

RESEARCH PAPER

## Peramalan Bahan Pencemar Karbon Monoksida (CO) di Putrajaya Menggunakan Kaedah Penghampiran Purata Setempat

*Forecasting Carbon Monoxide (CO) Pollutant in Putrajaya using the Local Mean Approximation Method*

Shahidatul Idayu Shahizam<sup>1\*</sup>, Nor Zila Abd Hamid<sup>2</sup>, Syafruddin Side<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Jabatan Matematik, Fakulti Sains dan Matematik, Universiti Pendidikan Sultan Idris, 35900, Tanjong Malim, Perak, Malaysia

<sup>3</sup>Jabatan Matematik, Universitas Negeri Makassar, 90222, Makassar, Indonesia

\*Corresponding author: shahidatulidayu95@gmail.com

**Published:** 20 February 2021

**To cite this article (APA):** Shahizam, S. I., Abd Hamid, N. Z., & Side, S. (2021). Forecasting Carbon Monoxide (CO) Pollutant in Putrajaya using the Local Mean Approximation Method. *Journal of Science and Mathematics Letters*, 9, 63-71. <https://doi.org/10.37134/jsml.vol9.sp.8.2021>

**To link to this article:** <https://doi.org/10.37134/jsml.vol9.sp.8.2021>

### Abstrak

Pencemaran udara merupakan perkara yang sangat membimbangkan semua pihak kerana pencemaran ini bukan sahaja memberikan kesan terhadap kesihatan manusia malah memberi kesan terhadap alam sekitar dan juga pembangunan negara. Kajian ini mengkaji peramalan karbon monoksida (CO) yang dijalankan di kawasan metropolitan di Malaysia dengan menggunakan Kaedah Penghampiran Purata Setempat. Kajian ini adalah bertujuan untuk meramal kepekatan bahan pencemar CO yang telah dicerap mengikut jam di kawasan kajian yang terpilih iaitu Putrajaya. Parameter masa tunda  $\tau$  diperoleh daripada kaedah penetapan  $\tau = 1$  manakala matra pembenaman  $m$  diperoleh daripada kaedah Cao. Kehadiran dinamik kalut dalam siri masa CO berjaya dikesan dengan menggunakan kaedah Cao dan kaedah plot ruang fasa. Proses peramalan selama satu jam ke hadapan siri masa CO dengan menggunakan  $\tau = 1$  dan  $m = 6$  dijalankan menggunakan kaedah penghampiran purata setempat. Keputusan nilai pekali korelasi yang diperoleh adalah 0.7674 iaitu menghampiri 1. Diharap peramalan ini dapat membantu pihak berkepentingan dalam menguruskan pencemaran CO dengan berkesan terutamanya di kawasan metropolitan di Malaysia.

**Kata kunci:** Siri Masa Karbon Monoksida, Kaedah Penghampiran Purata Setempat, Pendekatan Kalut, Plot Ruang Fasa, Kaedah Cao

### Abstract

Air pollution is a great concern to all parties because it is not only affects human health but also affects the environment and the development of the country. This study examines the forecast of carbon monoxide (CO) in metropolitan areas in Malaysia using the local mean approximation method. This study aims to predict the concentration of CO pollutant that has been observed hourly at the selected area which is Putrajaya. The delay time parameter  $\tau$  was obtained from the determination  $\tau = 1$  method while embedding dimension  $m$  was obtained from the Cao method. The presence of chaotic dynamics is successfully detected by using the Cao method and the phase space plot. The one-hour forward forecasting process of CO time series using  $\tau = 1$  and  $m = 6$  was carried out using the Local Mean Approximation Method. The result showed that correlation

coefficient value is 0.7674 which is close to 1. This forecasting is expected to assist those stakeholders in managing CO pollution effectively especially in metropolitan areas in Malaysia.

**Keywords:** Carbon Monoxide Time Series, Local Mean Approximation Method, Chaotic Approach, Phase Space Plot, Cao Method

## **PENGENALAN**

Masalah pencemaran udara di Malaysia sering dilaporkan melalui kajian-kajian yang dijalankan oleh jabatan kerajaan seperti Jabatan Alam Sekitar (JAS) dan juga dalam kalangan ahli akademik (Shafii et al., 2018) serta pertubuhan bukan kerajaan (NGO). Udara tercemar ini berlaku disebabkan oleh zarah terampai dan juga gas beracun yang bebas ke udara. Gas beracun ini terdiri daripada gas karbon monoksida (CO), ozon (O<sub>3</sub>), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) (Mazlan et al., 2015). Di dalam kajian Hanafi et al. (2018), CO adalah berkaitan dengan pelepasan asap kenderaan bermotor dan juga aktiviti perindustrian yang tinggi. Risiko mendapat serangan jantung dan penyakit berkaitan pernafasan yang kronik adalah lebih tinggi kepada individu yang bernafas dalam udara yang kotor berbanding individu yang bernafas dalam udara yang bersih (Cunningham, 2014). Bilangan kematian hasil keracunan gas CO di Negara Jepun mencecah 2000-5000 kematian setahun dan ia merupakan penyebab utama kematian akibat gas beracun yang berlaku di Negara itu (Kinoshita et al., 2020). Oleh itu, menurut Jabatan Alam Sekitar (JAS) (2015), kualiti udara ini perlu dipantau bagi mengesan sebarang perubahan dalam status kualiti udara yang boleh memberi impak terhadap kesihatan manusia dan juga alam sekitar.

Cai et al. (2009) menggunakan kaedah rangkaian neural bagi meramal kepekatan pencemar udara zarah terampai bersaiz kurang daripada 10 mikron (PM<sub>10</sub>), CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan juga O<sub>3</sub> setiap jam berhampiran laluan di Guangzhou, China. Hasil peramalan mendapati kaedah ini dapat menghasilkan ramalan yang tepat terhadap kepekatan bahan pencemar masing-masing. Namun, kaedah rangkaian neural ini bergantung kepada pelbagai pemboleh ubah yang mempengaruhi siri masa tersebut. Berbeza dengan pendekatan kalut kerana pendekatan ini tidak melibatkan data pemboleh ubah yang lain malah hanya menggunakan data siri masa yang lepas (Farmer & Sidorowich, 1987). Oleh sebab itu, kajian ini memilih pendekatan kalut dalam meramal siri masa CO di kawasan metropolitan di Malaysia iaitu Putrajaya. Pendekatan kalut ini pertama kali digunakan dalam meramal siri masa CO oleh Ruslan et al. (2020) yang memfokuskan dalam penentuan parameter bilangan *k*-jiran terdekat di daerah Kota Kinabalu, Sabah telah mendapat keputusan peramalan yang baik.

Dinamik kalut dapat dibahagikan kepada dua jenis data iaitu data yang berketentuan dan data yang rawak (Abarbanel, 1996). Namun, hanya data berketentuan yang boleh diramal manakala data berdinamik rawak tidak boleh diramal. Dinamik bagi data berketentuan bergerak dari titik awal dan melalui trajektorinya. Data bersifat kalut berada di antara berketentuan dan rawak. Data ini peka terhadap isyarat di mana jika terdapat sedikit perubahan pada isyarat awal memberikan kesan yang besar pada masa hadapan. Oleh itu, pendekatan kalut hanya membenarkan peramalan jangka masa pendek dijalankan (Abarbanel, 1996).

Pendekatan kalut ini telah diaplikasikan dalam pelbagai bidang secara meluas termasuk di dalam dan di luar negara. Sebagai contoh di luar negara, pendekatan kalut ini telah digunakan dalam peramalan siri masa O<sub>3</sub> (Indira et al., 2016) dan juga siri masa gelombang angin (Kermani & Kisi, 2015). Manakala, kajian di dalam negara pula, pendekatan kalut ini telah diaplikasi oleh Hamid (2012) bagi meramal data hujan harian, peramalan arus sungai oleh Mashuri et al. (2019) dan juga peramalan siri masa NO<sub>2</sub> oleh

Jusoh dan Hamid (2020). Kajian-kajian ini telah memberikan hasil ramalan yang cemerlang. Maka pendekatan kalut adalah dipilih bagi kajian ini.

## METODOLOGI

### Data Siri Masa CO

Siri masa yang digunapakai dalam keseluruhan kajian ini adalah CO yang diperhatikan mengikut jam bermula Jun hingga September tahun 2017. Lokasi kajian yang dipilih merupakan kawasan metropolitan yang telah diklasifikasikan oleh pihak JAS iaitu terletak di Putrajaya. Keseluruhan tempoh siri masa adalah selama 2928 jam dan direkodkan dalam unit bahagian per billion (ppb).

### Pendekatan Kalut

Pendekatan kalut mempunyai dua langkah, iaitu pembinaan semula ruang fasa dan peramalan. Data CO akan dibina semula ke dalam ruang fasa pelbagai matra. Langkah pembinaan semula ruang fasa ini melibatkan dua parameter, iaitu masa tunda,  $\tau$  dan juga matra pembenaman,  $m$ . Melalui ruang fasa ini, kehadiran dinamik kalut dan peramalan dijalankan. Bagi langkah peramalan pula, data siri masa hadapan akan diramal dengan menggunakan kaedah penghampiran purata setempat. Seterusnya, prestasi peramalan diukur berdasarkan pengiraan purata ralat mutlak, ralat punca purata kuasa dua dan pekali korelasi.

### Pembinaan Semula Ruang Fasa

Data yang dicerap adalah direkodkan dalam bentuk vektor satu matra (skalar),  $X$  iaitu:

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

dengan  $N$  adalah jumlah siri masa keseluruhannya. Siri masa  $X$  akan dibahagikan kepada dua bahagian iaitu, siri masa latihan dan siri masa ujian. Siri masa latihan adalah

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

Manakala siri masa ujian adalah

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

dengan  $l$  adalah jumlah siri masa latihan. Data siri masa latihan yang digunakan dalam kajian ini adalah  $X_{latihan} = 2208$  manakala data siri masa ujian adalah  $X_{ujian} = 720$ . Siri masa latihan akan digunakan bagi mengesan kehadiran dinamik kalut dan mengira parameter manakala siri masa ujian akan digunakan bagi mengukur prestasi model peramalan.

Ruang fasa  $m$ -matra dibina semula dengan menggunakan siri masa  $X_{latihan}$ . Mengikut teori Takens (Takens, 1981), dengan  $\tau$  adalah masa tunda dan  $m$  adalah matra pembenaman, ruang fasa  $m$ -matra adalah

$$Y_t = (x_t, x_{t+\tau}, x_{t+2\tau}, x_{t+3\tau}, \dots, x_{t+(m-1)\tau}) \quad (4)$$

Dalam kajian ini, kaedah penetapan  $\tau = 1$  dan kaedah Cao telah dipilih bagi mencari nilai parameter  $\tau$  dan  $m$  masing-masing.

### **Penetapan $\tau = 1$**

Nilai  $\tau$  boleh ditentukan dengan pelbagai kaedah antaranya adalah kaedah autokorelasi oleh Schuster (1988), kaedah purata maklumat bersama oleh Fraser dan Swiney (1986) dan lain-lain lagi. Namun begitu, terdapat kajian-kajian lepas yang menggunakan nilai  $\tau = 1$  dan memberikan nilai prestasi model peramalan yang cemerlang. Sebagai contoh, peramalan ke atas siri masa kepekatan sedimen (Sivakumar, 2002) dan siri masa suhu (Bahari & Hamid, 2019). Oleh itu, penyelidik memilih penetapan  $\tau = 1$  di dalam kajian ini.

### **Plot Ruang Fasa**

Ruang fasa bermaksud ruang pengumpulan semua kemungkinan keadaan sesebuah sistem dinamik. Dinamik bagi siri masa dapat diperhatikan melalui evolusi titik ke titik dalam ruang fasa. Bagi siri masa nyata, plot ruang fasa adalah penting untuk diperhatikan. Plot ruang fasa dibina dalam satah  $\{x(t), x(t + \tau)\}$  dengan nilai  $\tau$  yang diperoleh melalui kaedah penetapan  $\tau = 1$ . Menurut Sivakumar (2002), kewujudan sebuah rantau penarik menunjukkan dinamik kalut hadir dalam sesebuah siri masa.

### **Kaedah Cao**

Kaedah Cao telah diperkenalkan oleh Cao (1997) bagi mencari nilai matra pembenaman  $m$ . Kaedah ini dipilih untuk mengira nilai  $m$  melalui

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

di mana

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

dan  $\| \quad \|$  adalah norma maksimum.  $Y_{jj}^m$  adalah jiran terdekat kepada  $Y_n^m$ . Graf  $m$  melawan  $E1(m)$  adalah diplot. Matra pembenaman  $m$  diperoleh jika  $E1(m)$  berhenti berubah apabila nilai  $m$  lebih besar daripada nilai  $m_0$ , iaitu  $m = m_0 + 1$ . Kaedah ini juga boleh digunakan untuk mengesan kehadiran dinamik kalut sama ada hadir ataupun tidak. Sekiranya dinamik kalut didapati hadir, maka proses peramalan akan dijalankan. Sekiranya tidak, proses akan berhenti setakat itu saja. Jika nilai  $E1(m)$  terus menepu dengan peningkatan  $m$ , maka terdapat dinamik kalut hadir dalam siri masa tersebut. Pengiraan  $E2(m)$  turut diperkenalkan oleh Cao (1997) iaitu

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

di mana

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

Kehadiran dinamik kalut dianggap hadir dalam siri masa yang diperhatikan sekiranya terdapat beberapa  $m$  atau sekurang-kurangnya satu  $m$  di mana  $E2(m) \neq 1$ .

## Model Peramalan

### Model Kaedah Penghampiran Purata Setempat (KPPS)

Bagi peramalan menggunakan model kpps, ruang fasa (4) adalah digunakan. Dengan ruang fasa terakhir  $Y_{t-(m-1)\tau}$ , jiran-jiran adalah  $Y_{jj} = (Y_{jj_1}, Y_{jj_2}, Y_{jj_3}, \dots, Y_{jj_{t-(m-1)\tau-1}})$ . Bilangan jiran  $Y_{jj}$  adalah  $t - (m - 1)\tau - 1$  kerana ruang fasa terakhir adalah  $Y_{t-(m-1)\tau}$ . Kemudian,  $k$  jiran terdekat adalah disenarai seperti berikut:

$$Y_{jk} = (Y_{jk_1}, Y_{jk_2}, Y_{jk_3}, \dots, Y_{jk_k}) \quad (9)$$

Untuk meramal satu langkah ke hadapan, ruang fasa  $m$ -matra satu langkah ke hadapan adalah:

$$Y_{jk^{(1)}} = (Y_{jk_1+1}, Y_{jk_2+1}, Y_{jk_3+1}, \dots, Y_{jk_k+1}) \quad (10)$$

Kemudian, siri masa kolum ke- $m$  bagi persamaan (9) dan (10) adalah disenaraikan seperti berikut:

$$x_{jk} = (x_{jk_1}, x_{jk_2}, x_{jk_3}, \dots, x_{jk_k}) \quad (11)$$

dan

$$x_{jk^{(1)}} = (x_{jk_1+1}, x_{jk_2+1}, x_{jk_3+1}, \dots, x_{jk_k+1}) \quad (12)$$

Bagi model kpps, persamaan (11) dan (12) adalah digunakan untuk membentuk

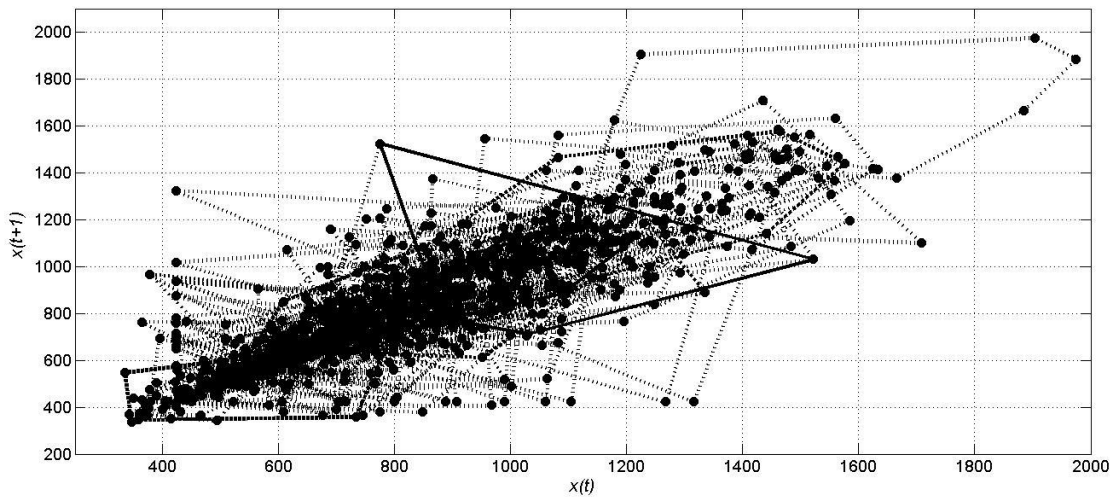
$$x_{t+1} = \frac{\sum_{i=1}^k (x_{jk_i+1})}{k} \quad (13)$$

Bagi proses seterusnya, siri masa  $X_{latihan}$  perlu dikemaskini. Untuk langkah pembinaan semula ruang fasa, pencarian  $k$ -jiran terdekat dan proses peramalan akan diulang bagi meramal seterusnya.

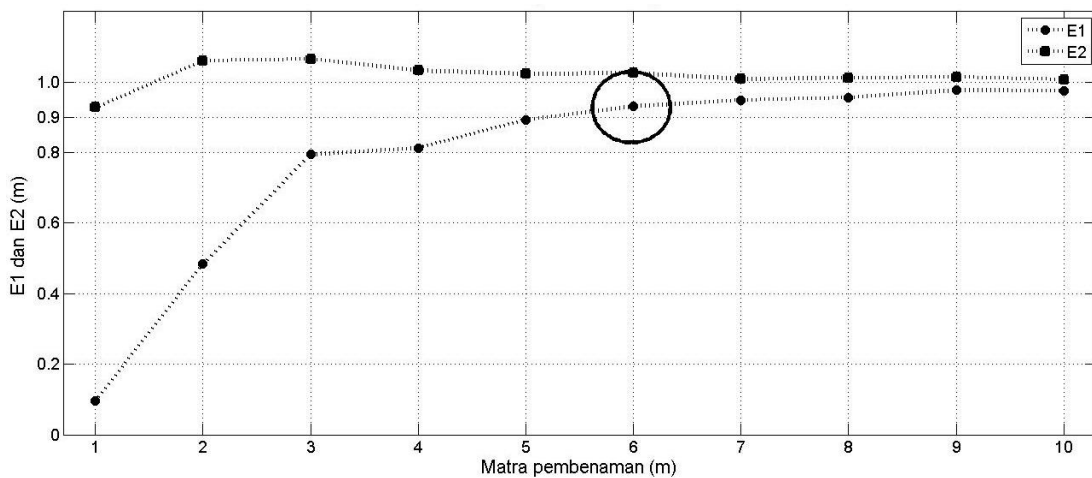
## HASIL KAJIAN DAN PERBINCANGAN

### Kehadiran Dinamik Kalut Siri Masa CO

Parameter  $\tau$  telah ditetapkan kepada 1 dan parameter  $m$  akan ditentukan dengan kaedah Cao. Rajah 1 menunjukkan keputusan plot ruang fasa dengan menggunakan nilai  $\tau = 1$ . Dapat diperhatikan, titik-titik ini seperti tertarik di kawasan membujur berdekatan dengan paksi- $x$  dan paksi- $y$ . Titik-titik ini membuktikan dinamik kalut hadir dalam siri masa CO di Putrajaya ini. Namun, terdapat titik terpercil yang berkemungkinan disebabkan oleh gangguan hingar atau percampuran data CO dengan bahan pencemar yang lain. Jika tapisan gangguan hingar dan pencampuran bahan pencemar lain ini dilakukan bagi kajian lanjutan, titik-titik terpercil itu akan berkurangan. Rajah 2 pula menunjukkan keputusan bagi kaedah Cao. Pada Rajah 2 dapat diperhatikan,  $E1(m)$  mula menepu selepas  $m_0 = 5$ , oleh itu parameter  $m$  adalah 6 melalui  $m = m_0 + 1$ .  $E1(m)$  menepu apabila nilai  $m$  meningkat manakala  $E2(m) \neq 1$  juga didapati hadir pada nilai  $m$  bersamaan dengan 1, 2, 3, 4 dan 5 seperti di dalam Rajah 2. Nilai  $E2(m) \neq 1$  ini membuktikan lagi bahawa dinamik kalut hadir dalam siri masa CO yang dikaji.



Rajah 1. Keputusan Plot Ruang Fasa



Rajah 2. Keputusan Kaedah Cao

Bilangan pemboleh ubah minimum yang mempengaruhi siri masa yang dikaji dirujuk pada nilai parameter  $m$  yang diperolehi. Oleh kerana  $m = 6$ , maka siri masa CO di Putrajaya ini mempunyai sekurang-kurangnya enam faktor (pemboleh ubah).

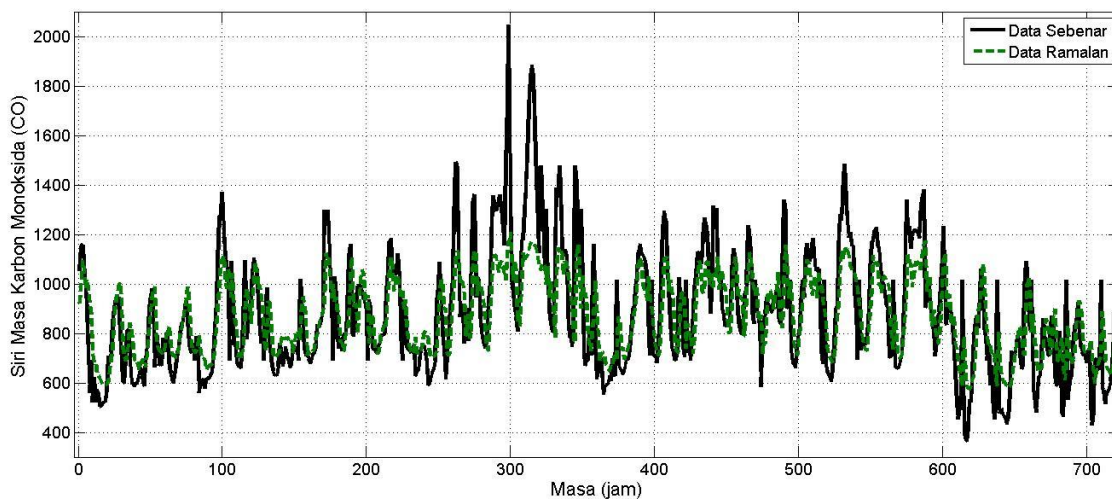
Hasil daripada keputusan plot ruang fasa dan kaedah Cao ini, dapat disimpulkan bahawa dinamik kalut hadir bagi siri masa CO di Putrajaya. Oleh kerana nilai  $m = 6$ , iaitu masih kurang daripada 10, dinamik kalut ini dikategorikan sebagai kalut bermatra rendah. Ini merupakan ciri yang berlawanan dengan siri masa rawak yang dipengaruhi oleh bilangan pemboleh ubah yang besar (Sivakumar et al., 1999).

**Keputusan peramalan**

Ruang fasa telah dibina dengan menggunakan parameter  $\tau = 1$  dan  $m = 6$ . Kajian ini mendapati bahawa siri masa CO di Putrajaya adalah berdinamik kalut. Dengan menggunakan nilai  $k = 200$ , peramalan selama satu jam ke hadapan dijalankan dengan menggunakan kaedah penghampiran purata setempat. Petunjuk prestasi dikira menggunakan purata ralat mutlak (prm), ralat purata punca kuasa dua (rppkd) dan juga pekali korelasi (pk). Jadual 1 menunjukkan nilai bagi ketiga-tiga petunjuk prestasi bagi siri masa CO menggunakan kaedah penghampiran purata setempat. Rajah 3 merupakan graf yang membandingkan data sebenar dan data yang diramal menggunakan kaedah kpps.

**Jadual 1.** Petunjuk prestasi

Petunjuk Prestasi	Kpps
Prm	121.1097
Rppkd	162.4124
Pk	0.7674



**Rajah 3.** Keputusan peramalan CO melalui kaedah kpps

Prestasi peramalan bagi nilai pk memberikan gambaran mengenai hubungan antara siri masa ramalan dan siri masa sebenar. Keputusan nilai pk yang diperolehi bagi peramalan siri masa CO di Putrajaya adalah 0.7674 iaitu menghampiri nilai 1 dan ia menunjukkan nilai ini bersifat korelasi positif tinggi selari dengan dapatan kajian oleh Zaim dan Hamid (2017) dalam meramal bahan pencemar  $O_3$  di Universiti Pendidikan Sultan Idris ketika Monsun

Timur Laut juga mendapat nilai pk bersifat korelasi positif tinggi iaitu 0.8921. Rajah 3 mendapati nilai data sebenar dapat diramal dengan baik kerana nilai data sebenar lebih tinggi ataupun hampir dengan nilai data ramalan. Maka, melalui kaedah ini jelas menunjukkan siri masa CO di Putrajaya dapat diramal dengan menggunakan kaedah penghampiran purata setempat.

## KESIMPULAN

Siri masa CO yang dicerap di Putrajaya menunjukkan dinamik kalut hadir melalui kaedah plot ruang fasa dan kaedah Cao. Data sebulan yang diramal menggunakan kaedah penghampiran purata setempat menunjukkan prestasi yang baik. Oleh itu, kaedah penghampiran purata setempat ini boleh dicadangkan bagi meramal data siri masa bahan pencemar yang lain.

## PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi penghargaan diucapkan kepada Jabatan Alam Sekitar Malaysia atas perkongsian data. Kajian ini dibiayai melalui geran penyelidikan dengan kod 2019-0005-102-02 (FRGS/1/2018/STG06/UPSI/02/1).

## RUJUKAN

- Abarbanel, H. D. I. (1996). *Analysis of observed chaotic data*. New York: Springer-Verlag.
- Bahari, M. & Hamid, N. Z. A. (2019). Analysis and prediction of temperature time series using chaotic approach. *IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science*, 286.
- Cai, M., Yin, Y., & Xie, M. (2009). Prediction of hourly air pollutant concentrations near urban arterials neural network approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(1), 32-41.
- Cao, L. (1997). Practical method of determining the minimum embedding dimension of a scalar time series. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 110(1-2), 43-50.
- Cunningham, B., Cunningham, M. A. & Saigo, B. W. (2014). *Environmental Science: A global concern 13<sup>th</sup> edition*. Boston, United States: McGraw Hill.
- Farmer, J. D., & Sidorowich, J. J. (1987). Predicting chaotic time Series. *The American Physical Society*, 59(8), 845-848.
- Fraser, A. M. & Swinney, H. L. (1986). Independent coordinates for strange attractors from mutual information. *Physical Review A*, 33(2).
- Hamid, N. Z. A. & Noorani, M. S. M. (2012). On prediction of Subang, Selangor Daily Rainfall Data: An application of local approximation method. *Jurnal Sains dan Matematik*. 4(2), 49-57.
- Hanafi, N. H., Hassim, M. H. & Noor, Z. Z. (2018). Overview of health impacts due to haze pollution in Johor, Malaysia. *Journal Engineering Technology Science*. 50(6), 818-831.
- Indira, P., Inbanathan, S. S. R., Selvaraj, R. S. & Suresh, A. A. (2016). Chaotic analysis on surface ozone measurement at tropical urban coastal station Chennai, India. *IOSRD International Journal of Earth Science* 2(1), 1-8.
- Jabatan Alam Sekitar Malaysia (2015). Air pollutant index. Diakses pada September 18, 2020 dari <http://apims.doe.gov.my/apims/hourly2.php>.
- Jusoh, K. C. & Hamid, N. Z. A. (2020). Meramal bacaan maksimum harian nitrogen dioksida menerusi pendekatan kalut. *Journal of Quality Measurement and Analysis* 16(1), 79-89.
- Kermani, M. Z. & Kisi. O. (2015). Time series analysis on marine wind-wave characteristics using chaotic theory. *Ocean Eng* 100(15), 46-53.
- Kinoshita, H., Turkan, H., Vucinic, S., Naqvi, S., Bedair, R., Rezaee, R. & Tsatsakis, A. (2020). Carbon monoxide poisoning. *Toxicology Reports* 7, 169-173.



- 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.
- Mazlan, S. M., Hamzah, A. & Mahmud, M. (2015). Kualiti udara dalam bangunan di bangunan Sains Biologi, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia. *GEOGRAFIA-Malaysian Journal of Society and Space* 11(1), 87-96.
- Ruslan, A. B., Hamid, N. Z. A. & Jusoh, K. C. (2020). Peramalan aplikasi pendekatan kalut bahan pencemar siri masa CO menggunakan kaedah penambahbaikan dalam penentuan parameter bilangan  $k$ -jiran terdekat. *Borneo International Journal*, 2(4), 11-16.
- Schuster, H. G. (1988). *Deterministic Chaos: An Introduction*. Weinheim: VCH Publishers.
- Sivakumar, B., Liong, S. Y., Liaw, C. Y. & Phoon, K. K. (1999). Singapore rainfall behaviour: chaotic. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(1), 38-48.
- Sivakumar, B. (2002). A phase-space reconstruction approach to prediction of suspended sediment concentration in rivers. *Journal of Hydrology*, 258(1-4), 149-162.
- Shafii, H., Miskam, N., Yassin, A. M., Tawee, S. & Musa, S. M. S. (2018). Status kualiti udara di beberapa kawasan luar Bandar terpilih di negeri Johor. *International Conference of Tourism, Business & Technology*.
- Takens, F. (1981). Detecting strange attractors in turbulence. *Dynamical Systems and Turbulence, Warwick 1980*, 898, 366-381.
- Zaim, W. N. A. B. W. M., & Hamid, N. Z. A. (2017). Peramalan bahan pencemar ozon ( $O_3$ ) di Universiti Pendidikan Sultan Idris, Tanjung Malim, Perak, Malaysia Mengikut Monsun dengan Menggunakan Pendekatan Kalut. *Sains Malaysiana*, 46(12), 2523-2528.