

KAJIAN RINTIS PERAMALAN SIRI MASA SO₂ MELALUI PENDEKATAN KALUT DI KAWASAN BANDAR

(Pilot Study for Forecasting SO₂ Time Series Through Chaotic Approach in Urban Area)

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

ABSTRAK

Pencemaran udara adalah suatu krisis yang boleh membahayakan jika terdedah kepadanya dalam kepekatan yang tinggi. Terdedah kepada bahan pencemar boleh memberikan kesan kepada manusia dan juga alam sekitar. Kajian rintis ini dijalankan untuk mengesan dinamik kalut pada siri masa SO₂, dan menggunakan kaedah yang ditambah baik untuk memilih parameter k . Data siri masa SO₂ dalam kajian ini telah dicerap di Shah Alam pada bulan Oktober 2017. Pengesanan dinamik kalut dalam siri masa SO₂ berjaya dikesan melalui kaedah plot ruang fasa dan kaedah Cao. Penentuan tiga parameter τ , m dan k dilakukan sebelum proses peramalan. Nilai τ dan m melalui penetapan $\tau = 1$ dan kaedah Cao. Nilai k ditentukan dengan kaedah plot graf k melawan pekali korelasi (pk). Nilai k yang menghasilkan nilai pk yang maksimum akan direkodkan. Proses peramalan dilakukan dengan menggunakan tiga kaedah, iaitu Kaedah Penghampiran Purata Setempat (KPPS), Kaedah Penghampiran Linear Setempat (KPLS) dan Kaedah Penghampiran Linear Setempat Ditambah Baik (KPLSD). Peramalan menggunakan KPLSD menunjukkan prestasi peramalan yang terbaik dengan gabungan parameter $\tau = 1$, $m = 6$ dan $k = 18$ yang menghasilkan $pk = 0.7831$. Ini menunjukkan peramalan ke atas siri masa SO₂ boleh dilakukan menggunakan pendekatan kalut. Penambahbaikan ke atas penentuan nilai k juga boleh meningkatkan prestasi model peramalan ke atas siri masa SO₂ di Malaysia.

Kata kunci: SO₂; dinamik kalut; plot ruang fasa

ABSTRACT

Air pollution is a crisis that can become harmful if exposure is at high concentrations. Exposure to pollutants can affect humans as well as the environment. This pilot study was conducted to detect chaotic dynamics in the SO₂ time series, and to apply the improved method in selecting parameter k . The SO₂ time series data was observed in Shah Alam in October 2017. The chaotic dynamics of the SO₂ time series was successfully detected by the phase space plot method and the Cao method. Determination of three parameters τ , m dan k is done before proceeding with the forecasting process. For parameters τ and m , both are determined by setting $\tau = 1$ and Cao method. The value of k is determined by the method of plotting k against correlation coefficient (cc) graphs. The value of k that produce the maximum value of cc is recorded. The forecasting process is done using three methods, namely Local Mean Approximation Method (LMAM), Local Linear Approximation Method (LLAM) and improved Local Linear Approximation Method (ILLAM). ILLAM produces the best forecasting value with a combination of the resulting parameters $\tau = 1$, $m = 6$ and $k = 18$ with the performance of the model is $cc = 0.7831$. This shows that forecasting of the SO₂ time series can be done using a chaotic approach. Improvements in determining the value of k can also improve the forecasting model's performance of the SO₂ time series in Malaysia.

Keywords: SO₂; chaotic dynamics; phase space plot

1. Pengenalan

Tahap kualiti udara yang rendah merujuk kepada berlaku pencemaran udara. Pencemaran udara memberikan kesan negatif terhadap kesihatan manusia, tumbuhan, haiwan dan alam sekitar. Menghirup udara yang mempunyai bahan pencemar mampu membahayakan kesihatan. Bukan itu sahaja, ianya juga turut menjejaskan aktiviti seharian seterusnya menghadkan produktiviti negara (Sahril 2019). Saari (2019) menyatakan bahawa kajian-kajian yang dilakukan ke atas Malaysia dan negara-negara jiran lain menunjukkan kesan jerebu jelas memberi impak negatif kepada ekonomi.

Terdapat lima jenis bahan pencemar yang dipantau dan direkodkan bacaan bagi setiap jam oleh Jabatan Alam Sekitar Malaysia (JASM 2013). Lima bahan pencemar tersebut adalah zarah terampai (PM_{10}), karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO_2), ozon (O_3) dan sulfur dioksida (SO_2). Kajian ke atas PM_{10} (Hamid & Noorani 2014), CO (Ruslan & Hamid 2019) dan O_3 (Hamid & Noorani 2013) pernah dijalankan di Malaysia menggunakan pendekatan kalut. Bagi siri masa NO_2 pula, data siri masa tidak dibekalkan oleh JASM. Disebabkan itu, siri masa SO_2 dipilih dalam kajian ini. Gas SO_2 dibebaskan oleh punca tetap iaitu daripada stesen jana kuasa dan aktiviti industri dalam skala yang besar. Pembebasan SO_2 di Malaysia meningkat pada tahun 2017 menunjukkan sebanyak 0.0219 juta tan metrik dibebaskan berbanding pada tahun 2014 iaitu 0.0142 juta tan metrik (Jabatan Statistik Malaysia 2018). Gas SO_2 yang dihalakan terus kepada mata selama lima saat mampu memberikan kerosakan kepada kornea dan konjunktiva meninggalkan kesan yang sama seperti melecur (Grant & Thomas 1987). Gas SO_2 mampu bertindak balas dengan air yang menghasilkan hujan asid atau asid sulfurik (Chen *et al.* 2007). Hujan asid mampu merosakkan tanaman, mencemarkan sungai dan menyebabkan penghakisan logam (Grzesiak *et al.* 1997). Ianya juga memberikan kesan kepada tanaman yang meningkatkan tahap keasidan tanah. Tambahan lagi, kajian ke atas SO_2 tidak pernah dijalankan menggunakan pendekatan kalut di Malaysia. Oleh itu, kajian ini merupakan kajian rintis sebelum diteruskan dengan lebih meluas pada masa hadapan. Disebabkan itu siri masa SO_2 dipilih untuk digunakan dalam kajian ini.

Kajian menggunakan pendekatan kalut adalah masih di peringkat baharu. Namun, ianya semakin berkembang dan sering diguna pakai untuk meramal pelbagai siri masa. Antara kajian yang telah dilakukan menggunakan pendekatan kalut adalah ke atas siri masa suhu (Bahari & Hamid 2019), aras laut (Ali & Hamid 2019), taburan hujan (Mashuri, Adenan & Hamid 2019) dan CO (Ruslan & Hamid 2019). Kaedah rangkaian neural dan kaedah regresi linear berganda memerlukan banyak pemboleh ubah seperti metereologi, gas, kelajuan angin dan beberapa lagi untuk peramalan. Manakala pendekatan kalut pula tidak memerlukan banyak pemboleh ubah yang lain selain daripada data lepas (Hamid & Noorani 2014). Oleh itu, pendekatan kalut adalah dipilih untuk kajian ini.

Kajian melalui pendekatan kalut mempunyai dua peringkat iaitu i) pembinaan semula ruang fasa dan ii) proses peramalan. Pada peringkat pertama, pengesanan kehadiran dinamik kalut dalam siri masa adalah dilakukan. Data adalah terbahagi kepada dua iaitu berketentuan dan rawak (Abarbanel 1996; Sprott 2003). Kalut adalah di antara berketentuan dan rawak. Bagi meneruskan kajian ini, sifat siri masa adalah perlu ditentukan. Jika dinamik kalut tidak hadir, maka kajian perlu dihentikan. Terdapat beberapa cara untuk menentukan kehadiran dinamik kalut dalam siri masa. Kajian ini akan menggunakan plot ruang fasa dan kaedah Cao bagi menentukan kehadiran dinamik kalut. Kaedah plot ruang fasa pernah digunakan dalam menentukan kehadiran dinamik kalut (Mashuri, Adenan & Hamid 2019; Ruslan & Hamid 2019). Disebabkan kajian ke atas siri masa SO_2 dilakukan buat pertama kali, kaedah plot ruang fasa dipilih. Kaedah Cao pula dipilih kerana ianya i) tidak mengandungi sebarang parameter lain selain masa tunda dan ii) ianya tidak bergantung kepada bilangan data siri masa yang digunakan (Cao 1997). Jika dinamik kalut hadir, maka proses peramalan boleh diteruskan.

Sebelum meneruskan proses peramalan, tiga parameter perlu ditentukan iaitu masa tunda (τ), matra pembenaman (m) dan bilangan jiran terdekat (k). Parameter τ perlu dipilih dengan betul untuk menggambarkan struktur penarik siri masa yang digunakan (Velickov 2004). Jika nilai τ terlalu kecil, vektor ruang fasa tidak bergantung dan menyebabkan kehilangan ciri-ciri penarik. Regonda *et al.* (2005) menyatakan jika nilai τ terlalu besar, koordinat berbeza mungkin tidak akan berkorelasi dan menyebabkan kehilangan maklumat dari sistem asal. Beberapa kajian sebelum ini menggunakan $\tau = 1$ (Sivakumar 2003; Hamid 2018) dan hasil peramalan memberikan keputusan pekali korelasi (pk) menghampiri 1. Untuk parameter m , ianya akan dikira menggunakan kaedah Cao untuk mendapatkan nilai optimum (Cao 1997). Akhir sekali adalah penentuan bagi parameter k . Adenan dan Noorani (2015) sebelum ini menggunakan nilai $k = 2m$. Selain itu, beberapa kajian sebelum ini menentukan nilai k melalui kaedah cuba jaya. Penentuan nilai k melalui kaedah cuba jaya pernah dijalankan dengan menggunakan $k = 50$ (Jayawerdana 1997; Hamid & Noorani 2014; Zaim & Hamid 2017; Hamid, Noorani & Adenan 2017), $k = 100$ (Hamid *et al.* 2013) dan $k = 200$ (Hamid & Noorani 2013). Namun dalam kajian ini, nilai k akan dipilih selepas diuji dalam julat $1 \leq k \leq 200$ dengan bantuan perisian Matlab 2010a dan TSTOOL. Pengujian ini dilakukan kerana Casdagli (1991) menyatakan bahawa nilai k yang kecil sudah memadai untuk mendapatkan keputusan peramalan yang cemerlang. Namun, kajian tersebut tidak menjelaskan nilai yang kecil berkenaan. Oleh itu, dalam kajian ini akan menguji setiap nilai k yang memberikan nilai pk yang maksimum dengan melihat kepada plot graf k melawan pk . Tiga kaedah peramalan digunakan dalam kajian ini iaitu Kaedah Penghampiran Purata Setempat (KPPS), Kaedah Penghampiran Linear Setempat (KPLS) dan Kaedah Penghampiran Linear Setempat Ditambah Baik (KPLSD). Dalam kajian yang dijalankan oleh Hamid (2018) serta Bahari dan Hamid (2019), KPPS pernah digunakan dalam meramal siri masa suhu dan hasil peramalan yang direkodkan adalah cemerlang. KPLS pula digunakan dalam meramal siri masa arus sungai (Adenan & Noorani 2016), siri masa O₃ (Hamid & Noorani 2017), siri masa aras laut (Ali & Hamid 2019) dan siri masa CO (Ruslan & Hamid 2019) serta memberikan nilai peramalan yang memberangsangkan. KPLSD pula terbukti memberikan nilai peramalan yang lebih baik berbanding KPLS dalam meramalkan siri masa O₃ (Hamid & Noorani 2013). Disebabkan peramalan ke atas siri masa SO₂ dalam kajian ini adalah kajian rintis, ketiga-tiga kaedah peramalan dipilih.

Sumbangan kajian ini adalah permulaan kepada pembinaan ruang fasa dan kaedah Cao untuk mengesan kehadiran dinamik kalut pada siri masa SO₂ buat pertama kali di Malaysia. Selain itu, kajian ini juga yakin bahawa terdapat satu nilai k yang memberikan nilai peramalan terbaik dan mampu untuk memberikan prestasi peramalan yang lebih baik berbanding kaedah cuba jaya. Nilai k yang memberikan nilai pk maksimum juga direkodkan.

2. Data Siri Masa

Siri masa SO₂ adalah dicerap di stesen pencerapan di Shah Alam oleh Jabatan Alam Sekitar Malaysia (JASM). Bancian adalah dilakukan sekali dalam sepuluh tahun. Bancian terakhir yang dilakukan adalah pada tahun 2010. Ringkasan perangkaan oleh Jabatan Statistik Malaysia (2010) menunjukkan Shah Alam berada di tangga ke sepuluh di antara 20 bandar yang mempunyai jumlah populasi penduduk yang besar di Malaysia. Ini kerana, Shah Alam merupakan ibu negeri bagi Selangor. Tambahan lagi, terdapat beberapa tempat menarik di Shah Alam membuatkan orang ramai berkunjung antaranya adalah pusat membeli belah, kawasan perindustrian, pusat akademik, pusat rekreasi dan banyak lagi. Laporan Tinjauan Kajian Struktur Negeri Selangor 2035, pada tahun 2018 Shah Alam mempunyai populasi penduduk

sebanyak 1.812 juta. Idris dan Mahmud (2017) menyatakan populasi penduduk memberikan pengaruh kepada nilai pelepasan bahan pencemar. Disebabkan bilangan penduduk dan kegiatan harian di Shah Alam adalah tinggi, peramalan ke atas bahan pencemar SO₂ adalah perlu untuk dilakukan.

Data siri masa SO₂ dicerap setiap satu jam selama satu bulan bermula pada 1 Oktober sehingga 31 Oktober 2017 digunakan dalam kajian ini. Data siri masa sepanjang 31 hari adalah sebanyak 744 jam. Siri masa ini kemudian direkodkan dalam bentuk vektor satu matra iaitu, X iaitu:

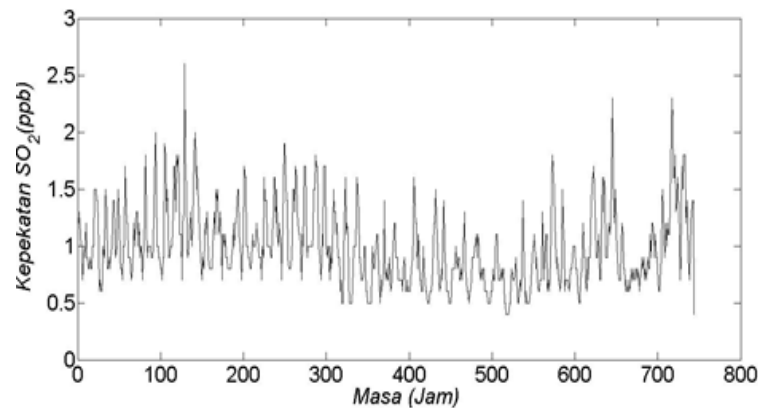
$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\} \quad (1)$$

N merupakan jumlah bilangan data dalam jam. Dalam kajian ini $N = 744$. Siri masa SO₂ dibahagi kepada dua bahagian siri masa berasingan. Pertama adalah siri masa latihan untuk proses analisis dan satu lagi adalah siri masa ujian yang digunakan untuk mengukur prestasi model peramalan. Siri masa latihan adalah sebanyak tiga minggu iaitu 577 jam, iaitu:

$$X_{\text{latihan}} = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_{577}\} \quad (2)$$

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

$$X_{\text{ujian}} = \{x_{578}, x_{579}, x_{580}, \dots, x_{744}\} \quad (3)$$



Rajah 1 : Kepekatan siri masa SO₂

3. Pendekatan Kalut

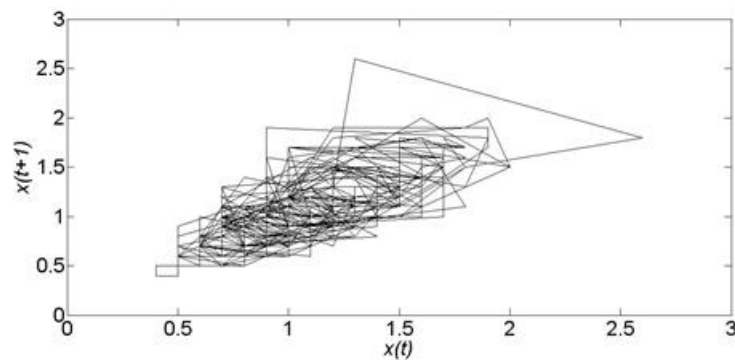
Pengesanan dinamik kalut adalah penting sebelum kajian diteruskan dengan lebih lanjut. Jika dinamik kalut tidak hadir pada siri masa yang digunakan, proses peramalan tidak dapat diteruskan. Kehadiran dinamik kalut dalam siri masa yang dipilih adalah dikesan menggunakan kaedah plot ruang fasa dan kaedah Cao.

3.1. Plot Ruang Fasa

Siri masa latihan adalah direkodkan seperti pada (2). Dengan x_t adalah kepekatan siri masa SO₂, graf dalam dua dimensi di plot pada satu satah $\{x_t, x_{t+\tau}\}$. Paramater τ perlu ditentukan

terlebih dahulu. Nilai τ boleh ditentukan dengan beberapa kaedah antaranya adalah kaedah autokorelasi (Schuster 1988), kaedah purata maklumat bersama (Fraser & Swiney 1986) dan beberapa lagi. Namun begitu, terdapat kajian-kajian lepas yang menggunakan $\tau = 1$ ke atas siri masa kepekatan sedimen (Sivakumar 2002), siri masa banjir (Jayawerdana 1997), siri masa suhu (Bahari & Hamid 2019) dan memberikan nilai prestasi model peramalan yang cemerlang. Oleh itu, penetapan $\tau = 1$ adalah digunakan dalam kajian ini.

Selepas penetapan $\tau = 1$, plot ruang fasa $\{x_t, x_{t+1}\}$ adalah dibina. Kehadiran struktur rantau penarik pada plot ruang fasa menunjukkan dinamik kalut hadir pada siri masa yang diperhatikan (Sivakumar 2002; Lakshmi & Tiwari 2009). Rajah 2 menunjukkan plot ruang fasa yang menggambarkan wujudnya struktur rantau penarik dalam pada siri masa SO₂ pada bulan Oktober 2017 di Shah Alam. Oleh itu, siri masa SO₂ adalah kalut.



Rajah 2 : Plot ruang fasa

3.2. Kaedah Cao

Siri masa latihan seterusnya dibina semula ke dalam ruang fasa m -matra

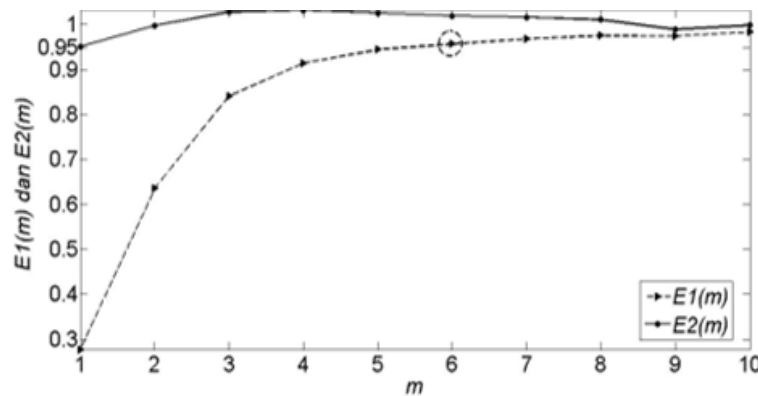
$$Y_j^m = (x_j, x_{j+\tau}, x_{j+2\tau}, \dots, x_{j+(m-1)\tau}) \quad (4)$$

Nilai τ sudah ditetapkan kepada 1 dan nilai m akan ditentukan dengan kaedah Cao. Menurut Regonda *et al.* (2005), m adalah bilangan minimum pemboleh ubah yang diperlukan untuk menerangkan sifat data siri masa. Sifat data siri masa dicirikan sebagai kalut bermatra rendah jika nilai m kurang daripada 10 (Hamid & Noorani 2017). Kalut bermatra rendah bermaksud siri masa berkenaan boleh diterangkan melalui beberapa (sedikit) pemboleh ubah sahaja. Cao (1997) menyatakan bahawa kaedah Cao bukan sahaja digunakan untuk menentukan nilai m , ianya juga boleh digunakan untuk mengesan kehadiran dinamik kalut. Kaedah Cao mengira nilai $E1(m)$ dan $E2(m)$ yang mana nilai m merupakan variasi bagi nilai matra pembedaan.

Jika nilai $E1(m)$ mula untuk menepu apabila nilai m semakin meningkat daripada nilai m_0 , maka m_{0+1} adalah nilai minimum matra pembedaan yang diperlukan. Untuk siri masa yang rawak, nilai $E1(m)$ tidak akan menepu apabila nilai m semakin meningkat. Jika siri masa yang mempunyai penepuan dengan peningkatan m , maka dinamik kalut hadir dalam siri masa yang diperhatikan. Oleh itu plot graf $E1(m)$ melawan m boleh digunakan sebagai indikator bagi mengesan kehadiran dinamik kalut.

Cao (1997) juga memperkenalkan pengiraan $E2(m)$. Untuk siri masa yang rawak, nilai $E2(m)$ akan bersamaan dengan 1 bagi semua nilai m . Namun begitu, terdapat keadaan yang mana nilai $E2(m) \neq 1$. Oleh itu, jika terdapat sekurang-kurangnya satu nilai $E2(m) \neq 1$, maka siri masa yang diperhatikan adalah kalut.

Keputusan analisis kaedah Cao pada siri masa ini ditunjukkan dalam Rajah 3. Nilai m_0 yang diperhatikan adalah 5 disebabkan $E1(m)$ mula menepu pada julat 0.95 sehingga 1.00. Nilai penepuan tidak ditakrifkan oleh Cao (1997). Bagi siri masa SO_2 ini, nilai penepuan adalah di antara julat berkenaan. Oleh itu, nilai $m_0 + 1$ adalah 6. Bagi $E2(m)$ pula, terdapat nilai $E2(m) \neq 1$ pada $m = 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ dan 9. Oleh itu, menurut Cao (1997), siri masa yang diperhatikan didapati kalut. Melalui kaedah plot ruang fasa dan kaedah Cao i) $E1(m)$ dan ii) $E2(m)$, siri masa SO_2 adalah kalut dan boleh diteruskan dengan proses peramalan.



Rajah 3 : $E1(m)$ dan $E2(m)$ dari kaedah Cao

4. Peramalan

Dalam kajian ini, tiga model peramalan digunakan untuk mengkaji kajian rintis bagi siri masa SO_2 . Dua parameter iaitu $\tau = 1$ dan $m = 6$ yang telah ditentukan digunakan untuk peramalan. Hanya satu parameter lagi diperlukan sebelum proses peramalan diteruskan iaitu k . Seperti yang sudah dijelaskan, nilai k sebelum ini dipilih melalui kaedah cuba dan jaya. Penambahbaikan dalam kajian ini adalah, nilai k divariasikan dalam julat $1 \leq k \leq 200$. Gabungan parameter τ , m dan k yang memberikan nilai prestasi peramalan adalah direkodkan dengan pengiraan pk .

4.1. Kaedah Penghampiran Purata Setempat (KPPS)

Proses peramalan melalui pendekatan kalut menggunakan KPPS adalah berdasarkan persamaan:

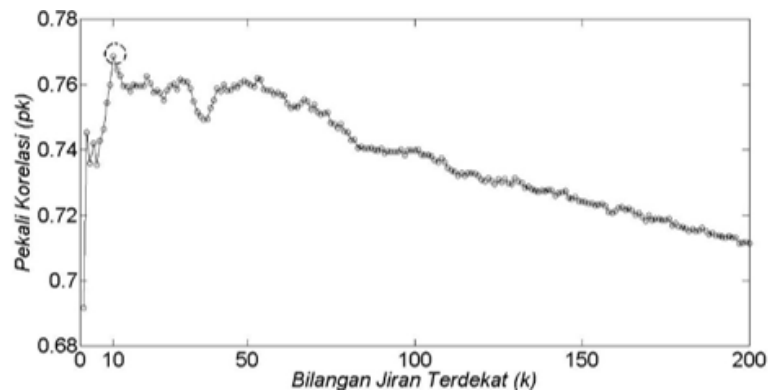
$$Y_{j+1}^m = fY_j^m \quad (5)$$

Peramalan bagi nilai Y_{j+1}^m dilakukan berdasarkan nilai bilangan terdekat bagi Y_j^m . k jiran terdekat bagi Y_j^m adalah dipilih berdasarkan nilai minimum jarak Euclidean $\|Y_j^m - Y_j^m\|$ 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+1}^m iaitu:

$$Y_{j+1}^m = \frac{1}{k} \sum_{q=1}^k Y_{j+1}^m \quad (6)$$

Rajah 4 menunjukkan nilai k yang digunakan dari 1 sehingga 200, nilai k yang memberikan nilai pk yang maksimum adalah direkodkan. Nilai k terbaik adalah 10 yang menghasilkan nilai $pk = 0.7687$. Gabungan parameter bagi KPPS adalah $\tau = 1$, $m = 6$ dan $k = 10$ memberikan nilai prestasi peramalan maksimum.



Rajah 4 : Peramalan menggunakan kpps dengan parameter k terbaik

4.2. Kaedah Penghampiran Linear Setempat (KPLS)

Bagi peramalan menggunakan KPLS, persamaan linear yang digunakan adalah

$$x_{n+1} = Ax_n + B \quad (7)$$

Persamaan pada (7) adalah digunakan untuk diseragamkan dengan set data latihan pada (2). Peramalan bagi nilai x_{n+1} dikira dengan merujuk kepada nilai x_n . Nilai pemalar A dan B adalah dikira menggunakan kaedah punca kuasa dua terkecil. Seterusnya, ruang fasa dibina menggunakan nilai $\tau = 1$ dan $m = 6$. Oleh itu, pembinaan semula ruang fasa adalah

$$Y_j^6 = (x_j, x_{j+1}, x_{j+2}, x_{j+3}, x_{j+4}, x_{j+5}) \quad (8)$$

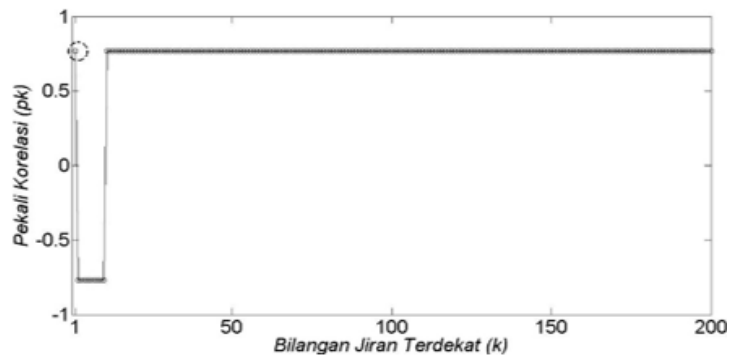
dengan $j = 1, 2, 3, 4, \dots, N - 5$. Oleh kerana $N = 571$, ruang fasa terakhir adalah

$$Y_{566}^6 = (x_{566}, x_{567}, x_{568}, x_{569}, x_{570}, x_{571}) \quad (9)$$

Persamaan serentak $x_{n+1} = Ax_n + B$ seterusnya akan dikira. Nilai pemalar A dan B berubah bergantung kepada nilai k yang digunakan. Mengambil contoh $k = 50$, akan menghasilkan persamaan

$$x_{n+1} = 1.0254x_n + 2.6912 \quad (10)$$

Rajah 5 menunjukkan nilai $k = 1$ yang memberikan pk yang maksimum. Walaupun terdapat beberapa nilai k yang memberikan nilai pk yang sama, nilai k yang terkecil adalah dipilih. Menurut Casdagli (1991), nilai k yang kecil sudah cukup untuk menghasilkan nilai peramalan yang cemerlang iaitu 0.7690. Apa yang dapat diperhatikan bagi KPLS, terdapat penepuan terhadap nilai pk apabila berlakunya pertambahan menggunakan nilai k .



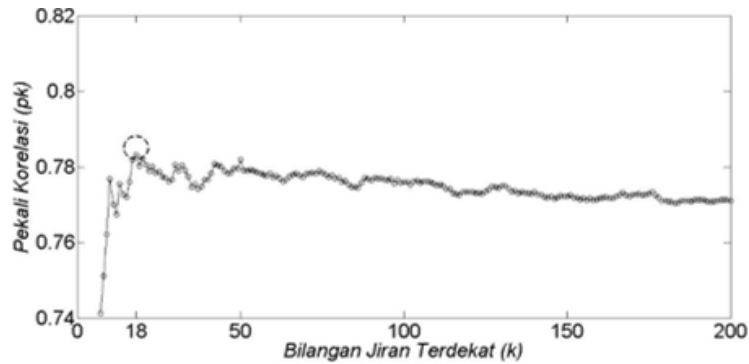
Rajah 5 : Peramalan menggunakan KPLS dengan parameter k terbaik

4.3. Kaedah Penghampiran Linear Setempat Ditambah Baik (KPLSD)

Kaedah ini diperkenalkan oleh Hamid dan Noorani (2013) dalam kajian tentang peramalan siri masa O_3 dan menghasilkan nilai peramalan yang cemerlang berbanding kaedah KPLS. KPLSD menggunakan (7). Pada model peramalan KPLS, nilai pemalar A dan B dinilai menggunakan set data latihan. Penambahbaikan yang dilakukan dalam kaedah ini adalah, set data latihan akan diperbaharui bagi setiap peramalan yang dilakukan. Ini kerana bilangan data siri masa akan di ubah bagi setiap nilai peramalan yang baharu. Untuk nilai peramalan yang baharu, persamaan yang baharu akan dibentuk seperti berikut

$$Y_{jk}^m = C_n Y_{jk}^m + D_n \quad (11)$$

Model peramalan menggunakan KPLS hanya menghasilkan satu persamaan. Namun, bagi model peramalan KPLSD, persamaan berganda akan dihasilkan bergantung kepada bilangan data siri masa latihan. Rajah 6 menunjukkan nilai k terbaik adalah $k = 18$ menghasilkan nilai $pk = 0.7831$.



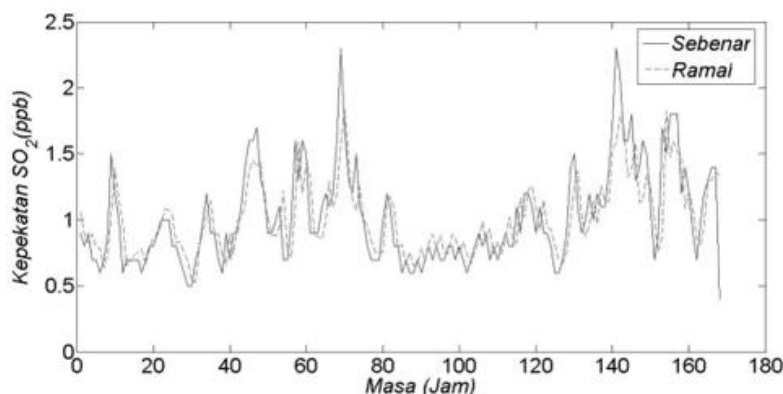
Rajah 6 : Peramalan menggunakan KPLSD dengan parameter k terbaik

5. Keputusan Peramalan

Berdasarkan hasil kajian perpustakaan, kajian ini merupakan peramalan pertama ke atas siri masa SO₂ menggunakan pendekatan kalut di Malaysia. Kajian ini mendapati bahawa siri masa yang diperhatikan adalah kalut. Nilai prestasi model peramalan juga didapati memberikan keputusan yang memberangsangkan. Jadual 1 menunjukkan tiga set model peramalan telah dihasilkan dengan gabungan parameter $\tau = 1$ dan $m = 6$. Penggunaan kaedah cuba jaya dalam penentuan parameter k tidak memberikan nilai peramalan yang memberangsangkan. Keterangan Casdagli (1991) menyatakan bahawa nilai k yang kecil mampu memberikan peramalan yang cemerlang dapat disokong melalui hasil kajian ini. Rajah 7 menunjukkan graf perbandingan data sebenar dan data yang diramal bagi kaedah KPLSD yang memberikan prestasi peramalan terbaik berbanding dua model peramalan yang lain.

Jadual 1: Keputusan peramalan menggunakan k terbaik.

| Kaedah | k | pk |
|--------|-----|--------|
| KPPS | 10 | 0.7687 |
| KPLS | 1 | 0.7690 |
| KPLSD | 18 | 0.7831 |



Rajah 7: Keputusan peramalan menggunakan kaedah penambahbaikan penghampiran linear setempat

6. Kesimpulan

Kesimpulannya, siri masa SO₂ yang diperhatikan di stesen Shah Alam pada Oktober 2017 menunjukkan kehadiran dinamik kalut dengan menggunakan kaedah plot ruang fasa dan kaedah Cao. Penetapan nilai $\tau = 1$ dan m daripada kaedah Cao adalah digunakan dalam kajian ini. Hasil daripada kajian ini, dengan memvariasikan nilai k mampu meningkatkan prestasi model peramalan. Data satu minggu yang diramal melalui tiga kaedah peramalan menunjukkan prestasi yang baik. Kaedah peramalan yang terbaik adalah dengan menggunakan KPLSD. Namun, kaedah KPPS dan KPLS juga memberikan nilai peramalan yang cemerlang. Pendekatan kalut merupakan kaedah baharu yang kian berkembang dari segi penyelidikan. Peramalan juga boleh diteruskan pada masa hadapan dengan meramal bacaan bahan pencemar SO₂ dengan bilangan data yang lebih banyak. Pendekatan ini boleh dikembangkan lagi kepada siri masa yang pelbagai seperti NO, NO₂ dan siri masa yang lain. Kajian ini sedikit sebanyak mampu untuk membantu pihak bertanggungjawab seperti Jabatan Alam Sekitar Malaysia dan Jabatan Meteorologi Malaysia dalam mengawal selia kualiti udara.

Penghargaan

Terima kasih kepada Jabatan Alam Sekitar Malaysia atas sumbangan data yang diperlukan. Kajian ini juga dibawah tajaan geran penyelidikan 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.
- Adenan N.H. & Noorani M.S.M. 2013. River flow prediction using nonlinear prediction method. *International Journal of Mathematical and Computational Sciences* **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.
- Adenan N.H. & Noorani M.S.M. 2016. Multiple time-scales nonlinear prediction of river flow using chaos approach. *Jurnal Teknologi* **78**(7): 1-7.
- Ali N.M. & Hamid N.Z.A. 2019. Chaotic Analysis for Malaysia west coast sea level: A case study of Kukup, Johor. In *IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science* **286**.
- Bahari M. & Hamid N.Z.A. 2019. Analysis and prediction of temperature time series using chaotic approach. In *IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science* **286**.
- 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.
- Casdagli M. 1991. Chaos and deterministic versus stochastic non-linear modelling. *Santa Fe Institute* **54**(2), 303-328.
- Chen T.-M., Kuschner W. G., Gokhale J., & Shofer S. 2007. Outdoor air pollution: Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide health effects. *The American Journal of the Medical Sciences* **333**(4): 249-256.
- Fraser A.M. & Swiney H.L. 1986. Independent coordinates for strange attractors from mutual information. *Phys Rev A* **33**(2): 1134-1140.
- Grant W.M. & Thomas C. C. 1987. Toxicology of the eye. *Journal of Toxicology: Cutaneous and Ocular Toxicology* **6**(2): 155-156.
- Grzesiak P., Schroeder G. & Hopke W. 1997. Degradation of the natural environment resulting from the presence of sulphur compounds in the atmosphere. *Polish Journal of Environmental Studies* **6**(4): 45-48.
- 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. 2014. Suatu Kajian Perintis Menggunakan Pendekatan Kalut Bagi Pengesanan Sifat dan Peramalan Siri Masa Kepekatan PM₁₀. *Sains Malaysiana* **43**(3): 475-481.
- Hamid N.Z.A. & Noorani M.S.M. 2017 Aplikasi model baharu penambahbaikan pendekatan kalut ke atas peramalan siri masa kepekatan ozon. *Sains Malaysiana* **46**(8): 1333-1339.
- Hamid N.Z.A., Noorani M.S.M, Juneng L. & Latif M.T. 2013. Prediction of ozone concentration using nonlinear prediction method. In *Proceedings of the 20th National Symposium on Mathematical Sciences* **1522**: 125-131.
- 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. *Journal of Physics: Conference Series* **890**.

- Hamid N.Z.A. 2018. Application of Chaotic Approach in Forecasting Highland's Temperature Time Series. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* **169**(1): 1-9.
- Idris N.A. & Mahmud M. 2017. Kajian jejak karbon di Kuala Lumpur. *Journal of Social Sciences and Humanities* **12**(2): 165-182.
- Jabatan Statistik Malaysia. 2010. Largest cities and municipalities in Malaysia. https://web.archive.org/web/20150205090002/http://www.statistics.gov.my/portal/download_Population/files/population/03ringkasan_kawasan_PBT_Jadual1.pdf (20 Disember 2019).
- Jabatan Alam Sekitar Malaysia. 2013. Standard Baru Kualiti Udara Ambien Malaysia. https://www.dosm.gov.my/v1/index.php?r=column/cthemeByCat&cat=162&bul_id=QXp4UnZmekFnVGNINy9GemxBWWZTZz09&menu_id=NWVEZGhEVINMeitaMHNzK2htRU05dz09 (20 Disember 2019).
- Jabatan Statistik Malaysia. 2018. Prestasi ekonomi negeri Tahun 2017. <https://www.dosm.gov.my/v1/index.php?r=column/pdfPrev&id=TzY5SmhiS2p2KzZxNm9vR3hQdWFqdz09> (20 Disember 2019).
- Jayawardena A.W. 1997. Runoff forecasting using a local approximation method. *IAHS* **239**: 167-171.
- 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.
- 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.
- Saari M.Y. 2019. Kerugian ekonomi akibat jerebu. <http://www.astroawani.com/berita-malaysia/kerugian-ekonomi-akibat-jerebu-217890> (20 Disember 2019).
- Sahril N.A. 2019. Kesan jerebu pada produktiviti negara. <https://www.sinarharian.com.my/article/49060/Analisis-Sinar/Kesan-jerebu-pada-produktiviti-negara> (3 Mac 2020).
- Schuster H.G. 1988. *Deterministic Chaos: An Introduction*. Weinheim, VCH Publishers..
- Sivakumar B. 2002. A Phase-Space reconstruction reconstruction approach to prediction of suspended sediment concentration in rivers. *Journal of Hydrology* **258**: 149-162.
- Sivakumar B. 2003. Forecasting monthly streamflow dynamics in the Western United States: A nonlinear dynamical approach. *Environmental Modelling & Software* **18**(8-9) 721-728.
- Sprott C. 2003. *Chaos and Time Series Analysis*. Oxford : Oxford University Press.
- 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.
- Velickov S. 2004. *Nonlinear Dynamics and Chaos with Application to Hydrodynamics and Hydrological Modelling*. London: Taylor & Francis.
- 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.

Jabatan Matematik

Universiti Pendidikan Sultan Idris

Proton City, Tanjung Malim

35900 Perak DR

MALAYSIA

E-mel: ahmadbasriruslan@gmail.com, nor.zila@fsmt.upsi.edu.my, nisachejusoh@gmail.com*

Diserahkan: 23 Januari 2020

Diterima: 7 Julai 2020

*Pengarang penghubung