

MERAMAL BACAAN MAKSIMUM HARIAN NITROGEN DIOKSIDA MENERUSI PENDEKATAN KALUT

(Forecasting Maximum Daily Reading of Nitrogen Dioxide Through Chaotic Approach)

KHAIRUNNISA CHE JUSOH* & NOR ZILA ABD HAMID

ABSTRAK

Peramalan ke atas bahan pencemar udara Nitrogen Dioksida (NO_2) adalah sangat penting kerana udara yang mengandungi NO_2 memberi kesan bahaya kepada kesihatan manusia dan boleh menyebabkan pelbagai penyakit kronik seperti emphysema dan bronkitis kronik. Data siri masa NO_2 yang dikaji dicerap mengikut jam di stesen yang terletak di kawasan perindustrian, iaitu Petaling Jaya, Selangor. Peramalan melalui pendekatan kalut melibatkan dua langkah, iaitu pembinaan semula ruang fasa dan proses peramalan. Sebelum model peramalan dibina, data siri masa diuji terlebih dahulu untuk mengenal pasti kehadiran dinamik kalut. Melalui plot ruang fasa dan kaedah Cao, didapati bahawa sifat kalut hadir dalam siri masa NO_2 . Bagi langkah peramalan, kaedah penghampiran purata setempat digunakan untuk meramal siri masa NO_2 . Keputusan peramalan menunjukkan nilai pekali korelasi yang sangat memuaskan, iaitu 0.7635. Sebagai inovasi dalam kajian ini, peramalan dilakukan terhadap nilai bacaan maksimum data pada setiap hari. Peramalan nilai maksimum harian data siri masa NO_2 menunjukkan hasil peramalan yang cemerlang dengan nilai pekali korelasi 0.9139. Secara keseluruhan, hasil peramalan bagi kedua-kedua kaedah ini sangat memuaskan. Oleh itu, peramalan nilai maksimum harian data siri masa boleh dicadangkan untuk meramal data siri masa bahan pencemar yang lain, iaitu PM_{10} , SO_2 , O_3 dan CO . Diharapkan dengan penemuan ini dapat membantu pihak bertanggungjawab seperti Jabatan Alam Sekitar dalam mengawal pencemaran NO_2 terutamanya di kawasan perindustrian.

Kata kunci: pencemar udara; pendekatan kalut; peramalan

ABSTRACT

Forecasting of Nitrogen Dioxide (NO_2) air pollutants is very important because the air containing NO_2 can be harmful to human health and can cause chronic diseases such as emphysema and chronic bronchitis. The NO_2 time series are analyzed hourly at industrial area, Petaling Jaya, Selangor. Forecasting using chaotic approach that involves the reconstruction of phase space and forecasting process have been employed in this research. Before the forecasting model can be built, the time series are tested in advance to determine whether the nature is chaotic or not. Through phase space plot and Cao method, chaotic dynamic are found present in the NO_2 times series. For forecasting process, the forecasting is made with local mean approximation method. The result shows that correlation value is 0.7635. As an innovation, prediction made onto maximum reading of daily time series. The forecasting model using maximum reading of daily time series shows the excellent result with a correlation coefficient value of 0.9139. Overall, forecasting result for both methods provide an excellent finding. Therefore, the forecasting model using maximum reading of daily time series can be suggested to forecast the other air pollutants such as PM_{10} , SO_2 , O_3 dan CO . These findings are expected to help stakeholder such as Department of the Environment to manage NO_2 pollution especially in the industrial area.

Keywords: air pollutant; chaotic approach; forecasting

1. Pengenalan

Pada masa kini, pembangunan di Malaysia semakin pesat terutamanya dalam sektor perindustrian dan sektor pengangkutan. Perkembangan yang pesat ini telah mengundang isu pencemaran udara. Pencemaran udara memberi kesan terhadap manusia dan alam sekitar, iaitu ia mampu menjejaskan kesihatan manusia, ekonomi negara dan juga kegiatan sosial manusia. Keadaan ini secara langsung memberi impak negatif terhadap ekosistem bandar dan kesihatan manusia terutama strok, penyakit jantung, kanser paru-paru dan masalah penafasan seperti asma serta membawa kepada kes kematian (Jamalani *et al.* 2016). Terdapat lima bahan pencemar udara utama yang dipantau oleh Jabatan Alam Sekitar, iaitu PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃ dan CO. Dalam kajian ini, bahan pencemar yang dipilih adalah NO₂.

Nitrogen dioksida (NO₂) merupakan satu daripada kumpulan gas yang terdapat di atmosfera. NO₂ yang bertindak balas dengan wap air di atmosfera akan menyebabkan penyakit pernafasan seperti penyakit kronik pulmonari obstruktif (COPD) di mana termasuk emphysema dan bronkitis kronik (Mishra & Goyal 2016). Selain itu, kajian yang dijalankan oleh Yusup *et al.* (2014) mendapati bahawa kriterium bahan pencemar udara NO₂ adalah penting sebagai penanda aras kepada kualiti udara kerana ia memberi kesan bahaya kepada kesihatan manusia. Kajian sebelum ini menggunakan pendekatan kalut ke atas siri masa pencemar telah dilakukan, iaitu ke atas siri masa bahan pencemar O₃ (Zaim & Hamid 2017; Hamid & Nooraini 2017), PM₁₀ (Hamid & Noorani 2014) dan CO (Ruslan & Hamid 2019). Hasil peramalan ke atas siri masa O₃, PM₁₀ dan CO tersebut amat memberangsangkan. Oleh kerana peramalan menggunakan pendekatan kalut ke atas siri masa NO₂ belum pernah dijalankan di Malaysia, maka dalam kajian ini bahan pencemar yang dikaji adalah NO₂.

Sebelum meramal sesuatu fenomena, sesuatu fenomena itu sendiri serta fenomena-fenomena yang lain di sekelilingnya perlu difahami. Objek matematik yang digunakan untuk memahami fenomena ini dikenali sebagai sistem dinamik (Noorani 2012). Dinamik siri masa dapat dibahagikan kepada dua, iaitu berketentuan dan rawak (Abarbanel 1996). Dinamik data berketentuan yang bergerak dari titik awal dan melalui trajektori adalah dapat dilihat. Oleh itu, data berketentuan boleh diramal manakala data yang tidak berketentuan, iaitu data rawak tidak boleh diramal. Menurut Abarbanel (1996), dinamik kalut adalah berada di antara berketentuan dan rawak. Data dengan dinamik kalut adalah berketentuan dan peka terhadap syarat awal, maka ianya boleh diramal.

Perkembangan analisis dan peramalan terhadap sistem nyata semakin berkembang dengan hasil aplikasi pendekatan kalut terutamanya pada ketepatan hasil peramalan dalam pelbagai bidang seperti perubahan (Kantz & Schreiber 2004), cuaca (Abarbanel 1996), hidrologi (Domenico *et al.* 2013; Adenan & Noorani 2015), suhu (Bahari & Hamid 2019) dan termasuk peramalan ke atas siri masa bahan pencemar O₃ (Zaim & Hamid 2017; Hamid & Nooraini 2017), siri masa PM₁₀ (Hamid & Noorani 2014), NO₂ (Kříž 2014). Pendekatan kalut ini telah membawa kejayaan dalam pemodelan pelbagai siri masa di dalam dan luar negara. Hasil kajian yang dijalankan oleh Kříž R. (2014) mendapati bahawa dinamik kalut hadir dalam siri masa NO₂, namun aplikasi ke atas siri masa NO₂ belum pernah dijalankan di Malaysia. Oleh yang demikian, aplikasi pendekatan kalut dipilih untuk meramal siri masa NO₂ di kawasan perindustrian, iaitu Petaling Jaya, Selangor.

Sebelum model peramalan dibina, kehadiran dinamik kalut dalam sesebuah siri masa perlu dikesan terlebih dahulu. Terdapat beberapa kaedah yang boleh digunakan untuk mengesan kehadiran dinamik kalut, antaranya adalah kaedah matrik korelasi, entropi Kolmogorov, eksponen Lyapunov, kaedah Cao dan plot ruang fasa. Di Malaysia kaedah yang sering digunakan untuk mengesan kehadiran dinamik kalut adalah kaedah plot ruang fasa dan kaedah Cao. Kedua-dua kaedah itu telah berjaya membuktikan kehadiran dinamik kalut dalam siri masa aliran sungai (Adenan & Noorani 2015), O₃ (Hamid & Noorani 2017), paras air laut

(Ali & Hamid 2019), suhu (Bahari & Hamid 2019) dan CO (Ruslan & Hamid 2019). Hasil dapatan kajian-kajian berikut menunjukkan keberkesanan kaedah Cao dan plot ruang fasa bagi membuktikan kehadiran dinamik kalut dalam sesebuah siri masa.

Setelah siri masa CO terbukti kalut, maka model peramalan dibina menggunakan kaedah penghampiran purata setempat. Kaedah penghampiran purata setempat adalah salah satu kaedah berasaskan pendekatan kalut yang telah diperkenalkan oleh Farmer dan Sidorowich (1987). Kaedah ini dipilih kerana kaedah penghampiran setempat yang menggunakan input siri masa tunggal adalah berketentuan yang mana peramalan data pada masa hadapan adalah bergantung kepada data masa yang lepas. Kaedah penghampiran purata setempat telah digunakan untuk meramal siri masa bahan pencemar O₃ (Hamid & Noorani 2017), PM₁₀ (Hamid & Noorani 2014) dan CO (Ruslan & Hamid 2019). Kajian-kajian ke atas bahan pencemar tersebut telah memberikan hasil ramalan yang cemerlang. Oleh itu, kaedah penghampiran purata setempat adalah dipilih bagi peramalan ke atas siri masa NO₂.

2. Data Siri Masa

Kajian ini dijalankan di stesen penanda aras yang terletak di salah satu kawasan perindustrian di Malaysia, iaitu Petaling Jaya, Selangor. Perkembangan yang pesat dalam sektor perindustrian di Malaysia telah menyumbang kepada isu alam sekitar (Jamalani *et al.* 2018). Selain itu, kajian yang dijalankan oleh Amil *et al.* (2018) telah menunjukkan bahawa zarah halus memberikan impak ke atas udara persekitaran di kawasan perindustrian Petaling Jaya. Oleh yang demikian, pengkaji memilih kawasan perindustrian, iaitu di Petaling Jaya sebagai lokasi kajian untuk meramal siri masa NO₂.

Data siri masa NO₂ diperoleh daripada pihak Jabatan Alam Sekitar Malaysia. Siri masa NO₂ yang dikaji adalah dicerap mengikut jam. Tempoh kajian ini dijalankan adalah selama empat bulan, iaitu bermula 1 Jun 2015 sehingga 30 September 2015 di mana tempoh tersebut adalah semasa monsun barat daya. Tempoh masa tersebut dipilih kerana dalam kajian yang dijalankan oleh Rani *et al.* (2018) mendapati bacaan IPU pada monsun barat daya, iaitu pada bulan Jun sehingga September sering mencatat bacaan yang tidak sihat.

Keseluruhan tempoh siri masa selama empat bulan adalah 2928 jam. Siri masa direkodkan dalam unit *ppb* (bahagian per billion) dan direkodkan dalam bentuk skala satu matra

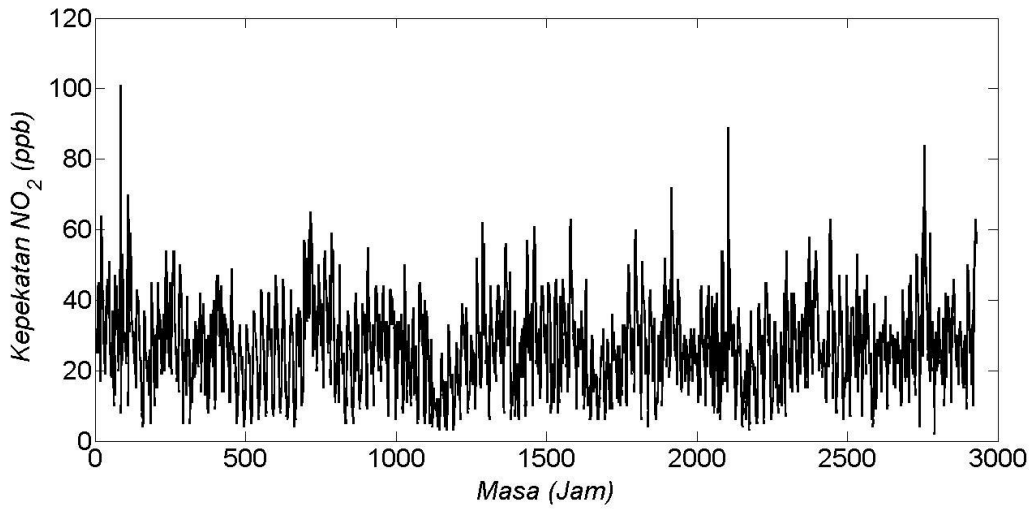
$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\} \quad (1)$$

dengan N adalah jumlah keseluruhan siri masa iaitu 2928. Siri masa X dibahagikan kepada dua bahagian. Bahagian pertama merupakan siri masa latihan, manakala bahagian kedua adalah siri masa ujian. Dengan l adalah jumlah siri masa latihan, siri masa latihan dan ujian adalah:

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

$$X_{\text{ujian}} = \{x_{l+1}, x_{l+2}, x_{l+3}, \dots, x_N\} \quad (3)$$

Siri masa latihan digunakan untuk mengesan kehadiran dinamik kalut dan mengira parameter. Siri masa ujian akan disimpan dan akan digunakan bagi mengukur prestasi model peramalan yang akan dibina nanti. Dalam kajian ini, jumlah data adalah $N = 2928$ manakala set latihan (2) siri masa adalah selama tiga bulan pertama, iaitu $l = 2208$ dan selebihnya, satu bulan terakhir adalah set ujian (3). Keseluruhan siri masa yang diperhatikan boleh dilihat dalam Rajah 1. Penerangan statistik bagi siri masa ini boleh dirujuk dalam Jadual 1.



Rajah 1: Siri Masa Kepekatan NO₂

Jadual 1: Penerangan Statistik Siri Masa NO₂

Statistik	Nilai
Maksimum	101
Minimum	2
Min	25.57
Median	25
Mod	27
Sisihan piawai	12.18

3. Mengesan Kehadiran Dinamik Kalut

Bagi mengesan kehadiran dinamik kalut, dua kaedah telah dipilih, iaitu plot ruang fasa dan kaedah Cao. Bagi tujuan pembinaan model peramalan, ruang fasa pelbagai matra perlu dibina terlebih dahulu. Ruang fasa pelbagai matra dibina semula dengan menggunakan siri masa $X_{latihan}$. Mengikut teori Takens (1981) dengan masa tunda τ dan matra pembedaan m , ruang fasa m -matra adalah dalam bentuk

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

Terdapat dua paramater yang perlu dicari terlebih dahulu, iaitu masa tunda τ dan matra pembedaan m . Parameter τ adalah masa tunda bagi ruang fasa yang merupakan sela masa bagi menggambarkan struktur penarik dalam plot ruang fasa. Pemilihan τ akan mempengaruhi sifat penarik yang membina ruang fasa dan seterusnya memberi kesan terhadap hasil peramalan (Liebert & Schuster 1989). Menurut Kantz dan Schreiber (2004), kaedah yang terbaik untuk menganggar nilai optimum τ tidak dapat dikenal pasti kerana ciri-ciri optimum τ adalah tidak jelas. Namum, penetapan $\tau = 1$ sering digunakan sebagai parameter tetap bagi pembinaan ruang fasa. Terdapat kajian yang berpendapat bahawa τ sepatutnya dipilih berdasarkan sela masa siri masa yang dicerap. Siri masa dalam kajian ini adalah dicerap mengikut jam, maka nilai adalah $\tau = 1$ dicadangkan. Selain itu, terdapat kajian lepas yang menggunakan $\tau = 1$ ke atas siri masa aliran sungai (Adenan & Noorani 2013, 2015, 2016), O₃

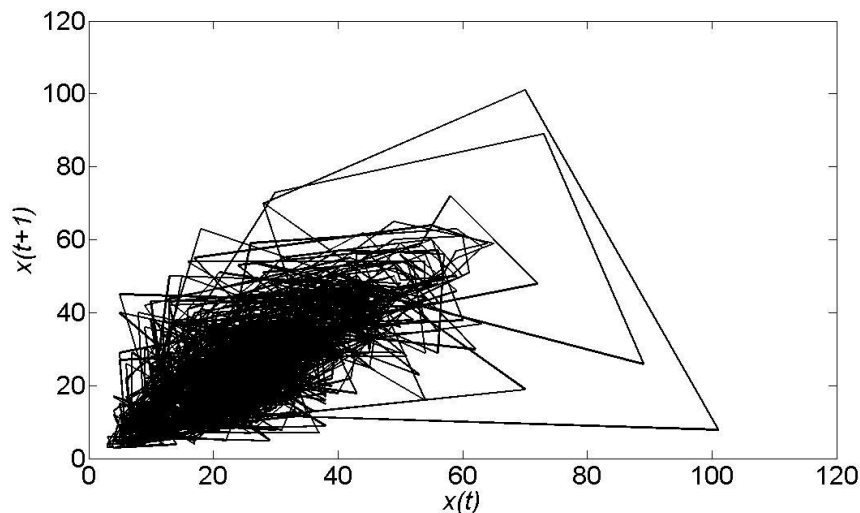
(Hamid & Noorani 2013, 2017) dan suhu (Bahari & Hamid 2019). Hasil peramalan kajian-kajian tersebut adalah sangat memuaskan. Oleh itu, penetapan $\tau = 1$ adalah dipilih dalam kajian ini.

Menurut Regonda *et al.* (2005) m adalah bilangan minimum pemboleh ubah yang diperlukan untuk menerangkan sifat data. Nilai matra pembenaman optimum yang dibenamkan di dalam ruang fasa dapat menggambarkan topologi penarik (Velickov 2004). Dalam kajian ini kaedah Cao telah dipilih untuk menentukan nilai m kerana Cao (1997) menjanjikan bahawa kaedah Cao adalah cara yang praktikal untuk mencari nilai m . Ianya telah dibuktikan oleh Cao (1997) sendiri, bahawa kaedah Cao mempunyai banyak kelebihan berbanding dengan kaedah lain, iaitu kaedah Cao tidak mengandungi sebarang parameter subjektif kecuali masa tunda τ dan ia tidak bergantung kepada bilangan siri masa yang ada. Oleh yang demikian, dalam kajian ini matra pembenaman m adalah ditentukan melalui kaedah Cao.

3.1 Plot Ruang Fasa

Plot ruang fasa adalah ruang pengumpulan semua kemungkinan keadaan sesebuah sistem dinamik. Plot ruang fasa dapat membezakan sama ada sesebuah siri masa bersifat kalut atau rawak. Kewujudan sebuah rantau penarik menunjukkan kehadiran dinamik kalut dalam sesebuah siri masa (Sivakumar 2002). Plot ruang fasa dibina dalam satah dua matra $\{x_t, x_{t+\tau}\}$ dengan x_t dan $x_{t+\tau}$ adalah siri masa pada masa t dan $t + \tau$.

Dengan menggunakan penetapan $\tau = 1$, plot ruang fasa dibina dalam satah dua matra $\{x(t), x(t+1)\}$. Berdasarkan Rajah 2 dapat dilihat bahawa dalam siri masa NO_2 terdapat penarik yang berkumpul pada paksi- $x(t)$ dan paksi- $x(t+1)$. Dengan kewujudan penarik dalam ruang fasa siri masa tersebut, maka siri masa yang diuji adalah kalut.



Rajah 2 : Plot Ruang Fasa

3.2 Kaedah Cao

Kaedah Cao melibatkan dua parameter, iaitu $E1(m)$ dan $E2(m)$. Kaedah Cao mengira nilai m adalah melalui;

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

yang mana

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

dan $\|\bullet\|$ adalah norma maksimum. Y_{jj}^m adalah jiran terdekat kepada Y_n^m . Graf m melawan $E1(m)$ adalah diplot. Sekiranya $E1(m)$ berhenti berubah apabila nilai m lebih besar daripada m_0 , maka $m_0 + 1$ adalah matra pembenaman minimum yang dicari, iaitu nilai m . Malalui kaedah Cao juga, parameter $E2(m)$ dapat membuktikan data siri masa adalah kalut. Cao (1997) turut memperkenalkan pengiraan $E2(m)$ juga di mana;

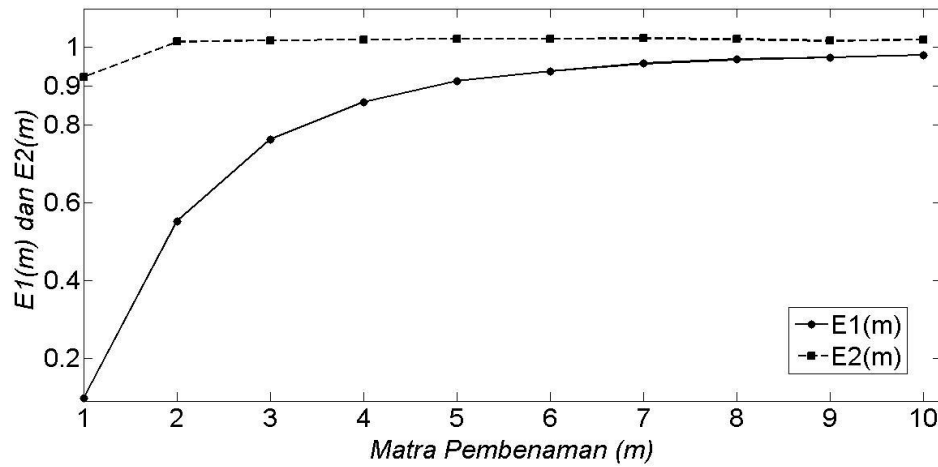
$$E2(m) = \frac{E^*(m+1)}{E^*(m)} \quad (7)$$

yang mana nilai E^* dapat dikira dengan menggunakan persamaan berikut:

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

Dinamik kalut hadir dalam siri masa, sekiranya wujud beberapa m atau sekurang-kurangnya satu m yang mana nilai $E2(m)$ tidak akan bernilai sama dengan satu dengan kata lain $E2(m) \neq 1$. Maka, keadaan ini dapat memastikan bahawa data yang digunakan adalah bertelatah kalut (Cao 1997).

Daripada Rajah 3 dapat dilihat bahawa $E1(m)$ mula menepu pada nilai $m_0 = 4$ dan terus menepu dengan peningkatan nilai m . Maka, nilai matra pembenaman, m adalah 5. Selain itu, dapat diperhatikan bahawa tiada nilai $E2(m)$ sama dengan satu untuk semua nilai m . Maka, melalui kaedah Cao dapat dinyatakan bahawa siri masa NO_2 di Petaling Jaya adalah bersifat kalut. Oleh yang demikian, peramalan jangka pendek bagi siri masa boleh diteruskan.



Rajah 3: Kaedah Cao

4. Peramalan

4.1 Kaedah Penghampiran Purata Setempat

Peramalan melalui pendekatan kalut adalah melalui vektor ruang fasa m -matra (4). Dengan menggunakan ruang fasa yang dibina, sebuah kaedah penghampiran digunakan untuk meramal siri masa hadapan. Bagi ruang fasa terakhir Y_j^m , peramalan bagi Y_{j+p}^m adalah:

$$Y_{j+p}^m = f(Y_j^m) \quad (9)$$

Bagi siri masa kalut, peramalan jangka pendek sahaja dibenarkan (Sprott 2003). Oleh itu, peramalan satu jam ke hadapan dilakukan. Bagi peramalan satu langkah ke hadapan, persamaan (9) ini akan menjadi $Y_{j+1}^m = f(Y_j^m)$. 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 Euklidian $\|Y_{j'}^m - Y_j^m\|$ dengan $j' < j$. Jika hanya satu jiran terdekat digunakan ($k=1$), maka penghampiran bagi Y_{j+1}^m adalah Y_{j+1}^m . Oleh kerana kebiasaannya nilai $k > 1$, maka peramalan diambil sebagai purata nilai Y_j^m , iaitu

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

Dalam kajian ini, nilai k ditentukan melalui kaedah cuba jaya. Penentuan nilai k melalui kaedah cuba jaya pernah dijalankan dengan menggunakan $k=50$ (Hamid & Noorani 2014; Zaim & Hamid 2017; Hamid *et al.* 2017), $k=100$ (Hamid *et al.* 2013) dan $k=200$ (Hamid & Noorani 2013). Casdagli (1991) menyatakan bahawa nilai k yang kecil sudah memadai untuk mendapatkan keputusan peramalan yang cemerlang. Oleh yang demikian, dalam kajian ini nilai k yang dipilih adalah $k=50$.

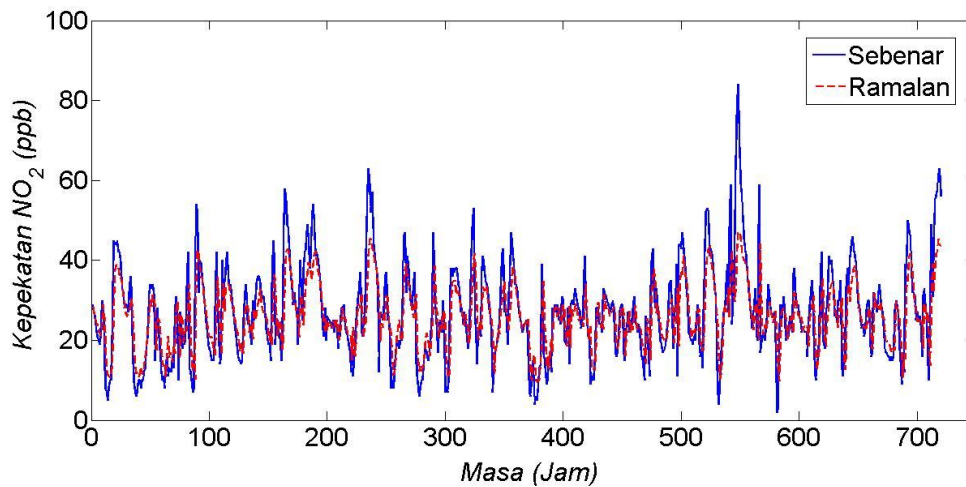
Dalam kajian ini, penunjuk prestasi peramalan yang digunakan adalah pekali korelasi (pk), iaitu:

$$pk = \frac{\sum_{L=1}^w (R_L - \bar{R})(S_L - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{L=1}^w (R_L - \bar{R})^2} \sqrt{\sum_{L=1}^w (S_L - \bar{S})^2}}$$

Penunjuk prestasi peramalan pk memberikan gambaran tentang kekuatan hubungan antara nilai sebenar dan nilai ramalan. Nilai pk yang menghampiri satu menunjukkan hubungan yang kuat di antara siri masa ramalan dan siri masa sebenar (Gogtay & Thatte 2017).

4.2 Keputusan Peramalan

Dengan menggunakan $\tau=1$ dan $\tau=6$ ruang fasa dibina. Setelah ruang fasa dibina, peramalan satu jam ke hadapan melalui kaedah penghampiran purata setempat dengan menggunakan $k=50$ telah dijalankan ke atas siri masa NO_2 . Nilai pekali korelasi di antara data sebenar dan data peramalan adalah 0.7635. Hasil ramalan yang sangat memuaskan ini menunjukkan bahawa kaedah penghampiran setempat berjaya untuk meramal kepekatan NO_2 . Rajah 4 merupakan graf perbandingan data sebenar dengan data yang diramal. Melalui rajah tersebut, dapat dilihat bahawa nilai yang diramal adalah sangat menghampiri nilai yang sebenar. Secara keseluruhannya, hasil peramalan ke atas siri masa NO_2 di kawasan perindustrian Petaling Jaya adalah sangat memuaskan.



Rajah 4: Keputusan peramalan menggunakan kaedah penghampiran purata setempat

5. Peramalan Nilai Maksimum Harian Data Siri Masa NO_2

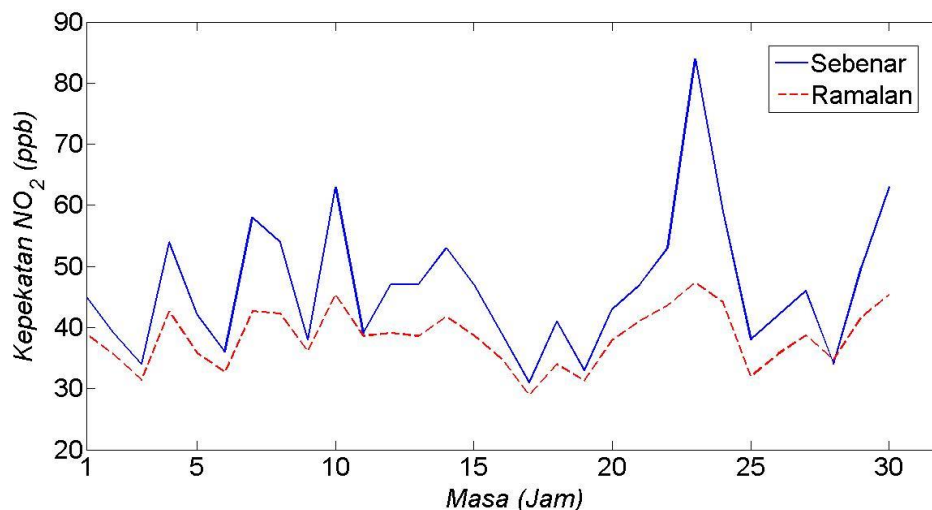
Dalam kajian ini, dengan menggunakan kaedah plot ruang fasa dan kaedah Cao, didapati bahawa siri masa NO_2 adalah bersifat kalut. Setelah itu, peramalan ke atas siri masa NO_2 dijalankan melalui kaedah penghampiran purata setempat. Dengan menggunakan parameter $\tau=1$, $\tau=6$ dan $k=50$, nilai pekali korelasi hasil ramalan adalah 0.9684.

Sebagai inovasi dalam kajian ini, pada kaedah peramalan, nilai yang akan digunakan adalah terhadap nilai bacaan maksimum data pada setiap hari. Bagi kajian ini, tempoh kajian

yang dijalankan adalah selama empat bulan, iaitu bermula 1 Jun 2015 sehingga 30 September 2015. Dalam kajian ini, jumlah data adalah $N = 2928$ manakala set latihan siri masa adalah selama tiga bulan pertama, iaitu $l = 2208$ dan selebihnya, satu bulan terakhir adalah set ujian. Jumlah data set ujian adalah $X_{ujian} = 720$.

Data siri masa NO_2 yang dicerap adalah setiap satu jam. Dalam tempoh satu hari, jumlah data adalah sebanyak 24 data. Oleh itu, di antara 24 data tersebut, nilai yang paling maksimum adalah dipilih. Jumlah data set ujian adalah sebanyak 720, maka jumlah data nilai maksimum harian yang direkodkan adalah 30 data. Selain itu, nilai maksimum harian data bagi set ramalan juga direkodkan, iaitu sebanyak 30 data. Penunjuk prestasi peramalan pk digunakan untuk memberikan gambaran tentang kekuatan hubungan antara nilai maksimum harian yang sebenar dengan nilai maksimum harian ramalan.

Rajah 5 merupakan graf perbandingan data maksimum harian yang sebenar dengan data maksimum harian yang diramal. Melalui rajah tersebut, dapat dilihat bahawa nilai yang di ramal adalah sangat menghampiri nilai yang sebenar. Nilai pekali korelasi bagi peramalan maksimum harian adalah 0.9139. Hasil peramalan yang cemerlang ini menunjukkan bahawa penggunaan kaedah peramalan siri masa NO_2 berdasarkan nilai maksimum harian adalah sesuai dan boleh digunakan untuk data dan kajian terkini dan hasil kajian perlu diberi tafsiran semula.



Rajah 5: Keputusan peramalan nilai maksimum harian data siri masa

6. Kesimpulan

Kesimpulannya, data siri masa NO_2 yang dikaji di kawasan perindustrian Petaling Jaya adalah bersifat kalut berdasarkan analisis menggunakan kaedah plot ruang fasa dan kaedah Cao. Dengan menggunakan parameter $\tau = 1$, $\tau = 6$ dan $k = 50$, data siri masa NO_2 diramal melalui model peramalan kalut, iaitu kaedah penghampiran purata setempat. Hasil peramalan menunjukkan nilai pekali korelasi 0.7635. Selain itu, peramalan nilai maksimum harian data siri masa NO_2 menunjukkan hasil peramalan yang cemerlang dengan nilai pekali korelasi 0.9139. Oleh itu, kaedah peramalan nilai maksimum harian data siri masa NO_2 menggunakan pendekatan kalut adalah sesuai dan boleh digunakan untuk data siri masa dan kajian terkini. Selain itu, kaedah ini juga boleh dicadangkan untuk meramal data siri masa bahan pencemar yang lain, iaitu PM_{10} , SO_2 , O_3 dan CO .

Penghargaan

Terima kasih kepada Jabatan Alam Sekitar Malaysia atas sumbangan data yang diperlukan untuk menjalankan kajian ini. 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. Monthly river flow prediction using nonlinear prediction method. *International Journal of Mathematical and Computational Sciences* **7**(11): 1627-1631.
- Adenan N.H. & Nooran 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. Dlm. *IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science*, hlm. 1-7.
- Amil N., Latif M.T., Khan M.F. & Mohamad M. 2016. Seasonal variability of PM_{2.5} composition and sources in the Klang Valley urban-industrial environment. *Atmospheric Chemistry and Physics* **16**(8): 5357-5381.
- Bahari M. & Hamid N.Z.A. 2019. Analysis and prediction of temperature time series using chaotic approach. Dlm. *IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science*, hlm. 1-7.
- 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.
- Domenico M.De., Ghorbani M.A., Makarynskyy O., Makarynska D. & Asadi H. 2013. Chaos and reproduction in sea level. *Applied Mathematical Modelling* **37**(6): 3687-3697.
- Farmer J.D. & Sidorowich J.J. 1987. Predicting chaotic time series. *The American Physical Society* **59**(8): 845-848.
- Gogtay N.J. & Thatte U.M. 2017. Principles of correlation analysis. *Journal of Association of Physicians of India* **65**(3): 78-81.
- 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. Dlm. *Journal of Physics Conf. Series*, hlm. 1-5.
- 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): 206-211.
- 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. Dlm. *Proceedings of the 20th National Symposium on Mathematical Sciences*, hlm. 125-131.
- Jamalani M.A., Abdullah A.M., Azid A., Ramli M.F., Baharudin M.R., Chng K., Sciences H. 2018. PM₁₀ emission inventory of industrial and road transport emission inventory of industrial and road transport vehicles in Klang Valley, Peninsular Malaysia. *Journal of Fundamental and Applied Sciences* **10**(15): 313-324.
- Kantz H. & Schreiber T. 2004. *Nonlinear Time Series Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kříž R. 2014. Chaos in nitrogen dioxide concentration time series and its prediction. Dlm. Zelinka I., Suganthan P., Chen G., Snasel V., Abraham A. & Rössler O. (pnyt.). *Prediction, Modeling and Analysis of Complex Systems*: 365-376. Ostrava: Springer.
- Liebert W. & Schuster H. 1989. Proper choice of the time delay for the analysis of chaotic time series. *Physics Letters A* **142**(2): 107-111.
- Mishra D., & Goyal P. 2016. Neuro-Fuzzy approach to forecast NO₂ pollutants addressed to Air Quality Dispersion model over Delhi, India. *Aerosol and Air Quality Research* **16**(1): 166-174.
- Noorani M.S.M. 2012. *Memahami dan Menjelaskan Kekalutan*. Bangi: Penerbit UKM.
- Rani N.L.A., Azid, A., Khalit, S. I., Juahir, H. & Samsudin, M. S. 2018. Air pollution index trend analysis in Malaysia, 2010-15. *Polish Journal of Environmental Studies* **27**(2): 801-808.
- 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.

- Sivakumar B. 2002. A phase-space reconstruction approach to prediction of suspended sediment concentration in rivers. *Journal of Hydrology* **258**(1-4): 149-162.
- Sprott J.C. 2003. *Chaos and Time-Series Analysis*. Oxford: Oxford University.
- Takens F. 1981. Detecting Strange Attractors in Turbulence. Dlm. Rand D. & Young L.S. (pnyt.) *Dynamical Systems and Turbulence*: 366–381. Berlin: Springer.
- Velickov S. 2004. *Nonlinear Dynamics and Chaos with Application to Hydrodynamics and Hydrological Modelling*. PhD Thesis. Delft University of Technology, Netherlands.
- Yusup Y., Ahmad M. I., & Ismail N. 2014. Indoor air quality of typical Malaysian open-air restaurants. *Environment and Pollution* **3**(4): 10-23.
- 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 monsoon dengan menggunakan pendekatan kalut. *Sains Malaysiana* **46**(12): 2523-2528.

*Jabatan Matematik
Universiti Pendidikan Sultan Idris
Proton City, Tanjong Malim
35900 Perak DR
MALAYSIA
Mel-e: nisachejusoh@gmail.com*, nor.zila@fsmt.upsi.edu.my*

Diserahkan: 31 Mei 2020
Diterima: 5 Julai 2020

*Pengarang penghubung