

Suatu Kajian Perintis Menggunakan Pendekatan Kalut bagi Pengesanan Sifat dan Peramalan Siri Masa Kepekatan PM_{10}

(A Pilot Study using Chaotic Approach to Determine Characteristics and Forecasting of PM_{10} Concentration Time Series)

NOR ZILA ABD HAMID* & MOHD SALMI MD NOORANI

ABSTRAK

Peramalan kepekatan PM_{10} adalah penting kerana menyedut udara mengandungi PM_{10} boleh membawa kepada pelbagai penyakit kronik seperti kanser dan bronkitis. Kajian ini merupakan kajian perintis menggunakan pendekatan kalut bagi meramal PM_{10} di Malaysia. Data yang dikaji adalah siri masa PM_{10} mengikut jam yang dicerap di stesen penanda aras yang terletak dalam daerah Jerantut di negeri Pahang. Pendekatan kalut mempunyai dua langkah iaitu pembinaan semula ruang fasa dan proses peramalan. Melalui langkah 1, ruang fasa pelbagai-matra dibina menggunakan parameter masa tunda $\tau = 7$ dan matra membenaman $m = 4$ yang masing-masing diperolehi daripada kaedah maklumat purata bersama dan kaedah Cao. Hasil daripada gambarajah ruang fasa dan juga plot parameter kaedah Cao mempamerkan bahawa data bersifat kalut. Melalui langkah 2, peramalan satu jam ke hadapan selama sebulan siri masa PM_{10} dijalankan menggunakan kaedah penghampiran setempat. Nilai pekali kolerasi antara data ramalan dan data sebenar hanyalah 0.5692. Namun, graf perbandingan menunjukkan bahawa data ramalan adalah hampir dengan data sebenar dengan nilai ralat punca min kuasa dua peramalan adalah 7.6814. Ini menunjukkan kesesuaian penggunaan kaedah penghampiran setempat dalam meramal siri masa PM_{10} dan ia merupakan petanda positif bahawa pendekatan kalut ini boleh diguna pakai ke atas siri masa bahan pencemar di Malaysia.

Kata kunci: Kaedah penghampiran setempat; Malaysia; pendekatan kalut; peramalan; PM_{10}

ABSTRACT

Forecasting of PM_{10} concentration is important as breathing air containing PM_{10} can lead to chronic diseases such as cancer and bronchitis. This study is a pilot study using chaotic approach to forecast PM_{10} in Malaysia. Studied data is a time series of observed hourly PM_{10} at benchmark station located in the district of Jerantut in Pahang state. Chaotic approach has two steps, namely the phase space reconstruction and the forecasting process. Through step 1, multi-dimensional phase space is reconstructed using the parameters of the delay time $\tau = 7$ and embedding dimension $m = 4$, respectively, derived from the average mutual information and Cao method. The results from the phase space diagram and parameter plot of Cao method demonstrates that the data are chaotic. Through step 2, 1 h ahead forecasting for a month PM_{10} time series is carried out using the local approximation method. Correlation coefficient value between the actual and forecasted data is only 0.5692. However, comparison graphs show that forecasted data are close to the actual data with root mean square error value 7.6814. This demonstrates the suitability of the local approximation method to forecast the time series of PM_{10} and it's a positive sign that this chaotic approach is applicable to the time series of pollutants in Malaysia.

Keywords: Chaotic approach; forecast; local approximation method; Malaysia; PM_{10}

PENGENALAN

Pencemaran udara mendatangkan kesan buruk ke atas kesihatan sejagat. Menyedut udara mengandungi zarah terampai (PM_{10}) menyebabkan pelbagai penyakit kronik seperti kanser paru-paru, strok, penyakit kardiovaskular, bronkitis dan asma (Martuzzi et al. 2006). Hal ini menjadi beban kepada masyarakat dan mengurangkan produktiviti negara kerana terjejasnya kesihatan penduduk. Jabatan Alam Sekitar Malaysia (JASM 2013) diberikan tanggungjawab memantau tahap pencemaran udara di Malaysia. Terdapat lima jenis pencemar yang dipantau iaitu PM_{10} , karbon monoksida (CO), nitrogen

monoksida (NO), sulfur dioksida (SO_2) dan ozon (O_3). Namun, sering dilaporkan kepekatan PM_{10} adalah yang tertinggi berbanding dengan pencemar yang lain (JASM 2013). Oleh itu, kajian terhadap status kepekatan PM_{10} ini dari semasa ke semasa adalah amat penting. Afroz et al. (2003) dan Awang et al. (2000) mendapati PM_{10} merupakan antara pencemar utama yang mempengaruhi pencemaran udara di Malaysia. Peramalan PM_{10} di Malaysia menggunakan kaedah regresi linear berganda oleh UI-Saufie et al. (2011, 2012) menunjukkan hasil yang memuaskan. Kaedah regresi ini melibatkan penggunaan data pemboleh ubah daripada faktor yang mempengaruhi

kepekatan PM_{10} seperti faktor meteorologi dan gas. Namun, sekiranya data daripada pembolehubah yang diperlukan adalah tidak mencukupi, satu pendekatan alternatif diperlukan bagi melakukan peramalan. Maka dalam kajian ini, diperkenalkan pendekatan kalut.

Peramalan melalui pendekatan kalut hanya berdasarkan data PM_{10} yang lepas, tanpa melibatkan data daripada pembolehubah yang lain. Peringkat pembinaan semula ruang fasa dalam pendekatan kalut telah digunakan dengan meluasnya untuk mengesan sifat kalut dalam pelbagai jenis data seperti data aliran sungai (Khatibi et al. 2012; Regonda et al. 2005) dan hujan (Radhakrishnan & Dinesh 2006; Sivakumar et al. 1999). Pengesanan sifat pelbagai bahan pencemar udara seperti NO , NO_2 (nitrogen dioksida), CO , PM_{10} dan O_3 juga telah dijalankan menggunakan pendekatan ini (Chelani 2010; Chelani & Devotta 2006; Chen et al. 1998; Kocak et al. 2000).

Sifat data boleh dikategorikan kepada dua jenis, berketentuan dan rawak. Dinamik data berketentuan yang bergerak dari titik awal dan melalui trajektorinya dapat dilihat. Maka, data berketentuan boleh diramal. Data yang tidak berketentuan adalah rawak dan tidak boleh diramal (Ruhm 2008). Sifat kalut adalah sifat yang berada antara berketentuan dan rawak (Abarbanel 1996). Data yang kalut adalah berketentuan, namun, dinamikanya peka terhadap isyarat awal. Sedikit perubahan pada isyarat awal boleh membawa kepada perubahan yang besar pada masa hadapan. Oleh itu, peramalan jangka pendek sahaja yang dibenarkan bagi data bersifat kalut. Kaedah penghampiran setempat dipilih kerana kaedah ini adalah berketentuan dengan peramalan data pada masa hadapan bergantung kepada data pada masa lepas. Kaedah ini diperkenalkan oleh Farmer dan Sidorowich (1987) yang mengaplikasikannya ke atas data sintetik Mackey-Glass, Rayleigh-Benard dan aliran Taylor-Couette. Kaedah ini diteruskan untuk meramal data sintetik yang lain seperti peta logistik dan aliran Lorenz (Gueyan & Leroux 2008; Hamid & Noorani 2013; Meng & Peng 2007). Dalam kajian terhadap data pencemar udara, kaedah ini telah digunakan oleh Chelani dan Devotta (2007) untuk meramal CO , Khokhlov et al. (2008) untuk meramal NO_2 dan SO_2 serta Chen et al. (1998) dan Kocak et al. (2000) untuk meramal O_3 . Kesemua hasil peramalan adalah cemerlang. Chelani dan Devotta (2006) memperoleh hasil yang cemerlang terhadap peramalan PM_{10} dengan pekali kolerasi 0.97. Keputusan menggalakkan ini mengujakan para penulis untuk melihat keberkesanan kaedah penghampiran setempat ini ke atas data PM_{10} dari Malaysia.

Sepanjang pengetahuan penulis, kajian ini merupakan kajian perintis yang pertama membawa pendekatan kalut untuk mengesan sifat kalut dan meramal data PM_{10} di Malaysia. Data PM_{10} akan dibina semula ke dalam ruang fasa pelbagai-matra. Melalui ruang fasa ini, pengesanan sifat dan peramalan dijalankan. Prestasi peramalan diukur berdasarkan nilai pekali kolerasi dan ralat punca min kuasa dua.

PENDEKATAN KALUT

PEMBINAAN SEMULA RUANG FASA

Data yang dicerap direkodkan dalam bentuk vektor satu-matra, X iaitu:

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

dengan x_t adalah data pada jam t dan N adalah jumlah jam pencerapan. Data X akan dibina semula ke dalam ruang fasa matra- m :

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

Parameter masa tunda, τ dan matra pembenaman, m perlu ditentukan terlebih dahulu. Dalam kajian ini, kaedah maklumat purata bersama dan kaedah Cao telah dipilih.

KAEDAH MAKLUMAT PURATA BERSAMA

Nilai τ merupakan sela masa bagi menggambarkan struktur penarik ruang fasa. Jika τ terlalu kecil, ruang fasa tidak bebas lalu mengakibatkan kehilangan ciri penarik. Namun, jika terlalu besar, mungkin terdapat data yang tidak berkolerasi antara satu sama lain (Velickov 2004). Menurut Velickov (2004), kaedah maklumat purata bersama menunjukkan prestasi yang baik dalam menentukan nilai τ bagi data nyata.

Maklumat purata bersama ialah:

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

dengan $p(u_a)$ dan $p(u_{a+T})$ adalah kebarangkalian mendapatkan u_a dan u_{a+T} dalam siri masa X 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 . Untuk nilai τ yang telah diperoleh, gambarajah ruang fasa dibina. Ruang fasa diplotkan dalam satah $\{x_t, x_{t+\tau}\}$. Kewujudan sebuah rantau penarik menunjukkan bahawa sifat data adalah kalut (Sivakumar 2002).

KAEDAH CAO

m adalah bilangan minimum pemboleh ubah yang diperlukan untuk menerangkan sifat data (Regonda et al. 2005). Terdapat sekurang-kurangnya m pemboleh ubah yang mempengaruhi siri masa yang dikaji. m dikira menggunakan kaedah Cao (1997) kerana selain mencari parameter m , kaedah ini juga dapat membezakan antara sifat kalut dan rawak data (Cao 1997). m daripada kaedah Cao dikira melalui $E1(m) = E(m+1)/E(m)$ dengan $E(m)$

$= \frac{1}{N - m\tau} \sum_{j=1}^{N-m\tau} \frac{\|Y_j^{m+1} - Y_n^{m+1}\|}{\|Y_j^m - Y_n^m\|}$. $\|\bullet\|$ adalah norma maksimum. Y_n^m adalah jiran terdekat kepada Y_j^m . Jika $E1(m)$ berhenti

berubah apabila nilai m lebih besar daripada nilai m_0 , maka $m_0 + 1$ adalah matra pembenaman minimum. Bagi data siri masa yang rawak, $E1(m)$ tidak akan mencapai nilai tepu dengan peningkatan m . Oleh itu, graf $E1(m)$ melawan m boleh digunakan untuk membezakan samada data adalah kalut atau rawak.

Bagi tujuan pengukuhan, Cao (1997) turut memperkenalkan pengiraan $E2(m)$, dengan $E2(m) = E^*(m+2)/E^*(m)$ dan $E^*(m) = \frac{1}{N - m\tau} \sum_{j=1}^{N-m\tau} |x_{j+\tau}^m - x_{n+\tau}^m|$. Untuk data rawak, kerana nilai masa depan data adalah bebas daripada nilai yang lepas, maka $E2(m)$ akan sama dengan 1 bagi mana-mana m . Walau bagaimanapun, bagi data yang kalut, nilai masa depan data adalah berdasarkan daripada nilai yang lepas dan nilai $E2(m)$ tidak tetap untuk semua m . Dalam erti kata lain, pasti wujud beberapa m dengan $E2(m) \neq 1$. Oleh itu, jika wujud $E2(m) \neq 1$, maka, siri masa yang diperhatikan adalah kalut.

KAEDAH PENGHAMPIRAN SETEMPAT

Siri masa daripada (1) dibina semula ke dalam ruang fasa (2) dengan nilai τ daripada kaedah purata maklumat bersama dan nilai m daripada kaedah Cao. Dinamik ruang fasa ditafsirkan melalui fungsi f melalui persamaan $Y_{j+\tau}^m = f(Y_j^m)$, Y_j^m adalah ruang fasa terakhir dan $Y_{j+\tau}^m$ adalah ruang fasa di $j+\tau$ masa hadapan. Bagi data yang kalut, peramalan jangka pendek sahaja dibenarkan. Oleh itu, peramalan satu jam ke hadapan dilakukan ($T = 1$). Penganggaran f diselesaikan sama ada secara global atau setempat. Pendekatan global adalah dengan mencari f yang sesuai untuk keseluruhan ruang fasa. Pendekatan setempat pula bekerja dengan sebahagian ruang fasa sahaja. Melalui pendekatan setempat, peramalan Y_{j+1}^m dilakukan berdasarkan nilai jiran terdekat kepada Y_j^m dalam sebuah kawasan kejiranan. k jiran terdekat Y_j^m dipilih berdasarkan nilai minimum $\|Y_{j'}^m - Y_j^m\|$ dengan $j' < j$. Jika hanya satu jiran terdekat digunakan ($k = 1$),

maka penghampiran bagi Y_{j+1}^m adalah $Y_{j'}^m$. Oleh kerana kebiasaannya $k > 1$, peramalan Y_{j+1}^m diambil sebagai purata bagi nilai $Y_{j'}^m$ iaitu $Y_{j+1}^m = \frac{1}{k} \sum_{q=1}^k Y_{j_q}^m$. Nilai k ditentukan melalui kaedah cuba dan jaya manakala prestasi peramalan diukur menggunakan pekali kolerasi. Semakin hampir pekali kolerasi kepada satu, semakin cemerlang hasil peramalan. Sebagai tambahan, ralat punca min kuasa dua juga digunakan. Semakin kecil nilai ralat ini, semakin baik peramalan.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

DATA KEPEKATAN PM₁₀

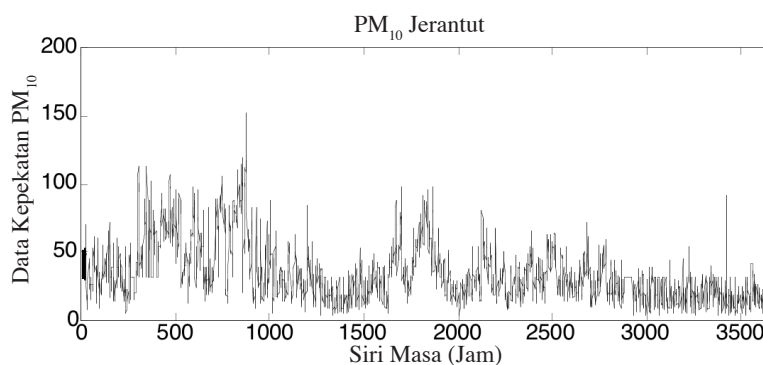
Siri masa kepekatan PM₁₀ yang dikaji adalah dicerap mengikut jam di stesen penanda aras yang terletak dalam daerah Jerantut, di negeri Pahang, Malaysia dan tempoh masa yang digunakan adalah enam bulan (1 Julai 2009 hingga 31 Disember 2009). Lima bulan pertama data (3672 data) digunakan sebagai data latihan dan selebihnya sebanyak 744 data digunakan untuk menguji prestasi peramalan. Data kepekatan PM₁₀ dicerap dalam unit $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Daripada keseluruhan 4416 data, terdapat 5.4% data hilang dan digantikan dengan nilai min data. Penerangan statistik data disenaraikan dalam Jadual 1 dan data latihan adalah seperti Rajah 1.

SIFAT DATA: KALUT ATAU RAWAK?

Daripada Rajah 2, didapati bahawa $\tau = 7$. Ruang fasa $\{x_t, x_{t+\tau}\}$ dibina menggunakan $\tau = 7$. Melalui ruang fasa ini, dinamik data yang bermula dari satu titik asal, melalui trajektori dan bergerak dalam satu ruang dapat dilihat. Terdapat beberapa titik terpencil yang menjauhi ruang itu. Namun, kebanyakan titik berada dalam trajektori ruang itu. Ini menunjukkan bahawa data PM₁₀ adalah berketentuan. Maka, data ini boleh diramalkan. Didapati

JADUAL 1. Penerangan statistik siri masa PM₁₀

Min	Median	Mod	Sisihan Piawai	Varians	Kurtosis	Kepencongan	Minimum	Maksimum
35	30	32	20.50	420.07	1.67	1.29	5	152



RAJAH 1. Siri masa kepekatan PM₁₀

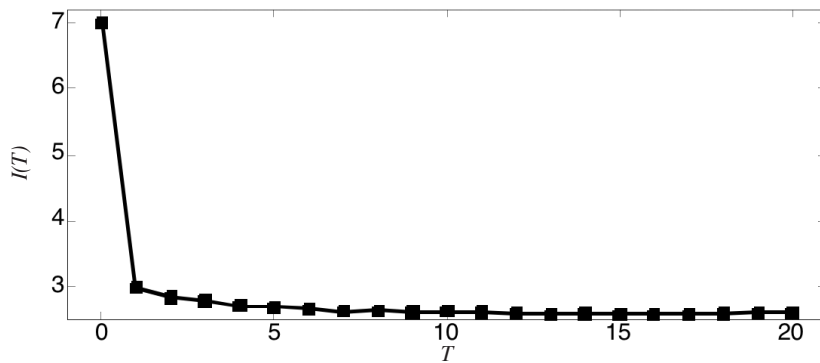
bahawa wujud satu rantau penarik dalam ruang fasa yang mencadangkan bahawa data bersifat kalut (Sivakumar 2002). Berbeza dengan data rawak kerana titik data akan memenuhi ruang fasa dan tidak wujud apa-apa ruang penarik dalam ruang fasa (Rajah 3). Perbezaan antara gambarajah ruang fasa kalut dan rawak dapat dilihat dengan lebih lanjut dalam kajian oleh Chen et al. (1998).

Daripada Rajah 4, dapat dilihat nilai m mula menepu selepas $m_0 = 3$. Maka, nilai m yang dicari adalah empat ($m_0 + 1$). Bagi data siri masa daripada set rawak, $E1(m)$ tidak akan mencapai nilai tepu dengan peningkatan m . Rajah 4 mengesahkan bahawa data PM_{10} yang dikaji adalah kalut kerana m mula menepu pada $m = 4$. Dalam Rajah 5 terdapat nilai $E2(m)$ dengan $E2(m) \neq 1$. Wujud $E2(m) \neq 1$

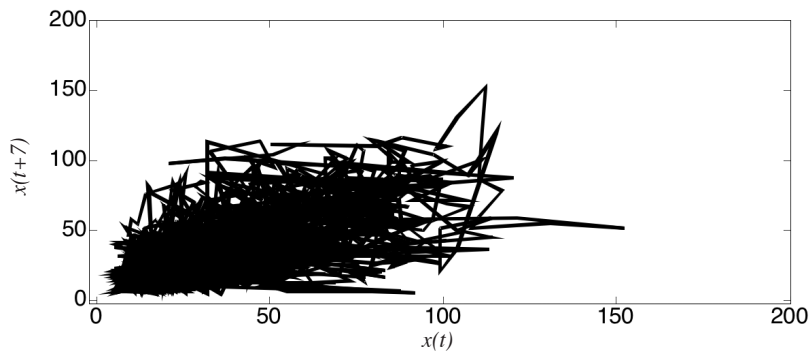
menunjukkan bahawa data yang dikaji adalah kalut. Maka, ketiga-tiga bukti iaitu kewujudan rantau penarik dalam ruang fasa, penepuan nilai m bagi parameter $E1(m)$ dan $E2(m) \neq 1$ mengukuhkan bahawa siri masa PM_{10} yang dikaji bersifat kalut. Maka, peramalan jangka pendek bagi siri masa ini boleh diteruskan.

FAKTOR YANG MEMPENGARUHI SIRI MASA
KEPEKATAN PM_{10}

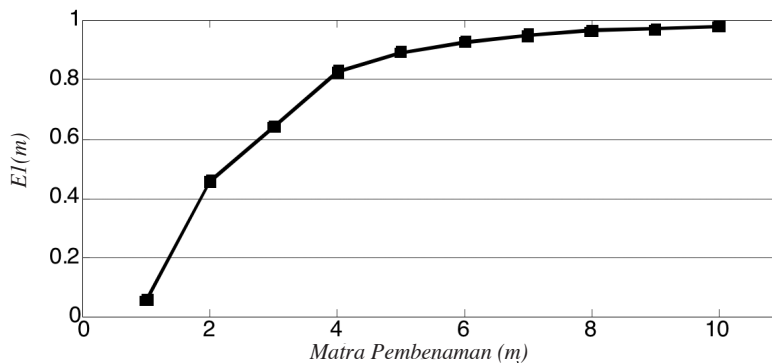
$m = 4$ daripada kaedah Cao memberikan idea bahawa sekurang-kurangnya empat pemboleh ubah yang mempengaruhi data PM_{10} yang dikaji. Telah pun disenaraikan dalam kajian lepas bahawa siri masa PM_{10} di Malaysia dipengaruhi oleh kelajuan angin, kelembapan,



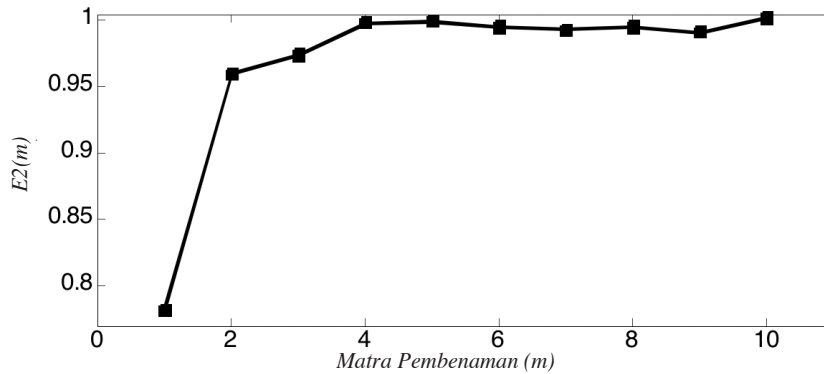
RAJAH 2. Maklumat purata bersama



RAJAH 3. Gambarajah ruang fasa



RAJAH 4. $E1(m)$ daripada kaedah Cao



RAJAH 5. $E_2(m)$ daripada kaedah Cao

suhu, asap daripada kenderaan dan industri, asap daripada pembakaran bahan api, pembakaran terbuka, kepekatan PM_{10} di masa lepas dan kehadiran bahan pencemar lain seperti NO_2 , SO_2 dan CO (Dominick et al. 2012; Juneng et al. 2011; Ul-Saufie et al. 2012). Penyenaraian di atas mencadangkan bahawa terdapat lebih daripada empat pemboleh ubah yang mempengaruhi PM_{10} . Maka, $m = 4$ yang diperolehi adalah serasi dengan dapatan kajian lepas.

KEPUTUSAN PERAMALAN

Dengan menggunakan $\tau = 7$ dan $m = 4$, ruang fasa dibina. Menggunakan $k = 50$, peramalan satu jam ke hadapan dijalankan menggunakan kaedah penghampiran setempat. Nilai pekali kolerasi antara data sebenar dan data peramalan adalah 0.5692. Pekali kolerasi lebih daripada 0.5 menunjukkan wujud kolerasi yang sederhana antara data sebenar dan data yang diramal. Kolerasi sederhana terjadi mungkin kerana data PM_{10} yang dicerap mengandungi gangguan hingar yang terhasil bersama ketika proses pencemaran. Terdapat nilai kepekatan yang terlalu tinggi pada sesuatu tempoh masa. Nilai terencil ini terjadi mungkin kerana terdapat bendasing lain yang bercampur dengan data PM_{10} . Jika tapisan gangguan hingar dijalankan pada masa hadapan, mungkin nilai pekali kolerasi ini dapat ditingkatkan.

Rajah 6 merupakan graf perbandingan data sebenar dan data yang diramal. Walaupun untuk peramalan nilai

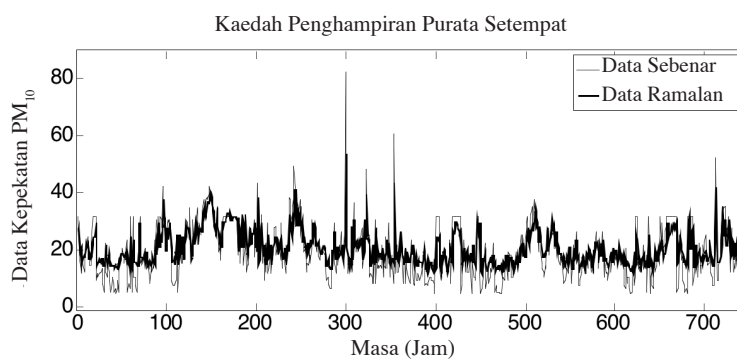
data yang terlalu rendah atau terlalu tinggi, terdapat jurang ralat yang besar, namun, selain daripada itu, data ramalan agak hampir dengan data sebenar dengan nilai ralat punca min kuasa dua adalah 7.6814. Rajah 7 pula merupakan gambarajah taburan data sebenar melawan data yang diramal dengan nilai pekali kolerasi 0.5692. Walaupun terdapat beberapa titik terencil, namun, kebanyakan titik menumpu ke garisan condong, yang menunjukkan bahawa wujudnya hubungan antara nilai yang diramal dengan nilai yang sebenar.

KESIMPULAN

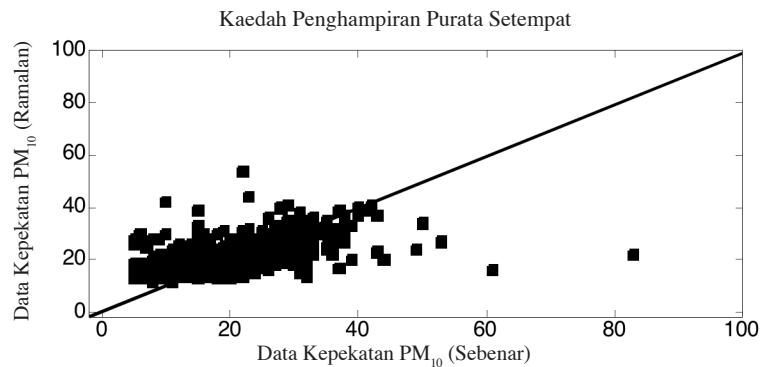
Siri masa PM_{10} yang dicerap di stesen asas di Jerantut, Pahang, Malaysia mempamerkan sifat kalut dalam gambarajah ruang fasa dan plot parameter kaedah Cao. Data selama sebulan yang diramal dengan menggunakan kaedah penghampiran setempat menunjukkan hasil yang memberangsangkan. Maka, penggunaan pendekatan kalut boleh terus diperluaskan pada masa hadapan ke atas data pencemar yang lain seperti O_3 , CO dan SO_2 .

PENGHARGAAN

Terima kasih kepada Jabatan Alam Sekitar Malaysia di atas pemberian data dan Dr. Liew Juneng dan Prof. Madya Dr. Mohd Talib Latif dari Universiti Kebangsaan Malaysia di atas segala panduan dan tunjuk ajar.



RAJAH 6. Peramalan menggunakan kaedah penghampiran setempat



RAJAH 7. Gambarajah taburan peramalan menggunakan kaedah penghampiran setempat

RUJUKAN

- Abarbanel, H.D.I. 1996. *Analysis of Observed Chaotic Data*. New York: Springer-Verlag, Inc.
- Afroz, R., Hassan, M.N. & Ibrahim, N.A. 2003. Review of air pollution and health impacts in Malaysia. *Environmental Research* 92(2): 71-77.
- Awang, M., Jaafar, A.B., Abdullah, A.M., Ismail, M., Hassan, M.N., Abdullah, R., Johan, S. & Noor, H. 2000. Air quality in Malaysia: Impacts, management issues and future challenges. *Respirology* 5: 183-196.
- Cao, L. 1997. Practical method for determining the minimum embedding dimension of a scalar time series. *Physica D* 110: 43-50.
- Chelani, A.B. & Devotta, S. 2006. Nonlinear analysis and prediction of coarse particulate matter concentration in ambient air. *Journal Air and Waste Management Association* 56: 78-84.
- Chelani, A.B. & Devotta, S. 2007. Prediction of ambient carbon monoxide concentration using nonlinear time series analysis technique. *Transportation Research Part D* 12: 596-600.
- Chelani, A.B. 2010. Nonlinear dynamical analysis of ground level ozone concentrations at different temporal scales. *Atmospheric Environment* 44: 4318-4324.
- Chen, J., Islam, S. & Biswas, P. 1998. Nonlinear dynamics of hourly O_3 concentration: Nonparametric short term prediction. *Atmospheric Environment* 32 (11): 1839-1848.
- Dominick, D., Latif, M.T., Juahir, H., Aris, A.Z. & Zain, S.M. 2012. An assessment of influence of meteorological factors on PM_{10} and NO_2 at selected stations in Malaysia. *Sustainable Environment Research* 22(5): 305-315.
- Farmer, J.D. & Sidorowich, J.J. 1987. Predicting chaotic time series. *Physical Review Letters* 59(8): 845-848.
- Gueyan, D. & Leroux, J. 2008. Forecasting chaotic systems: The role of Lyapunov Exponents. *Chaos, Solitons and Fractal* 41(5): 2401-2404.
- Hamid, N.Z.A. & Noorani, M.S.M. 2013. Modeling of prediction system: An application of the nearest neighbor approach to chaotic data. *Applied Mathematics and Computational Intelligence* 2(1): 137-148.
- Jabatan Alam Sekitar Malaysia, 2013. www.doe.gov.my. Diakses pada 1 April 2013.
- Juneng, L., Latif, M.T. & Tangang, F. 2011. Factors influencing the variations of PM_{10} aerosol dust in Klang Valley, Malaysia during the summer. *Atmospheric Environment* 45: 4370-4378.
- Khatibi, R., Sivakumar, B., Ghorbani, M.A., Kisi, O., Kocak, K. & Zadeh, D.F. 2012. Investigating chaos in river stage and discharge time series. *Journal of Hydrology* 414-415: 108-117.
- Khokhlov, V.N., Glushkov, A.V., Loboda, N.S. & Bunyakova, Y.Y. 2008. Short-range predict of atmospheric pollutants using nonlinear prediction method. *Atmospheric Environment* 42: 7284-7292.
- Kocak, K., Saylan, L. & Sen, O. 2000. Nonlinear time series prediction of O_3 concentration in Istanbul. *Atmospheric Environment* 34: 1267-1271.
- Martuzzi, M., Mitis, F., Iavarone, I. & Serinelli, M. 2006. *Health Impact of PM_{10} and Ozone in 13 Italian Cities*. Denmark: World Health Organization Regional Office for Europe.
- Meng, Q. & Peng, Y. 2007. A new local linear prediction model for chaotic time series. *Physics Letters A* 370: 465-470.
- Radhakrishnan, P. & Dinesh, S. 2006. An alternative approach to characterize time series data: Case study on Malaysian rainfall data. *Chaos, Solitons and Fractals* 27: 511-518.
- Regonda, S.K., Rajagopalan, B., Lali, U., Clark, M. & Moon, Y.I. 2005. Local polynomial method for ensemble predict of time series. *Nonlinear Process in Geophysics* 12: 397-406.
- Ruhm, K.H. 2008. *Deterministic, Nondeterministic Signals*. Institute for Dynamic Systems and Control, Zurich, Switzerland.
- Sivakumar, B., Liong, S., Liaw, C. & Phoon, K. 1999. Singapore rainfall behavior: Chaotic? *Journal of Hydrologic Engineering* January 1999: 38-48.
- Sivakumar, B. 2002. A phase-space reconstruction approach to prediction of suspended sediment concentration in rivers. *Journal of Hydrology* 258: 149-162.
- Ul-Saufie, A.Z., Yahaya, A.S., Ramli, N.A. & Hamid, H.A. 2011. Comparison between multiple linear regression and feed forward back propagation neural network models for predicting PM_{10} concentration level based on gaseous and meteorological parameters. *International Journal of Applied Science and Technology* 1(4): 42-49.
- Ul-Saufie, A.Z., Yahaya, A.S., Ramli, N.A. & Hamid, H.A. 2012. Performance of multiple linear regression model for long-term PM_{10} concentration prediction based on gaseous and meteorological parameters. *Journal of Applied Sciences* 12(14): 1488-1494.
- Velickov, S. 2004. *Nonlinear Dynamics and Chaos*. Taylor & Francis Group plc., London.

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

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

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

Diserahkan: 16 Mei 2013

Diterima: 15 Julai 2013