan kawasan bandar adalah lebih tinggi berbanding dengan kawasan sub-bandar dan luar bandar. Oleh itu, kajian ini dilakukan kerana Kota Kinabalu mempunyai taburan penduduk yang tinggi dan aktiviti pembandaran yang rancak sering berlaku di kawasan berkenaan.

Rajah 1 menunjukkan data siri masa CO yang dicerap dan direkodkan setiap satu jam bagi satu bulan bermula pada 1 Jun 2014 sehingga 30 Jun 2014. Data pada tahun 2014 dipilih kerana pada tahun ini berlakunya fenomena jerebu di Malaysia. Sehingga kini, tiada kajian yang menetapkan bilangan data minimum untuk digunakan dalam pendekatan kalut. Menurut Sivakumar (2002), jumlah minimum data yang diperlukan adalah dalam ratusan atau ribuan. Oleh itu, penggunaan data sebanyak satu bulan dalam kajian ini dengan jumlah cerapan sebanyak 740 jam adalah mencukupi untuk digunakan dalam pendekatan kalut. Walaupun peramalan ke atas siri masa CO pernah dijalankan di tempat lain seperti di Selangor, namun maklumat siri masa yang berbeza tempat dan tempoh masa boleh memberikan hasil peramalan yang berbeza. Justeru, data siri masa dalam kajian ini telah direkodkan dalam bentuk vektor satu matra X , iaitu:

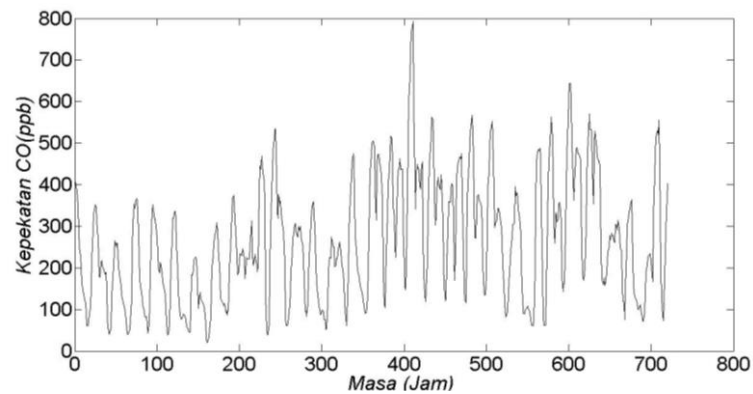
$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\}. \quad (1)$$

N merupakan jumlah bilangan data dalam jam. Siri masa CO dibahagi kepada dua bahagian, iaitu (i) siri masa latihan untuk proses analisis dan (ii) siri masa ujian yang digunakan untuk mengukur prestasi model peramalan. Siri masa latihan adalah sebanyak tiga minggu, iaitu 552 jam:

$$X_{\text{latihan}} = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_{552}\}, \quad (2)$$

dan siri masa satu minggu selebihnya siri masa ujian, iaitu 168 jam, dapat ditulis seperti Pers. (3), iaitu:

$$X_{\text{latihan}} = \{x_{553}, x_{554}, x_{555}, \dots, x_{744}\}. \quad (3)$$



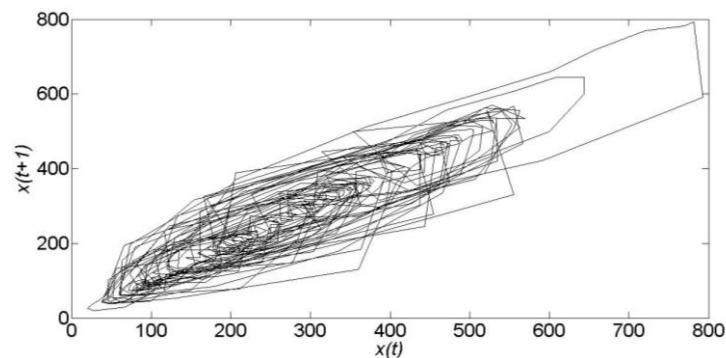
Rajah 1: Kepekatan siri masa CO

3. Pendekatan Kalut

3.1. Plot Ruang Fasa

Merujuk pada Pers. (2), siri masa latihan digunakan untuk pembinaan ruang fasa. Graf dua dimensi diplot pada satu satah $\{x_t, x_{t+\tau}\}$ di mana x_t adalah kepekatan siri masa CO. Parameter τ perlu ditentukan terlebih dahulu. Penetapan $\tau=1$ adalah dipilih dalam kajian ini. Berdasarkan kajian sebelum ini, penetapan $\tau=1$ dapat menentukan kehadiran dinamik kalut pada siri masa CO (Ruslan *et al.* 2020a), siri masa SO_2 (Ruslan *et al.* 2020b), siri masa suhu (Bahari & Hamid 2019), siri masa aliran sungai (Adenan & Noorani 2015) dan siri masa O_3 (Hamid *et al.* 2017). Oleh itu, kajian ini juga turut menggunakan penetapan $\tau=1$.

Selepas parameter $\tau=1$ ditetapkan, plot ruang fasa $\{x_t, x_{t+1}\}$ dibina seperti pada Rajah 2. Berdasarkan Rajah 2, koordinat-koordinat dalam ruang fasa pada graf dua dimensi diperhatikan berkumpul di tengah-tengah. Penumpuan ini dinamakan struktur rantau penarik. Merujuk kepada Abrbanel (1996), Sivakumar (2002) dan Lakshmi dan Tiwari (2009), kewujudan struktur rantau penarik ini membuktikan dinamik kalut bagi siri masa yang didapati hadir. Oleh itu, siri masa CO yang diperhatikan adalah kalut.



Rajah 2: Plot ruang fasa

3.2. Kaedah Cao

Kajian sebelum ini menggunakan kaedah Cao bagi menentukan parameter m dan menentukan kehadiran dinamik kalut menggunakan $E1(m)$ dan $E2(m)$. Seperti yang diterangkan sebelum ini, dalam kajian ini menggunakan kaedah Cao untuk melihat kehadiran dinamik kalut sahaja manakala parameter m ditentukan melalui kaedah m -songsang. Siri masa latihan CO dibina semula ke dalam ruang fasa m -matra, iaitu :

$$Y_j^m = (x_j, x_{j+\tau}, x_{j+2\tau}, \dots, x_{j+(m-1)\tau}). \quad (4)$$

Penentuan kehadiran dinamik kalut menggunakan kaedah Cao dikira melalui:

$$E1(m) = \frac{E(m+1)}{E(m)}, \quad (5)$$

dan

$$E(m) = \frac{1}{N - m\tau} \sum_{n=1}^{N-m\tau} \frac{\|Y_n^{m+1} - Y_{jj}^{m+1}\|}{\|Y_n^m - Y_{jj}^m\|}, \quad (6)$$

dan $\|\bullet\|$ merupakan norma maksimum. Jiran terdekat kepada Y_n^m adalah Y_{jj}^m . Graf m melawan $E1(m)$ adalah diplot pada Rajah 3. Jika nilai $E1(m)$ mula menepu dengan peningkatan m , maka, siri masa yang diperhatikan adalah kalut. Jika tiada penepuan berlaku dengan peningkatan m , maka siri masa adalah rawak.

Seterusnya, Cao (1997) juga memperkenalkan pengiraan bagi $E2(m)$ sebagai indikator untuk menentukan kehadiran dinamik kalut dalam siri masa yang diperhatikan. Menurut Cao (1997), jika terdapat sekurang-kurangnya nilai $E2(m) \neq 1$ maka siri masa yang diperhatikan adalah kalut. Namun, jika semua nilai $E2(m) = 1$, maka siri masa yang diperhatikan adalah rawak. Pengiraan bagi $E2(m)$ ialah:

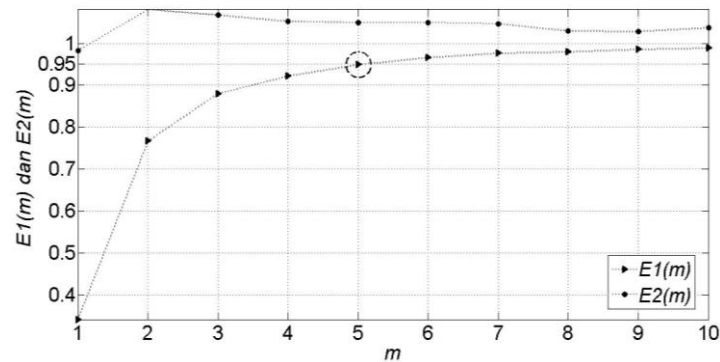
$$E2(m) = \frac{E(m+1)}{E(m)}, \quad (7)$$

dan

$$E(m) = \frac{1}{N - m\tau} \sum_{n=1}^{N-m\tau} |x_{n+m\tau}^m - x_{jj+m\tau}^m|. \quad (8)$$

Pada Rajah 3, penepuan diperhatikan berlaku selepas m lebih daripada 5. Nilai penepuan tidak ditetapkan oleh Cao (1997). Namun, dalam kajian ini menunjukkan nilai penepuan adalah di antara julat $0.95 < E1(m) < 1.00$. Siri masa yang diperhatikan adalah kalut kerana terdapat penepuan dengan peningkatan m . Bagi $E2(m)$, terdapat nilai di mana $E2(m) \neq 1$, iaitu pada $m = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ dan 10 . Menurut Cao (1997) masa yang diperhatikan

didapati kalut kerana kesemua nilai yang diperhatikan bagi $E2(m) \neq 1$. Oleh itu, berdasarkan kaedah plot ruang fasa dan kaedah Cao, siri masa yang diperhatikan adalah kalut. Oleh itu, peramalan ke atas siri masa CO boleh diteruskan.



Rajah 3: Kaedah Cao

4. Peramalan

Proses peramalan memerlukan tiga parameter, iaitu τ , m dan k . Parameter masa tunda telah ditetapkan kepada $\tau = 1$. Bagi parameter m , ianya ditentukan melalui kaedah m -songsang. Nilai m adalah diuji dengan setiap satu, iaitu $m = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ dan 10 . Pemilihan parameter k adalah divariasikan dengan julat $1 \leq k \leq 200$. Seperti yang diterangkan sebelum ini, kaedah m -songsang belum pernah dilakukan peramalan pada data siri masa CO. Disebabkan itu, kajian ini memilih untuk melakukan peramalan dengan menggunakan kaedah m -songsang. Model peramalan yang digunakan dalam kajian ini adalah Kaedah Penghampiran Purata Setempat (KPPS).

4.1. Kaedah Penghampiran Purata Setempat (KPPS)

Proses peramalan melalui pendekatan kalut menggunakan KPPS adalah berdasarkan persamaan:

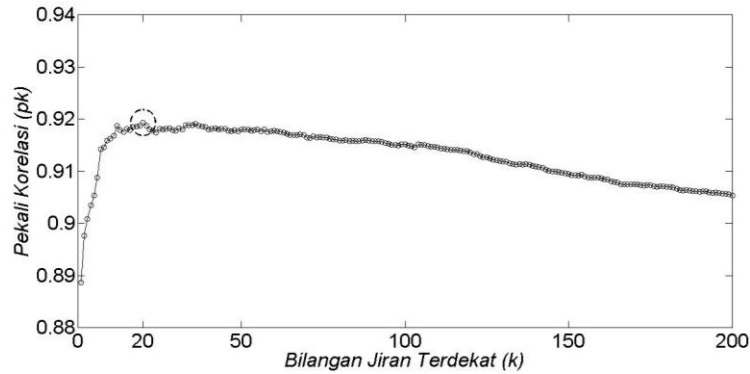
$$Y_{j+1}^m = fY_j^m, \quad (9)$$

dengan Y_j^m adalah ruang fasa terakhir dan Y_{j+1}^m adalah ruang fasa satu jam ke hadapan. Melalui KPPS, peramalan Y_{j+1}^m dilakukan berdasarkan nilai bilangan terdekat bagi Y_j^m . Nilai k jiran terdekat bagi Y_j^m adalah dipilih berdasarkan nilai minimum jarak Euklidian $\|Y_{j'}^m - Y_j^m\|$ dengan $j' < j$. Mengambil contoh hanya $k = 1$ yang digunakan, maka penghampiran bagi Y_{j+1}^m adalah $Y_{j'+1}^m$. Peramalan diambil sebagai purata nilai $Y_{j'}^m$, iaitu:

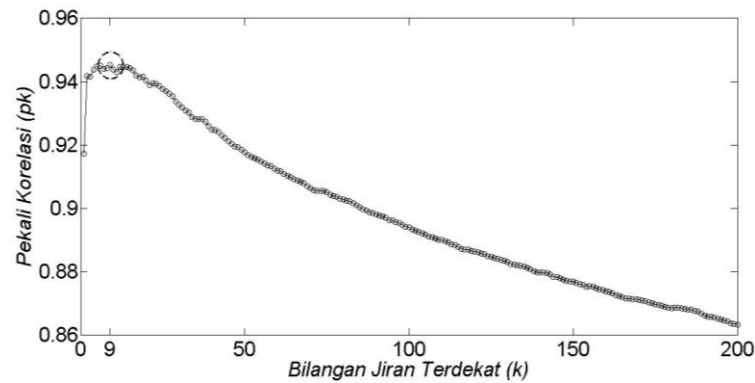
$$Y_{j+1}^m = \frac{1}{k} \sum_{q=1}^k Y_{j_q+1}^m. \quad (10)$$

Rajah 4 sehingga Rajah 13 menunjukkan peramalan menggunakan m daripada m -songsang dan juga k daripada kaedah plot k melawan pk . Rajah 4 menunjukkan peramalan

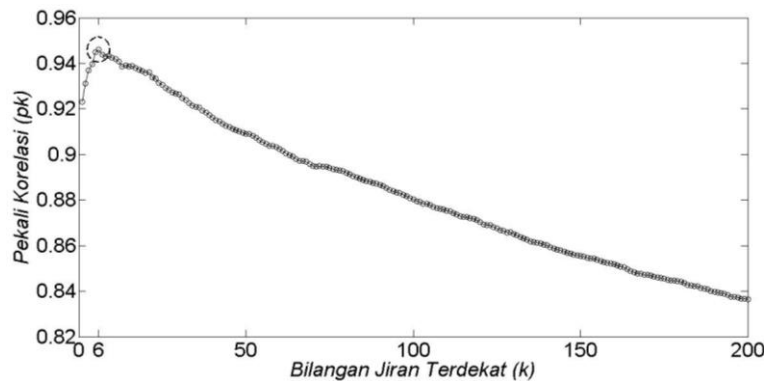
menggunakan nilai $m=1$ dan k yang digunakan dari 1 sehingga 200. Nilai k yang memberikan nilai pk yang maksimum adalah direkodkan. Nilai k terbaik adalah 20 yang menghasilkan nilai $pk = 0.9193$. Gabungan parameter bagi Rajah 4 adalah $\tau=1$, $m=1$ dan $k=20$ memberikan nilai $pk = 0.9193$. Bagi Rajah 5 sehingga Rajah 13, nilai m adalah divariasikan mengikut kaedah m -songsang, iaitu kepada $m = 2$ sehingga $m = 10$. Hasil peramalan dilihat berbeza kerana nilai parameter yang digunakan adalah berbeza. Hasil peramalan direkodkan pada Jadual 1 pada bahagian seterusnya.



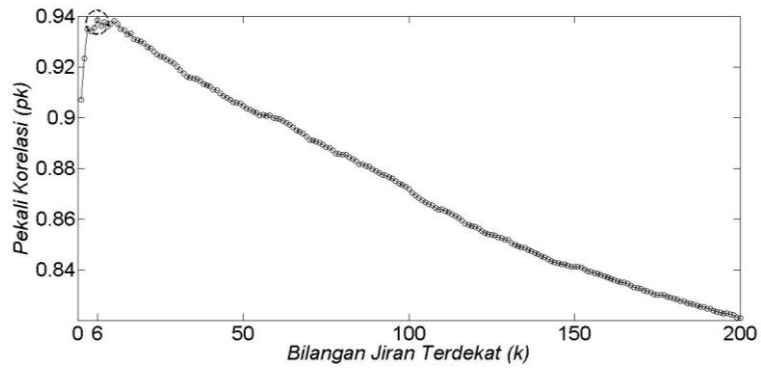
Rajah 4: Peramalan menggunakan $m=1$



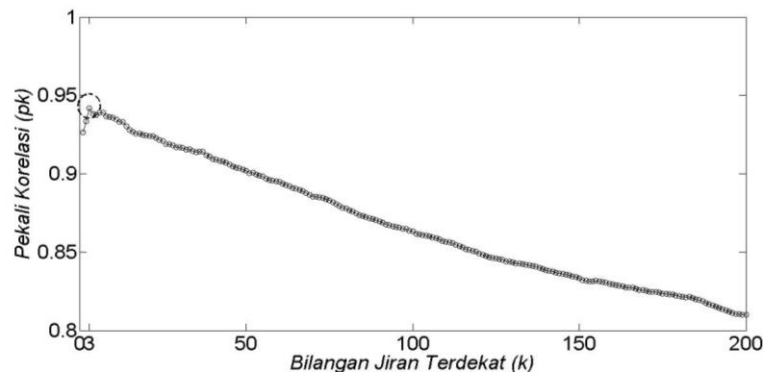
Rajah 5: Peramalan menggunakan $m=2$



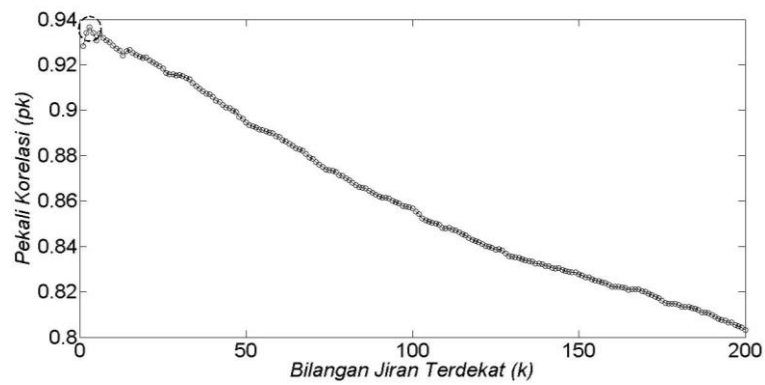
Rajah 6: Peramalan menggunakan $m=3$



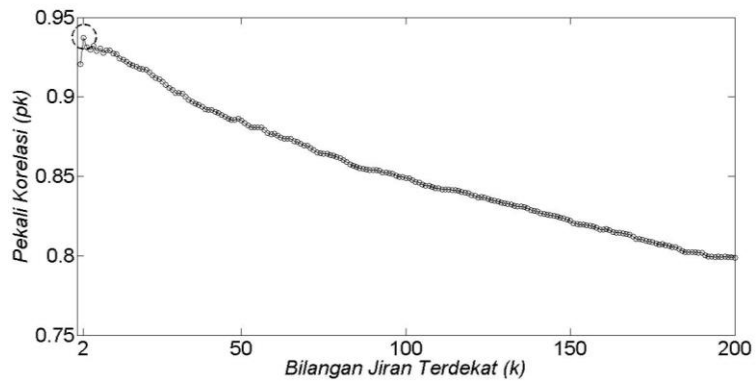
Rajah 7: Peramalan menggunakan $m = 4$



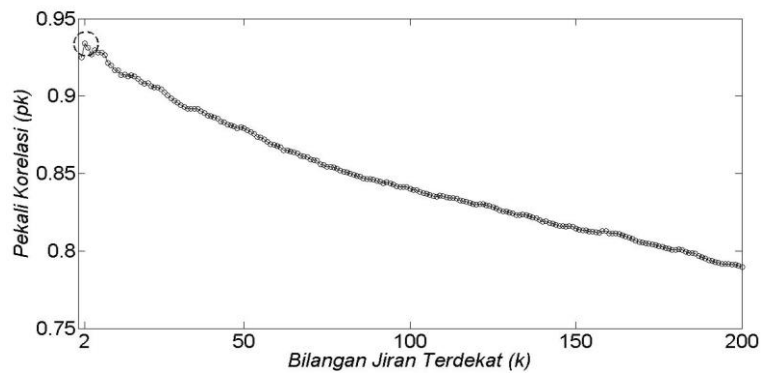
Rajah 8: Peramalan menggunakan $m = 5$



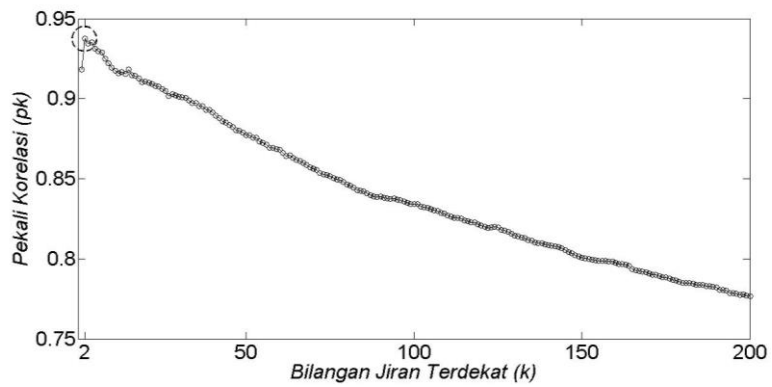
Rajah 9: Peramalan menggunakan $m = 6$



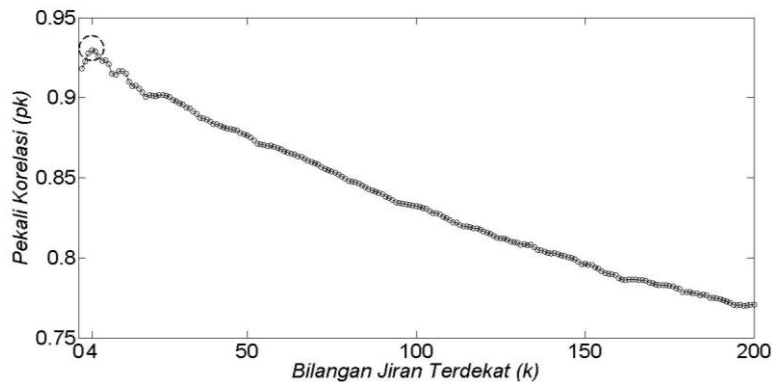
Rajah 10: Peramalan menggunakan $m = 7$



Rajah 11: Peramalan menggunakan $m = 8$



Rajah 12: Peramalan menggunakan $m = 9$



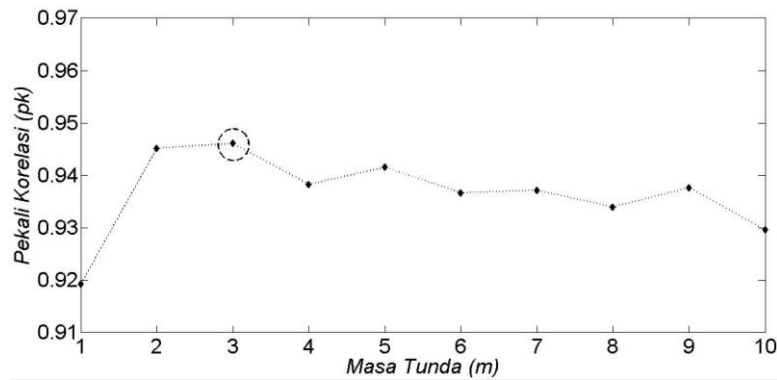
Rajah 13: Peramalan menggunakan $m=10$

5. Keputusan Peramalan

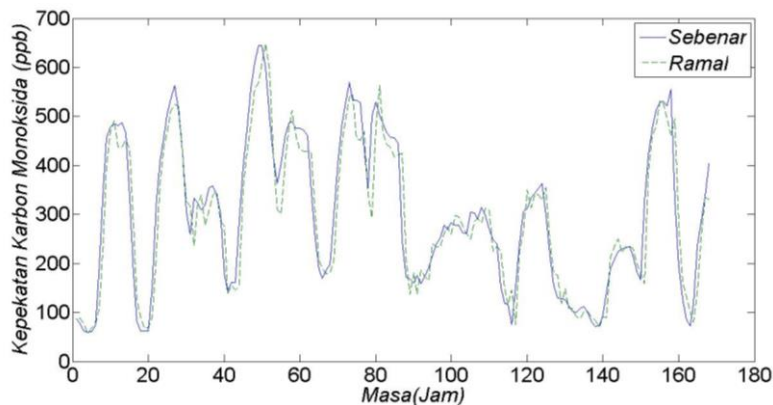
Hasil penentuan kehadiran dinamik kalut ke atas siri masa CO menggunakan kaedah plot ruang fasa dan kaedah Cao mendapati siri masa ini adalah kalut. Jadual 1 menunjukkan keputusan peramalan menggunakan gabungan parameter m -songsang dan variasi nilai k . Keputusan kajian menunjukkan peramalan yang terbaik adalah pada $m=3$. Rajah 14 menunjukkan plot m melawan pk . Gabungan parameter $\tau=1$, $m=3$ dan $k=6$ menghasilkan keputusan peramalan $pk=0.9461$. Nilai m yang dikira daripada kaedah Cao adalah 5. Jika menggunakan nilai m daripada kaedah Cao, hasil gabungan parameter $\tau=1$, $m=5$ dan $k=3$ menghasilkan keputusan peramalan $pk=0.9416$. Kajian oleh Adenan dan Noorani (2013) menunjukkan hasil peramalan menggunakan kaedah m -songsang memberikan nilai pk yang lebih baik berbanding dengan dengan kaedah Cao. Walau bagaimanapun, penggunaan nilai m daripada kaedah Cao turut memberikan nilai pekali korelasi yang tinggi. Rajah 15 menunjukkan gabungan parameter yang memberikan keputusan peramalan yang terbaik menggunakan kaedah m -songsang.

Jadual 1: Keputusan peramalan

M	k	pk
1	20	0.9193
2	9	0.9452
3	6	0.9461
4	6	0.9383
$m_{cao} = 5$	3	0.9416
6	3	0.9367
7	2	0.9372
8	2	0.9340
9	2	0.9377
10	4	0.9296



Rajah 14: Plot graf pk melawan m



Rajah 15: Keputusan peramalan terbaik

6. Kesimpulan

Kesimpulannya, dinamik kalut didapati hadir pada siri masa CO di stesen Kota Kinabalu pada Jun 2014 menggunakan kaedah plot ruang fasa dan kaedah Cao. Parameter masa tunda dalam kajian ini ditetapkan kepada $\tau = 1$. Parameter m pula dipilih dengan menggunakan kaedah m -songsang. Manakala parameter k pula dipilih dengan menggunakan kaedah mevariasikan nilai k . Hasil peramalan data satu minggu menunjukkan nilai yang memberangsangkan dengan hasil $pk = 0.9461$, iaitu 94.61 peratus menghampiri nilai data asal. Kajian sebelum ini hanya menggunakan satu nilai m untuk meramal, iaitu menggunakan kaedah Cao. Namun, dengan menggunakan kaedah m -songsang, prestasi peramalan didapati memberikan hasil yang lebih baik berbanding dengan nilai m daripada kaedah Cao. Oleh itu, untuk pemilihan nilai m pada masa hadapan adalah dicadangkan menggunakan kaedah m -songsang untuk prestasi peramalan yang lebih baik. Kajian ini sedikit sebanyak diharap dapat membantu pihak berkepentingan dalam mengawal selia kualiti udara di Malaysia.

Penghargaan

Ucapan penghargaan jutaan terima kasih kepada Jabatan Alam Sekitar Malaysia atas sumbangan data yang diperlukan. Kajian ini juga dibawah tajaan geran penyelidikan Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM) dengan kod 2019-0005-102-02 (FRGS/1/STG06/UPSI/02/1).

Rujukan

- Abarbanel H. D. I. 1996. *Analysis of Observed Chaotic Data*. New York: Springer-Verlag.
- Abdullah A.M., Samah M.A.A. & Tham Y.J. 2012. An overview of the air pollution trend in Klang Valley, Malaysia. *Open Environmental Sciences* **6**(1): 13–19.
- Adenan N.H. & Noorani M.S.M. 2013. River flow prediction using nonlinear prediction method. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mathematical, Computational, Physical, Electrical and Computer Engineering* **7**(11): 1589-1592.
- Adenan N.H. & Noorani M.S.M. 2015. Peramalan data siri masa aliran sungai di dataran banjir dengan menggunakan pendekatan kalut. *Sains Malaysiana* **44**(3): 463-471.
- Adnan M.H. 2018. Consumers behavior in Kota Kinabalu: Factors determining their perceptions, habits and actions. *Jurnal Komunikasi Borneo* **8**(6-1): 1-21.
- Akinyemi M.L & Usikali M.R. 2013. Investigation of carbon monoxide concentration from anthropogenic sources in Lagos, Nigeria. *Journal of Physical Sciences* **8**(21): 1128-1132.
- Ali N.M. & Hamid N.Z.A. 2019. Chaotic analysis for Malaysia west coast sea level: A case study of Kukup, Johor. *IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science*, pp. 1-8.
- Azeez O., Shafri H.M. & Pradhan B. 2018. Vehicular CO emission prediction using support vector regression model and GIS. *Sustainability* **10**(10): 1-18.
- Bahari M. & Hamid N.Z.A. 2019. Analisis peramalan siri masa suhu menggunakan pendekatan kalut. *Journal of Quality Measurement and Analysis* **15**(1): 43-52.
- Cao L. 1997. Practical method for determining the minimum embedding dimension of a scalar time series. *Physica D: Nonlinear Phenomena* **110**(1-2): 43-50.
- Hamid N.Z.A., Noorani M.S.M, Juneng L. & Latif M.T. 2013. Prediction of ozone concentration using nonlinear prediction method. *Proceedings of the 20th National Symposium on Mathematical Sciences*, pp. 125-131.
- Hamid N.Z.A. & Noorani.M.S.M. 2013. An improved prediction model of ozone concentration time series based on chaotic approach. *International Journal of Mathematical and Computational Sciences* **7**(11):1593-1598.
- Hamid N.Z.A., Noorani.M.S.M. & Adenan N.H. 2017. Chaotic analysis and short-term prediction of ozone pollution in Malaysian urban area. *IOP Conference Journal of Physics*, pp. 1-5.
- Hamid N.Z.A. 2018. Application of chaotic approach in forecasting highland's temperature time series. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, pp. 1-9.
- Janet C., Neidellff M. & Schimieder J.F. 2009. Air pollution and infant health: lesson from New Jersey. *Journal of Health Economic* **28**: 688-703.
- Jabatan Statistik Malaysia. 2019. Kependudukan Negeri Sabah. Jabatan Perdana Menteri.
- Kantz H. & Schreiber T. 2004. *Nonlinear Time Series Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kayode S.J & Feyisayo K. 2013. Air pollution by carbon monoxide (CO) piousonous gas in Lagos Area Southwestern Nigeria. *Atmospheric and Climate Science* **3**: 510-514.
- Lakshmi S. & Tiwari R.K. 2009. Model dissection from earthquake time series: A comparative analysis using modern non-linear forecasting and artificial neural network approaches. *Computers & Geosciences* **35**(2): 191–204.
- Liebert W. & Schuster H. 1989. Proper choice of time delay for the analysis of chaotic time series. *Physics Letter A* **142**(2): 107-111.
- Mashuri A., Adenan N.H. & Hamid N.Z.A. 2019. Determining the chaotic dynamics of hydrological data in flood-prone area. *Civil Engineering and Architecture* **7**(6A): 71-76.
- Peter A., Jack A. & Maureen A. 2015. Healthy Home Issues: Carbon Monoxide Version 3. U.S Department of Housing and Urban Development.
- Regonda S., Rajagopalan B., Lall U., Clark M., & Moon Y.-I. 2005. Local polynomial method for ensemble forecast of time series. *Nonlinear Processes in Geophysics* **12**(3): 397-406.
- Ruslan A.B. & Hamid N.Z.A. 2019. Application of improved chaotic method in determining number of k -nearest neighbor for CO data series. *International Journal of Engineering and Advanced Technology* **8**(6S3): 10-14.
- Ruslan A.B., Hamid N.Z.A. & Jusoh K.C. 2020a. Peramalan aplikasi pendekatan kalut bahan pencemar siri masa CO menggunakan kaedah penambahbaikan dalam penentuan parameter bilangan k -jiran terdekat. *Borneo International Journal* **2**(4): 11-16.
- Ruslan A.B., Hamid N.Z.A. & Jusoh K.C. 2020b. Kajian rintis peramalan siri masa SO₂ melalui pendekatan kalut di kawasan bandar. *Journal of Quality Measurement and Analysis* **16**(1): 17-27.
- Shafie S. H. M., Mahmud M., Mohamad S., Rameli N.L.F., Ismail K.M., Mohamed A.F. & Abdullah R. 2018. Pengaruh penduduk terhadap pencemaran udara bandar di Lembah Klang dengan mengaplikasi Sistem Maklumat Geografi (GIS). *The 2nd International Conference on Social and Economic Development*, pp. 1-13.
- Sivakumar B. 2002. A phase-space reconstruction approach to prediction of suspended sediment concentration in rivers. *Journal of Hydrology* **258**: 149-162.
- Spratt C. 2003. *Chaos and Time Series Analysis*. Oxford: Oxford University Press.

- Ul-Saufie A.Z., Yahaya A.S., Ramli N.A. & Hamid H.A. 2012. Performance of multiple linear regression model for long-term PM10 concentration prediction based on gaseous and meteorological parameters. *Journal of Applied Sciences* **12**: 1488-1494.
- Zaim W.N.A.W.M. & Hamid N.Z.A. 2017. Peramalan bahan pencemar ozon (O₃) di Universiti Pendidikan Sultan Idris, Tanjung Malim, Perak, Malaysia mengikut monsun dengan menggunakan pendekatan kalut. *Sains Malaysiana* **46**(12): 2523-2528.
- Zaim W.N.A.W.M. 2018. Peramalan siri masa ozon mengikut monsun di kawasan Pendidikan Tinggi Malaysia melalui pendekatan kalut. Tesis SSn. Universiti Pendidikan Sultan Idris, Malaysia.

*Jabatan Matematik
Fakulti Sains dan Matematik
Universiti Pendidikan Sultan Idris
Proton City, Tanjong Malim
35900 Perak, MALAYSIA
E-mel: ahmadbasriruslan@gmail.com*, nor.zila@fsmt.upsi.edu.my, nisachejusoh@gmail.com*

Diserahkan: 22 Ogos 2020
Diterima: 15 Oktober 2020

*Pengarang penghubung