

ANALISIS DAN PERAMALAN SIRI MASA SUHU MENGGUNAKAN PENDEKATAN KALUT

(Analysis and Prediction of Temperature Time Series Using Chaotic Approach)

MUNIRAH BAHARI & NOR ZILA ABD HAMID

ABSTRAK

Analisis dan peramalan siri masa suhu adalah penting kerana perubahan suhu boleh membawa kesan serius kepada kesihatan. Kajian ini dijalankan bertujuan menganalisis dan meramal siri masa suhu di Jerantut, Pahang, Malaysia dengan menggunakan pendekatan kalut. Pemodelan kalut dibahagikan kepada dua tahap; pembinaan semula ruang fasa dan proses peramalan. Melalui pembinaan semula ruang fasa, data skalar satu matra dibina semula menjadi ruang fasa multimatra. Ruang fasa multimatra ini digunakan untuk mengesan kehadiran dinamik kalut melalui kaedah plot ruang fasa dan kaedah Cao. Keputusan menunjukkan bahawa siri masa yang diperhatikan bersifat kalut. Oleh itu, peramalan satu jam ke hadapan dibina melalui kaedah penghampiran purata setempat yang merupakan kaedah peramalan asas menggunakan pendekatan kalut. Nilai pekali korelasi yang diperolehi adalah 0.9443. Nilai yang menghampiri satu ini menunjukkan hasil peramalan yang bagus dengan merupakan refleksi bahawa siri masa yang diramal dan siri masa yang sebenar adalah hampir antara satu sama lain. Oleh itu, pendekatan kalut merupakan satu kaedah alternatif yang bagus untuk digunakan bagi meramal siri masa suhu. Keputusan ini diharapkan boleh membantu merealisasikan perancangan strategik Jabatan Meteorologi Malaysia dan Jabatan Alam Sekitar seperti meningkatkan keberkesanan perkhidmatan cuaca bagi mengurangkan risiko bencana dan memperkukuhkan perkhidmatan iklim bagi kemakmuran negara.

Kata kunci: analisis; pendekatan kalut; peramalan; siri masa; suhu

ABSTRACT

Analysis and prediction of temperature time series is important because temperature changes can have serious effects on health. The objective of this study is to analyse and predict the temperature series in Jerantut, Pahang, Malaysia using a chaotic approach. The chaotic modelling can be divided into two stages; reconstruction of phase space and forecasting processes. Through the reconstruction of phase space, a single scalar data is rebuilt into a multi-dimensional phase space. This multi-dimensional phase space is used to detect the presence of chaotic dynamics through phase space plot methods and Cao method. The results show that the observed time series is chaotic in nature. Therefore, one hour ahead prediction is built on a local mean approximation method which is a basic forecasting method using the chaotic approach. The correlation coefficient value obtained is 0.9443. The approximate value of this one shows a good forecasting result in which it is a reflection that the predicted time series and real time series are close to each other. Thus, the approach is a good alternative to a practical alternative to predict temperature series. This decision is expected to assist in the initiation of strategic plans by the Malaysian Meteorological Department and the Department of Environment for improving the effectiveness of weather services to reduce disaster risk and strengthening climate services for the nation's prosperity.

Keywords: analysis; chaotic approach; prediction; time series; temperature

1. Pengenalan

Perubahan cuaca memberikan impak kepada kehidupan manusia. Perubahan cuaca juga boleh mempengaruhi ekonomi negara (Tol 2018) dan kesihatan manusia (Zeng *et al.* 2017). Di Malaysia, kajian Ibrahim *et al.* (2016) menyatakan bahawa kesan pembandaran terhadap taburan suhu di Malaysia menyumbang kepada pembentukan pulau haba sama ada di kawasan pusat bandar dan pinggir bandar. Selain itu, keratan akhbar Berita Harian (2019) telah melaporkan bahawa suhu harian yang tinggi memberi kesan kepada tubuh badan manusia seperti keletihan akibat haba yang terlalu tinggi, strok haba, kekejangan otot dan pengsan. Oleh itu, perubahan cuaca perlu diperhatikan. Kajian Thinh *et al.* (2017) dan Pau *et al.* (2013) pula, menyatakan bahawa perubahan suhu mengganggu dan memberi impak yang negatif terhadap sektor pertanian. Manakala, kajian-kajian yang dilakukan oleh Wichmann (2017) dan Cheng *et al.* (2017) juga telah melaporkan bahawa peningkatan suhu juga telah menyebabkan penyakit berkaitan pernafasan dan kardiovaskular yang boleh membawa kepada kematian. Oleh itu, satu model peramalan suhu diperlukan bagi membantu pihak berwajib lebih bersedia dalam menghadapi perubahan suhu.

Kajian ini adalah berfokus kepada penggunaan pendekatan kalut ke atas siri masa suhu. Istilah pendekatan kalut telah digunakan pertama kali oleh Li dan Yorke pada tahun 1975, manakala Lorenz merupakan orang yang pertama memperkenalkan dinamik kalut pada tahun 1963. Kemudian, Takens (1981) memperkenalkan teori pembenaman Takens yang melibatkan penggunaan vektor ruang fasa untuk mengesan kehadiran dinamik kalut dalam siri masa. Teori pembenaman ini merupakan transformasi siri masa yang berbentuk skalar satu matra ke dalam vektor ruang fasa multimatra. Ruang fasa multimatra digunakan untuk mengesan kehadiran dinamik kalut. Jika dinamik kalut hadir, model peramalan berasaskan pendekatan kalut akan dibina.

Kajian oleh Indira *et al.* (2016) dan Echi *et al.* (2015) mendapati bahawa siri masa suhu adalah kalut dengan menggunakan kaedah Lyapunov eksponen dan Peta Pointcare, manakala kajian oleh Adenan *et al.* (2017) dapat mengelaskan sifat siri masa juga adalah kalut dengan menggunakan kaedah Cao. Sehingga kini, analisis dinamik siri masa suhu belum pernah dijalankan di Malaysia. Maka, kajian ini akan menggunakan kaedah Cao dan plot ruang fasa bagi mengesan kehadiran dinamik kalut siri masa suhu.

Pendekatan kalut telah digunakan dengan meluas dalam pelbagai bidang. Di luar Malaysia, pendekatan kalut telah berjaya meramal siri masa hujan oleh Fu *et al.* (2017) di China, siri masa aliran sungai oleh Wilson *et al.* (2016) di China dan siri masa aras laut oleh Domenico *et al.* (2013) di Australia. Di dalam Malaysia pula, kajian ke atas siri masa aliran sungai oleh Adenan *et al.* (2017), siri masa ozon oleh Hamid *et al.* (2017) dan Awang *et al.* (2013) dan zarah terampai PM10 oleh Hamid dan Noorani (2014) juga telah berjaya dijalankan menggunakan pendekatan kalut. Walau bagaimanapun, kaedah penghampiran setempat tidak pernah digunakan ke atas siri masa suhu di Malaysia. Oleh itu, kajian ini akan menyumbang kepada peningkatan penggunaan pendekatan kalut untuk memodelkan siri masa di Malaysia.

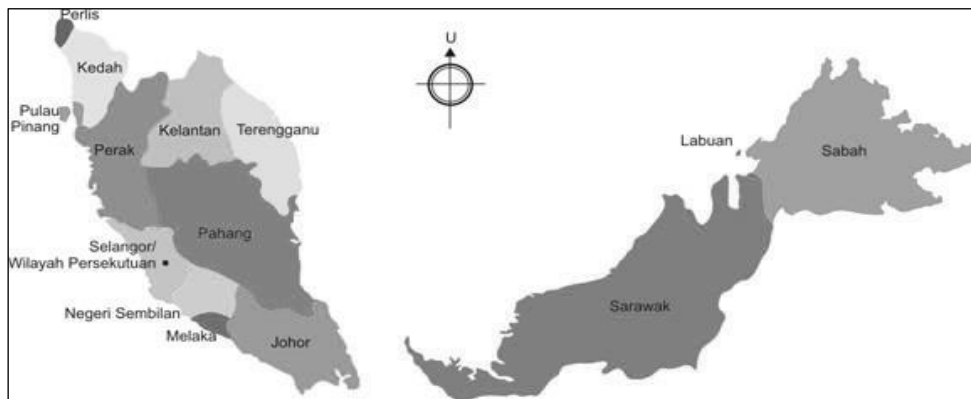
Objektif kajian ini adalah untuk mengenal pasti kehadiran dinamik kalut dalam siri masa suhu dan meramal suhu di Jerantut, Pahang dengan menggunakan model kalut. Dalam kajian ini, pemodelan melalui pendekatan kalut dibahagikan kepada dua tahap, iaitu: i) pembinaan semula ruang fasa dan ii) proses peramalan. Tahap pertama adalah untuk mengesan sifat kalut siri masa suhu dan tahap kedua untuk meramalkan siri masa suhu masa hadapan.

2. Data

Data yang digunakan dalam kajian ini adalah siri masa suhu. Siri masa suhu yang diperhatikan direkod dalam unit °C. Data suhu ini didapati di stesen kaji cuaca Batu Embun,

Jerantut yang terletak di negeri Pahang dan merupakan data sekunder. Pahang terletak di timur Semenanjung Malaysia (Rajah 1) manakala Jerantut terletak di tengah-tengah antara semua daerah yang terdapat dalam negeri Pahang. Daerah Jerantut disempadani oleh negeri Kelantan dan Terengganu di utara, daerah Temerloh dan Maran di selatan, daerah Lipis dan Raub di barat dan daerah Kuantan dan negeri Terengganu di timur. Ia merupakan daerah yang terbesar di negeri Pahang (Rajah 2). Stesen kaji cuaca Batu Embun, Jerantut ini dipilih kerana menurut Jabatan Alam Sekitar, stesen ini merupakan stesen asas iklim bagi seluruh negeri di Malaysia. Selain itu, daerah Jerantut merupakan pintu utama ke Taman Negara dan merupakan satu daripada daerah yang membekalkan ikan air tawar ke seluruh negeri di Malaysia. Data siri masa suhu yang dikaji dicerap mengikut jam selama enam bulan, bermula 1 Julai hingga 31 Disember 2014. Lima bulan pertama data adalah set latihan (3672 data) yang digunakan dalam pembinaan semula ruang fasa dan selebihnya sebanyak 744 data adalah set ujian yang digunakan untuk menguji prestasi peramalan. Daripada keseluruhan 4416 data, terdapat 7.63% data hilang dan digantikan dengan siri masa pada jam yang sama pada hari sebelumnya. Sebagai contoh, siri masa yang hilang bertarikh 01 Ogos 2014 pada jam 6 pagi, jadi siri masa yang hilang ini digantikan dengan siri masa jam 6 pagi, 31 Julai 2014.

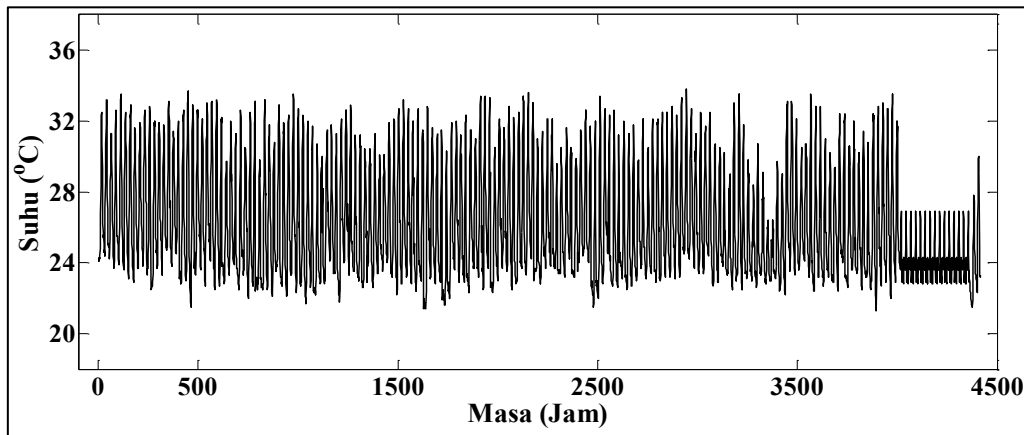
Rajah 3 merupakan rajah siri masa suhu di Pahang dan penerangan statistik boleh dirujuk dalam Jadual 1. Jadual 1 menunjukkan bahawa purata suhu di Pahang adalah 26.1°C. Manakala, suhu minimum yang pernah tercatat adalah 21.3°C dan suhu maksimum pula adalah 33.8°C.



Rajah 1: Lokasi Pahang di Malaysia (sumber: <https://www.google.com.my>)



Rajah 2: Lokasi Jerantut di Pahang (sumber: <https://mangovacations.com.my>)



Rajah 3: Siri masa suhu

Jadual 1: Penerangan statistik siri masa suhu

	Statistik
Purata	26.1
Median	25.0
Mod	24.1
Varians	9.62
Minimum	21.3
Maksimum	33.8
Jumlah	115441

3. Tatakaedah kajian

Pendekatan kalut melibatkan dua tahap, iaitu pembinaan semula ruang fasa dan proses peramalan. Melalui pembinaan semula ruang fasa, data skalar satu matra dibina semula menjadi ruang fasa multimatra. Dengan menggunakan ruang fasa multimatra ini, kaedah plot ruang fasa dan kaedah Cao akan mengesan dinamik kalut siri masa suhu di Pahang. Jika dinamik kalut hadir dalam siri masa, maka, kaedah penghampiran purata setempat (KPPS) akan digunakan untuk proses peramalan.

3.1. Pembinaan semula ruang fasa

Bagi pendekatan kalut, pembinaan semula ruang fasa adalah penting bagi memulakan proses analisis siri masa suhu. Teknik ini dikenali sebagai pembinaan semula ruang fasa kerana siri masa yang dicerap secara skalar (satu matra) adalah dibina semula ke dalam vektor ruang fasa multimatra. Siri masa X adalah direkodkan secara skalar, iaitu:

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

dengan N adalah jumlah keseluruhan siri masa. Siri masa X dibahagikan kepada dua bahagian. Bahagian pertama merupakan siri masa latihan, manakala bahagian kedua adalah siri masa ujian. Siri masa latihan digunakan untuk mengesan kehadiran dinamik kalut dan mengira parameter. Siri masa ujian pula disimpan dan akan digunakan bagi tujuan

perbandingan dengan siri masa peramalan. Siri masa (1) akan dibina semula ke dalam ruang fasa matra- m :

$$\mathbf{Y}_i^m = (x_i, x_{i+\tau}, x_{i+2\tau}, x_{i+3\tau}, \dots, x_{i+(m-1)\tau}) \quad (2)$$

dengan parameter τ adalah masa tunda dan parameter m adalah matra pembenaman. Kedua-dua parameter tersebut perlu dicari terlebih dahulu untuk membina semula ruang fasa m -matra yang lengkap.

Parameter τ ini perlu dipilih dengan teliti agar struktur penarik dalam ruang fasa dapat digambarkan dengan sepenuhnya (Velickov 2004). Menurut Zhan *et al.* (2017) dan Islam dan Sivakumar (2002), sekiranya nilai τ terlalu kecil, koordinat pada ruang fasa tidak dapat menggambarkan dinamik sebuah siri masa. Jika nilai τ terlalu besar pula, koordinat yang berbeza tidak dapat berkolerasi dan akan menyebabkan kehilangan maklumat siri masa asal. Kajian lepas oleh Adenan dan Noorani (2015) telah menggunakan $\tau = 1$ dan keputusan peramalan bagi kajian tersebut adalah memuaskan. Oleh itu, penetapan $\tau = 1$ adalah digunakan dalam kajian ini.

Menurut kajian Takens (1981) dan Regonda *et al.* (2005), matra pembenaman m adalah bilangan minimum pemboleh ubah yang diperlukan untuk menggambarkan dinamik siri masa. Dalam kajian ini, kaedah Cao adalah dipilih untuk mencari nilai parameter m kerana kaedah ini tidak bergantung pada bilangan data yang ada dan dapat membezakan antara sifat kalut atau rawak.

3.2. Kaedah Cao

Kaedah Cao adalah digunakan bagi mencari nilai parameter m (Cao 1997). Kaedah Cao dipilih adalah kerana kaedah ini tidak mengandungi sebarang parameter subjektif kecuali masa tunda τ dan tidak bergantung kepada banyak data yang ada. Nilai m dari kaedah Cao adalah dikira melalui

$$E1(m) = \frac{E(m+1)}{E(m)} \quad (3)$$

yang

$$E(m) = \frac{1}{N - m\tau} \sum_{n=1}^{N-m\tau} \frac{\|\mathbf{Y}_n^{m+1} - \mathbf{Y}_{jj}^{m+1}\|}{\|\mathbf{Y}_n^m - \mathbf{Y}_{jj}^m\|} \quad (4)$$

dan $\|\blacksquare\|$ adalah norma maksimum. \mathbf{Y}_{jj}^m adalah jiran terdekat kepada \mathbf{Y}_n^m . Graf m melawan $E1(m)$ adalah diplot. Jika $E1(m)$ berhenti berubah apabila nilai m lebih besar daripada nilai m_0 , maka $m_0 + 1$ adalah matra pembenaman minimum yang dicari. Kaedah Cao ini juga boleh digunakan untuk menentukan sama ada siri masa ini rawak atau kalut. Jika nilai $E1(m)$ terus menepu dengan peningkatan m , maka, siri masa merupakan kalut. Jika tiada

penepuan berlaku, siri masa adalah rawak. Cao (1997) turut memperkenalkan pengiraan $E2(m)$ yang

$$E2(m) = \frac{E(m+1)}{E(m)} \quad (5)$$

dan

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

Jika dinamik kalut hadir dalam siri masa, wujud beberapa m atau sekurang-kurangnya satu m yang $E2(m) \neq 1$, Oleh itu, jika wujud $E2(m) \neq 1$, maka, dinamik kalut hadir dalam siri masa yang diperhatikan.

3.3. Kaedah plot ruang fasa

Keadaan ruang fasa boleh mewakili syarat lengkap sesebuah sistem pada sesuatu masa. Dinamik ruang fasa dapat diperhatikan melalui evolusi titik ke titik melalui sesebuah trajektori dalam ruang fasa. Bagi siri masa nyata, plot ruang fasa adalah penting untuk diperhatikan bagi menentukan dinamik siri masa tersebut. Untuk nilai τ yang diperolehi, plot ruang fasa akan dibina dalam satah $\{x(t), x(t + \tau)\}$. Kewujudan sebuah rantau penarik menunjukkan kehadiran dinamik kalut dalam sesebuah siri masa (Velickov 2004).

3.4. Pembinaan model peramalan

Peramalan melalui pendekatan kalut boleh diterjemahkan melalui persamaan:

$$\mathbf{Y}_{j+1}^m = f(\mathbf{Y}_j^m) \quad (7)$$

dengan \mathbf{Y}_j^m merupakan ruang fasa terakhir dan \mathbf{Y}_{j+1}^m merupakan ruang fasa satu jam pada masa hadapan. Melalui pendekatan setempat, peramalan \mathbf{Y}_{j+1}^m dilakukan berdasarkan nilai jiran terdekat kepada \mathbf{Y}_j^m dalam sesebuah kawasan kejiranan. k jiran terdekat \mathbf{Y}_j^m dipilih berdasarkan nilai minimum $\mathbf{Y}_{j'}^m - \mathbf{Y}_j^m$ dengan $j' < j$. Jika hanya satu jiran terdekat ($k = 1$), maka penghampiran bagi \mathbf{Y}_{j+1}^m adalah $\mathbf{Y}_{j'+1}^m$. Oleh kerana kebiasaannya $k > 1$, peramalan \mathbf{Y}_{j+1}^m diambil sebagai purata bagi nilai $\mathbf{Y}_{j'+1}^m$, iaitu

$$\mathbf{Y}_{j+1}^m = \frac{\sum_{q=1}^k \mathbf{Y}_{j'_q+1}^m}{k} \quad (8)$$

Nilai k ditentukan melalui kaedah cuba dan jaya manakala prestasi peramalan diukur menggunakan pekali korelasi. Nilai pekali korelasi yang menghampiri satu menunjukkan siri

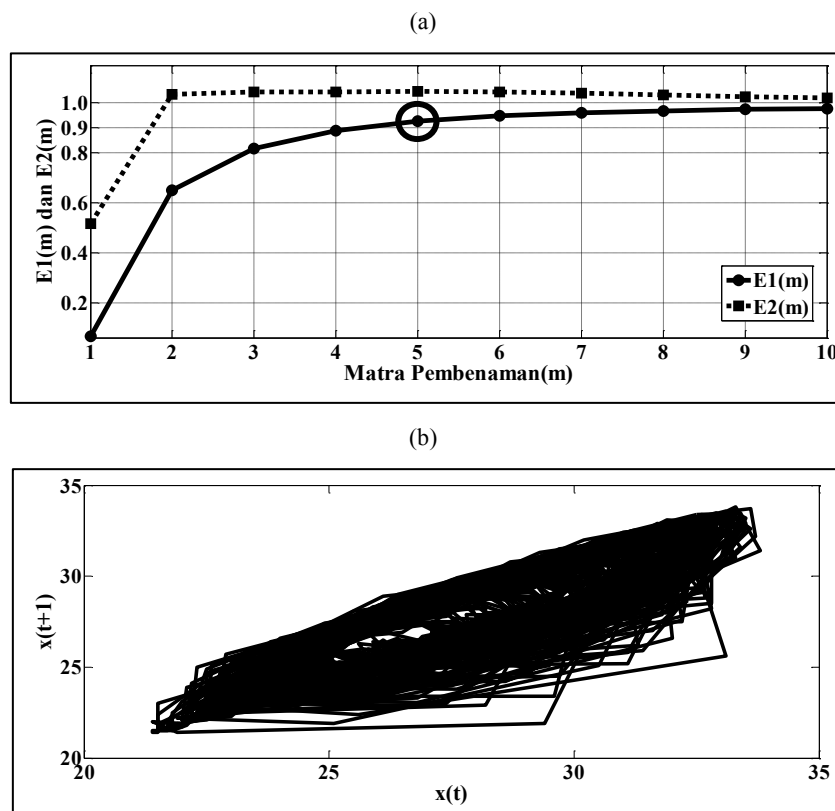
masa yang diramal adalah hampir dengan siri masa yang sebenar. Maka, semakin hampir pekali kolerasi dengan satu, semakin bagus model peramalan yang dibina.

4. Keputusan dan Perbincangan

4.1. Pengesanan kehadiran kalut

Kaedah Cao dan plot ruang fasa merupakan dua kaedah untuk mengenal pasti kehadiran dinamik kalut ke atas siri masa suhu. Rajah 4(a) merupakan keputusan kaedah Cao bagi siri masa suhu di negeri Pahang. Dapat diperhatikan dalam rajah tersebut, didapati nilai $E1(m)$ mula berhenti berubah pada nilai $m_0 = 4$. Maka nilai matra pembenaman yang dicari adalah empat ($m_0 + 1 = 5$). Manakala nilai $E1(m)$ terus menepu dengan peningkatan m dan wujud beberapa m atau sekurang-kurangnya satu m yang $E2(m) \neq 1$. Jadi ini mengukuhkan lagi bahawa dinamik kalut hadir dalam siri masa suhu di Pahang.

Rajah 4(b) merupakan plot ruang fasa dengan menggunakan $\tau = 1$, plot ruang fasa dibina dalam satah dua matra $\{t, t + 1\}$. Berdasarkan rajah, koordinat-koordinat dalam ruang fasa dilihat berkumpul di tengah-tengah. Penumpuan ini juga dikenali sebagai penarik. Dengan kewujudan penarik dalam ruang fasa siri masa suhu yang diperhatikan di Pahang, maka dinamik kalut hadir dalam siri masa yang diuji. Secara kesimpulannya, kedua-dua keputusan daripada Kaedah Cao dan plot ruang fasa menyatakan bahawa dinamik kalut hadir dalam siri masa suhu di Pahang.



Rajah 4: Keputusan (a) Kaedah Cao dan (b) Plot Ruang Fasa

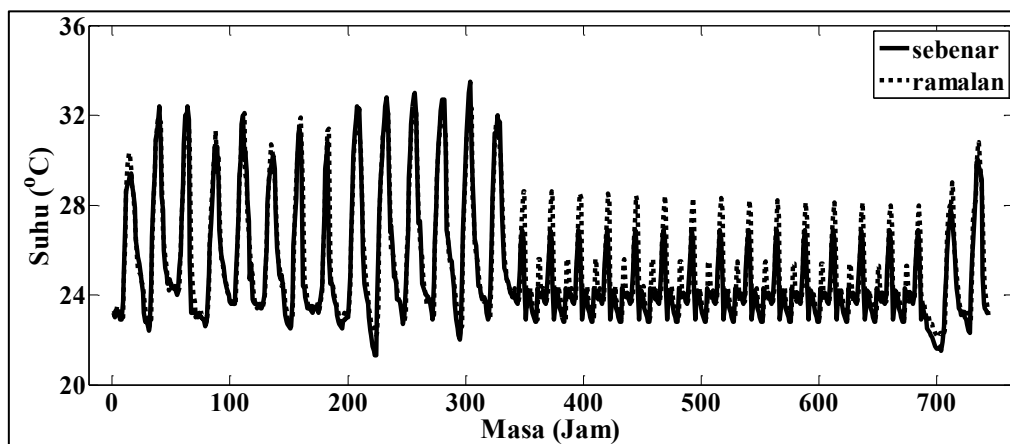
4.2. Faktor mempengaruhi siri masa suhu

Hasil keputusan daripada kaedah Cao mendapati sekurang-kurangnya empat pemboleh ubah yang mempengaruhi siri masa suhu. Menurut kajian yang dijalankan oleh Scott *et al.* (2018), faktor yang mempengaruhi perubahan suhu adalah disebabkan penebangan hutan yang berleluasa. Manakala, kajian yang dibuat oleh Adiwijaya *et al.* (2014) mendapati bahawa perubahan suhu dipengaruhi oleh faktor meteorologi seperti radiasi gunung berapi, radiasi solar, kelembapan, tekanan udara, hujan dan kelajuan angin.

Daripada senarai dalam perenggan di atas, terdapat lebih daripada empat faktor yang mempengaruhi suhu. Oleh itu, dapatan nilai m daripada kaedah Cao adalah serasi dengan bilangan faktor yang disenaraikan.

4.3. Keputusan peramalan

Dengan menggunakan $\tau = 1$ dan $m = 5$, ruang fasa persamaan (2) dibina bagi tujuan peramalan. Seterusnya, siri masa latihan diramal melalui KPPS dengan menggunakan ruang fasa tersebut. Rajah 5 menunjukkan siri masa diramal hampir menyamai siri masa sebenar, maka, ini membuktikan siri masa suhu dapat diramal dengan baik. Nilai pekali korelasi antara data sebenar dan data peramalan adalah 0.9443. Ini menunjukkan wujud korelasi yang tinggi antara data sebenar dengan data yang diramal kerana nilai tersebut hampir menghampiri satu. Oleh itu, model KPPS cemerlang dalam meramal siri masa suhu.



Rajah 5: Peramalan menggunakan kaedah penghampiran purata setempat

5. Kesimpulan

Plot ruang fasa dan kaedah Cao menunjukkan sifat kalut hadir dalam siri masa suhu yang dicerap di Jerantut, Pahang dengan menggunakan $\tau = 1$ dan $m = 5$. Data enam bulan yang diramal dengan menggunakan KPPS menunjukkan prestasi yang baik dengan pekali korelasi hampir dengan satu, iaitu 0.9443.

Penghargaan

Jutaan terima kasih kepada Jabatan Alam Sekitar dan Jabatan Meteorologi Malaysia di atas perkongsian data siri masa suhu. Penyelidikan ini ditaja oleh Geran Penyelidikan Universiti dengan kod 2016-0188-102-01.

Rujukan

- Adenan N. H., Hamid N. Z. A., Mohamed Z. & Nooraini M. S. M. 2017. A pilot study of river flow prediction in urban area based on phase space reconstruction. Dlm. *AIP Conference Proceedings* 1870, 040011. <https://doi.org/10.1063/1.4995843>
- Adenan N. H. & Nooraini M. S. M. 2015. Peramalan data siri masa aliran sungai di dataran banjir dengan menggunakan pendekatan kalut. *Sains Malaysiana* 44(3): 463–471.
- Adiwijaya, Wisesty U. N. & Nhita F. 2014. Study of line search techniques on the modified backpropagation for forecasting of weather data in Indonesia. *Far East Journal of Mathematical Sciences* 86(2): 139–148.
- Awang N. R., Ramli A., Mohammed N. I. & Yahaya A. S. 2013. Time series evaluation of ozone concentrations in Malaysia based on location of monitoring stations. *International Journal of Engineering and Technology* 3(3): 390–394.
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0167-2789\(97\)00118-8](https://doi.org/10.1016/S0167-2789(97)00118-8)
- Cheng J., Xie M. Y., Zhao K. F., Wu J. J., Xu Z. W., Song J., Zhao D. S., Li K. S., Wang X., Yang H. H., Wen L. Y., Su H. & Tong S. L. 2017. Impacts of ambient temperature on the burden of bacillary dysentery in urban and rural Hefei, China. *Epidemiology and Infection* 145(8): 1567–1576. <https://doi.org/10.1017/S0950268817000280>
- Domenico M. De, Ghorbani M. A., Makarynsky O., Makarynska D. & Asadi, H. 2013. Chaos and reproduction in sea level. *Applied Mathematical Modelling* 37(6): 3687–3697. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.08.018>
- Echi I. M., Tikyaa E. V. & Isikwue B. C. 2015. Dynamics of daily rainfall and temperature in Makurdi. *International Journal of Science and Research* 4(7): 493–499.
- Fu Q., Liu Y., Li T., Liu D. & Cui S. 2017. Analysis of irrigation water use efficiency based on the chaos features of a rainfall time series. *Water Resources Management* 31(6): 1961–1973. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1624-7>
- Hamid N. Z. A., Adenan N. H. & Nooraini M. S. M. 2017. Forecasting and analyzing high o 3 time series in educational area through an improved chaotic approach. Dlm. *AIP Conference Proceedings* 1870, 040035. <https://doi.org/10.1063/1.4995867>
- Hamid N. Z. A. & Nooraini 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.
- Ibrahim M. H., Zulkifli M. R., Ihsan M., Ismail M., Kalsum N., Isa M. & Adnan M. 2016. Impact of urbanization on temperature distribution in Malaysia: A case study of Rawang, Selangor. *Malaysia Journal of Society and Space* 12(5): 83–93.
- Indira P., Inbanathan S. S. R., Selvaraj R. S. & Suresh A. A. 2016. Forecasting daily maximum temperature of chennai using nonlinear prediction approach. *Indian Journal of Science and Technology* 9(39): 1-6 <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i39/100776>
- Islam M. N. & Sivakumar B. 2002. Characterization and prediction of runoff dynamics: A nonlinear dynamical view. *Advances in Water Resources* 25(2): 179–190. [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(01\)00053-7](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(01)00053-7)
- Li T.-Y., & Yorke J. A. 1975. Period three implies chaos. *The American Mathematical Monthly* 82(10): 985–992.
- Lorenz E. N. 1963. Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the Atmospheric Sciences* 20(2): 130–141. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1963\)020<0130:DNF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2)
- Pau S., Wolkovich E. M., Cook B. I., Nytech C. J., Regetz J., Zimmerman J. K. & Wright S. J. 2013. Clouds and temperature drive dynamic changes in tropical flower production. *Nature Climate Change* 3(7): 838–842. <https://doi.org/10.1038/nclimate1934>
- 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: 397–406. <https://doi.org/10.5194/npg-12-397-2005>
- Scott C. E., Monks S. A., Spracklen D. V., Arnold S. R., Forster P. M., Rap A., Aijala M., Artaxo P., Carslaw K. S., Chipperfield M. P., Ehn M., Gilardoni S., Heikkinen L., Kulmala M., Petaja T., Reddington C. L. S., Rizzo L. V., Swietlicki E., Vignati E. & Wilson C. 2018. Impact on short-lived climate forcers increases projected warming due to deforestation. *Nature Communications* 9(1): 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02412-4>
- Takens F. 1981. Detecting strange attractors in turbulence. Dlm. Rand D. & Young L.S. (pnyt). *Dynamical Systems and Turbulence*, Warwick 1980. Lecture Notes in Mathematics 898, pp. 366–381. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/bfb0091924>
- Thin N. C., Shimono H., Kumagai E. & Kawasaki M. 2017. Effects of elevated CO₂ concentration on growth and photosynthesis of Chinese yam under different temperature regimes. *Plant Production Science* 1008(March): 1–10. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2017.1283963>
- Tol R. S. J. 2018. The economic impacts of climate change. *Review of Environmental Economics and Policy* 12(1): 4–25. <https://doi.org/10.1093/reep/rex027>
- Wichmann J. 2017. Heat effects of ambient apparent temperature on all-cause mortality in Cape Town, Durban and

- Johannesburg, South Africa: 2006-2010. *Science of the Total Environment*, 587–588, 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.135>
- Wilson A., Reich B. J., Nolte C. G., Spero T. L., Hubbell B. & Rappold A. G. 2016. Climate change impacts on projections of excess mortality at 2030 using spatially varying ozone–temperature risk surfaces. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 27(1): 1–7. <https://doi.org/10.1038/jes.2016.14>
- www.bharian.com.my. <https://www.bharian.com.my/rencana/muka10/2019/04/547871/suhu-melampau-jejas-kesihatan> [7 Disember 2018].
- Zeng J., Lu C. & Deng Q. 2017. Prenatal exposure to diurnal temperature variation and early childhood pneumonia. *Journal of Thermal Biology* 65(February): 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.02.012>
- Zhan Z., Zhao Y., Pang S., Zhong X., Wu C. & Ding Z. 2017. Temperature change between neighboring days and mortality in United States: A nationwide study. *Science of the Total Environment* 584: 1152–1161. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.177>

*Jabatan Matematik
Fakulti Sains dan Matematik
Universiti Pendidikan Sultan Idris
35900 Tanjung Malim
Perak Darul Ridzuan, Malaysia
Email: munirahbahari23@gmail.com*, nor.zila@fsmt.upsi.edu.my*

*Penulis untuk dihubungi