

Sains Malaysiana 46(8)(2017): 1333–1339
<http://dx.doi.org/10.17576/jsm-2017-4608-20>

Aplikasi Model Baharu Penambahbaikan Pendekatan Kalut ke atas Peramalan Siri Masa Kepekatan Ozon

(New Improved Chaotic Approach Model Application on Forecasting Ozone Concentration Time Series)

NOR ZILA ABD HAMID* & MOHD SALMI MD NOORANI

ABSTRAK

Kajian ini merupakan aplikasi pendekatan kalut ke atas peramalan siri masa bahan pencemar udara ozon di stesen asas Malaysia yang terletak di Jerantut, Pahang. Sebelum model peramalan dibina, siri masa diuji terlebih dahulu sama ada bersifat kalut atau tidak. Melalui plot ruang fasa dan kaedah Cao, siri masa bahan pencemar ozon didapati bersifat kalut bermatra rendah. Oleh itu, model peramalan melalui kaedah penghampiran linear setempat dibina. Sebagai inovasi, model ini ditambah baik. Sebagai perbandingan, model peramalan regresi linear turut dibina. Melalui pengiraan purata ralat mutlak, ralat punca purata kuasa dua dan pekali korelasi, keputusan menunjukkan bahawa model baharu penambahbaikan penghampiran linear setempat adalah lebih baik berbanding model-model yang lain. Maka, penambahbaikan yang dilakukan adalah berbaloi. Dengan itu, pendekatan kalut adalah pendekatan alternatif yang sesuai digunakan bagi membangunkan model peramalan siri masa bahan pencemar ozon. Penemuan model baharu dalam kajian ini diharap dapat membantu memudahkan usaha pihak-pihak berkepentingan dalam menguruskan isu pencemaran udara, khususnya ozon.

Kata kunci: Kaedah penghampiran setempat; Malaysia; ozon; pendekatan kalut; peramalan

ABSTRACT

This study is an application of chaotic approach on forecasting the ozone air pollutant time series at Malaysian background station located in Jerantut, Pahang. Before the forecasting model can be built, the time series are tested in advance whether the nature is chaotic or not. Through phase space plot and Cao method, the ozone air pollutant time series were found to be low in dimensional chaotic. Therefore, the forecasting model through local linear approximation is constructed. As an innovation, this model is improved. As comparison, the linear regression forecasting model was also constructed. By calculating the mean absolute error, root mean square error and correlation coefficient, the results showed that the new improved local linear approximation model is better than the other models. Thus, the improvement was worth it. Therefore, chaotic approach is an alternative approach that can be used to construct forecasting model for ozone pollutants time series. The discovery of new method in this study is expected to help facilitate the efforts of stakeholders in dealing with the issues of air pollution, especially ozone.

Keywords: Chaotic approach; forecasting; local approximation method; Malaysia; ozone

PENGENALAN

Bernafas dan menyedut ozon dalam udara boleh menyebabkan tindak balas berbahaya dalam sistem pernafasan. Kajian terkini seperti Cakmak et al. (2016) dan Madaniyazi et al. (2016) melaporkan bahawa pencemaran ozon meningkatkan kadar kematian kerana ia membawa kepada pelbagai penyakit pernafasan dan kardiovaskular. Oleh itu, pembangunan model peramalan ke atas siri masa bahan pencemar udara ozon adalah penting.

Sifat sesebuah siri masa boleh dikelaskan kepada berketentuan atau rawak. Siri masa berketentuan adalah siri masa yang boleh diramal manakala siri masa rawak tidak boleh diramal. Sifat kalut berada antara sifat berketentuan dan rawak (Abarbanel 1996). Siri masa kalut boleh diramal; walau bagaimanapun, disebabkan oleh kebergantungan sensitif kepada keadaan awal, maka, bagi

sesebuah siri masa kalut, hanya peramalan jangka pendek dibenarkan (Spratt 2003).

Terdapat pelbagai pendekatan yang telah digunakan oleh kajian lepas untuk menguji sama ada siri masa ozon adalah kalut atau tidak. Menggunakan kaedah matra korelasi, kamiran kolerasi, entropi dan eksponen Lyapunov, kajian seperti Chattopadhyay dan Chattopadhyay (2008), Chelani (2010) serta Cuculeanu et al. (2009) mengesan sifat kalut dalam siri masa ozon. Terkini, dengan menggunakan eksponen Lyapunov, kaedah matra Hausdorff dan plot ruang fasa, Petkov et al. (2015) turut membuktikan bahawa siri masa ozon adalah bersifat kalut.

Plot ruang fasa dan kaedah Cao (Cao 1997) dapat mengklasifikasikan sifat siri masa. Walau bagaimanapun, kaedah ini jarang digunakan ke atas siri masa ozon walaupun kedua-dua telah terbukti berkesan oleh kajian

seperti Frazier dan Kockelman (2004), Lakshmi dan Tiwari (2009) serta Sivakumar (2002) ke atas siri masa kepekatan sedimen terampai, aliran trafik dan gempa bumi. Oleh itu, dalam kajian ini, plot ruang fasa dan kaedah Cao digunakan ke atas siri masa bahan pencemar ozon.

Dalam kajian terkini di Malaysia, siri masa ozon sering diramal menggunakan kaedah rangkaian neural dan model regresi linear berganda; contohnya, Ghazali et al. (2010), Muhamad et al. (2015) dan Tan et al. (2016). Proses peramalan melalui kedua-dua kaedah adalah bergantung kepada faktor cuaca seperti suhu, kelembapan, radiasi dan kelajuan angin solar serta faktor-faktor gas seperti gas pelopor metana (CH_4), karbon monoksida (CO) dan nitrogen oksida (NO_x). Walau bagaimanapun, dalam keadaan maklumat dari faktor ini tidak mencukupi, kaedah alternatif diperlukan untuk memastikan model peramalan boleh dibina. Oleh itu, dalam kajian ini, kaedah penghampiran linear setempat, sebuah kaedah berdasarkan pendekatan kalut adalah digunakan. Kaedah ini mempunyai kelebihan tersendiri kerana peramalan sesebuah siri masa, contohnya, ozon adalah dijalankan hanya dengan menggunakan data daripada siri masa ozon sahaja, tanpa melibatkan data dari faktor-faktor lain. Kaedah penghampiran linear setempat telah digunakan oleh Chen et al. (1998) untuk meramal siri masa ozon yang dicerap mengikut jam dan Kocak et al. (2000) untuk meramal purata harian siri masa ozon. Kedua-dua kajian memperoleh hasil peramalan yang memuaskan. Oleh itu, dalam kajian ini, peramalan ozon juga dijalankan dengan menggunakan kaedah yang sama. Terdapat pelbagai sub-kaedah kepada kaedah penghampiran setempat. Walau bagaimanapun, kaedah yang acapkali digunakan adalah kaedah penghampiran linear setempat. Oleh itu, kaedah ini adalah dipilih.

Sumbangan kajian ini adalah memperkenalkan kaedah plot ruang fasa dan kaedah Cao untuk mengesan kehadiran sifat kalut dalam siri masa bahan pencemar ozon. Selain itu, kaedah penghampiran linear setempat disesuaikan untuk meramal siri masa bahan pencemar ozon di Malaysia. Sebagai inovasi, kaedah penghampiran linear setempat ini adalah ditambah baik. Sebagai perbandingan, model tradisi melalui kaedah regresi linear turut dibina. Oleh kerana ini merupakan antara kajian perintis seumpamanya di Malaysia, maka, siri masa ozon yang diperhatikan adalah dari stesen asas Malaysia yang terletak di Jerantut, Pahang.

DATA SIRI MASA

Siri masa bahan pencemar ozon yang diperhatikan adalah dicerap setiap jam. Kajian ini bermula sejak tahun 2010. Maka, ketika itu, siri masa yang terkini adalah pada tahun 2009. Tempoh kajian bermula dari 1 Julai 2009 dan berakhir pada 31 Disember 2009. Keseluruhan tempoh siri masa adalah 184 hari (4416 jam). Siri masa adalah direkodkan dalam unit *ppb* (bahagian per billion) dan direkod dalam bentuk skalar satu matriks seperti (1).

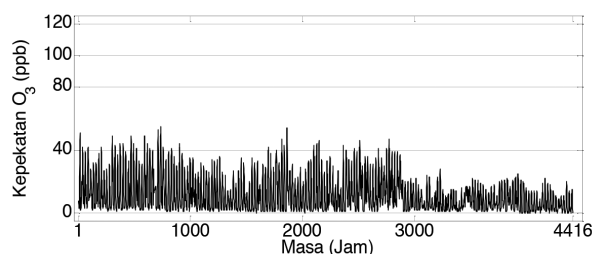
$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}, \quad (1)$$

dengan N adalah jumlah keseluruhan siri masa. Dalam kajian ini, $N = 4416$. Siri masa ozon dibahagikan kepada dua bahagian. Bahagian pertama adalah set latihan manakala bahagian kedua adalah set ujian.

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

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

Dalam kajian ini, set latihan adalah siri masa selama lima bulan pertama ($l = 3672$) dan selebihnya, satu bulan terakhir adalah siri masa bagi set ujian (3). Daripada keseluruhan 4416 siri masa, terdapat 6.1% siri masa lenyap dan digantikan menggunakan teknik interpolasi linear (Norazian et al. 2008). 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 ozon

JADUAL 1. Penerangan statistik siri masa bahan pencemar ozon

Statistik	Nilai
Purata	12
Varians	124.2642
Kurtosis	0.6555
Kepencongan	1.1757
Minimum	0
Maksimum	55

Siri masa O_3 yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh daripada Jabatan Alam Sekitar, Malaysia. Lokasi stesen kajian adalah dikategorikan sebagai kawasan luar bandar dan terletak di Jerantut, Pahang. Stesen ini dipilih kerana ia merupakan stesen asas yang merupakan penanda aras bagi tren pencemar udara di Malaysia. Maka, ia sesuai digunakan bagi menjalankan kajian perintis.

PENDEKATAN KALUT

Dalam kajian ini, pendekatan kalut telah diaplikasi bagi membangunkan model untuk siri masa bahan pencemar ozon yang diperhatikan. Melalui pendekatan ini, sifat kalut dalam siri masa perlu dibuktikan terlebih dahulu sebelum model peramalan boleh dibina. Untuk menguji kehadiran sifat kalut, dua kaedah telah dipilih iaitu plot

ruang fasa dan kaedah Cao. Jika terbukti kalut, model peramalan dibina menggunakan kaedah penghampiran linear setempat, sebuah kaedah yang dijana menggunakan konsep pendekatan kalut. Bagi tujuan pembuktian dan pembinaan model peramalan, ruang fasa pelbagai matra adalah perlu dibina terlebih dahulu.

PEMBINAAN SEMULA RUANG FASA

Pembinaan semula ruang fasa adalah proses transformasi siri masa skalar satu matra (1) kepada vektor siri masa pelbagai matra:

$$\mathbf{Y}_i^m = (x_i, x_{i+\tau}, x_{i+2\tau}, \dots, x_{i+(m-1)\tau}), \quad (4)$$

dengan masa tunda τ dan matra pembenaman m . Secara matematik, ruang fasa (4) adalah persamaan yang berkuasa untuk mencirikan evolusi sistem dinamik sesebuah siri masa. Secara fizikal, evolusi sistem dinamik ini diterjemahkan melalui plot ruang fasa (Domenico et al. 2013).

PLOT RUANG FASA

Plot ruang fasa adalah ruang pengumpulan semua kemungkinan keadaan sesebuah sistem dinamik. 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 $t + \tau$. Plot ruang fasa dapat membezakan sama ada sesebuah siri masa bersifat kalut atau rawak. Jika terdapat satu trajektori yang jelas, sifat kalut siri masa hadir (Sivakumar 2002). Sebaliknya, jika tidak ada satu trajektori yang jelas dengan semua titik bertaburan dan memenuhi seluruh ruang fasa, maka siri masa adalah bersifat rawak.

Untuk membina (4) dan plot ruang fasa, τ perlu ditentukan terlebih dahulu. Masa tunda τ merupakan sela masa bagi menggambarkan struktur penarik dalam plot ruang fasa. Jika τ terlalu kecil, ruang fasa tidak bebas lalu mengakibatkan kehilangan ciri penarik. Namun, jika τ terlalu besar, mungkin terdapat siri masa yang tidak berkolerasi antara satu sama lain (Velickov 2004). Menurut Velickov (2004), kaedah purata maklumat bersama menunjukkan prestasi yang baik dalam menentukan nilai τ bagi siri masa nyata. Maka, kaedah ini dipilih bagi menentukan nilai τ dalam kajian ini.

Purata maklumat bersama ialah:

$$I(T) = \frac{1}{N} \sum_{a=1}^N p(u_a, u_{a+T}) \log_2 \left[\frac{p(u_a, u_{a+T})}{p(u_a) p(u_{a+T})} \right], \quad (5)$$

dengan $p(u_a)$ dan $p(u_{a+T})$ adalah kebarangkalian mendapatkan u_a dan u_{a+T} dalam siri masa $X_{latihan}$ manakala $p(u_a, u_{a+T})$ adalah kebarangkalian bersama $p(u_a)$ dan $p(u_{a+T})$. Graf T melawan $I(T)$ diplot dan τ adalah nilai minimum pertama T . Selain masa tunda τ , ruang fasa (4) juga mempunyai parameter matra pembenaman m . Dalam kajian ini, m adalah ditentukan menggunakan kaedah Cao.

KAEDAH CAO

Terdapat beberapa kaedah yang dibangunkan untuk mencari m optimum. Antaranya ialah kaedah jiran terdekat palsu dan matra kolerasi. Kedua-dua kaedah jiran terdekat palsu dan kaedah matra kolerasi melibatkan banyak parameter dan penetapan nilai ambang. Kaedah Cao oleh Cao (1997) menjanjikan cara yang praktik untuk mencari m . Ia telah dibuktikan oleh Cao (1997) sendiri, bahawa kaedah Cao mempunyai banyak kelebihan berbanding kaedah jiran terdekat palsu dan matra kolerasi. Antara kelebihan kaedah ini ialah kaedah Cao tidak mengandungi sebarang parameter subjektif kecuali masa tunda τ ; dan tidak bergantung kepada bilangan siri masa yang ada. Maka, kaedah Cao menjadi pilihan kajian ini. m dari kaedah Cao dikira melalui

$$E1(d) = E(d + 1) / E(d), \quad (6)$$

dan

$$E(d) = \frac{1}{N - d\tau} \sum_{n=1}^{N-d\tau} \frac{\|\mathbf{Y}_n^{d+1} - \mathbf{Y}_{jj}^{d+1}\|}{\|\mathbf{Y}_n^d - \mathbf{Y}_{jj}^d\|}, \quad (7)$$

dengan $\|\cdot\|$ adalah norma maksimum. \mathbf{Y}_{jj}^d adalah jiran terdekat kepada \mathbf{Y}_n^d . Graf d melawan $E1(d)$ adalah diplot. Jika $E1(d)$ berhenti berubah apabila nilai d lebih besar daripada nilai d_0 , maka $d_0 + 1$ adalah matra pembenaman minimum yang dicari iaitu m . Selain mencari nilai m , kaedah Cao turut boleh digunakan bagi membezakan antara dinamik siri masa rawak dan kalut. Jika nilai $E1(d)$ terus menepu dengan peningkatan d , maka, dinamik kalut hadir dalam siri masa. Namun, jika tiada penepuan berlaku, siri masa adalah rawak. Cao (1997) turut memperkenalkan pengiraan $E2(d)$, dengan

$$E2(d) = E^*(d + 1) / E^*(d), \quad (8)$$

dan

$$E^*(d) = \frac{1}{N - d\tau} \sum_{n=1}^{N-d\tau} |x_{n+d\tau}^d - x_{jj+d\tau}^d|. \quad (9)$$

Menurut Cao, untuk siri masa rawak, kerana nilai masa depan siri masa adalah bebas daripada nilai yang lepas, maka $E2(d)$ akan sama dengan satu bagi mana-mana d . Walau bagaimanapun, sekiranya dinamik kalut hadir dalam siri masa, nilai masa depan siri masa adalah berdasarkan daripada nilai yang lepas dan nilai $E2(d)$ tidak tetap untuk semua d . Dalam erti kata lain, pasti wujud beberapa d atau sekurang-kurangnya satu d yang mana $E2(d) \neq 1$. Oleh itu, jika wujud $E2(d) \neq 1$, maka, dinamik kalut hadir dalam siri masa yang diperhatikan.

MODEL PERAMALAN

MODEL REGRESI LINEAR

Peramalan melalui model regresi linear adalah menggunakan persamaan $x_{n+1} = Ax_n + B$ dengan x_{n+1} adalah siri masa yang diramal menggunakan siri masa sebelumnya, x_n . Parameter A dan B dikira menggunakan kaedah kuasa dua terkecil ke atas siri masa latihan.

MODEL KALUT KAEDAH PENGHAMPIRAN LINEAR SETEMPAT (KPLS)

Siri masa latihan daripada (1) dibina semula ke dalam ruang fasa (4) dengan nilai τ daripada kaedah purata maklumat bersama dan nilai m daripada kaedah Cao. Bagi siri masa yang kalut, peramalan jangka pendek sahaja dibenarkan (Sprott 2003). Oleh itu, peramalan satu jam ke hadapan dilakukan. Peramalan satu jam ke hadapan ini diterjemahkan melalui fungsi f menggunakan persamaan $\mathbf{Y}_{j+1}^m = f(\mathbf{Y}_j^m)$. \mathbf{Y}_j^m adalah ruang fasa terakhir dan \mathbf{Y}_{j+1}^m adalah ruang fasa di $j+1$ masa hadapan. Fungsi f bagi kaedah penghampiran linear setempat diselesaikan melalui $\mathbf{Y}_{j+1}^m = C\mathbf{Y}_j^m + D$. Parameter C dan D dikira menggunakan kaedah kuasa dua terkecil ke atas siri masa latihan.

MODEL BAHARU PENAMBAHBAIKAN KAEDAH PENGHAMPIRAN LINEAR SETEMPAT (KPPLS)

Dalam model sedia ada, parameter C dan D dikira menggunakan siri masa latihan. Namun, bagi model baharu, setiap kali peramalan dijalankan, siri masa dikemaskini. Maka, untuk setiap peramalan, terdapat persamaan baharu $\mathbf{Y}_{j+1}^m = C_n \mathbf{Y}_j^m + D_n$. Dalam erti kata lain, bagi model lama, hanya satu persamaan linear yang dibina. Tetapi, bagi model baharu, sekiranya bilangan siri masa ujian adalah n , maka, terdapat n persamaan linear yang dihasilkan.

PETUNJUK PRESTASI

Model dibandingkan prestasinya menggunakan tiga petunjuk prestasi iaitu purata ralat multak prm (prm

$$= \frac{\sum_{L=1}^u |F_L - O_L|}{u}), \text{ ralat punca purata kuasa dua } rppkd$$

$$(rppkd = \sqrt{\frac{1}{u} \sum_{L=1}^u (F_L - O_L)^2}) \text{ dan pekali kolerasi } pk \text{ (} pk =$$

$$\frac{\sum_{L=1}^u (F_L - \bar{F})(O_L - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{L=1}^u (F_L - \bar{F})^2} \sqrt{\sum_{L=1}^u (O_L - \bar{O})^2}). \text{ Parameter } u \text{ adalah bilangan}$$

siri masa X_{ujian} , F_L dan O_L masing-masing adalah siri masa ramalan dan sebenar pada jam ke $-L$ sementara \bar{F} dan \bar{O} masing-masing adalah purata siri masa ramalan dan sebenar. Petunjuk prestasi prm dan $rppkd$ memberi idea tentang perbezaan antara siri masa sebenar dan

ramalan. Semakin rendah nilai prm dan $rppkd$, semakin bagus prestasi model. Pekali kolerasi pk pula memberikan gambaran tentang kekuatan hubungan antara siri masa sebenar dan ramalan. Nilai pk yang menghampiri satu menunjukkan siri masa yang diramal adalah hampir dengan siri masa yang sebenar. Maka, jika nilai pk yang diperoleh menghampiri satu, model itu adalah dianggap semakin berjaya meramal keseluruhan siri masa X_{ujian} .

PERISIAN KOMPUTER

Perisian Matlab R2009b digunakan dalam keseluruhan kajian ini. Bagi mencari parameter ruang fasa dan analisa dinamik siri masa, pakej TSTOOL dalam perisian Matlab digunakan. Pakej ini telah membantu banyak kajian dalam pelbagai bidang seperti pengangkutan (Frazier & Kockelman 2004), perubatan (Mabrouk 2011) dan ekonomi (Das et al. 2012). Ini meyakinkan kajian ini bagi mengaplikasi pakej TSTOOL. Namun begitu, bagi keseluruhan pembinaan model peramalan, kod Matlab adalah dibina sendiri oleh penyelidik.

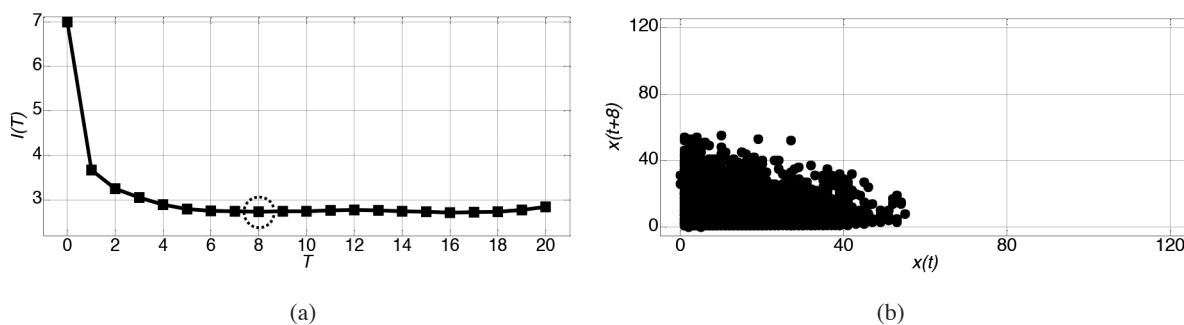
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

SIFAT KALUT SIRI MASA

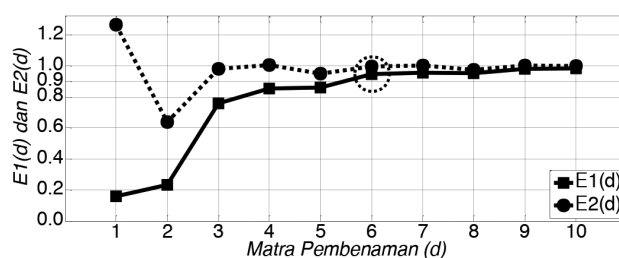
Kehadiran dinamik kalut siri masa dikesan menggunakan plot ruang fasa dan vektor ruang fasa (4). Untuk itu, parameter vektor ruang fasa iaitu τ dan m dicari. Parameter τ dikira melalui kaedah purata maklumat bersama manakala parameter m ditentukan melalui kaedah Cao. Rajah 2(a) menunjukkan keputusan kaedah purata maklumat bersama. Graf T melawan $I(T)$ adalah diplot dan nilai τ mengambil nilai minimum pertama T . Oleh itu, nilai τ siri masa yang diperhatikan adalah 8. Rajah 2(b) pula merupakan plot ruang fasa menggunakan $\tau = 8$. Adalah diperhatikan dalam Rajah 2(b), kesemua titik menumpu di kawasan segitiga yang melekap pada paksi $-x$ dan paksi $-y$. Dengan kewujudan rantau penarik segitiga ini, dinamik kalut didapati hadir dalam siri masa ozon yang diperhatikan di Jerantut ini.

Rajah 3 pula merupakan keputusan kaedah Cao. Dapat diperhatikan dalam Rajah 3, $El(d)$ mula menepu selepas $d_0 = 5$. Oleh itu, parameter matra pembenaman yang dicari adalah $m = 6 (d_0 + 1)$. $El(d)$ menepu apabila d meningkat. Maka, dinamik kalut hadir dalam siri masa ozon. Tambahan pula, wujud $E2(d) \neq 1$. Ini mengukuhkan lagi bahawa dinamik kalut hadir dalam siri masa ozon yang dikaji.

Parameter m merujuk kepada bilangan pemboleh ubah minimum yang mempengaruhi siri masa yang dikaji. Maka, terdapat sekurang-kurangnya enam faktor (pemboleh ubah) yang mempengaruhi siri masa ozon di Jerantut. Menurut kajian terkini seperti Awang et al. (2015), Banan et al. (2013), Ismail et al. (2016) dan Toh et al. (2013), ozon di Malaysia dipengaruhi oleh kehadiran cahaya matahari, kehadiran gas pelopor seperti NO_x , VOC, CH_4 dan CO melalui aktiviti perindustrian serta pelepasan kenderaan



RAJAH 2. a) Keputusan purata maklumat bersama dan b) Plot ruang fasa



RAJAH 3. Keputusan kaedah Cao

bermotor, kepadatan penduduk, kadar urbanisasi dan faktor meteorologi seperti suhu, bayu laut, kelembapan relatif, radiasi solar, tenaga solar, arah angin serta kelajuan angin. Daripada senarai ini, terdapat lebih daripada enam pemboleh ubah yang mempengaruhi siri masa ozon. Oleh itu, keputusan nilai m dari kaedah Cao ini adalah serasi dengan bilangan faktor yang disenaraikan.

Daripada kedua-dua keputusan plot ruang fasa dan kaedah Cao, dapat disimpulkan bahawa siri masa ozon di stesen asas adalah bersifat kalut. Oleh kerana nilai $m = 6$, iaitu bawah 10, maka, sifat kalut siri masa dicirikan sebagai kalut bermatra rendah. Kalut bermatra rendah membawa maksud yang siri masa ozon boleh diterangkan melalui beberapa (sedikit) pemboleh ubah sahaja. Ini merupakan ciri yang berlawanan dengan siri masa rawak yang dipengaruhi oleh bilangan pemboleh ubah yang besar (Sivakumar et al. 1999).

KEPUTUSAN MODEL PERAMALAN

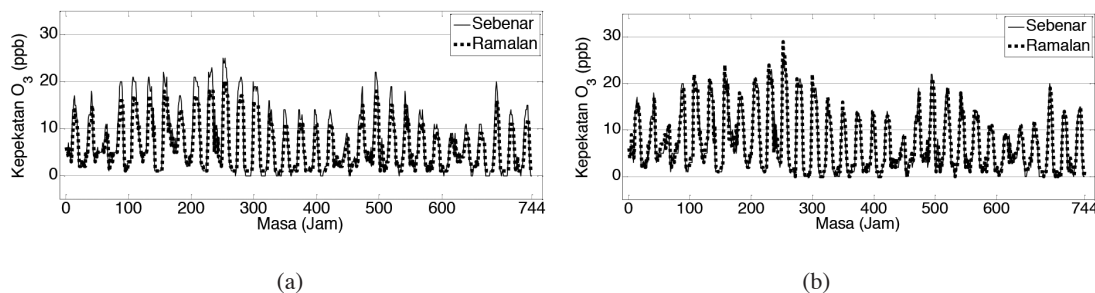
Menggunakan kombinasi parameter $\tau = 8$ dan $m = 6$, ruang fasa (4) dibina bagi tujuan peramalan. Selanjutnya, menggunakan ruang fasa tersebut, siri masa $X_{latihan}$ adalah diramal melalui kaedah penghampiran linear setempat (kpls) dan kaedah penambahbaikannya (kppls).

Sebagai perbandingan, peramalan melalui kaedah tradisi regresi linear turut dijalankan. Untuk setiap model, petunjuk prestasi adalah dikira. Jadual 2 menunjukkan perbandingan nilai prm , $rppkd$ dan pk bagi setiap model peramalan. Perbandingan menunjukkan bahawa model pendekatan penambahbaikan kppls mengurangkan prm dan $rppkd$ serta meningkatkan pk . Penurunan nilai prm dan $rppkd$ serta peningkatan nilai pk menunjukkan bahawa model penambahbaikan mengatasi kedua-dua model yang lain. Model penambahbaikan telah mengurangkan antara 22-30% prm dan 20-28% $rppkd$ serta meningkatkan sebanyak 3% pk . Justeru, ini menunjukkan bahawa peramalan melalui model penambahbaikan adalah lebih baik berbanding model lain.

Rajah 4 merupakan hasil peramalan model kalut. Model sedia ada kpls adalah lemah dalam meramal nilai tinggi. Model baharu kppls memperbaiki kelemahan tersebut yang mana hampir semua nilai tinggi diramal dengan sempurna. Ini menunjukkan bahawa kaedah kppls berjaya memperbaiki kelemahan model sedia ada. Jika dilihat secara keseluruhan, mungkin ada yang mengandaikan bahawa model kppls akan mengambil masa yang lebih lama kerana setiap kali peramalan baharu dilakukan, persamaan linear yang baharu dihasilkan

JADUAL 2. Petunjuk prestasi

Petunjuk prestasi	Regresi linear	kpls	kppls
prm	1.7728	1.9691	1.3844
$rppkd$	2.5323	2.8168	2.0181
pk	0.9224	0.9235	0.9496



RAJAH 4. Keputusan peramalan ozon melalui a) kpls dan, b) kppls

kerana bilangan data siri masa dikemaskini untuk setiap peramalan baharu. Namun begitu, menggunakan fungsi gelung dalam perisian Matlab, masalah masa tidak menjadi isu lagi kerana masa bagi meramal siri masa menggunakan model kppls juga lebih kurang sama dengan model kpls dan regresi linear.

KESIMPULAN

Dalam kajian ini, sifat kalut bermatra rendah siri masa ozon setiap jam telah dikesan melalui plot ruang fasa dan kaedah Cao. Terdapat tiga model peramalan yang dibina iaitu model regresi linear, model kalut menggunakan kaedah penghampiran linear setempat serta model penambahbaikannya. Perbandingan prestasi peramalan melalui *prm*, *rppkd* dan *pk* mendapati bahawa peramalan melalui model penambahbaikan adalah lebih baik berbanding model lain. Maka, pembinaan model baharu ini adalah berbaloi. Penemuan kaedah baharu dalam kajian ini diharapkan dapat membantu memudahkan usaha pihak berkepentingan seperti Jabatan Alam Sekitar dalam menguruskan isu pencemaran udara, khususnya pencemar udara ozon.

CADANGAN KAJIAN LANJUTAN

Kajian rintis oleh Hamid dan Noorani (2013) telah meramal ozon di stesen asas menggunakan $\tau = 1$ dan $m = 6$ melalui kaedah Cao. Dalam kajian ini pula, $\tau = 8$ dikira melalui kaedah purata maklumat bersama manakala $m = 6$ juga dikira melalui kaedah Cao. Pada masa hadapan, kaedah mencari m boleh divariasikan. Antara cadangan kaedah pencarian m adalah seperti kaedah songsang, kaedah matra kolerasi dan kaedah jiran terdekat palsu. Selain itu, lokasi peramalan boleh diluaskan ke kawasan dengan indeks pencemaran udara tinggi seperti kawasan Lembah Klang. Hamid dan Noorani (2014) telah menjalankan kajian rintis ke atas siri masa PM_{10} . Adalah dicadangkan, model baharu ini diaplikasi ke atas pencemar udara PM_{10} dan juga siri masa bahan pencemar lain seperti jerebu dan karbon monoksida. Selain itu, kajian oleh Adenan dan Noorani (2015, 2014) berjaya mengaplikasi kaedah kalut dalam bidang hidrologi di Malaysia. Maka, pada masa hadapan, pendekatan ini

boleh diperluaskan ke atas bidang-bidang lain seperti ekonomi dan perubatan.

PENGHARGAAN

Terima kasih kepada Jabatan Alam Sekitar Malaysia atas perkongsian data. Kajian ini adalah di bawah tajaan geran penyelidikan dengan kod 2015-0174-102-72 (RAGS/1/2015/SG0/UPSI/02/1), DIP-2014-034 dan FRGS/1/2014/ST06/UKM /01/1.

RUJUKAN

- Abarbanel, H.D.I. 1996. *Analysis of Observed Chaotic Data*. New York: Springer-Verlag.
- Adenan, N.H. & Noorani, M.S.M. 2014. Nonlinear prediction of river flow in different watershed acreage. *KSCE Journal of Civil Engineering* 18(7): 2268-2274. doi:10.1007/s12205-014-0646-4.
- Adenan, N.H. & Noorani, M.S.M. 2015. Predicting time series data at floodplain area using chaos approach. *Sains Malaysiana* 44(3): 463-471.
- Awang, N.R., Elbayoumi, M., Ramli, N.A. & Yahaya, A.S. 2015. Diurnal variations of ground-level ozone in three port cities in Malaysia. *Air Qual Atmos Health*. doi:10.1007/s11869-015-0334-7.
- Banan, N., Latif, M.T., Juneng, L. & Ahamad, F. 2013. Characteristics of surface ozone concentrations at stations with different backgrounds in the Malaysian Peninsula. *Aerosol and Air Quality Research* 13: 1090-1106. doi:10.4209/aaqr.2012.09.0259.
- Cakmak, S., Hebborn, C., Vanos, J., Crouse, D.L. & Burnett, R. 2016. Ozone exposure and cardiovascular-related mortality in the Canadian Census Health and Environment Cohort (CANHEC) by spatial synoptic classification zone. *Environmental Pollution* 214(2): 589-599. doi:10.1016/j.envpol.2016.04.067.
- Cao, L. 1997. Practical method for determining the minimum embedding dimension of a scalar time series. *Physica D* 110: 43-50.
- Chattopadhyay, G. & Chattopadhyay, S. 2008. A probe into the chaotic nature of total ozone time series by correlation dimension method. *Soft Computing* 12: 1007-1012. doi:10.1007/s00500-007-0267-7.
- Chelani, A.B. 2010. Nonlinear dynamical analysis of ground level ozone concentrations at different temporal scales. *Atmospheric Environment* 44(34): 4318-4324. doi:10.1016/j.atmosenv.2010.07.028.

- Chen, J., Islam, S. & Biswas, P. 1998. Nonlinear dynamics of hourly ozone concentrations: Nonparametric short term prediction. *Atmospheric Environment* 32(11): 1839-1848.
- Cuculeanu, V., Rada, C. & Lupu, A. 2009. Study on the geometrical and dynamical characteristics of the Arosa ozone series attractor. *Geophysique* 52-53: 77-85.
- Das, A., Das, P. & Çoban, G. 2012. Chaotic analysis of the foreign exchange rates during 2008 to 2009 recession. *African Journal of Business Management* 6(15): 5226-5233. doi:10.5897/AJBM11.2682.
- Domenico, M.D., Ali, M., Makarynsky, O. & Makarynska, D. 2013. Chaos and reproduction in sea level. *Applied Mathematical Modelling* 37(6): 3687-3697. doi:10.1016/j.apm.2012.08.018.
- Frazier, C. & Kockelman, K.M. 2004. Chaos theory and transportation systems: An instructive example. *Transportation Research* 1897: 9-17.
- Ghazali, N.A., Ramli, N.A., Yahaya, A.S., Yusof, N.F.F.M., Sansuddin, N. & Madhoun, W.A.A. 2010. Transformation of nitrogen dioxide into ozone and prediction of ozone concentrations using multiple linear regression techniques. *Environ. Monit. Assess.* 165: 475-489. doi:10.1007/s10661-009-0960-3.
- 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, Computational Science and Engineering* 7(11): 206-211.
- Hamid, N.Z.A. & Noorani, M.S.M. 2014. A pilot study using chaotic approach to determine characteristics and forecasting of PM10 concentration time series. *Sains Malaysiana* 43(3): 475-481.
- Ismail, M., Abdullah, S., Yuen, F.S. & Ghazali, N.A. 2016. A ten-year investigation on ozone and its precursors at Kemaman, Terengganu, Malaysia. *Environmental Asia* 9(1): 1-8. doi:10.14456/ea.1473.1.
- Kocak, K., Saylan, L. & Sen, O. 2000. Nonlinear time series prediction of O₃ concentration in Istanbul. *Atmospheric Environment* 34: 1267-1271.
- Lakshmi, S.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: 191-204. doi:10.1016/j.cageo.2007.11.011.
- Mabrouk, M.S. 2011. A nonlinear pattern recognition of pandemic H1N1 using a state space based methods. *Avicenna Journal of Medical Biotechnology* 3(1): 25-29.
- Madaniyazi, L., Nagashima, T., Guo, Y., Pan, X. & Tong, S. 2016. Projecting ozone-related mortality in East China. *Environment International* 92-93: 165-172. doi:10.1016/j.envint.2016.03.040.
- Muhamad, M., Ul-saufie, A.Z. & Deni, S.M. 2015. Three days ahead prediction of daily 12 hour ozone (O₃) concentrations for urban area in Malaysia. *Journal of Environmental Science and Technology* 8(3): 102-112. doi:10.3923/jest.2015.102.112.
- Norazian, M.N., Shukri, Y.A., Azam, R.N. & Bakri, A.M.M.A. 2008. Estimation of missing values in air pollution data using single imputation techniques. *ScienceAsia* 34: 341-345. doi:10.2306/scienceasia1513-1874.2008.34.341.
- Petkov, B.H., Vitale, V., Mazzola, M., Lanconelli, C. & Lupi, A. 2015. Chaotic behaviour of the short-term variations in ozone column observed in Arctic. *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat.* 26(1-3): 238-249. doi:10.1016/j.cnsns.2015.02.020.
- Sivakumar, B. 2002. A phase-space reconstruction approach to prediction of suspended sediment concentration in rivers. *Journal of Hydrology* 258: 149-162.
- Sivakumar, B., Liong, S.Y., Liaw, C.Y. & Phoon, K.K. 1999. Singapore rainfall behaviour: Chaotic? *Journal of Hydrologic Engineering* 4(1): 38-48.
- Sprott, J.C. 2003. *Chaos and Time-Series Analysis*. Oxford: Oxford University Press.
- Tan, K.C., Lim, H.S. & Jafri, M.Z.M. 2016. Prediction of column ozone concentrations using multiple regression analysis and principal component analysis techniques: A case study in peninsular Malaysia. *Atmospheric Pollution Research* 7(3): 533-546. doi:10.1016/j.apr.2016.01.002.
- Toh, Y.Y., Lim, S.F. & von Glasow, R. 2013. The influence of meteorological factors and biomass burning on surface ozone concentrations at Tanah Rata, Malaysia. *Atmospheric Environment* 70: 435-446. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.01.018.

Nor Zila Abd Hamid*
 Jabatan Matematik, Fakulti Sains dan Matematik
 Universiti Pendidikan Sultan Idris
 35900 Tanjung Malim, Perak Darul Ridzuan
 Malaysia

Mohd Salmi Md Noorani
 Pusat Pengajian Sains Matematik
 Fakulti Sains dan Teknologi
 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan
 Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: nor_zila@yahoo.com

Diserahkan: 22 Julai 2016

Diterima: 13 Januari 2017