



05-4506832



pustaka.upsi.edu.my



Perpustakaan Tuanku Bainun
Kampus Sultan Abdul Jalil Shah



PustakaTBainun



ptbupsi

**PEMODELAN SIRI MASA KEPEKATAN BAHAN
PENCEMAR UDARA O₃, PM₁₀ DAN JEREBU
MENERUSI PENDEKATAN KALUT**

NOR ZILA BINTI ABD HAMID



05-4506832



pustaka.upsi.edu.my



Perpustakaan Tuanku Bainun
Kampus Sultan Abdul Jalil Shah



PustakaTBainun



ptbupsi

**TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEH IJAZAH
DOKTOR FALSAFAH**



05-4506832



pustaka.upsi.edu.my



Perpustakaan Tuanku Bainun
Kampus Sultan Abdul Jalil Shah



PustakaTBainun



ptbupsi

ABSTRAK

Kajian ini adalah aplikasi pendekatan kalut ke atas pemodelan siri masa bahan pencemar udara ozon (O_3), zarah terampai (PM_{10}) dan jerebu yang dicerap mengikut jam di stesen-stesen asas dan metropolitan di Malaysia. Pemodelan kalut melibatkan dua peringkat iaitu (i) analisa dinamik siri masa dan (ii) pembinaan model peramalan. Peringkat (i) melalui kaedah Cao, kaedah m -songsang dan plot ruang fasa menunjukkan kehadiran dinamik kalut dalam setiap siri masa. Peringkat (ii) melibatkan dua langkah iaitu (a) pembinaan semula ruang fasa dan (b) proses peramalan. Untuk (a), dua parameter diperlukan iaitu masa tunda τ dan matra pembenaman m . Parameter τ ditentukan melalui penetapan $\tau=1$, kaedah purata maklumat bersama dan kaedah baharu τ -songsang. Parameter m dikira melalui kaedah Cao dan kaedah m -songsang. Langkah (b) dijalankan melalui kaedah penghampiran purata setempat (kpps), kaedah penghampiran linear setempat (kpls) dan kaedah penambahbaikan penghampiran linear setempat (kppls). Peramalan satu-jam ke hadapan mendapati kaedah τ -songsang membantu meningkatkan prestasi peramalan. Prestasi model kppls adalah mengatasi model-model kpps dan kpls. Model kalut O_3 boleh meramal sehingga dua hari ke hadapan manakala bagi model kalut PM_{10} , peramalan semakin merosot bermula dua jam ke hadapan. Peramalan pelbagai-langkah memperlihatkan penurunan prestasi model dengan pertambahan bilangan langkah peramalan. Model peramalan kalut pemetaan logistik adalah cemerlang dengan nilai pekali kolerasi satu. Tiada model peramalan siri masa bahan pencemar udara dengan pekali kolerasi satu kerana siri masa ini mengandungi gangguaningar. Mengecilkan skop siri masa mengikut musim adalah berbaloi memandangkan prestasi model peramalan PM_{10} ketika jerebu adalah lebih baik berbanding tempoh biasa. Prestasi model kalut adalah lebih cemerlang berbanding model tradisional regresi linear. Pendekatan kalut telah berjaya menganalisa dan meramal siri masa O_3 , PM_{10} dan jerebu. Dengan hasil-hasil yang diperoleh, diharapkan kajian ini mampu memudahkan pengurusan pencemaran udara oleh pihak-pihak berkepentingan dan menjadi petunjuk baharu dalam arena pemodelan siri masa bahan pencemar udara di Malaysia.



TIME SERIES MODELING OF O₃, PM₁₀ AND HAZE AIR POLLUTANT CONCENTRATIONS THROUGH CHAOTIC APPROACH



05-4506832



pustaka.upsi.edu.my

Perpustakaan Tuanku Bainun
Kampus Sultan Abdul Jalil Shah

PustakaTBainun



ptbupsi

ABSTRACT

This study is an application of the chaotic approach in modeling the time series of air pollutants namely ozone (O₃), particulate matter (PM₁₀) and haze observed hourly at the Malaysian background and metropolitan stations. Chaotic modeling involves two stages, namely (i) dynamic analysis of time series and (ii) development of the prediction model. Stage (i) through Cao method, m – inverse method and phase space plot discovered the presence of chaotic dynamics in each time series. Stage (ii) involves two steps, namely (a) reconstruction of phase space and (b) prediction process. For (a), two parameters are needed, the delay time τ and embedding dimension m . Parameter τ is determined by the setting of $\tau = 1$, the average mutual information method and a new method called the τ – inverse method. Parameter m is calculated by the Cao and m – inverse methods. Step (b) is performed by means of the local average approximation method (kpss), local linear approximation method (kpls) and the improved local linear approximation method (kppls). The one-hour ahead prediction models found that the τ – inverse method helped to improve the prediction performance. The performance of kppls model overcomes both kpss and kpls models. Chaotic model of O₃ can predict up to two days ahead while for PM₁₀ model, the prediction performance declined starting from two hour ahead prediction. The multi-step ahead prediction models show the decrease of the prediction performance with increasing number of prediction steps. Prediction model for the chaotic logistic map is excellent where the value of correlation coefficient is one. However, there is no prediction model of air pollutants time series with a correlation coefficient equal to one as the time series contains noise disturbance. Narrowing the scope of the time series according to its season was worth it as the performance of the prediction model of PM₁₀ during haze episode is much better than the normal period. Prediction performance through chaotic model is better than the traditional model of linear regression. Chaotic approach has successfully analyzed and predicted the time series of O₃, PM₁₀ and haze. With the promising results, it is hoped that this study will facilitate the management of air pollution by the stakeholders and it becomes the new guidance in the realm of the air pollutants time series modeling in Malaysia.



05-4506832



pustaka.upsi.edu.my

Perpustakaan Tuanku Bainun
Kampus Sultan Abdul Jalil Shah

PustakaTBainun



ptbupsi

KANDUNGAN

	 05-4506832	 pustaka.upsi.edu.my	 Perpustakaan Tuanku Bainun Kampus Sultan Abdul Jalil Shah	 PustakaTBainun	 ptbupsi	Halaman
PENGAKUAN						ii
PENGHARGAAN						iii
ABSTRAK						iv
ABSTRACT						v
KANDUNGAN						vi
SENARAI JADUAL						xii
SENARAI RAJAH						xvi
SENARAI SINGKATAN						xxii
SENARAI TATANAMA						xxiii
 BAB I PENDAHULUAN						 1
 1.1	Pengenalan					 1
 1.2	Kekalutan					 1
 1.3	Objektif Kajian					 4
 1.4	Sumbangan Kajian	 05-4506832	 pustaka.upsi.edu.my	 Perpustakaan Tuanku Bainun Kampus Sultan Abdul Jalil Shah	 PustakaTBainun	 ptbupsi 5
	1.4.1	Sumbangan Kajian Kepada Penambahbaikan Dalam Kaedah Pendekatan Kalut				5
	1.4.2	Sumbangan Kajian Kepada Pemodelan Siri Masa Bahan Pencemar Udara				5
	1.4.3	Sumbangan Kajian Kepada Negara Malaysia				6
 1.5	Skop Kajian					 6
 1.6	Kerangka Tesis					 7
 BAB II KAJIAN KEPUSTAKAAN						 9
 2.1	Pengenalan					 9
 2.2	Aplikasi Pendekatan Kalut					 9
 2.3	Kepentingan Pemodelan Siri Masa Bahan Pencemar Udara					 10
 2.4	Aplikasi Pendekatan Kalut Ke Atas Siri Masa Bahan Pencemar Udara	 05-4506832	 pustaka.upsi.edu.my	 Perpustakaan Tuanku Bainun Kampus Sultan Abdul Jalil Shah	 PustakaTBainun	 ptbupsi 15

2.4.1	Pengesanan Kehadiran Dinamik Kalut Siri Masa Bahan Pencemar Udara	15
2.4.2	Pembinaan Model Peramalan Siri Masa Bahan Pencemar Udara	17
2.5	Rumusan	19
BAB III	PENDEKATAN KALUT	21
3.1	Pengenalan	21
3.2	Asas Pendekatan Kalut	21
3.2.1	Sistem Dinamik	21
3.2.2	Ruang Fasa	22
3.2.3	Kepelbagaian Dinamik Sistem Dinamik	23
3.2.4	Ciri-Ciri Kalut	24
3.3	Pembinaan Semula Ruang Fasa	25
3.3.1	Penentuan Parameter τ	28
3.3.2	Penentuan Parameter m	32
3.3.3	Pengesanan Kehadiran Dinamik Kalut	35
3.4	Pembinaan Model Peramalan	40
3.4.1	Asas Peramalan	40
3.4.2	Model Berasaskan Pendekatan Kalut	40
3.4.3	Model Tradisional Regresi Linear	52
3.4.4	Petunjuk Prestasi	54
3.4.5	Perisian Komputer	55
3.5	Rumusan	56
BAB IV	PEMODELAN KALUT PEMETAAN LOGISTIK	58
4.1	Pengenalan	58
4.2	Pemetaan Logistik	58
4.3	Parameter Ruang Fasa Pemetaan Logistik	61
4.3.1	Kaedah Purata Maklumat Bersama (pmb)	62

4.3.2	Kaedah Cao	62
4.3.3	Kaedah m – songsang	63
4.3.4	Kaedah τ – songsang	64
4.3.5	Gabungan Parameter Ruang Fasa	65
4.4	Kaitan antara Parameter-Parameter Ruang Fasa dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Siri Masa Pemetaan Logistik	65
4.5	Analisa Dinamik Kalut Pemetaan Logistik	66
4.5.1	Kaedah Cao	66
4.5.2	Kaedah m – songsang	66
4.5.3	Kaedah Plot Ruang Fasa	67
4.6	Cadangan Model Peramalan Pemetaan Logistik	68
4.7	Model-Model Peramalan Siri Masa Pemetaan Logistik	69
4.7.1	Model-Model Peramalan Satu-Langkah Ke Hadapan Siri Masa Pemetaan Logistik	69
4.7.2	Model-Model Peramalan Pelbagai-Langkah Ke Hadapan Siri Masa Pemetaan Logistik	71
4.8	Rumusan	73
BAB V	DATA SIRI MASA	74
5.1	Pengenalan	74
5.2	Kawasan-Kawasan Kajian	74
5.2.1	Geografi Koordinat	74
5.2.2	Geografi Manusia	77
5.2.3	Geografi Fizikal	78
5.3	Status Pencemaran Udara	80
5.4	Data Siri Masa	83
5.4.1	Siri Masa Bahan Pencemar O_3 dan PM_{10}	83
5.4.2	Isu Bilangan Data	88
5.4.3	Isu Data Lenyap	89

5.5	Analisa Variasi Siri Masa Bahan Pencemar Udara	90
5.5.1	Variasi Siri Masa O_3	90
5.5.2	Variasi Siri Masa PM_{10}	95
5.5.3	Perbandingan Corak Variasi Harian dan Mengikut Musim Siri Masa O_3 dan PM_{10}	100

BAB VI PENGESANAN KEHADIRAN DINAMIK KALUT SIRI MASA BAHAN PENCEMAR UDARA 102

6.1	Pengenalan	102
-----	------------	-----

6.2	Parameter Ruang Fasa	103
-----	----------------------	-----

6.2.1	Kaedah Purata Maklumat Bersama (pmb)	103
6.2.2	Kaedah Cao	105
6.2.3	Kaedah m – songsang	107
6.2.4	Kaedah τ – songsang	110
6.2.5	Gabungan Parameter Ruang Fasa	113

6.3	Kaitan antara Parameter-Parameter Ruang Fasa dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Siri Masa Bahan Pencemar Udara	116
-----	---	-----

6.3.1	Kaitan antara Parameter-Parameter Ruang Fasa dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Siri Masa O_3	117
6.3.2	Kaitan antara Parameter-parameter Ruang Fasa dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Siri Masa PM_{10}	118
6.3.3	Kaitan antara Parameter-Parameter Ruang Fasa dan Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Siri Masa Jerebu	119

6.4	Analisa Dinamik Kalut Siri Masa Bahan Pencemar Udara	121
-----	--	-----

6.4.1	Dinamik Siri Masa Kepekatan O_3	121
6.4.2	Dinamik Siri Masa Kepekatan PM_{10}	124
6.4.3	Dinamik Siri Masa Jerebu	127

6.5	Cadangan Model Peramalan Bagi Siri Masa Bahan Pencemar Udara	129
-----	--	-----

BAB VII MODEL PERAMALAN SIRI MASA BAHAN PENCEMAR UDARA 132

7.1	Pengenalan	132
-----	------------	-----

7.2	Model-Model Peramalan Satu-Langkah Ke Hadapan Siri Masa Kepekatan O_3	134
7.2.1	Model-Model Peramalan Siri Masa Kepekatan O_3 di Jerantut	134
7.2.2	Model-Model Peramalan Siri Masa Kepekatan O_3 di Petaling Jaya	142
7.2.3	Model-Model Peramalan Siri Masa Kepekatan O_3 di Shah Alam	151
7.2.4	Perbandingan Model Peramalan Kalut Siri Masa O_3 dan Model Tradisional	159
7.3	Model-Model Peramalan Satu-Langkah Ke Hadapan Siri Masa Kepekatan PM_{10}	160
7.3.1	Model-Model Peramalan Siri Masa Kepekatan PM_{10} di Jerantut	160
7.3.2	Model-Model Peramalan Siri Masa Kepekatan PM_{10} di Petaling Jaya	167
7.3.3	Model-Model Peramalan Siri Masa Kepekatan PM_{10} di Shah Alam	175
7.3.4	Perbandingan Model Peramalan Kalut Siri Masa PM_{10} dan Model Tradisional	183
7.4	Model Peramalan Pelbagai-Langkah Ke Hadapan	184
7.4.1	Model-Model Peramalan Pelbagai-Langkah Ke Hadapan Siri Masa O_3	185
7.4.2	Model-Model Peramalan Pelbagai-Langkah Ke Hadapan Siri Masa PM_{10}	188
7.4.3	Kaitan Antara Dinamik Kalut dan Model Pelbagai-Langkah	192
7.5	Model-Model Peramalan Satu-Langkah Ke Hadapan Siri Masa Jerebu	194
7.5.1	Model-Model Peramalan Jerebu di Jerantut	194
7.5.2	Model-Model Peramalan Jerebu di Petaling Jaya	202
7.5.3	Model-Model Peramalan Jerebu di Shah Alam	211
7.5.4	Perbandingan Model Peramalan Kalut Siri Masa Jerebu dan Model Tradisional	214
7.5.5	Dapatan Penting Kajian Khas Jerebu	215
7.6	Perbandingan Teknik-Teknik Peramalan	216
7.6.1	Antara Kpps, Kpls dan Kppls	216

7.6.2	Antara $\tau = 1$, τ_{pmb} dan $\tau_{songsang}$	216
7.6.3	Antara m_{cao} dan $m_{songsang}$	217
7.6.4	Antara Model Kalut dan Model Tradisional	217
7.6.5	Kelebihan Model Jerebu	218

BAB VIII KESIMPULAN DAN CADANGAN KAJIAN LANJUTAN 219

8.1	Pengenalan	219
8.2	Dapatan-Dapatan Penting Keseluruhan Kajian	219
8.3	Cadangan-Cadangan Kajian Lanjutan	225
8.3.1	Pengesanan Kehadiran Dinamik Kalut	225
8.3.2	Kaedah-Kaedah Bagi Mencari Parameter τ dan m	226
8.3.3	Kepelbagaian Data dan Lokasi Siri Masa	226

RUJUKAN 227

PENERBITAN 237

Jurnal	237
Prosiding	238

SENARAI JADUAL

No.	Jadual	Halaman
2.1	Aplikasi-aplikasi terkini pendekatan kalut	10
2.2	Kajian-kajian terkini variasi siri masa kepekatan O_3	15
2.3	Kajian-kajian terkini variasi siri masa mengikut musim kepekatan PM_{10}	15
2.4	Aplikasi kaedah Cao, kaedah m – songsang dan plot ruang fasa dalam kajian-kajian lepas	17
3.1	Aplikasi kaedah pmb dalam kajian-kajian lepas	30
3.2	Contoh keputusan kaedah τ – songsang bagi siri masa pemetaan logistik	32
3.3	Contoh keputusan kaedah m – songsang siri masa O_3 di Jerantut	37
3.4	Proses tambahan bagi kppls	50
3.5	Interpretasi nilai pk	55
3.6	Aplikasi TSTOOL	56
4.1	Kaedah m – songsang bagi siri masa pemetaan logistik	64
4.2	Kaedah τ – songsang bagi siri masa pemetaan logistik	64
4.3	Parameter-parameter ruang fasa bagi siri masa pemetaan logistik	65
4.4	Keputusan penuh analisa dinamik siri masa pemetaan logistik	68
4.5	Parameter-parameter model peramalan bagi siri masa pemetaan logistik	69
4.6	Keputusan peramalan model kpps dengan $k=1$	70
4.7	Keputusan model peramalan kppls dengan $k=2$	70
4.8	Keputusan model peramalan kuadratik setempat dengan $k=3$	71
4.9	Keputusan model peramalan kuadratik setempat dengan $k=50$	71
4.10	Keputusan model peramalan kuadratik setempat dengan $k=100$	71
4.11	Keputusan peramalan p – langkah ke hadapan siri masa pemetaan logistik	73
5.1	Koordinat geografi stesen kajian	76
5.2	Kategori stesen kajian	77
5.3	Bilangan penduduk dan jumlah keluasan lokasi kajian	78
5.4	Status IPU	82
5.5	Status kualiti udara mengikut lokasi kajian bagi tahun 2009	82
5.6	Bilangan hari jerebu mengikut tahun	82
5.7	Bilangan kenderaan berdaftar di Malaysia mengikut tahun	82
5.8	Bilangan kes pembakaran terbuka mengikut kategori	82
5.9	Bilangan kes pembakaran terbuka mengikut tahun	83
5.10	Ringkasan siri masa pemodelan kalut	87
5.11	Garis Panduan Kualiti Udara Persekitaran Malaysia	87

No. Jadual		Halaman
5.12	Penerangan statistik siri masa kepekatan pencemar O_3	87
5.13	Penerangan statistik siri masa kepekatan pencemar PM_{10}	87
5.14	Penerangan statistik siri masa jerebu	88
5.15	Bilangan data lenyap	89
6.1	Kaedah m —songsang bagi siri masa O_3 di Jerantut	108
6.2	Kaedah m —songsang bagi siri masa O_3 di Petaling Jaya	108
6.3	Kaedah m —songsang bagi siri masa O_3 di Shah Alam	108
6.4	Kaedah m —songsang bagi siri masa PM_{10} di Jerantut	109
6.5	Kaedah m —songsang bagi siri masa PM_{10} di Petaling Jaya	109
6.6	Kaedah m —songsang bagi siri masa PM_{10} di Shah Alam	109
6.7	Kaedah m —songsang bagi siri masa jerebu di Jerantut	109
6.8	Kaedah m —songsang bagi siri masa jerebu di Petaling Jaya	110
6.9	Kaedah m —songsang bagi siri masa jerebu di Shah Alam	110
6.10	Kaedah τ —songsang bagi siri masa O_3 di Jerantut	111
6.11	Kaedah τ —songsang bagi siri masa O_3 di Petaling Jaya	111
6.12	Kaedah τ —songsang bagi siri masa O_3 di Shah Alam	111
6.13	Kaedah τ —songsang bagi siri masa PM_{10} di Jerantut	112
6.14	Kaedah τ —songsang bagi siri masa PM_{10} di Petaling Jaya	112
6.15	Kaedah τ —songsang bagi siri masa PM_{10} di Shah Alam	112
6.16	Kaedah τ —songsang bagi siri masa jerebu di Jerantut	112
6.17	Kaedah τ —songsang bagi siri masa jerebu di Petaling Jaya	113
6.18	Kaedah τ —songsang bagi siri masa jerebu di Shah Alam	113
6.19	Parameter-parameter ruang fasa bagi siri masa kepekatan O_3	114
6.20	Parameter-parameter ruang fasa bagi siri masa PM_{10}	115
6.21	Parameter-parameter ruang fasa bagi siri masa jerebu	116
6.22	Julat m , $m_{maksimum}$ dan m_{median} siri masa kepekatan O_3	118
6.23	Julat m , $m_{maksimum}$ dan m_{median} siri masa kepekatan PM_{10}	119
6.24	Julat m , $m_{maksimum}$ dan m_{median} siri masa jerebu	121
6.25	Keputusan penuh analisa dinamik siri masa O_3 di Jerantut	129
6.26	Keputusan penuh analisa dinamik siri masa O_3 di Petaling Jaya	130
6.27	Keputusan penuh analisa dinamik siri masa O_3 di Shah Alam	130
6.28	Keputusan penuh analisa dinamik siri masa PM_{10} di Jerantut	130
6.29	Keputusan penuh analisa dinamik siri masa PM_{10} di Petaling Jaya	130
6.30	Keputusan penuh analisa dinamik siri masa PM_{10} di Shah Alam	130
6.31	Keputusan penuh analisa dinamik siri masa jerebu di Jerantut	130
6.32	Keputusan penuh analisa dinamik siri masa jerebu di Petaling Jaya	131

No. Jadual		Halaman
6.33	Keputusan penuh analisa dinamik siri masa jerebu di Shah Alam	131
7.1	Nilai pk bagi keputusan-keputusan peramalan O_3 di Jerantut	141
7.2	Nilai pk bagi τ yang berbeza ke atas peramalan O_3 di Jerantut	142
7.3	Petunjuk prestasi bagi m yang berbeza ke atas peramalan O_3 di Jerantut	142
7.4	Nilai pk bagi keputusan-keputusan peramalan O_3 di Petaling Jaya	150
7.5	Petunjuk prestasi bagi τ yang berbeza ke atas peramalan O_3 di Petaling Jaya	151
7.6	Nilai pk bagi m yang berbeza ke atas peramalan O_3 di Petaling Jaya	151
7.7	Nilai pk bagi keputusan-keputusan peramalan O_3 di Shah Alam	158
7.8	Nilai pk bagi τ yang berbeza ke atas peramalan O_3 di Shah Alam	159
7.9	Nilai pk bagi m yang berbeza ke atas peramalan O_3 di Shah Alam	159
7.10	Perbandingan petunjuk-petunjuk prestasi antara model tradisional dan model terbaik pendekatan kalut bagi siri masa O_3	160
7.11	Nilai pk bagi keputusan-keputusan peramalan PM_{10} di Jerantut	167
7.12	Nilai pk bagi τ yang berbeza ke atas peramalan PM_{10} di Jerantut	167
7.13	Nilai pk bagi m yang berbeza ke atas peramalan PM_{10} di Jerantut	167
7.14	Nilai pk bagi keputusan-keputusan peramalan PM_{10} di Petaling Jaya	175
7.15	Nilai pk bagi τ yang berbeza ke atas peramalan PM_{10} di Petaling Jaya	175
7.16	Petunjuk prestasi bagi m yang berbeza ke atas peramalan PM_{10} di Petaling Jaya	175
7.17	Nilai pk bagi keputusan-keputusan peramalan PM_{10} di Shah Alam	183
7.18	Nilai pk bagi τ yang berbeza ke atas peramalan PM_{10} di Shah Alam	183
7.19	Petunjuk prestasi bagi m yang berbeza ke atas peramalan PM_{10} di Shah Alam	183



No. Jadual		Halaman
7.20	Perbandingan petunjuk-petunjuk prestasi antara model tradisional dan model terbaik pendekatan kalut bagi siri masa PM_{10}	184
7.21	Model peramalan terbaik bagi setiap siri masa mengikut lokasi	185
7.22	Prestasi peramalan pelbagai-langkah ke hadapan siri masa O_3	188
7.23	Prestasi peramalan pelbagai-langkah ke hadapan siri masa PM_{10}	191
7.24	Nilai pk bagi keputusan-keputusan peramalan jerebu di Jerantut	202
7.25	Nilai pk bagi τ yang berbeza ke atas peramalan jerebu di Jerantut	202
7.26	Nilai pk bagi m yang berbeza ke atas peramalan jerebu di Jerantut	202
7.27	Nilai pk bagi keputusan-keputusan peramalan jerebu di Petaling Jaya	210
7.28	Nilai prm dan $rppkd$ bagi keputusan-keputusan peramalan jerebu di Petaling Jaya	210
7.29	Nilai pk bagi τ yang berbeza ke atas peramalan jerebu di Petaling Jaya	210
7.30	Nilai pk bagi m yang berbeza ke atas peramalan jerebu di Petaling Jaya	211
7.31	Nilai pk bagi keputusan-keputusan peramalan PM_{10} ketika jerebu di Shah Alam	214
7.32	Nilai pk bagi m yang berbeza ke atas peramalan PM_{10} ketika jerebu di Shah Alam	214
7.33	Perbandingan model peramalan jerebu	215



SENARAI RAJAH

No. Rajah		Halaman
3.1	Contoh ruang fasa bagi a. siri masa pemetaan logistik dan b. siri masa kepekatan O_3 di Jerantut	23
3.2	Contoh perubahan dinamik siri masa pemetaan logistik	23
3.3	Ilustrasi ciri peka terhadap syarat awal pemetaan logistik	25
3.4	Contoh keputusan pmb bagi a. pemetaan logistik dan b. siri masa kepekatan O_3 di Jerantut	30
3.5	Ruang fasa bagi a. pemetaan logistik dengan $\tau = 11$ dan b. siri masa kepekatan O_3 di Jerantut dengan $\tau = 8$	30
3.6	Carta alir algoritma kaedah τ – songsang	31
3.7	Carta alir algoritma kaedah m – songsang	35
3.8	Contoh keputusan kaedah Cao ke atas siri masa kepekatan O_3 di Jerantut	37
3.9	Contoh plot ruang fasa siri masa pemetaan logistik bagi a. $\tau=1$ dan b. $\tau=11$	39
3.10	Contoh graf hubungan bilangan langkah peramalan dan prestasi model peramalan bagi a. pemetaan logistik dan b. siri masa kepekatan O_3 di Jerantut	40
3.11	Carta alir algoritma peramalan kpps	46
3.12	Carta alir algoritma peramalan kpls	48
3.13	Langkah-langkah pemodelan kalut	56
3.14	Langkah-langkah pembinaan model peramalan	57
4.1	Ilustrasi variasi parameter $x(1)$ pemetaan logistik	61
4.2	Perubahan dinamik siri masa terhadap variasi parameter r	61
4.3	Siri masa pemetaan logistik	62
4.4	Keputusan kaedah pmb pemetaan logistik	62
4.5	Kaedah Cao dengan a. $\tau=1$ dan b. $\tau=11$	63
4.6	Plot ruang fasa siri masa pemetaan logistik bagi a. $\tau=1$, b. $\tau=11$	68
4.7	Gambarajah taburan model peramalan satu-langkah ke hadapan	72
4.8	Gambarajah taburan model peramalan lima-langkah ke hadapan	72
4.9	Gambarajah taburan model peramalan 50-langkah ke hadapan	72
4.10	Plot p melawan pk bagi peramalan siri masa pemetaan logistik	72
5.1	Peta negara Malaysia	75
5.2	Lokasi kajian: a. Petaling Jaya dan Shah Alam dan b. Jerantut	76
5.3	Siri masa bahan pencemar O_3 di a. Jerantut, b. Petaling Jaya dan c. Shah Alam	86



No. Rajah		Halaman
Rajah 5.4	Siri masa bahan pencemar PM ₁₀ di a. Jerantut, b. Petaling Jaya dan c. Shah Alam	86
Rajah 5.5	Variasi harian siri masa O ₃ di kawasan a. Jerantut, b. Petaling Jaya dan c. Shah Alam	92
Rajah 5.6	Variasi mengikut musim siri masa O ₃ Jerantut ketika a. Monsun Barat Daya dan b. Monsun Timur Laut	93
Rajah 5.7	Variasi mengikut musim siri masa O ₃ Petaling Jaya ketika a. Monsun Barat Daya dan b. Monsun Timur Laut	94
Rajah 5.8	Variasi mengikut musim siri masa O ₃ Shah Alam ketika a. Monsun Barat Daya dan b. Monsun Timur Laut	94
Rajah 5.9	Variasi harian siri masa PM ₁₀ di kawasan a. Jerantut, b. Petaling Jaya dan c. Shah Alam	96
Rajah 5.10	Variasi mengikut musim siri masa PM ₁₀ di kawasan Jerantut ketika a. Monsun Barat Daya dan b. Monsun Timur Laut	99
Rajah 5.11	Variasi mengikut musim siri masa PM ₁₀ di kawasan Petaling Jaya ketika a. Monsun Barat Daya dan b. Monsun Timur Laut	99
Rajah 5.12	Variasi mengikut musim siri masa PM ₁₀ di kawasan Shah Alam ketika a. Monsun Barat Daya dan b. Monsun Timur Laut	99
Rajah 6.1	Pmb bagi siri masa O ₃ di a. Jerantut, b. Petaling Jaya dan c. Shah Alam	104
Rajah 6.2	Pmb bagi siri masa PM ₁₀ di a. Jerantut, b. Petaling Jaya dan c. Shah Alam	104
Rajah 6.3	Pmb bagi siri masa jerebu di a. Jerantut, b. Petaling Jaya dan c. Shah Alam	104
Rajah 6.4	Kaedah Cao siri masa O ₃ di Jerantut bagi a. $\tau=1$ dan b. $\tau_{pmb}=8$	105
Rajah 6.5	Kaedah Cao siri masa O ₃ di Petaling Jaya bagi a. $\tau=1$ dan b. $\tau_{pmb}=10$	106
Rajah 6.6	Kaedah Cao siri masa O ₃ di Shah Alam bagi a. $\tau=1$ dan b. $\tau_{pmb}=10$	106
Rajah 6.7	Kaedah Cao siri masa PM ₁₀ di Jerantut bagi a. $\tau=1$ dan b. $\tau_{pmb}=5$	106
Rajah 6.8	Kaedah Cao siri masa PM ₁₀ di Petaling Jaya bagi a. $\tau=1$ dan b. $\tau_{pmb}=7$	106
Rajah 6.9	Kaedah Cao siri masa PM ₁₀ di Shah Alam bagi a. $\tau=1$ dan b. $\tau_{pmb}=6$	106
Rajah 6.10	Kaedah Cao siri masa jerebu di Jerantut bagi a. $\tau=1$ dan b. $\tau_{pmb}=4$	107

No. Rajah		Halaman
6.11	Kaedah Cao siri masa jerebu di Petaling Jaya bagi a. $\tau = 1$ dan b. $\tau_{pmb} = 5$	107
6.12	Kaedah Cao siri masa jerebu di Shah Alam bagi $\tau = 1$	107
6.13	Plot ruang fasa siri masa O ₃ di Jerantut bagi a. $\tau = 1$, b. $\tau_{songsang} = 7$, c. $\tau_{pmb} = 8$ dan d. $\tau_{songsang} = 9$	123
6.14	Plot ruang fasa siri masa O ₃ di Petaling Jaya bagi a. $\tau = 1$ b. $\tau_{songsang} = 9$ dan c. $\tau_{songsang} = \tau_{pmb} = 10$	123
6.15	Plot ruang fasa siri masa O ₃ di Shah Alam bagi a. $\tau = \tau_{songsang} = 1$, b. $\tau_{songsang} = 9$ dan c. $\tau_{pmb} = 10$	124
6.16	Plot ruang fasa siri masa PM ₁₀ di Jerantut bagi a. $\tau = 1$ dan b. $\tau = 5$	126
6.17	Plot ruang fasa siri masa PM ₁₀ di Petaling Jaya bagi a. $\tau = 1$ b. $\tau = 7$ dan c. $\tau = 6$	126
6.18	Plot ruang fasa siri masa PM ₁₀ di Shah Alam bagi a. $\tau = 1$, b. $\tau = 6$ dan c. $\tau = 7$	126
6.19	Plot ruang fasa siri masa jerebu di Jerantut bagi a. $\tau = 1$, b. $\tau = 4$ dan c. $\tau = 9$	128
6.20	Plot ruang fasa siri masa jerebu di Petaling Jaya bagi a. $\tau = 1$, b. $\tau = 5$ dan c. $\tau = 6$	128
6.21	Plot ruang fasa siri masa jerebu di Shah Alam bagi $\tau = 1$	129
7.1	Keputusan peramalan O ₃ di Jerantut melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,5)	136
7.2	Keputusan peramalan O ₃ di Jerantut melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,6)	137
7.3	Keputusan peramalan O ₃ di Jerantut melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (8,6)	138
7.4	Keputusan peramalan O ₃ di Jerantut melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (8,2)	139
7.5	Keputusan peramalan O ₃ di Jerantut melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (7,5)	140
7.6	Keputusan peramalan O ₃ di Jerantut melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (9,6)	141
7.7	Keputusan peramalan O ₃ di Petaling Jaya melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,9)	145
7.8	Keputusan peramalan O ₃ di Petaling Jaya melalui model a. kpps dan b. kpls menggunakan parameter (1,4)	146
7.9	Keputusan peramalan O ₃ di Petaling Jaya melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (10,7)	147
7.10	Keputusan peramalan O ₃ di Petaling Jaya melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (10,5)	148
7.11	Keputusan peramalan O ₃ di Petaling Jaya melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (9,9)	149

No. Rajah		Halaman
7.12	Keputusan peramalan O_3 di Petaling Jaya melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (10,4)	150
7.13	Keputusan peramalan O_3 di Shah Alam melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,6)	154
7.14	Keputusan peramalan O_3 di Shah Alam melalui model a. kpps dan b. kpls menggunakan parameter (1,2)	155
7.15	Keputusan peramalan O_3 di Shah Alam melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (10,5)	156
7.16	Keputusan peramalan O_3 di Shah Alam melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (10,3)	157
7.17	Keputusan peramalan O_3 di Shah Alam melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (9,6)	158
7.18	Keputusan peramalan PM_{10} di Jerantut melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,5)	163
7.19	Keputusan peramalan PM_{10} di Jerantut melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,8)	164
7.20	Keputusan peramalan PM_{10} di Jerantut melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (5,5)	165
7.21	Keputusan peramalan PM_{10} di Jerantut melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (5,6)	166
7.22	Keputusan peramalan PM_{10} di Petaling Jaya melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,5)	170
7.23	Keputusan peramalan PM_{10} di Petaling Jaya melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,1)	171
7.24	Keputusan peramalan PM_{10} di Petaling Jaya melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (7,6)	172
7.25	Keputusan peramalan PM_{10} di Petaling Jaya melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (7,1)	173
7.26	Keputusan peramalan PM_{10} di Petaling Jaya melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (6,5)	174
7.27	Keputusan peramalan PM_{10} di Shah Alam melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,5)	178
7.28	Keputusan peramalan PM_{10} di Shah Alam melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,2)	179
7.29	Keputusan peramalan PM_{10} di Shah Alam melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (6,6)	180
7.30	Keputusan peramalan PM_{10} di Shah Alam melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (6,7)	181
7.31	Keputusan peramalan PM_{10} di Shah Alam melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (7,5)	182

No. Rajah		Halaman
7.32	Rajah taburan model peramalan O_3 di Jerantut bagi a. $p=1$, b. $p=24$ dan c. $p=168$	187
7.33	Rajah taburan model peramalan O_3 di Petaling Jaya bagi a. $p=1$, b. $p=24$ dan c. $p=168$	187
7.34	Rajah taburan model peramalan O_3 di Shah Alam bagi a. $p=1$, b. $p=24$ dan c. $p=168$	188
7.35	Rajah taburan model peramalan PM_{10} di Jerantut bagi a. $p=1$, b. $p=24$ dan c. $p=168$	190
7.36	Rajah taburan model peramalan PM_{10} di Petaling Jaya bagi a. $p=1$, b. $p=24$ dan c. $p=168$	191
7.37	Rajah taburan model peramalan PM_{10} di Shah Alam bagi a. $p=1$, b. $p=24$ dan c. $p=168$	191
7.38	Plot p melawan pk bagi peramalan O_3 di a. Jerantut, b. Petaling Jaya dan c. Shah Alam	193
7.39	Plot p melawan pk bagi peramalan PM_{10} di a. Jerantut, b. Petaling Jaya dan c. Shah Alam	193
7.40	Keputusan peramalan jerebu di Jerantut melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,4)	197
7.41	Keputusan peramalan jerebu di Jerantut melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,3)	198
7.42	Keputusan peramalan jerebu di Jerantut melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (4,5)	199
7.43	Keputusan peramalan jerebu di Jerantut melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (4,1)	200
7.44	Keputusan peramalan jerebu di Jerantut melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (9,4)	201
7.45	Keputusan peramalan jerebu di Petaling Jaya melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,5)	205
7.46	Keputusan peramalan jerebu di Petaling Jaya melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,2)	206
7.47	Keputusan peramalan jerebu di Petaling Jaya melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (5,5)	207
7.48	Keputusan peramalan jerebu di Petaling Jaya melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (5,2)	208
7.49	Keputusan peramalan jerebu di Petaling Jaya melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (6,5)	209



No. Rajah		Halaman
7.50	 05-4506832  pustaka.upsi.edu.my  Perpustakaan Tuanku Bainun  PustakaTBainun  ptbupsi	212
7.51	Keputusan peramalan jerebu di Shah Alam melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,5) Keputusan peramalan jerebu di Shah Alam melalui model a. kpps, b. kpls dan c. kppls menggunakan parameter (1,4)	213

SENARAI SINGKATAN

d	 05-4506832	 matra pembenaman	 Perpustakaan Tuanku Bainun Kampus Sultan Abdul Jalil Shah	 PustakaTBainun	 ptbupsi
$E1(d)$		parameter kaedah Cao			
$E2(d)$		parameter kaedah Cao			
$I(T)$		parameter kaedah pmb			
JASM		Jabatan Alam Sekitar Malaysia			
JMM		Jabatan Meteorologi Malaysia			
JPM		Jabatan Perangkaan Malaysia			
JPNM		Jabatan Penerangan Malaysia			
k		bilangan jiran terdekat			
$kpls$		kaedah penghampiran linear setempat			
$kpls-p$		kaedah penghampiran linear setempat-penambahbaikan			
$kpps$		kaedah penghampiran purata setempat			
m		matra pembenaman optimum			
m_{cao}		m dari kaedah Cao			
$m_{songsang}$		m dari kaedah songsang			
pk		pekali kolerasi			
prm		purata ralat mutlak			
$rppkd$		ralat punca purata kuasa dua			
pmb		purata maklumat bersama			
T		parameter kaedah pmb			
TSTOOL		<i>Time Series Tool</i> (nama perisian)			
τ	 05-4506832	 masa tunda	 Perpustakaan Tuanku Bainun Kampus Sultan Abdul Jalil Shah	 PustakaTBainun	 ptbupsi
τ_{pmb}		τ dari kaedah pmb			
$\tau_{songsang}$		τ dari kaedah songsang			

SENARAI TATANAMA

CH ₄	Metana	 05-4506832	 pustaka.upsi.edu.my	 Perpustakaan Tuanku Bainun Kampus Sultan Abdul Jalil Shah	 PustakaTBainun	 ptbupsi
CO	Karbon Monoksida					
NO	Nitrogen Monoksida					
NO ₂	Nitrogen Dioksida					
NO _x	Nitrogen Oksida					
O ₂	Oksigen					
O ₃	Ozon					
PM ₁₀	Zarah Terampai					
SO ₂	Sulfur Dioksida					
VOC	<i>Volatile Organic Compound</i>					



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 PENGENALAN

Sejak berabad dahulu, ahli sains mendapati banyak fenomena alam semula jadi yang bukan sahaja tidak teratur, malah, sukar diramal. Namun, dari generasi ke generasi, daripada hasil pemerhatian yang teliti serta eksperimen-eksperimen yang dijalankan, ahli sains mula memperoleh idea tentang peramalan ke atas beberapa fenomena alam yang kompleks seperti paras air laut, cuaca dan aliran sungai. Berdasarkan apa yang diteliti, ahli sains mula menyedari yang kebanyakan fenomena alam mematuhi peraturan tertentu dan mempunyai struktur yang teratur.

Penulisan tesis ini bertujuan untuk mengupas tentang peraturan dan struktur yang dipatuhi oleh fenomena-fenomena kompleks ini. Pengesanan ciri-ciri yang tetap dan teratur dalam sesebuah fenomena yang kelihatan rawak dan tidak teratur adalah dijalankan. Fenomena yang rawak tetapi teratur ini seterusnya akan diramal. Dalam kajian ini, fenomena yang menjadi fokus adalah fenomena pencemaran alam, dan lebih spesifik lagi, fenomena pencemaran udara.

1.2 KEKALUTAN

Bagi meramal sesuatu fenomena, manusia perlu memahami fenomena tersebut dan fenomena-fenomena lain di sekelilingnya. Matematik sebagai bahasa sains, mampu memainkan peranan penting dalam penelitian setiap fenomena, termasuk fenomena kompleks. Objek matematik yang digunakan untuk memahami fenomena ini dikenali sebagai sistem dinamik (Noorani 2012). Sistem adalah ringkasan tentang set peraturan yang dipatuhi sesebuah fenomena manakala dinamik merujuk kepada keadaan

fenomena yang berevolusi dari masa ke semasa (Velickov 2004). Secara amnya, sistem dinamik sesebuah fenomena boleh dikelaskan kepada dua jenis, iaitu rawak dan berketentuan. Dinamik fenomena berketentuan yang bergerak dari titik awal dan melalui trajektorinya adalah dapat dilihat. Maka, fenomena yang berketentuan boleh diramal dengan tepat. Fenomena yang tidak berketentuan adalah rawak dan tidak boleh diramal. Dinamik kalut berada di antara berketentuan dan rawak (Abarbanel 1996). Sesebuah fenomena dengan kehadiran dinamik kalut adalah kelihatan rawak. Namun, fenomena ini mempunyai set peraturan yang membolehkan peramalan dijalankan. Ringkasnya, fenomena dengan dinamik kalut adalah **kerawakan yang teratur**.

Istilah '*chaos*' (kekalutan) telah digunakan untuk kali pertama oleh Li & Yorke (1975). Takrif saintifik bagi kekalutan ialah dinamik rawak yang berlaku di dalam suatu sistem berketentuan. Menurut Cheng (1999), konsep kekalutan bermula dengan kajian Henri Poincare mengenai kestabilan sistem suria pada akhir abad ke-19. Daripada kajian itu, Poincare mendapati pergerakan tiga atau lebih jasad di bawah pengaruh daya graviti merupakan satu masalah yang amat kompleks. Persamaan gerakan sistem itu tidak mempunyai penyelesaian yang mudah dan satu ralat kecil dalam keadaan awal akan menghasilkan satu ralat yang sangat besar pada keadaan akhir.

Pada 1960-an, penciptaan komputer yang mempunyai kapasiti pemprosesan laju membolehkan ahli sains meneroka lagi dapatan gerakan sistem oleh Poincare. Eksperimen dengan bantuan komputer menghasilkan penemuan penting oleh Lorenz (1963) ke atas dinamik kalut dalam pola cuaca. Hasil yang diperoleh untuk persamaan modelnya tidak mencapai keadaan keseimbangan atau keadaan berkala. Sebaliknya hasil itu terus berayun secara tidak teratur, juga tidak berkala. Selain itu, sekiranya simulasi tersebut dimulakan dengan dua syarat awal yang sedikit berbeza, akhirnya kelakuan atau sifat-sifat yang akan dihasilkan itu akan berbeza sama sekali. Implikasi daripada kajian itu ialah fenomena cuaca tidak dapat diramalkan, kerana ralat yang kecil dalam pengukuran keadaan atmosfera semasa akan membesar dengan cepat sehingga menghasilkan ramalan yang salah pada akhirnya. Disebabkan syarat awal

alam tidak dapat diketahui dengan tepat, maka ramalan mestilah meleset untuk sebarang sistem tak linear dengan dinamik kalut untuk jangka masa panjang.

Dengan itu, kekalutan dan pendekatan kalut menjadi penemuan penting dalam ilmu sains. Pendekatan kalut berkemampuan menganalisa dan boleh meramal fenomena kompleks dalam jangka pendek. Selepas penemuan oleh Lorenz, pendekatan kalut telah dibangunkan dengan baik. Aplikasi pendekatan kalut adalah meluas ke atas fenomena kompleks pelbagai bidang seperti hidrologi, alam sekitar dan ekonomi. Pendekatan kalut telah membawa kejayaan dalam pemodelan pelbagai siri masa seperti aliran sungai, gelombang ribut dan indeks saham. Dengan kejayaan-kejayaan tersebut, aplikasi pendekatan kalut makin meluas dan sehingga kini, penerokaan ke atas pendekatan kalut ini semakin rancak.

Pencemaran udara adalah berbentuk gas, cecair dan zarah yang terampai di udara yang memberikan kesan negatif kepada manusia dan alam sekitar. Kajian-kajian literatur mendapati bahawa menyedut udara yang tercemar akan mendatangkan pelbagai penyakit kardiovaskular dan penyakit-penyakit yang berkaitan pernafasan. Maka, pemodelan siri masa bahan pencemar udara adalah penting. Eksplorasi pendekatan kalut ke atas pemodelan siri masa bahan pencemar udara dilihat masih belum meluas. Di Malaysia, kajian sebegini adalah belum pernah dijalankan. Melihat kepada kejayaan pemodelan kalut siri masa bahan pencemar udara di negara-negara luar (antaranya seperti Chen et al. (1998), Kocak et al. (2000) dan Chelani & Devotta (2006)), ini menjadi motivasi untuk menguji sejauh mana keberkesanan pendekatan kalut terhadap pemodelan siri masa bahan pencemar udara di Malaysia. Kajian ini akan membantu usaha pihak-pihak berkepentingan seperti Jabatan Alam Sekitar Malaysia (JASM) dalam menguruskan pencemaran udara serta memudahkan kerajaan Malaysia dalam membuat jangkaan awal tentang tren turun naik siri masa bahan pencemar udara melalui model peramalan yang bakal dibina. Setiap tahun, Malaysia mengalami episod jerebu yang teruk. Persediaan bagi menghadapi episod jerebu adalah penting kerana jerebu memberikan impak besar terhadap kesihatan rakyat, mendatangkan kerugian dari aspek ekonomi dan menghadkan aktiviti seharian terutamanya dalam sektor pendidikan. Maka, kajian khas bagi menyiasat fenomena