



05-4506832



pustaka.upsi.edu.my



Perpustakaan Tuanku Bainun
Kampus Sultan Abdul Jalil Shah



PustakaTBainun



ptbupsi

**PEMBINAAN MODEL KACUKAN KAEDAH
KALUT DAN ALGORITMA GENETIK
BAGI PERAMALAN ARAS AIR
SUNGAI PAHANG**

ADIB BIN MASHURI



05-4506832



pustaka.upsi.edu.my



Perpustakaan Tuanku Bainun
Kampus Sultan Abdul Jalil Shah



PustakaTBainun



ptbupsi

UNIVERSITI PENDIDIKAN SULTAN IDRIS

2025



05-4506832



pustaka.upsi.edu.my



Perpustakaan Tuanku Bainun
Kampus Sultan Abdul Jalil Shah



PustakaTBainun



ptbupsi



05-4506832



pustaka.upsi.edu.my



Perpustakaan Tuanku Bainun
Kampus Sultan Abdul Jalil Shah



PustakaTBainun



**PEMBINAAN MODEL KACUKAN KAEDAH KALUT DAN ALGORITMA
GENETIK BAGI PERAMALAN ARAS AIR SUNGAI PAHANG**

ADIB BIN MASHURI



05-4506832



pustaka.upsi.edu.my



Perpustakaan Tuanku Bainun
Kampus Sultan Abdul Jalil Shah



PustakaTBainun



ptbupsi

**TESIS DIKEMUKAKAN BAGI MEMENUHI SYARAT UNTUK MEMPEROLEH
IJAZAH DOKTOR FALSAFAH**

**FAKULTI SAINS DAN MATEMATIK
UNIVERSITI PENDIDIKAN SULTAN IDRIS**

2025



05-4506832



pustaka.upsi.edu.my



Perpustakaan Tuanku Bainun
Kampus Sultan Abdul Jalil Shah



PustakaTBainun



ptbupsi



Sila tanda (✓)

Kertas Projek

Sarjana Penyelidikan

Sarjana Penyelidikan dan Kerja Kursus

Doktor Falsafah

/

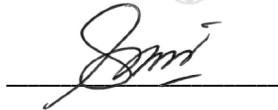
INSTITUT PENGAJIAN SISWAZAH**PERAKUAN KEASLIAN PENULISAN**

Perakuan ini telah dibuat pada09.....(hari bulan).....09..... (bulan) 20.....25.....

i. Perakuan pelajar :

Saya, ADIB BIN MASHURI (SILA NYATAKAN NAMA PELAJAR, NO. MATRIK DAN FAKULTI) dengan ini mengaku bahawa disertasi/tesis yang bertajuk PEMBINAAN MODEL KACUKAN KAEDAH KALUT DAN ALGORITMA GENETIK BAGI PERAMALAN ARAS AIR SUNGAI PAHANG

adalah hasil kerja saya sendiri. Saya tidak memplagiat dan apa-apa penggunaan mana-mana hasil kerja yang mengandungi hak cipta telah dilakukan secara urusan yang wajar dan bagi maksud yang dibenarkan dan apa-apa petikan, ekstrak, rujukan atau pengeluaran semula daripada atau kepada mana-mana hasil kerja yang mengandungi hak cipta telah dinyatakan dengan sejelasnya dan secukupnya



Tandatangan pelajar

ii. Perakuan Penyelia:

Saya, DR. NUR HAMIZA BT ADENAN (NAMA PENYELIA) dengan ini mengesahkan bahawa hasil kerja pelajar yang bertajuk PEMBINAAN MODEL KACUKAN KAEDAH KALUT DAN ALGORITMA GENETIK BAGI PERAMALAN ARAS AIR SUNGAI PAHANG

(TAJUK) dihasilkan oleh pelajar seperti nama di atas, dan telah diserahkan kepada Institut Pengajian Siswazah bagi memenuhi sebahagian/sepenuhnya syarat untuk memperoleh Ijazah IJAZAH DOKTOR FALSAFAH (MATEMATIK) (SILA NYATAKAN NAMA IJAZAH).

05/10/2025

Tarikh



Tandatangan Penyelia
Dr. NUR HAMIZA ADENAN
Pensyarah Kanan
Jabatan Matematik
Fakulti Sains Dan Matematik
Universiti Pendidikan Sultan Idris





**INSTITUT PENGAJIAN SISWAZAH /
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES**

**BORANG PENGESAHAN PENYERAHAN TESIS/DISERTASI/LAPORAN KERTAS PROJEK
DECLARATION OF THESIS/DISSERTATION/PROJECT PAPER FORM**

Tajuk / Title: PEMBINAAN MODEL KACUKAN KAEDAH KALUT DAN ALGORITMA
GENETIK BAGI PERAMALAN ARAS AIR SUNGAI PAHANG

No. Matrik /Matric's No.: P20202001756

Saya / I : ADIB BIN MASHURI

(Nama pelajar / Student's Name)

mengaku membenarkan Tesis/Disertasi/Laporan Kertas Projek (Kedoktoran/Sarjana)* ini disimpan di Universiti Pendidikan Sultan Idris (Perpustakaan Tuanku Bainun) dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:-

acknowledged that Universiti Pendidikan Sultan Idris (Tuanku Bainun Library) reserves the right as follows:-

1. Tesis/Disertasi/Laporan Kertas Projek ini adalah hak milik UPSI.
The thesis is the property of Universiti Pendidikan Sultan Idris
2. Perpustakaan Tuanku Bainun dibenarkan membuat salinan untuk tujuan rujukan dan penyelidikan.
Tuanku Bainun Library has the right to make copies for the purpose of reference and research.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan Tesis/Disertasi ini sebagai bahan pertukaran antara Institusi Pengajian Tinggi.
The Library has the right to make copies of the thesis for academic exchange.

4. Sila tandakan () bagi pilihan kategori di bawah / Please tick () for category below:-

SULIT/CONFIDENTIAL

Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub dalam Akta Rahsia Rasmi 1972. / Contains confidential information under the Official Secret Act 1972

TERHAD/RESTRICTED

Mengandungi maklumat terhad yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan ini dijalankan. / Contains restricted information as specified by the organization where research was done.

TIDAK TERHAD / OPEN ACCESS



(Tandatangan Pelajar/ Signature)



(Tandatangan Penyelia / Signature of Supervisor)
& (Nama & Cop Rasmi / Name & Official Stamp)

Dr. NUR HAMIZA ADENAN
Pensyarah Kanan
Jabatan Matematik
Fakulti Sains Dan Matematik
Universiti Pendidikan Sultan Idris

Tarikh: 05/10/2025

Catatan: Jika Tesis/Disertasi ini **SULIT @ TERHAD**, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh laporan ini perlu dikelaskan sebagai **SULIT** dan **TERHAD**.

Notes: If the thesis is CONFIDENTIAL or RESTRICTED, please attach with the letter from the organization with period and reasons for confidentiality or restriction.



PENGHARGAAN

Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan sekalian alam. Dengan limpah kurnia-Nya, saya dikurniakan kesihatan, kekuatan, ketabahan serta ilham dalam menempuh perjalanan panjang ini. Tesis ini merupakan saksi kepada segala jerih perih, doa, dan pengorbanan yang tidak pernah putus, baik secara zahir mahupun batin.

Saya lahir dari keluarga yang sederhana, bahkan serba kekurangan. Justeru, saya ingin menzahirkan setinggi-tinggi penghargaan dan kasih yang tidak berbelah bahagi kepada arwah ayah saya, Mashuri serta ibu tersayang, Nor Sobah. Keringat dan air mata mereka adalah benih kepada setiap kejayaan yang saya kecapai hari ini. Terima kasih kerana tidak pernah jemu berkorban dan sentiasa mendoakan yang terbaik buat saya.

Buat adik-beradik tersayang; Asila, Ainaa, Azim, Amalia, Aidid, Amirah, dan Adriana. Kalian adalah tiang yang mendirikan semangat saya. Terima kasih kerana sentiasa menjadi sumber kekuatan di saat saya lemah dan ragu. Saya juga ingin merakamkan penghargaan tulus kepada keluarga angkat saya di Bumi Muallim tercinta, En. Samsani serta anak-anaknya Adam dan Muklis. Terima kasih kerana menerima saya sebagai sebahagian daripada keluarga kalian.

Buat insan yang paling dekat di hati saya, isteri tercinta Nurain Syukriah bt Mohd Zain. Terima kasih kerana menjadi pelengkap hidup dan penguat jiwa. Dalam segala duka dan suka, awak tetap di sisi, tanpa pernah mengeluh. Setiap kata semangat, dorongan dan setiap doa awak adalah penawar kepada keletihan saya. Kejayaan ini adalah milik kita bersama. Terima kasih kerana percaya dan terus percaya.

Kepada penyelia yang saya sanjungi, Dr. Nur Hamiza Binti Adenan, ucapan terima kasih yang tidak terhingga atas bimbingan, tunjuk ajar, kesabaran, serta kepercayaan yang diberikan. Terima kasih kerana sentiasa melihat potensi dalam diri saya walau ketika saya sendiri hampir berputus asa. Keterlibatan Dr. bukan sekadar sebagai penyelia, tetapi juga sebagai pendidik dan penyokong moral yang luar biasa.

Tidak dilupakan, setinggi-tinggi penghargaan saya titipkan kepada tempat saya menimba ilmu dan membentuk jatidiri sejak Ijazah Sarjana Muda hingga ke peringkat Ijazah Doktor Falsafah; Universiti Pendidikan Sultan Idris. Terima kasih atas segala sokongan dan kemudahan yang telah disediakan sepanjang perjalanan akademik saya. Di sinilah saya membesar sebagai seorang insan dan sarjana.. Ucapan terima kasih juga saya rakamkan kepada Majlis Amanah Rakyat (MARA) atas tajaan yang membolehkan saya terus melangkah dengan lebih yakin, serta kepada Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia (JPS) atas kerjasama dalam penyediaan data penting bagi kajian ini.

Akhir kata, terima kasih kepada semua yang secara langsung atau tidak langsung menjadi sebahagian daripada perjalanan ini. Semoga setiap kebaikan kalian dibalas dengan rahmat dan keberkatan yang tidak terhingga.





ABSTRAK

Kajian ini bertujuan untuk membina model peramalan kacukan kaedah kalut dan algoritma genetik (k-GA) bagi meramal aras air Sungai Pahang. Objektif utama kajian adalah: (i) mengenal pasti kehadiran telatah kalut pada aras air sungai berdasarkan princiian Sungai Pahang; (ii) membina Model k-GA untuk peramalan aras air sungai; (iii) menilai kesahan dan kebolehpercayaan Model k-GA menggunakan data sintetik; (iv) mengaplikasikan Model k-GA untuk peramalan aras air sungai berdasarkan perinciian Sungai Pahang; dan (v) membandingkan hasil peramalan model k-GA dengan kaedah kalut lain. Kajian ini dilaksanakan menggunakan data siri masa aras air berskala jam yang diperolehi daripada tiga kawasan utama Sungai Pahang, iaitu kawasan hulu, tengah dan hilir sungai. Sebanyak 5 000 jam digunakan untuk proses analisis. Kehadiran telatah kalut akan dikenal pasti menggunakan kaedah Cao, plot ruang fasa dan ujian 0 – 1. Analisis diteruskan dengan menguji Model k-GA ke atas data sintetik dan data sebenar serta membandingkan hasil peramalan dengan kaedah kalut yang lain. Hasil kajian menunjukkan kehadiran telatah kalut dalam siri masa aras air Sungai Pahang. Model k-GA menunjukkan kesahan dan kebolehpercayaan yang tertinggi apabila diuji terhadap data sintetik dengan keputusan nilai pekali korelasi (CC) mencapai 1.0. Apabila diuji terhadap data aras sungai sebenar, Model k-GA turut menunjukkan ketepatan peramalan yang tinggi dengan purata nilai CC melebihi 0.9, mengatasi prestasi kaedah kalut lain. Model k-GA berpotensi sebagai kaedah ramalan yang berkesan untuk tujuan pengurusan banjir di Sungai Pahang. Implikasinya, Model k-GA boleh dijadikan kaedah dalam pengurusan sumber air dan sistem amaran awal banjir. Keupayaan meramal aras air sungai secara tepat dapat membantu pihak berkuasa tempatan dalam merancang tindakan mitigasi banjir yang lebih berkesan.





DEVELOPMENT OF A HYBRID METHOD OF CHAOS-GENETIC ALGORITHM MODEL FOR FORECASTING THE WATER LEVELS OF SUNGAI PAHANG

ABSTRACT

This study aims to develop a hybrid forecasting model of chaos method and genetic algorithms (k-GA) to predict water levels of Sungai Pahang. The main objectives of the study are: (i) to identify the presence of chaotic behavior in river water levels based on characteristics of Pahang River; (ii) to construct a hybrid model of chaos method and genetic algorithm (k-GA) for forecasting river water level; (iii) to evaluate the validity and reliability of the k-GA model using synthetic data; (iv) to apply the k-GA model to forecast river water level based on characteristics of Sungai Pahang; and (v) to compare the forecasting performance of the k-GA model with existing chaos approaches. The study utilizes hourly time series data of river water levels collected from three key regions along the Sungai Pahang were upstream, middle stream, and downstream. A total of 5 000 hours of data were used for the analysis. The presence of chaotic behavior was determined using Cao method, phase space reconstruction, and the 0 – 1 test. The analysis proceeded with testing the k-GA model on both synthetic and actual river data and comparing its performance with existing chaos methods. The findings confirm the presence of chaotic behaviors in Sungai Pahang time series data. The k-GA Model demonstrated high validity and reliability when tested on synthetic data, achieving a correlation coefficient (*CC*) value of 1.0. When applied to actual river data, the k-GA Model maintained a high level of forecasting accuracy, with an average *CC* exceeding 0.9, outperforming other chaos methods. The k-GA Model holds strong potential as an effective forecasting tool for flood management in Sungai Pahang. The implication is that the k-GA Model can be used as a method in water resource management and flood early warning systems. The ability to accurately forecast river water levels can assist local authorities in planning more effective flood mitigation actions.



KANDUNGAN

Muka Surat

PERAKUAN KEASLIAN PENULISAN	ii
PENGESAHAN PENYERAHAN TESIS	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KANDUNGAN	vii
SENARAI JADUAL	xii
SENARAI RAJAH	xv
SENARAI SINGKATAN	xvii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1	Pengenalan	1
1.2	Pernyataan Masalah	7
1.2.1	Lembangan Sungai Pahang	8
1.2.2	Kejadian Banjir di Pahang	12
1.2.3	Peramalan Aras Sungai dalam Pengurusan dan Peramalan Banjir	16
1.2.4	Kaedah kalut dalam Peramalan Aras Sungai	18
1.2.5	Jurang Kajian	20
1.3	Objektif Kajian	22
1.4	Persoalan Kajian	23

1.5	Signifikan Kajian	24
1.6	Batasan Kajian	25
1.6.1	Kawasan Kajian	25
1.6.2	Bilangan Stesen Data Siri Masa	26
1.6.3	Data aras air yang digunakan hanya melibatkan data pada skala masa jam	26
1.6.4	Kaedah Mengenal Pasti Telatah Kalut	27
1.6.5	Penetapan parameter d dan τ	27
1.6.6	Penetapan Parameter dalam Kaedah Algoritma Genetik (GA)	28
1.6.7	Sistem Peramalan JPS	28
1.7	Sumbangan Kajian	29
1.7.1	Sumbangan Kajian kepada Penambahbaikan Kaedah	29
1.7.2	Sumbangan Kajian kepada Analisis dan Peramalan Data Aras Air Sungai	30
1.7.3	Sumbangan Kajian kepada Negara Malaysia	30
1.8	Definisi operasional	31
1.8.1	Model kacukan	31
1.8.2	Perincian sungai	32
1.8.3	Pengurusan dan peramalan banjir	32
1.8.4	Data siri masa	33
1.8.5	Pendekatan Kalut	33
1.8.6	Pembinaan Ruang Fasa	33
1.8.7	Dimensi Pembenaman	34
1.8.8	Ketepatan Peramalan	34
1.9	Rumusan	35

BAB 2 KAJIAN LITERATUR

2.1	Pengenalan	38
2.2	Peramalan Banjir di Sungai Pahang	40
2.3	Telatah Kalut Siri Masa	41

2.4	Kaedah Peramalan Siri Masa Hidrologi di Luar Negara	46
2.5	Kaedah Peramalan Siri Masa Hidrologi di Malaysia	50
2.6	Kaedah Kalut dalam Peramalan Siri Masa Hidrologi	52
2.6.1	Prestasi Peramalan Data Siri Masa	53
2.6.2	Analisis dan Peramalan Data Siri Masa Bertelatah Kalut di Malaysia	54
2.6.3	Analisis dan Peramalan Data Siri Masa Hidrologi Bertelatah Kalut di Luar Negara	55
2.6.4	Pemilihan Tatacara Dalam Aplikasi Kaedah kalut Terhadap Data Siri Masa Hidrologi	57
2.7	Model Kacukan	64
2.7.1	Model kaedah kalut dan Genetik Algoritma (Model k-GA)	66
2.8	Kesimpulan	69

BAB 3 PENDEKATAN KALUT

3.1	Pengenalan	71
3.2	Kaedah Kalut	73
3.2.1	Pembinaan semula ruang fasa	73
3.2.2	Penentuan parameter masa tunda, τ	75
3.2.3	Penentuan parameter dimensi pembenaman, d dan jiran terdekat, k	78
3.2.4	Mengesan kehadiran telatah kalut	80
3.2.5	Proses Peramalan	87
3.2.5.1	Kaedah Penghampiran Linear Setempat (KPLS)	87
3.2.5.2	Kaedah Penghampiran Purata Setempat (KPPS)	89
3.3	Pengiraan Manual Kaedah Kalut	90
3.3.1	Pembinaan Ruang Fasa	91
3.3.2	Peramalan Menggunakan KPLS	96

3.3.3	Peramalan Menggunakan KPPS	99
3.4	Model Kacukan Kaedah Kalut dan Algoritma Genetik (k-GA)	101
3.5	Aplikasi Model k-GA menggunakan Data Sintetik	119
3.5.1	Data Sintetik daripada Pemetaan Logistik	119
3.5.2	Model k-GA terhadap Pemetaan Logistik	121
3.6	Prestasi Peramalan	124
3.7	Kesimpulan	125
BAB 4 MENGENALPASTI KEHADIRAN TELATAH KALUT DATA SIRI MASA		
4.1	Pengenalan	127
4.2	Kawasan Hulu Sungai (<i>upstream</i>)	131
4.3	Kawasan Tengah Sungai (<i>middlestream</i>)	143
4.4	Kawasan Hilir Sungai (<i>downstream</i>)	154
4.5	Perbincangan	166
4.6	Kesimpulan	173
BAB 5 APLIKASI MODEL PERAMALAN DAN PERBANDINGAN		
5.1	Pengenalan	176
5.2	Aplikasi Model Peramalan dan Perbandingan Kajian	178
5.2.1	Kawasan Hulu Sungai (<i>Upstream</i>)	179
5.2.1.1	Stesen US01	180
5.2.1.2	Stesen US02	186
5.2.1.3	Stesen US03	191
5.2.2	Kawasan tengah sungai (<i>Middlestream</i>)	201
5.2.2.1	Stesen MS01	202
5.2.2.2	Stesen MS02	208

5.2.2.3 Stesen MS03	213
5.2.3 Kawasan hilir sungai (<i>Downstream</i>)	223
5.2.3.1 Stesen DS01	224
5.2.3.2 Stesen DS02	229
5.2.3.3 Stesen DS03	235
5.5 Kesimpulan	245
BAB 6 KESIMPULAN DAN CADANGAN KAJIAN LANJUTAN	
6.1 Pengenalan	248
6.2 Dapatan Penting Keseluruhan Kajian	249
6.3. Cadangan Kajian Lanjutan	254
6.3.1 Pengesanan Kehadiran Telatah Kalut	255
6.3.2 Kaedah Peramalan	256
6.3.3 Penambahbaikan Model Kacukan k-GA	256
6.3.4 Penggunaan Model k-GA untuk Ramalan Pelbagai Sungai di Malaysia	257
6.3.5 Kepelbagaian Data dan Kawasan Kajian	257
6.3.6 Perbandingan Prestasi Kaedah k-GA dengan Sistem Peramalan JPS	258
6.3.7 Variasi Nilai Dimensi Pembenaman (d) dan Masa Tunda (τ)	259
6.3.8 Kajian Lanjut terhadap Penetapan Parameter Algoritma Genetik (GA)	259
RUJUKAN	261

SENARAI JADUAL

No Jadual		Muka Surat
1.1	Punca berlaku banjir di sekitar lembangan Sungai Pahang	4
1.2	Sebab pemilihan kajian di sekitar lembangan Sungai Pahang	5
1.3	Lembangan Sungai Pahang (Ab Ghani et al., 2012; Jabatan Perangkaan Malaysia, 2018)	10
1.4	Ciri-ciri geografi umum bagi Lembangan Sungai Pahang (Khairul et al., 2015; Mustafa, 2018)	11
1.5	Hubungan antara Pernyataan Masalah, Persoalan Kajian, Objektif Kajian dan Metodologi Kajian	37
2.1	Kajian Peramalan Banjir di sekitar Sungai Pahang	40
2.2	Kaedah dalam mengenal pasti telatah kalut terhadap data siri masa	45
2.3	Kaedah dalam peramalan setempat terhadap data siri masa	46
2.4	Kaedah peramalan data siri masa hidrologi di luar negara	47
2.5	Kaedah peramalan data siri masa hidrologi di Malaysia	50
2.6	Tafsiran nilai bagi pekali korelasi (Akoglu, 2018; Schober et al., 2018)	53
2.7	Aplikasi kaedah kalut terhadap data siri masa di Malaysia	54
2.8	Aplikasi kaedah kalut terhadap data siri masa di luar negara	56
2.9	Pemilihan skala masa bagi data siri masa hidrologi yang berbeza	58
2.10	Aplikasi kaedah dalam mengenal pasti telatah kalut terhadap data siri masa	60
2.11	Kaedah peramalan terhadap data siri masa hidrologi oleh pengkaji sebelum ini	62
2.12	Kaedah kacukan dalam peramalan data siri masa aras air oleh kajian lepas	65



3.1	Stesen sungai kawasan tanah tinggi di Sungai Pahang	75
3.2	Aras air Sungai Jelai	91
3.3	Kaedah kuasa dua terkecil untuk mencari parameter A dan B	97
3.4	Hasil perbandingan antara data cerapan dan data ramalan menggunakan kaedah KPLS	98
3.5	Hasil perbandingan antara data cerapan dan data ramalan menggunakan kaedah KPPS	100
3.6	Istilah-Istilah Ringkas dalam Algoritma Genetik	101
3.7	Penetapan parameter dan pnerangan bagi proses GA	104
3.8	Kedudukan dan fungsi kecergasan bagi setiap kromosom fasa 1	109
3.9	Kedudukan dan fungsi kecergasan bagi setiap kromosom fasa 2	111
3.10	Kedudukan dan fungsi kecergasan bagi setiap kromosom fasa 3	113
3.11	Hasil perbandingan antara data cerapan dan data ramalan menggunakan model k-GA	115
3.12	Penerangan bagi persamaan model k-GA	116
4.1	Stesen yang dipilih di kawasan hulu Sungai Pahang	132
4.2	Keputusan nilai τ_{pmb} bagi data siri masa aras air sungai di stesen a) US01, b) US02 dan c) US03	135
4.3	Keputusan $E1(d)$ dan $E2(d)$ bagi data siri masa aras air sungai di stesen a) US01, b) US02 dan c) US03 dengan menggunakan nilai $\tau = 1$ dan τ_{pmb}	137
4.4	Keputusan kaedah plot ruang fasa bagi data siri masa aras air sungai di stesen a) US01, b) US02 dan c) US03 dengan menggunakan nilai $\tau = 1$ dan τ_{pmb}	141
4.5	Keputusan nilai K bagi data siri masa aras air sungai di stesen a) US01, b) US02 dan c) US03 menggunakan kaedah ujian $0 - 1$	143
4.6	Stesen yang dipilih di kawasan tengah Sungai Pahang	144





- 4.7 Keputusan nilai τ_{pmb} bagi data siri masa aras air sungai di stesen a) MS01, b) MS02 dan c) MS03 146
- 4.8 Keputusan $E1(d)$ dan $E2(d)$ bagi data siri masa aras air sungai di stesen a) MS01, b) MS02 dan c) MS03 dengan menggunakan nilai $\tau = 1$ dan τ_{pmb} 149
- 4.9 Keputusan kaedah plot ruang fasa bagi data siri masa aras air sungai di stesen a) MS01, b) MS02 dan c) MS03 dengan menggunakan nilai $\tau = 1$ dan τ_{pmb} 152
- 4.10 Keputusan nilai K bagi data siri masa aras air sungai di stesen a) MS01, b) MS02 dan c) MS03 menggunakan kaedah ujian $0 - 1$ 154
- 4.11 Stesen yang dipilih di kawasan hilir Sungai Pahang 155
- 4.12 Keputusan nilai τ_{pmb} bagi data siri masa aras air sungai di stesen a) DS01, b) DS02 dan c) DS03 158
- 4.13 Keputusan $E1(d)$ dan $E2(d)$ bagi data siri masa aras air sungai di stesen a) DS01, b) DS02 dan c) DS03 dengan menggunakan nilai $\tau = 1$ dan τ_{pmb} 160
- 4.14 Keputusan kaedah plot ruang fasa bagi data siri masa aras air sungai di stesen a) DS01, b) DS02 dan c) DS03 dengan menggunakan nilai $\tau = 1$ dan τ_{pmb} 163
- 4.15 Keputusan nilai K bagi data siri masa aras air sungai di stesen a) DS01, b) DS02 dan c) DS03 menggunakan kaedah ujian $0 - 1$ 165
- 4.16 Keputusan keseluruhan nilai parameter dan kehadiran telatah kalut data siri masa yang dikaji 171
- 5.1 Stesen dan kombinasi parameter di kawasan hulu Sungai Pahang 180
- 5.2 Nilai pekali korelasi CC yang diperolehi di stesen US01, US02 dan US03 mengikut kaedah peramalan KPLS, KPPS, dan k-GA 198
- 5.3 Stesen yang dipilih di kawasan tengah Sungai Pahang 202
- 5.4 Nilai pekali korelasi CC yang diperolehi di stesen MS01, MS02 dan MS03 dengan menggunakan kombinasi parameter yang berbeza 219



- | | | |
|-----|---|-----|
| 5.5 | Stesen dan kombinasi parameter di kawasan hilir Sungai Pahang | 223 |
| 5.6 | Nilai pekali korelasi CC yang diperolehi di stesen DS01, DS02 dan DS03 mengikut kaedah peramalan KPLS, KPPS, dan k-GA | 241 |

SENARAI RAJAH

No Rajah		Muka Surat
1.1	Rangka bab 1 kajian	6
1.2	Lembangan Sungai Pahang	9
1.3	Perincian lembangan Sungai Pahang	13
2.1	Rangka bab 2 kajian	39
2.2	Perbandingan antara data cerapan dan data ramalan bagi data aras air sungai di Sungai Pahang, Pahang (Mashuri, 2020)	45
3.1	Rangka keseluruhan kajian bab 3	72
3.2	Data siri masa jam aras air di Sungai Jelai	75
3.3	Pemilihan nilai τ bagi data siri masa jam aras air	78
3.4	$[E1(d)]$ melawan d dan $[E2(d)]$ melawan d bagi data siri masa jam aras air menggunakan kaedah Cao di Sungai Jelai	82
3.5	Plot ruang fasa bagi data siri masa aras air jam di Sungai Jelai	83
3.6	Keputusan kaedah ujian $0 - 1$ terhadap data siri masa Sungai Jelai	86
3.7	Hasil peramalan menggunakan kaedah KPLS pada data siri masa aras air	88
3.8	Hasil peramalan menggunakan kaedah KPPS pada data siri masa aras air	90
3.9	Struktur asas model k-GA	103
3.10	Kaedah pindah silang satu bahagian (Haldurai et al., 2016)	111
3.11	Keseluruhan struktur model k-GA	118
3.12	Kesan perubahan nilai μ terhadap persamaan logistik	119
3.13	Perbandingan dua sistem yang mempunyai syarat awal yang hampir sama untuk persamaan logistik	120



3.14	Gambar rajah serakan untuk data ramalan melawan data cerapan bagi data sintetik untuk persamaan logistik	122
3.15	Perbandingan di antara data sebenar dan data ramalan bagi data sintetik untuk persamaan logistik pada 365 jam terakhir	122
3.16	Perbandingan di antara data sebenar dan data ramalan bagi data sintetik untuk persamaan logistik antara jam 50 ke jam 70 (daripada Rajah 3.14)	123
4.1	Rangka bab 4 kajian	131
4.2	Data siri masa jam aras air sungai di stesen a) US01, b) US02 dan c) US03	133
4.3	Data siri masa jam aras air sungai di stesen a) MS01, b) MS02 dan c) MS03	145
4.4	Data siri masa jam aras air sungai di stesen a) DS01, b) DS02 dan c) DS03	156
5.1	Rangka Bab 5 kajian	177
5.2	Perbandingan keputusan peramalan kaedah kalut dan model k-GA berbanding data cerapan bagi (a) keputusan peramalan keseluruhan; dan (b) keputusan dalam tempoh 30 jam di stesen US01	182
5.3.	Perbandingan keputusan peramalan kaedah kalut dan model k-GA berbanding data cerapan bagi (a) keputusan peramalan keseluruhan; dan (b), (c) keputusan dalam tempoh 30 jam di stesen US02	187
5.4	Perbandingan keputusan peramalan kaedah kalut dan model k-GA berbanding data cerapan bagi (a) keputusan peramalan keseluruhan; dan (b), (c) keputusan dalam tempoh 30 jam di stesen US03	193
5.5	Perbandingan keputusan peramalan kaedah kalut dan model k-GA berbanding data cerapan bagi (a) keputusan peramalan keseluruhan; dan (b), (c) keputusan dalam tempoh 30 jam di stesen MS01	204
5.6	Perbandingan keputusan peramalan kaedah kalut dan model k-GA berbanding data cerapan bagi (a) keputusan peramalan keseluruhan; dan (b), (c) keputusan dalam tempoh 30 jam di stesen MS02	209
5.7	Perbandingan keputusan peramalan kaedah kalut dan model k-GA berbanding data cerapan bagi (a) keputusan	214





	peramalan keseluruhan; dan (b) keputusan dalam tempoh 30 jam di stesen MS03	
5.8	Perbandingan keputusan peramalan kaedah kalut dan model k-GA berbanding data cerapan bagi (a) keputusan peramalan keseluruhan; dan (b) keputusan dalam tempoh 30 jam di stesen DS01	225
5.9	Perbandingan keputusan peramalan kaedah kalut dan model k-GA berbanding data cerapan bagi (a) keputusan peramalan keseluruhan; dan (b) keputusan dalam tempoh 30 jam di stesen DS02	231
5.10	Perbandingan keputusan peramalan kaedah kalut dan model k-GA berbanding data cerapan bagi (a) keputusan peramalan keseluruhan; dan (b) keputusan dalam tempoh 30 jam di stesen DS03	236
6.1	Rangkak bab 6 Kajian	249



**SENARAI SINGKATAN**

b	nilai gen rawak
CC	pekali korelasi
C'	mutasi
d	dimensi pembenaman
d -songsang	nilai d dari kaedah songsang
d_{cao}	nilai d dari kaedah Cao
$E1(d)$	parameter kaedah Cao
$E2(d)$	parameter kaedah Cao
$f(x_i)$	fungsi kecergasan bagi gen
$f(Kr)$	fungsi kecergasan
g	pemilihan gen (rawak)
JPS	Jabatan Pengairan dan Saliran
k	bilangan jiran terdekat
Kr	kromosom
Krg	kromosom baru
k-GA	kacukan kaedah kalut dan algoritma genetik
KPLS	Kaedah Penghampiran Linear Setempat
KPPS	Kaedah Penghampiran Purata Setempat
KPKS	Kaedah Penghampiran Kuadratik Setempat





m	meter (ukuran aras air sungai)
n	saiz populasi
o	kromosom anak
p	kromosom ibu bapa
X_{t+1}	Nilai ramalan satu langkah kedepan
X_t	Data siri masa Latihan
X_f	Vektor sasaran peramalan
τ	Masa tunda
τ_{pmb}	τ dari kaedah pmb
\cup	gabungan (<i>union</i>)



BAB 1

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global pada masa kini perlu diambil kira untuk pengurusan, perancangan dan pengawalan bencana yang memberi kesan kepada pembangunan sosio-ekonomi sesebuah wilayah. Penilaian terhadap perubahan iklim yang memberi kesan besar terhadap keselamatan manusia perlu dilaksanakan (Lahsen & Ribot, 2022; Cui et al., 2021). Antara kesan besar adalah bencana alam seperti banjir sering menyebabkan manusia perlu membuat keputusan berpindah secara sementara atau selamanya dari kawasan banjir (Truedinger et al., 2023; Woodhall-Melnik & Weissman, 2023). Berdasarkan daripada *Internal Displacement Monitoring Center* (IDMC, 2023), seramai 8.7 juta penduduk dunia telah dipindahkan pada tahun 2022 disebabkan bencana alam dan 12.2% (1.06 juta penduduk) telah dipindahkan kerana bencana banjir. Maka, perubahan iklim dan kekerapan banjir akan terus meningkatkan perpindahan penduduk dunia (Whitmarsh et al., 2021 & Kakinuma et al., 2020).



Banjir merupakan bencana alam yang paling dahsyat dan sering berlaku di Malaysia (Fuad et al., 2023 & Yusmah et al., 2021). Banjir besar seperti banjir kilat dan banjir di sungai sering mengakibatkan kerosakan yang besar di beberapa tempat seperti Pahang, Kelantan dan Kuala Lumpur (Bari et al., 2021). Sebagai contoh, kawasan tadahan sungai di Malaysia sangat dipengaruhi oleh monsun dari segi hujan yang berpanjangan. Oleh itu, terdapat banjir besar yang sering berlaku di sepanjang bahagian lembangan sungai di Malaysia (Edmund & Eboy, 2024; Ishak et al., 2021) termasuk Sungai Pahang (Hamidon & Musa, 2022a) dan Sungai Langat (Hamzah et al., 2021). Selain itu, perubahan iklim juga menjadi salah satu punca kejadian hujan yang lebat kerana udara yang lebih panas akan menampung lebih banyak air (Bari et al., 2021). Tambahan, kawasan kejadian banjir di Malaysia adalah berbeza dan bergantung kepada perubahan iklim tempatan, di mana perubahan iklim setempat dan menyebabkan peramalan banjir lebih mencabar (Hadi et al., 2024; Muhamad & Shaidin, 2022).

Bencana banjir di Malaysia adalah kerana Malaysia telah menerima taburan hujan antara 2 000 mm ke 4 000 mm setahun dan secara purata hujan turun antara 150 ke 200 hari setahun (Maqtan et al., 2022; Tew et al., 2022). Banjir juga boleh berlaku adalah kerana kegagalan sistem pengairan dan saluran seperti sungai di kawasan tersebut untuk menampung lebih air (Bibi et al., 2023). Selain itu, perubahan iklim di negeri pantai timur turut menyebabkan bencana banjir besar berlaku hampir setiap tahun dan keadaan ini sukar dikawal (Kuok et al., 2022; Sidek et al., 2023). Banjir terburuk juga pernah berlaku pada Disember 2014 (Alias et al., 2021). Tambahnya lagi, Pahang merupakan antara negeri yang telah mengalami perubahan iklim yang pesat sejak 45 tahun yang lalu (Maqtan et al., 2022).





Negeri Pahang merupakan kawasan yang menerima taburan hujan tertinggi semasa monsun timur laut dengan menerima 40% taburan hujan tahunan (Ibrahim & Jani, 2021; Kamarudin et al., 2023). Selain sebagai pengairan dan sumber air, Sungai Pahang juga diancam dengan bencana banjir di kawasan tengah sungai dan kawasan tanah rendah sungai. Negeri Pahang boleh dibahagikan kepada lima aliran sungai utama iaitu, Sungai Pahang, Sungai Kuantan, Sungai Bebar, Sungai Rompin dan Sungai Endau. Semua aliran sungai utama mengalir ke arah timur dan akhirnya dilepaskan ke dalam Laut China Selatan (Ibrahim & Jani, 2021). Kajian ini memfokuskan banjir di lembangan Sungai Pahang kerana ia merupakan lembangan dan litupan sungai yang terbesar iaitu 75% Negeri Pahang (Hakim et al., 2023; Ibrahim et al., 2022). Jadual 1.1 menunjukkan beberapa punca berlaku banjir di sekitar Sungai Pahang yang dinyatakan oleh Hakim et al. (2023b) dan Kamarudin et al. (2023a). Oleh itu, satu kajian berkenaan peramalan aras air sungai di Sungai Pahang perlu dijalankan segera agar pengawalan banjir dapat dilaksanakan.

Selain faktor ketersediaan data kajian, tumpuan kajian kepada Sungai Pahang dapat dijelaskan dengan beberapa alasan berkaitan situasi banjir secara umum seperti dalam Jadual 1.2 yang dinyatakan oleh Chamhuri Siwar et al. (2019) dan Lun et al. (2017). Sungai Pahang sering mengalami banjir yang signifikan, terutama semasa musim tengkujuh, dengan impak yang besar terhadap kawasan perumahan, pertanian, dan infrastruktur di sekitarnya (Chamhuri Siwar et al., 2019). Kajian ini memberikan fokus kepada kawasan yang juga terdedah kepada risiko banjir, di mana peramalan yang tepat dapat membantu mengurangkan kerosakan harta benda dan meningkatkan keberkesanan pengurusan bencana. Oleh itu, walaupun situasi banjir di negeri lain



mungkin lebih kritikal, kajian di Sungai Pahang tetap relevan dan memberikan sumbangan yang penting dalam konteks pengurusan banjir di peringkat nasional.

Jadual 1.1

Punca berlaku banjir di sekitar lembangan Sungai Pahang

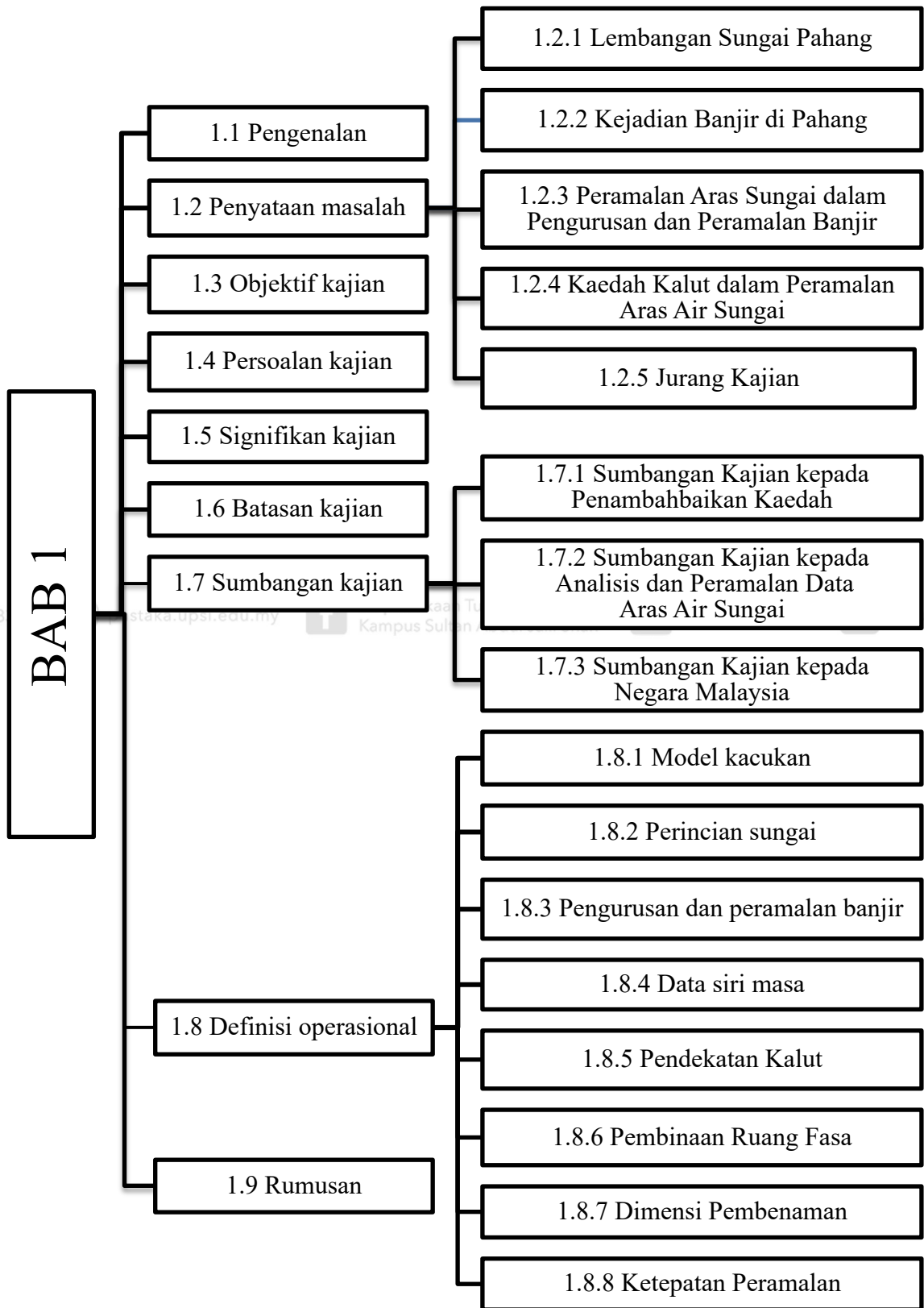
Punca	Penerangan
Kekerapan Hujan yang Tinggi	Hujan lebat yang berterusan, melebihi 60mm/jam atau 200–400mm/sehari, terutamanya di kawasan sungai tanah tinggi, menyebabkan paras air sungai meningkat dengan mendadak. Ini mengakibatkan lebihan air yang dikenali sebagai "kepala air."
Aliran Permukaan Tanpa Saliran	Air yang mengalir daripada kawasan tanpa saliran yang baik ke kawasan sungai tanah rendah menyumbang kepada peningkatan risiko banjir.
Kapasiti Kawasan Tadahan yang Tidak Mencukupi	Kawasan tadahan sungai yang tidak mampu menampung jumlah hujan yang tinggi menyebabkan air hujan melimpah, seterusnya membawa kepada banjir.
Aktiviti Penebangan Hutan	Penebangan dan penghapusan hutan mengurangkan kadar serapan air hujan oleh tumbuhan, meningkatkan aliran permukaan dan risiko banjir.
Penempatan di Kawasan Tanah Rendah	Kebanyakan penduduk menduduki kawasan tanah rendah di sekitar lembangan sungai. Kawasan ini sering kekurangan sistem saliran yang teratur, terutamanya di kawasan yang berpenduduk padat, menjadikan banjir lebih kerap berlaku dan meningkatkan jumlah mangsa banjir.

Jadual 1.2*Sebab pemilihan kajian di sekitar lembangan Sungai Pahang*

Kriteria Kajian	Keterangan
Kepanjangan Sungai	Sungai terpanjang di Semenanjung Malaysia. Sungai Pahang meliputi lembangan besar yang mempengaruhi kawasan perumahan, pertanian, dan infrastruktur, menjadikannya kawasan strategik untuk dikaji.
Sejarah Banjir Signifikan	Banjir besar berlaku pada tahun 2014. Kejadian ini memberi kesan besar kepada lebih 100 000 penduduk, serta menyebabkan kerosakan infrastruktur bernilai jutaan ringgit.
Aktiviti Lembangan Sungai	Kawasan lembangan yang kompleks dengan pelbagai guna tanah. Kajian di Sungai Pahang membolehkan analisis dan kajian yang lebih meluas terhadap hubungan antara guna tanah, sistem saliran, dan risiko banjir.
Risiko Banjir Tidak Diduga	Banjir kilat akibat limpahan dari hulu sungai. Kejadian banjir yang tidak dapat diramal memberikan peluang untuk mengkaji mekanisme banjir dalam senario iklim yang tidak menentu.
Kepentingan Data Spesifik	Data hidrologi tersedia dengan ciri-ciri unik lembangan sungai. Data sedia ada membolehkan analisis terperinci terhadap pola banjir dan keberkesanan strategi mitigasi yang boleh dilaksanakan.
Kepentingan Sosioekonomi	Implikasi besar terhadap perumahan, ekonomi, dan kesejahteraan penduduk. Hasil kajian boleh menyumbang kepada pembangunan strategi pengurusan banjir yang lebih berkesan untuk meningkatkan kesejahteraan komuniti tempatan.
Potensi Sumbangan Kajian	Penemuan untuk diaplikasikan pada lembangan sungai lain. Kajian Sungai Pahang dapat menjadi model rujukan dalam pengurusan banjir untuk sungai-sungai utama lain di Malaysia.

Rajah 1.1

Rangka bab 1 kajian





Kajian berkenaan peramalan banjir sudah dilaksanakan sejak lama lagi di Malaysia dan juga luar negara dengan menggunakan pelbagai kaedah sains dan matematik (Zakaria et al., 2021 & Wong et al., 2020), sistem elektronik (Lin et al., 2020; Alfarra & Hayyan, 2017) dan sebagainya. Namun, hasil ketepatan peramalan menjadi persoalan utama bagi peramalan di kawasan yang sukar diramal. Kaedah kalut merupakan kaedah peramalan matematik yang baru diaplikasi di Malaysia bagi peramalan banjir dan data menunjukkan keputusan peramalan yang cemerlang walaupun di kawasan yang sukar diramal (Mashuri et al., 2024; Zakaria et al., 2021). Oleh itu, kajian ini memfokuskan aplikasi kaedah kalut bagi peramalan data siri masa aras air sungai di Sungai Pahang.

Maka, bab ini menerangkan secara keseluruhan tentang kajian yang ingin dilaksanakan dan menghuraikan beberapa subtopik iaitu pengenalan, latar belakang masalah, pernyataan masalah, objektif kajian, persoalan kajian, signifikan kajian, batasan kajian, sumbangan dan rumusan. Rajah 1.1 menunjukkan rangka bagi keseluruhan bab dalam pengenalan.

1.2 Pernyataan Masalah

Malaysia merupakan antara negara yang terletak di luar daripada lingkaran api pasifik dan bebas daripada kesan kemusnahan teruk akibat bencana alam seperti gunung berapi, gempa bumi dan ribut taufan. Namun, Malaysia kini sedang mengalami perubahan iklim yang pesat disebabkan oleh kedudukan geografi dan mengakibatkan bencana banjir besar sering dialami di Malaysia (Muzamil et al., 2022; Yusoff et. al,





2022). Menurut laporan khas Jabatan Perangkaan Malaysia (*Department of Statistics Malaysia*, DOSM) dan Agensi Pengurusan Bencana Negara (*National Disaster Management Agency*, NADMA), banjir Disember 2021 memberikan impak besar: lebih 125 000 mangsa dipindahkan dan kerugian keseluruhan RM 6.1 bilion, meliputi kediaman, infrastruktur, premis, kenderaan dan pertanian (Salleh et al., 2024). Bagi negeri Selangor sahaja, RM 3.1 bilion dicatatkan, termasuk RM 1 bilion untuk kerosakan kediaman dan RM 0.89 bilion bagi premis komersial. Pada 2022, data DOSM menunjukkan 983 kejadian banjir dan kerugian dianggarkan RM 622 juta (Hazrin et al., 2024). Statistik lima tahun (2019–2023) mencatat purata melebihi 100 000 mangsa setahun, dengan nilai kerugian berkembang secara signifikan.



1.2.1 Lembangan Sungai Pahang



Sungai Pahang merupakan sungai yang terpanjang di semenanjung Malaysia dengan kepanjangan 435 km dan hulu sungai terletak di Banjaran Titiwangsa dengan keluasan sungai 29 300 km² di mana 27 000 km² merangkumi kawasan di Negeri Pahang dan 2 300 km² merangkumi di kawasan Negeri Sembilan. Sungai Pahang dibahagikan kepada dua kawasan iaitu kawasan Sungai Tembeling dan Sungai Jelai.

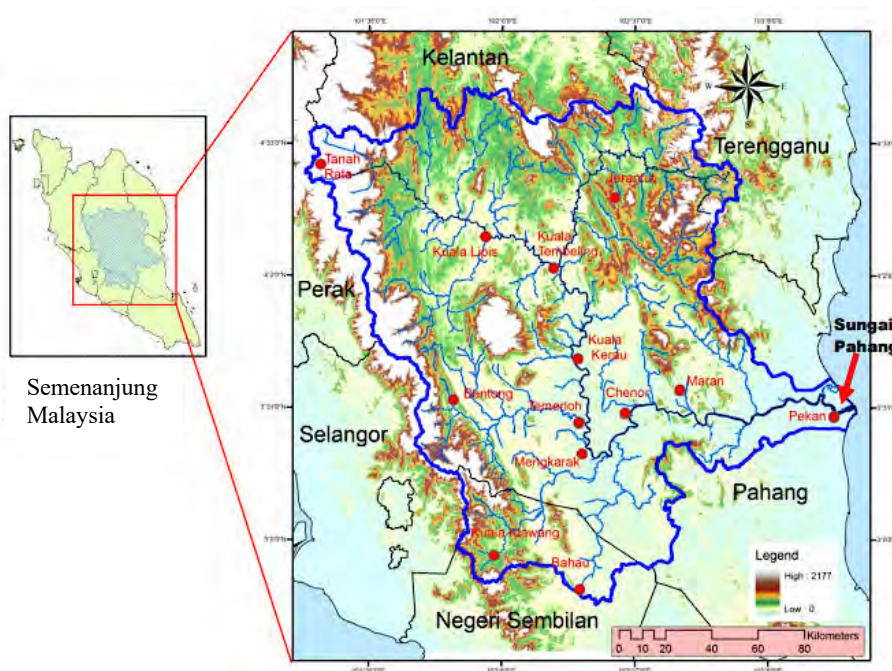
Sungai Jelai muncul dari Banjaran Titiwangsa di hujung barat laut lembangan Sungai Pahang yang merupakan sungai di kawasan tanah tinggi (hulu sungai atau *upstream*). Manakala, Sungai Tembeling berada di kawasan timur di pinggir timur laut Lembangan Sungai Pahang dan berada di kawasan tanah rendah (hilir sungai atau *downstream*). Kawasan tanah tinggi di Sungai Pahang bertindak sebagai tadahan air



dan berfungsi sebagai sumber penjanaan kuasa hidro utama untuk dataran rendah. Ia juga menyediakan sumber air untuk pertanian, perindustrian dan domestik menggunakan hiliran (Hakim et al., 2023a). Sungai utama bagi Sungai Pahang juga termasuk Sungai Semantan, Sungai Teriang, Sungai Bera dan Sungai Lepar. Lembangan Sungai Pahang adalah seperti ditunjukkan di Rajah 1.2 (Abd Ghani et al., 2016).

Rajah 1.2

Kawasan lembangan Sungai Pahang



Sungai Pahang merupakan sistem perairan terbesar di negeri Pahang bermula dari Gunung Titiwangsa ke Laut China Selatan (Mustaffa et al., 2023). Maka, terdapat pelbagai kawasan tumpuan awam yang menjadikan Sungai Pahang antara tarikan masyarakat. Sungai Pahang merupakan kawasan yang menerima taburan hujan tertinggi semasa monsun timur laut dengan menerima 40% taburan hujan tahunan (Salleh et al., 2024; Ibrahim & Jani, 2021; Alias et al., 2018). Selain sebagai pengairan

dan sumber air, Sungai Pahang juga diancam dengan bencana banjir di kawasan tengah sungai dan kawasan tanah rendah sungai. Pengairan dan saliran air dari sungai di kawasan tanah tinggi akan mempengaruhi aras air di kawasan tengah sungai dan tanah rendah sungai. Hal ini demikian kerana hujan lebat yang berterusan menjadi punca utama kenaikan aras air dan aliran air dan akhirnya menyebabkan banjir besar di sekitar kawasan tengah sungai dan tanah rendah Sungai Pahang berlaku (Kamarudin et al., 2023).

Maka, kajian ini diperlukan agar pengurusan sumber air dapat mencapai tahap optimum di tanah tinggi serta dapat mengawal banjir di kawasan tengah sungai dan kawasan tanah rendah sungai. Oleh itu, anak Sungai Pahang iaitu Sungai Tembeling dan Sungai Jelai mempunyai kepentingan untuk dikaji. Kajian ini bukan sahaja dapat memberikan satu lagi kaedah alternatif dalam analisis dan peramalan aras air sungai menggunakan kaedah kalut, malah hasil kajian mampu memberikan maklumat untuk diguna pakai oleh pihak berwajib untuk kepentingan sungai terlibat. Butiran dan ciri-ciri geografi lembangan Sungai Pahang dan anak sungai terlibat adalah seperti dalam Jadual 1.3 dan Jadual 1.4.

Jadual 1.3

Lembangan Sungai Pahang (Ab Ghani et al., 2012; Jabatan Perangkaan Malaysia, 2018)

Lokasi	Bahagian tengah semenanjung Malaysia
Keluasan	29 300 km ²
Populasi	1 190 000 orang
Geografi	Anak sungai : Tembeling, Jelai, Lipis, Tekman, Kerau, Semantan, Triang, Bera, Jengka, Jempul, Luit, Mentiga, Lepar and Serting.

Penggunaan Tanah	Hutan simpan, sawah padi, kelapa sawit, tanaman pertanian, getah, pambandaran dan pelancongan.
Perubahan cuaca	Suhu minimum : 23°C Suhu maksimum : 32°C
Hujan Tahunan	Purata hujan tahunan dianggarkan 1700-1800 mm Di lembangan, purata hujan tahunan adalah dianggarkan 2136 mm setahun (berlaku pada tahun 1999-2008)

Berdasarkan Jadual 1.3 menunjukkan butiran serta ciri geografi lembangan Sungai Pahang. Sungai Pahang mempunyai keluasan yang besar iaitu 29 300 km² dengan menjadikan sungai yang terbesar dan terpanjang di semenanjung Malaysia. Sungai tersebut juga menempatkan sebanyak 1 190 00 penduduk sepanjang lembangan tersebut dan ia menunjukkan bahawa sebanyak 1.19 juta penduduk berisiko dalam menghadapi bencana banjir. Jadual 1.4 pula menerangkan bagaimana lembangan Sungai Pahang terbentuk. Sungai Pahang boleh dibahagikan kepada dua iaitu Sungai Jelai dan Sungai Tembeling. Hasil gabungan dua anak sungai ini menjadikan satu sungai yang dikenali sebagai Sungai Pahang.

Jadual 1.4

Ciri-ciri geografi umum bagi Lembangan Sungai Pahang (Khairul et al., 2015; Mustafa, 2018)

Nama Sungai	Puncak tertinggi/Titik Terendah (m)	Panjang (km) / Kawasan Tadahan (km²)
Sungai Pahang (Sungai Utama)	Mt. Tahan (2 187 m)/ Muara sungai (0m)	440-459 / 27 000
Sungai Jelai (Anak sungai)	Gunung Siku (1 916 m)	156-175 / 7 320
Sungai Tembeling (Anak Sungai)	Mt. Besar (790 m)	153-172 / 5 050



Sungai Pahang merentasi beberapa bandar yang terdapat di Negeri Pahang seperti Jerantut, Temerloh, Maran, Bera, Pekan dan seterusnya mengalir ke Laut China Selatan. Kawasan tanah tinggi Sungai Pahang juga mengalir dari pelbagai punca air kepada kawasan-kawasan pelancongan iaitu Taman Negara Endau Rompin, Cameron Highland dan Genting Highland (Kamarudin et al., 2023b; Khairul et al., 2015). Kapanjangan sungai ini sudah menggambarkan betapa besarnya lembangan yang dimiliki oleh Sungai Pahang. Aktiviti peramalan data siri masa aras air sungai bukan sahaja dapat membantu dari segi pengawalan banjir, malah ia dapat meningkatkan ekonomi negeri Pahang yang menekankan dalam sektor pembuatan, pelancongan dan pertanian dengan cara pengurusan sumber air. Di sekitar Sungai Pahang, sebanyak 745 000 hektar tanah telah diusahakan di dalam bidang pertanian seperti sawah padi, getah serta penanaman kelapa sawit. Oleh itu, pengurusan sumber air dapat memaksimumkan sumber pendapatan kerajaan negeri (Bozorgzadeh & Mousavi, 2023; Zhang & Oki, 2023).

1.2.2 Kejadian Banjir di Pahang

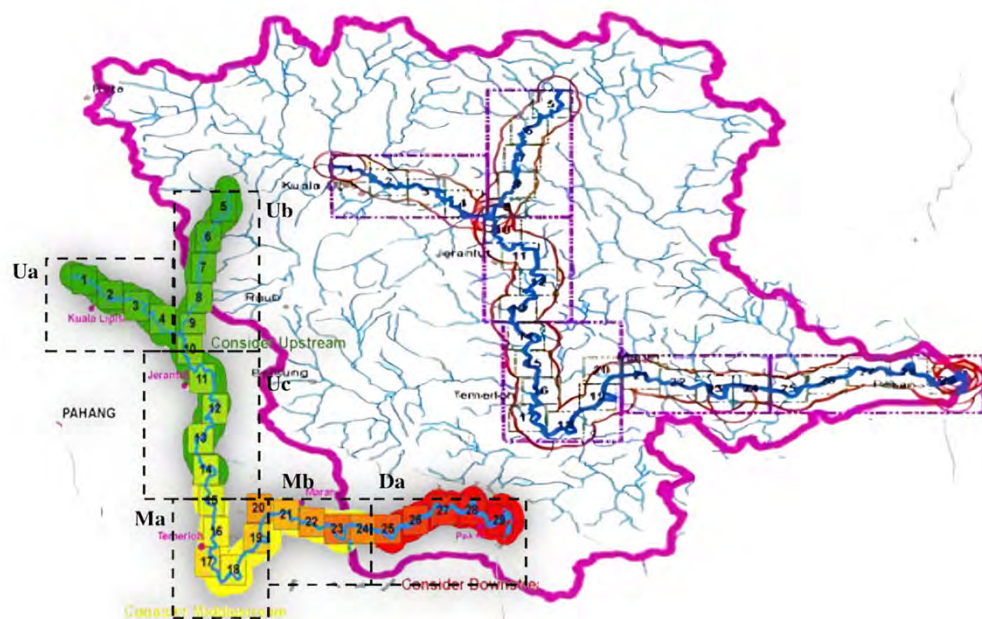
Pahang merupakan negeri terbesar di semenanjung Malaysia dan mengalami cuaca sejuk di bahagian tanah tinggi dan menerima angin berkelajuan tinggi di bahagian pesisir pantai. Selain itu, sebahagian kawasan negeri itu menerima taburan hujan yang tinggi pada bulan November sehingga bulan Januari dan sering menyebabkan banjir berlaku (Alias et al., 2021; Safiah Yusmah et al., 2020). Melihat kepada keunikan geografi di negeri Pahang dan lebih terdedah kepada perubahan iklim yang boleh menyebabkan bencana (Alias et al., 2021), maka negeri ini dipilih sebagai kawasan



kajian. Peramalan data siri masa aras air sungai dengan menggunakan kaedah kalut menjadikan data aras air sungai sebagai satu sumber penting dalam meramal bencana banjir dan merancang strategi pengurusan sumber air yang lebih efisien (Mashuri, 2020). Kajian ini akan diperincikan kepada kawasan mengikut klasifikasi Sungai Pahang melalui kajian Hakim et al. (2023) dan Kamarudin et al. (2023) iaitu (1) **kawasan hulu sungai (kawasan tanah tinggi atau *upstream*)**; (2) **kawasan tengah sungai (*middlestream*)**; dan (3) **kawasan hilir sungai (kawasan tanah rendah atau *downstream*)** seperti di Rajah 1.3. Berdasarkan Rajah 1.3, kawasan berwarna hijau merupakan kawasan kawasan hulu sungai, kawasan berwarna kuning dan jingga merupakan kawasan tengah sungai dan kawasan berwarna merah merupakan kawasan hili sungai Kamarudin et al. (2023). Ketiga-tiga perincian merupakan rangka utama kajian ini dijalankan.

Rajah 1.3

Perincian lembangan Sungai Pahang





Ketiga-tiga kawasan diperincikan berdasarkan ciri dan juga faktor geografi yang berbeza seperti suhu, taburan hujan, keluasan tadahan sungai, tekanan air dan ketinggian tadahan dari paras air laut (Kamarudin et al., 2023). Kawasan hulu sungai atau **kawasan tanah tinggi** dipilih kerana kecenderungan perubahan iklim dalam jangka masa panjang seperti taburan hujan dan suhu yang boleh menyebabkan banjir besar berlaku pada bila-bila masa (Syldon et al., 2024; Vagheei et al., 2023). Sungai yang terletak di kawasan tanah tinggi di Pahang juga telah diklasifikasi sebagai kawasan hakisan dan menjadi kawasan pemerhatian (Kamarudin et al., 2023). Selain itu, kawasan tanah tinggi juga hanya bergantung kepada empangan untuk menampung aliran air sungai. Maka, kawasan tadahan akan memberikan perbezaan aras air sungai, kelajuan dan aliran sungai tersebut (Garzon et al., 2023; Zhang et al., 2022).



Perincian kedua adalah melibatkan **kawasan tengah sungai** yang berada antara

hulu dan hilir sungai. Kawasan ini sering mengalami perubahan struktur tanah akibat perubahan iklim dan boleh menyebabkan banjir besar berlaku (D'ayala et al., 2020). Hal ini kerana kawasan tengah sungai dikenali sebagai kawasan hakisan dan berlaku pergerakan sedimen ke kawasan hilir sungai (Vázquez-Tarrío et al., 2024; Tang et al., 2021). Selain itu, perubahan landskap hasil dari pergerakan sedimen dan hakisan boleh mempengaruhi aras sungai dan arus air sungai. Seterusnya banjir boleh berlaku disebabkan tampungan kawasan saluran air yang tidak mencukupi (Agonafir et al., 2023; Jemberie et al., 2023).

Perincian yang ketiga pula adalah melibatkan kawasan hilir sungai atau **kawasan tanah rendah**. Kawasan tanah rendah adalah kawasan yang terletak dengan lembah sungai dan mudah dinaiki air dan banjir. Kawasan hilir sungai dikategorikan





sebagai kawasan enapan kerana hasil hakisan di kawasan tanah tinggi dan kawasan tengah sungai menyebabkan pengumpulan sedimen di kawasan tanah rendah (Abbas et al., 2023; Ivanov et al., 2023). Pemilihan kawasan tanah rendah juga diklasifikasikan sebagai kawasan dataran banjir kerana kawasan mudah dinaiki air dan berlaku banjir (Muhammad et al., 2020). Faktor hujan lebat yang berterusan pada tempoh yang lama, berlaku secara menyeluruh, kekerapan dan jumlah hujan adalah faktor berlakunya banjir di kawasan dataran banjir (Andreadis et al., 2022; Oubennaceur et al., 2021).

Wypych dan Ustrnul (2024) serta Venegas-Cordero et al. (2023) menyatakan bahawa bencana banjir berlaku apabila kuantiti air sungai secara relatifnya lebih tinggi daripada keadaan biasa disebabkan oleh hujan yang menimpa bahagian hulu atau sesebuah kawasan secara berterusan, sehingga tidak mampu ditampung oleh aras air sungai yang sedia ada lalu menyebabkan air melimpah keluar dan membanjiri kawasan sekitarnya. Maka, hujan ini menyebabkan kuantiti air berlebihan dan mengakibatkan banjir berlaku. Oleh itu, aras air sungai yang tidak menentu memberikan bacaan aras air sungai yang sukar diramal di dataran banjir ini.

Pemilihan kawasan kajian yang dinyatakan adalah di satu aliran sungai yang sama dan dipilih di kawasan tanah tinggi (hulu sungai), kawasan tengah (tengah sungai) dan kawasan tanah rendah (hilir sungai). Kawasan kajian ini adalah berfokus kepada kawasan berbeza geografi mengikut perincian oleh Hakim et al. (2023b) dan Kamarudin et al. (2023a). Aras air di kawasan sungai mengikut perincian adalah penting untuk menyalurkan maklumat yang lebih spesifik kepada pihak yang bertanggungjawab.





1.2.3 Peramalan Aras Sungai dalam Pengurusan dan Peramalan Banjir

Peramalan banjir memainkan peranan penting dalam memudahkan pengesanan amaran awal, walaupun sering terdapat jurang yang ketara antara ramalan dan notifikasi amaran sebenar. Di sungai dengan aliran dan tadahan yang besar, banjir kadang-kadang dapat diramalkan beberapa hari lebih awal melalui pelbagai kaedah ramalan. Para penyelidik secara aktif berusaha untuk memahami dan mengenal pasti data siri masa yang boleh digunakan dalam model ramalan untuk meningkatkan ketepatan ramalan dan pengurusan banjir. Selain itu, pemilihan ramalan aras air yang tepat dan cepat adalah penting, kerana ia memberikan sumbangan besar kepada sistem amaran awal banjir yang berkesan dan membolehkan langkah-langkah persediaan dilaksanakan dengan segera sebelum berlakunya banjir.



Peramalan aras air sungai di luar negara telah lama dilaksanakan dengan menggunakan pelbagai kaedah peramalan di luar negara. Antaranya adalah kaedah kalut yang digunakan terhadap data Sungai Sefidrood, Iran oleh Rezaie et al. (2022), kaedah *Machine-Learning* (ML) telah digunakan untuk meramal Sungai Parma, Itali oleh Dazzi et al. (2021), kaedah peramalan statistik yang telah diaplikasikan untuk meramal Sungai Mahandi, India oleh Samantaray dan Sahoo (2020), kaedah Teknik Regresi yang telah diaplikasikan untuk meramal Sungai Kien Giang, Vietnam oleh Chieu et al. (2024), kaedah Siri Masa Data *Multivariate* dan Model GRU yang telah diaplikasikan di Sungai Han, Korea oleh Park et al. (2023) dan kaedah *Support Vector Machine* (SVM) diaplikasikan di Sungai Mandulog, Filipina oleh (Velasco et al., 2024). Kaedah-kaedah ini merupakan kaedah peramalan yang memerlukan beberapa siri masa (pembolehubah) untuk memperoleh peramalan cemerlang.





Di Malaysia pula, terdapat pelbagai kaedah yang digunakan untuk membuat peramalan aras sungai. Antara kaedah yang digunakan adalah peramalan aras air sungai menggunakan kaedah Pembelajaran Mesin (ML) oleh Ahmed et al. (2022), peramalan aras air sungai menggunakan kaedah Kecerdasa Buatan (AI) oleh Zakaria et al. (2021), peramalan aras air sungai menggunakan kaedah kalut oleh Mashuri et al. (2021), peramalan aras sungai menggunakan model *ARIMA* dan Rangkaian Neural Buatan (ANN) oleh Wong et al. (2020) dan kaedah Model Autoregresif Rangkaian Neural dengan Input Eksogen (NNARX) oleh Zulkifli et al. (2022). Kajian peramalan banjir di Malaysia semakin berkembang kerana bencana banjir ini semakin membimbangkan saban tahun. Menurut Brown (2022), Malaysia menerusi Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS) menerapkan sistem peramalan banjir nasional yang canggih, namun ia hanya dapat memberi amaran kepada pihak berkuasa 48 jam sebelum banjir seperti yang dinyatakan oleh Bernamam (2021) di laporan akhbar Astro Awani. Tambahnya lagi, pengurusan banjir perlu dilaksanakan sekurang-kurangnya seminggu sebelum menghadapi banjir. Maka, pemilihan kaedah peramalan yang tepat dapat meramal banjir lebih awal lagi.

Peramalan banjir di Sungai Pahang semakin mendapat perhatian. Kebanyakan kajian-kajian sebelum ini tertumpu di Sungai Pahang kerana lembangan sungai ini adalah yang terbesar di semenanjung Malaysia dan penduduk yang ramai sepanjang lembangan telah mendedahkan kepada bencana banjir besar. Walaupun peramalan menggunakan data aras air sungai berpotensi memberikan maklumat awal terhadap risiko banjir dan menyokong pengurusan sumber air yang lebih efektif (Liu et al., 2021), kajian dalam bidang ini masih kurang dijalankan berbanding kajian yang menggunakan data hujan dan aliran sungai. Hal ini kerana data hujan dan aliran sungai





lazimnya lebih mudah diperoleh dan lebih banyak digunakan dalam model hidrologi konvensional (Arsenault et al., 2023). Selain itu, data aras air sungai memerlukan stesen pengukuran yang konsisten dan bebas daripada gangguan antropogenik (berpunca disebabkan oleh aktiviti manusia), yang kadangkala menjadi kekangan dalam sesetengah kawasan (Iffa Munira Mohd, 2022).

Namun demikian, dalam konteks kajian ini, data aras air sungai dipilih sebagai fokus utama kerana ia memberikan gambaran terus dan tepat terhadap perubahan aras sungai secara masa nyata (*real-time*), yang sangat penting dalam pengesanan awal bencana banjir serta peramalan jangka pendek yang lebih praktikal (Hussain et al., 2021). Kebanyakan kajian menggunakan data siri masa hujan dan aliran sungai untuk peramalan banjir. Melalui kajian literatur, terdapat kajian yang menggunakan data siri masa di Sungai Pahang bagi peramalan banjir antaranya kajian yang dijalankan oleh Mashuri, Adenan, dan Karim (2021), Mashuri (2020) serta Hamidon dan Musa (2022a). Oleh itu, kajian seperti ini perlu diperluaskan lagi bagi menilai ketepatan peramalan menggunakan data siri masa aras air sungai.

1.2.4 Kaedah kalut dalam Peramalan Aras Sungai

Kaedah kalut merupakan sistem yang melaksanakan perubahan secara konsisten mengikut syaratnya (Ducard, 2017). Kaedah kalut dapat dikelaskan kepada dua jenis iaitu bertelatah rawak dan berketentuan. Abarbanel (1996) menyatakan bahawa sistem yang bertelatah kalut berada antara berketentuan dan rawak. Istilah *Chaos* (kalut) telah digunakan pertama kali oleh Li dan Yorke (1975). Penemuan telatah kalut pada siri masa oleh Lorenz (1963) telah menjadi penemuan penting dalam proses peramalan





daripada pemerhatian berkala terhadap sistem yang ingin diuji. Kaedah peramalan ini sudah digunakan secara mendalam dalam bidang sains dan kejuruteraan.

Kaedah kalut merupakan penemuan penting dalam bidang sains. Kaedah ini telah digunakan oleh pengkaji dalam meramal bencana di dalam dan luar negara. Namun, kaedah ini masih baru diaplikasikan di Malaysia. Antara pengkaji yang telah menggunakan kaedah kalut bagi meramal sesebuah bencana adalah seperti Mashuri et al. (2021), Mashuri et al. (2020) dan Mashuri (2020) bagi siri masa aras air sungai, Ali dan Hamid (2020) bagi siri masa aras air laut, Ruslan et al. (2023) dalam siri masa ozon serta Adenan et al. (2017) dalam siri masa aliran sungai. Kajian melibatkan aras air sungai di Malaysia baru sahaja dilaksanakan dengan kajian terawal pada tahun 2019 yang dilaksanakan oleh Mashuri et al. (2019). Menerusi kajian yang dilaksanakan, peramalan data siri masa bagi nilai aras air sungai yang tinggi melebihi nilai bagi kapasiti tadahan sungai tersebut adalah sukar diramal dengan tepat, namun aras air pada paras normal dapat diramal dengan tepat.

Telatah kalut dalam data siri masa merujuk kepada tingkah laku sistem dinamik yang kelihatan rawak tetapi sebenarnya berketentuan, iaitu bergantung sepenuhnya kepada syarat awal (Kantz & Schreiber, 2004). Dalam konteks aras air sungai, telatah kalut menjelaskan mengapa perubahan kecil pada nilai awal aras air atau hujan boleh menghasilkan perbezaan besar pada ramalan jangka panjang (Strogatz, 2015). Ini menjadikan sistem sukar diramal menggunakan kaedah statistik tradisional kerana kepekaan yang tinggi terhadap syarat awal (Lorenz, 1963). Ciri utama sistem telatah kalut termasuklah dikawal oleh satu atau lebih parameter, persamaan yang digunakan adalah tidak linear serta peka terhadap keadaan awal dan tidak boleh membuat





peramalan jangka masa Panjang (Hamid, 2015). Oleh itu, pendekatan kalut sesuai digunakan dalam ramalan aras air sungai kerana ia mengambil kira sifat tidak linear dan ketidakstabilan semasa cerapan aras air, terutamanya ketika hujan lebat atau banjir. Konsep ini akan dihuraikan dengan lebih terperinci dalam Bab 2.

Oleh itu, kajian ini merupakan sambungan kepada kajian lepas dengan memperkenalkan kepada penambahbaikan dalam kaedah kalut untuk meningkatkan lagi ketepatan hasil peramalan terutamanya untuk nilai aras air yang tinggi. Analisis dan peramalan menggunakan kaedah kalut yang melibatkan data siri masa aras air sungai telah menyumbang kepada pemodenan model peramalan siri masa, baik di dalam mahupun luar negara. Oleh itu, pengkaji berhasrat untuk terus menerapkan kaedah kalut untuk menyelidik keberkesanannya dalam analisis dan peramalan siri masa aras air sungai di tiga kawasan mengikut perincian seperti yang telah dijelaskan sebelum ini.

1.2.5 Jurang Kajian

Peramalan data siri masa boleh dilaksanakan melalui dua pendekatan utama, iaitu (1) peramalan global dan (2) peramalan setempat. Kaedah peramalan global, seperti model Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) dan Rangkaian Neural Buatan (ANN) melibatkan keseluruhan ruang fasa. Kaedah ini mampu mengambil kira pelbagai faktor yang mempengaruhi pembolehubah - pembolehubah yang digunakan untuk peramalan. Namun demikian, kelemahan utama peramalan global ialah kebergantungan kepada data siri masa yang teratur dan tidak banyak berubah-ubah





secara mendadak. Model ini juga kurang berkesan jika data mengandungi corak siri masa yang tidak stabil atau terlalu dipengaruhi oleh perubahan luar yang sukar dijangka (Jiang et al., 202; Shen et al., 2021). Tambahan pula, peramalan global memerlukan pengetahuan mendalam tentang struktur sistem yang ingin diramal.

Sebaliknya, pendekatan peramalan setempat seperti kaedah berasaskan teori kalut tidak memerlukan lebih dari satu pembolehubah dan hanya menggunakan sebahagian daripada ruang fasa sahaja. Kaedah ini lebih fleksibel dalam menangani data yang kompleks, tidak linear dan berubah-ubah (Sprott, 2003). Kelebihan ini membolehkan pendekatan setempat mengesan perubahan atau corak siri masa dalam keadaan luar jangka dengan lebih cepat dan tepat. Namun begitu, kelemahan peramalan setempat adalah ia kurang mengambil kira faktor-faktor luaran yang turut mempengaruhi pembolehubah. Sebagai contoh, aras air sungai bukan sahaja dipengaruhi oleh aras air itu sendiri, tetapi juga oleh faktor seperti hujan, kelembapan tanah dan enapan. Oleh kerana secara dasarnya kaedah setempat seperti kaedah kalut hanya menggunakan satu pembolehubah, faktor-faktor lain tidak diambil kira (Mashuri et al., 2021; Ramadevi & Bingi, 2022).

Oleh itu, walaupun peramalan global mampu menghasilkan model yang tepat dalam situasi tertentu, kajian ini memilih untuk menggunakan pendekatan peramalan setempat berasaskan kaedah kalut. Pemilihan ini adalah selaras dengan matlamat kajian yang ingin meneliti sifat dinamik sistem aras air sungai yang tidak linear dan kompleks. Tambahan pula, peramalan setempat terbukti lebih berkesan dalam menangani data sebenar yang sukar diramal seperti yang ditunjukkan dalam kajian terdahulu oleh Jiang et al. (2021) dan Shen et al. (2021). Oleh itu, satu kaedah kacukan antara kaedah kalut



dan kaedah algoritma genetik (GA) dibina untuk menguji ketepatan hasil peramalan aras air sungai dan kaedah ini belum pernah dibina dan diperluaskan lagi dalam bidang kaedah kalut dan kajian ini adalah kali pertama dan diaplikasikan di Malaysia seperti kajian perpustakaan di bahagian 2.7. Hal ini untuk melihat sejauh mana keberkesanan kaedah kacukan bagi mengatasi masalah bencana banjir yang berlaku di Sungai Pahang.

Dalam kajian ini, pengkaji memilih kaedah kacukan kaedah kalut dengan kaedah algoritma genetik (GA) adalah untuk mengatasi kelemahan-kelemahan yang dinyatakan sebelum ini antaranya; (1) kaedah ini diperlukan untuk meningkatkan ketepatan hasil peramalan aras air sungai di Malaysia; (2) kaedah ini juga diperlukan untuk aplikasi bagi melihat kelangsungan dan kesesuaian terhadap data siri masa air sungai-sungai mengikut perincian di kawasan tanah tinggi, tanah sederhana dan tanah rendah; (3) kaedah ini juga diperlukan untuk menjawab kepada masalah kajian pertama yang dijalankan oleh Mashuri et al. (2019) di mana peramalan data siri masa aras air sungai yang tinggi adalah sukar diramal dengan tepat, namun aras air pada paras normal dapat diramal dengan tepat. Oleh itu, pembinaan kaedah kacukan kaedah kalut dengan kaedah algoritma genetik atau Model k-GA adalah diperlukan. Diharapkan Model k-GA ini mampu menjana kaedah peramalan yang lebih cemerlang.

1.3 Objektif Kajian

Terdapat lima objektif kajian iaitu:

- 1.3.1 Mengenal pasti kehadiran telatah kalut aras air sungai mengikut perincian sungai di Sungai Pahang.

- 1.3.2 Membina model kacukan kaedah kalut dan algoritma genetik (k-GA) untuk peramalan aras air sungai.
- 1.3.3 Menilai kesahan dan kebolehpercayaan model k-GA dengan aplikasi peramalan terhadap data sintetik.
- 1.3.4 Mengaplikasikan model k-GA terhadap peramalan aras air sungai mengikut perincian di Sungai Pahang.
- 1.3.5 Membandingkan prestasi peramalan model k-GA dengan kaedah kalut terhadap peramalan aras air sungai mengikut perincian di Sungai Pahang.

Kaedah kalut adalah merujuk kepada Kaedah Penghampiran Purata Setempat (KPPS) dan Kaedah Penghampiran Linear Setempat (KPLS).

1.4 Persoalan Kajian

Kajian yang melibatkan kaedah kalut telah lama digunakan di luar negara, namun kajian ini masih baru di Malaysia. Maka beberapa persoalan yang memberikan motivasi terhadap kajian ini adalah:

- 1.4.1 Bagaimanakah kehadiran telatah kalut data aras air sungai dapat dikenal pasti mengikut perincian di Sungai Pahang?
- 1.4.2 Bagaimanakah pembinaan model peramalan aras air sungai dapat dilaksanakan melalui model kacukan kalut dan algoritma genetik (k-GA)?



- 1.4.3 Apakah kesahan dan kebolehpercayaan model k-GA dengan aplikasi peramalan terhadap data sintetik?
- 1.4.4 Adakah model k-GA dapat diaplikasikan terhadap peramalan aras air sungai mengikut perincian di Sungai Pahang?
- 1.4.5 Sejauh manakah keberkesanan model k-GA dibandingkan dengan kaedah kalut dalam peramalan aras air sungai mengikut perincian di Sungai Pahang?

Maka, beberapa persoalan yang disenaraikan ini memberikan hala tuju bagi kajian yang akan dijalankan ini. Oleh itu, fokus utama kajian adalah untuk menentukan kesesuaian kaedah k-GA terhadap aras air sungai mengikut perincian sungai di Sungai Pahang.



1.5 Signifikan Kajian

Pertamanya, signifikan kajian ini adalah pada kaedah **peramalan**. Kaedah peramalan di mana aplikasi kaedah kacukan kalut dengan kaedah lain untuk menganalisis dan meramal data siri masa aras sungai di Malaysia khususnya di kawasan mengikut perincian sungai di Sungai Pahang, Malaysia. Terdapat beberapa kawasan Sungai Pahang mengikut perincian sungai bagi meramal aras air sungai (*upstream*, *middlestream* dan *downstream*) dan secara tidak langsung dapat memberikan maklumat terhadap pihak berwajib untuk **pengawalan banjir** secara efisien yang merupakan signifikan yang kedua. Kawasan mengikut perincian sungai di Sungai Pahang,





Malaysia perlu diperincikan secara pengiraan matematik untuk membantu menyalurkan maklumat aras air sungai kepada pihak bertanggungjawab.

Singnifikan kajian yang ketiga adalah **kawasan kajian**. Peramalan yang dilaksanakan terhadap kawasan kajian akan memberikan kelebihan pihak berkuasa membuat perancangan awal dalam menambah baik sistem pengairan, saliran dan tadahan sungai di sepanjang lembangan sungai yang dikaji. Kajian ini juga secara tidak langsung dapat menguatkan lagi kebolehan peramalan kaedah kalut dengan mengkacukkan dengan kaedah yang bersesuaian agar dapat membantu serta menutup ruang kelemahan kaedah kalut. Kajian ini juga diaplikasikan terhadap data siri masa aras air sungai yang tidak menentu kerana kawasan kajian dipilih melalui satu aliran sungai yang sama, namun perincian sungai yang berbeza.



1.6 Batasan Kajian

Kajian ini mempunyai beberapa batasan yang penting untuk diterangkan agar dapat menggambarkan skop kajian secara tepat serta membentuk asas bagi kajian lanjutan yang lebih menyeluruh pada masa akan datang. Batasan-batasan ini merangkumi aspek data, kawasan kajian, kaedah, serta reka bentuk model.

1.6.1 Kawasan Kajian

Kajian ini hanya memfokuskan kepada Sungai Pahang, walaupun Malaysia mempunyai banyak sungai lain dengan dinamik dan cabaran hidrologi yang berbeza. Pemilihan ini



dibuat kerana Sungai Pahang merupakan sungai terpanjang di Semenanjung Malaysia dan memenuhi keperluan perincian berdasarkan zon geografi (hulu, tengah, hilir). Namun demikian, penumpuan kepada satu sungai sahaja menghadkan kebolegunaan hasil kajian untuk diaplikasikan kepada sungai lain yang mungkin mempunyai corak aliran dan ciri geografi yang berbeza (Kamarudin et al., 2023).

1.6.2 Bilangan Stesen Data Siri Masa

Pemilihan stesen aras air sungai dalam kajian ini hanya melibatkan sembilan stesen sahaja, iaitu tiga stesen bagi setiap perincian Sungai Pahang iaitu tiga di kawasan hulu sungai, tiga stesen di kawasan tengah sungai dan tiga stesen di kawasan hilir sungai. Pemilihan ini dibuat secara rawak tetapi mengikut perincian kawasan. Namun, jumlah stesen yang terhad ini mungkin tidak cukup untuk mana-mana kaedah peramalan membaca dan menganalisis keseluruhan variasi aras dan aliran air di sepanjang Sungai Pahang (Hidayat et al., 2021).

1.6.3 Data aras air yang digunakan hanya melibatkan data pada skala masa jam

Kajian ini hanya menggunakan data aras air sungai berskala masa jam yang diperoleh daripada Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia (JPS). Pemilihan skala masa ini dibuat kerana data berskala jam dapat menyediakan maklumat pantas yang diperlukan dalam situasi kecemasan, terutamanya bagi tujuan pengurusan risiko banjir yang memerlukan ramalan segera (Hagen et al., 2020; Ming et al., 2020). Tambahan pula, beberapa kajian terdahulu menunjukkan bahawa peramalan menggunakan data berskala jam adalah lebih berkesan dalam meramalkan perubahan aras air yang berlaku secara mendadak



dalam jangka masa pendek (Faruq et al., 2020; Pozo et al., 2019). Skop kajian ini dihadkan kepada data dengan skala masa jam memandangkan kajian ini adalah untuk memahami dinamik perubahan aras air dalam tempoh masa pendek bagi persediaan situasi kecemasan.

1.6.4 Kaedah Mengenal Pasti Telatah Kalut

Kajian ini telah menetapkan kaedah Cao, Kaedah Plot Ruang Fasa dan kaedah Ujian 0 – 1 untuk mengenal pasti kehadiran telatah kalut, kajian ini tidak melibatkan kaedah-kaedah lain seperti Eksponen Lyapunov dan Dimensi Korelasi. Hal ini kerana kajian hidrologi pendekatan kalut yang dijalankan oleh Mashuri et al. (2021) dan Zakaria et al. (2021) menggunakan kaedah-kaedah tersebut dan keputusan menunjukkan telatah kalut hadir terhadap data siri masa yang diuji.

1.6.5 Penetapan parameter d dan τ

Nilai parameter dimensi pembenaman (d) ditetapkan melalui kaedah Cao manakala parameter masa tunda (τ) ditentukan berdasarkan kaedah PMB dan penetapan $\tau = 1$, namun tiada perbincangan mendalam terhadap kesan variasi nilai-nilai ini terhadap ketepatan peramalan kerana belum ada kajian pendekatan kalut yang melaksanakan analisis ini.





1.6.6 Penetapan Parameter dalam Kaedah Algoritma Genetik (GA)

Model k-GA dalam kajian ini menggunakan bilangan iterasi sebanyak 100 dan saiz populasi 50, yang ditentukan berdasarkan rujukan daripada Arbain (2014). Walau bagaimanapun, tiada ujian variasi nilai dilakukan untuk menilai sama ada perubahan pada parameter ini memberi kesan signifikan terhadap prestasi model.

1.6.7 Sistem Peramalan JPS

Model k-GA yang dibangunkan tidak dibandingkan secara langsung dengan model atau sistem peramalan sedia ada yang digunakan oleh agensi seperti Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia (JPS). Oleh itu, keberkesanan model ini dalam konteks perbandingan dengan sistem peramalan JPS belum dilaksanakan. Hal ini kerana pendekatan kalut hanya memerlukan satu pemboleh ubah sahaja iaitu siri masa aras air sungai berbanding kaedah peramalan global yang digunakan oleh JPS memerlukan lebih dari satu pemboleh ubah (Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia, 2015).

Analisis dan peramalan terhadap data aras air sungai dijalankan menggunakan Matlab R2023a (Matlab, 2023), bersama dengan pakej TSTOOL (Merkwirth et al., 2023), yang merupakan alat berkuasa untuk membantu menganalisis dan meramal data siri masa yang terlibat. Penggunaan Matlab membolehkan pemprosesan data yang lebih cekap dan pelaksanaan algoritma yang kompleks, manakala TSTOOL menyediakan pelbagai fungsi khusus untuk pengendalian dan visualisasi data siri masa. Dengan menggabungkan kedua-dua alat ini, pengkaji dapat melakukan analisis yang mendalam, menghasilkan model ramalan yang lebih tepat dan memahami corak serta trend dalam





data aras air sungai dengan lebih baik. Selain ketepatan, model k-GA ini juga diharapkan mampu memberikan kestabilan ramalan yang lebih konsisten. Walau bagaimanapun, aspek kos dan tempoh pemprosesan tidak menjadi skop utama dalam kajian ini.

1.7 Sumbangan Kajian

Kajian ini bertujuan untuk memberikan sumbangan yang signifikan kepada analisis dan peramalan aras air sungai di Malaysia. Dalam konteks ini, kajian tidak hanya berfokus pada aplikasi kaedah kalut, tetapi juga berusaha untuk menambahbaik kaedah sedia ada.



1.7.1 Sumbangan Kajian kepada Penambahbaikan Kaedah



Sumbangan kajian terhadap kaedah penambahbaikan kaedah kalut adalah dalam pembinaan model kacukan kaedah kalut dan algoritma genetik (Model k-GA) kerana; (1) kaedah ini diperlukan untuk meningkatkan ketepatan hasil peramalan aras air sungai di Malaysia; (2) kaedah ini juga diperlukan untuk aplikasi bagi melihat kelangsungan dan kesesuaian terhadap data siri masa air sungai-sungai mengikut perincian di kawasan tanah tinggi, tanah sederhana dan tanah rendah; (3) kaedah ini juga diperlukan untuk menjawab kepada masalah kajian pertama yang dijalankan oleh Mashuri et al. (2019) di mana peramalan data siri masa yang melebihi kapasiti tadahan atau aras air ketika banjir sukar diramal dengan tepat, namun aras air pada paras normal dapat diramal dengan sangat cemerlang.





1.7.2 Sumbangan Kajian kepada Analisis dan Peramalan Data Aras Air Sungai

Sumbangan kajian ini terhadap analisis dan peramalan data siri masa aras air sungai adalah seperti berikut:

- i. Kajian ini mengembangkan aplikasi kaedah kalut terhadap data siri masa aras air sungai, khususnya dengan penekanan kepada perincian kawasan di sepanjang Sungai Pahang.
- ii. Pembinaan pendekatan kacukan bagi mendapatkan hasil peramalan yang lebih jitu di kawasan mengikut perincian sungai di Sungai Pahang.
- iii. Kajian ini mampu memberikan maklumat kepada pihak tertentu dalam menyelesaikan atau menambahbaik sistem di kawasan yang diperincikan oleh pengkaji.



1.7.3 Sumbangan Kajian kepada Negara Malaysia

Sumbangan kajian kepada Malaysia adalah dapat ditunjukkan di dalam hasil kajian yang dijalankan di kawasan mengikut perincian Sungai Pahang di Negeri Pahang. Walaupun kajian ini khusus kepada negeri Pahang, namun kajian ini dapat menjadi rujukan dan membantu negara Malaysia dalam pengaplikasian kaedah kalut di kawasan mengikut perincian sungai dalam kajian ini. Sungai yang terletak di Negeri Pahang yang telah diperincikan ciri geografi merupakan sungai akan dipilih bagi memenuhi kepentingan yang telah ditetapkan oleh pengkaji iaitu:

- i. Mendapatkan maklumat amaran awal dan pengawalan bencana banjir di sepanjang lembangan sungai.



- ii. Kaedah kaedah kalut untuk analisis dan peramalan aras air sungai dapat dicadangkan.
- iii. Kajian ini dapat membantu pihak berwajib dalam meramal bagi pengurusan sumber air yang optimum serta pengawalan banjir dengan menggunakan kaedah yang dicadangkan dalam kajian ini.

1.8 Definisi Operasional

Bahagian ini bertujuan untuk memberikan penjelasan yang jelas dan terperinci mengenai istilah dan konsep yang digunakan dalam kajian ini. Definisi operasional adalah penting untuk memastikan pemahaman yang konsisten dan tepat mengenai terminologi yang relevan, yang akan membantu dalam merangka konteks kajian dan menjelaskan metodologi yang diterapkan. Setiap istilah yang akan dibincangkan dalam bahagian ini akan didefinisikan secara khusus untuk menggambarkan cara ia digunakan dalam konteks analisis dan peramalan aras air sungai. Dengan memberikan definisi yang tepat, kajian ini dapat memudahkan pembaca dalam mengikuti proses dan hasil kajian dengan lebih baik, serta mengurangkan kekeliruan yang akan timbul.

1.8.1 Model kacukan

Menurut Katoch et al. (2020), model kacukan adalah kaedah atau pendekatan yang terdiri daripada dua atau lebih kaedah atau juga algoritma. Dalam kajian ini, model kacukan yang dibina adalah terdiri daripada kaedah kalut dan algoritma genetik (k-GA).



Model yang dibina adalah untuk mengatasi masalah-masalah yang telah dibincangkan dalam jurang kajian.

1.8.2 Perincian Sungai

Kamarudin et al. (2015) menyatakan bahawa perincian sungai membawa kepada mengetahui dan menentukan ciri-ciri asas sesuatu sungai di dalam penilaian pengurusan dan punca permasalahan sungai kajian dari dasarnya. Kawasan mengikut klasifikasi Sungai Pahang diperincikan oleh kajian Hakim et al. (2023b) dan Kamarudin et al. (2023a) iaitu (1) kawasan hulu sungai (kawasan tanah tinggi atau *upstream*); (2) kawasan tengah sungai (*middlestream*); dan (3) kawasan hilir sungai (kawasan tanah rendah atau *downstream*). Oleh itu, kajian ini telah memilih perincian tersebut bagi



1.8.3 Pengurusan dan Peramalan Banjir

Vafadarnikjoo et al. (2023) dan Diaconu et al. (2021) menyatakan bahawa pengurusan dan peramalan banjir boleh ditakrifkan sebagai satu proses menganggar dan meramalkan magnitud, masa dan tempoh banjir berdasarkan ciri-ciri lembangan sungai yang diketahui, dengan tujuan untuk mengelakkan kerosakan kepada kehidupan manusia, harta benda dan alam sekitar. Dalam kajian ini, perincian sungai yang diklasifikasikan menjadi modal utama bagi peramalan banjir seterusnya bagi pengurusan banjir agak pihak berwajib dapat memberikan amaran awal. Selain itu, peramalan banjir ini juga dapat membantu dengan situasi dan geografi Malaysia yang merupakan negara yang kerap dilanda banjir setiap tahun.





1.8.4 Data Siri Masa

Menurut Atashi et al. (2022) dan Barrera-Animas et al. (2022), siri masa ialah satu urutan data yang direkod secara berterusan bagi pemerhatian ke atas pembolehubah tertentu. Biasanya data siri masa untuk pemerhatian diambil secara berkala (hari, bulan, tahun). Dalam kajian ini, data siri masa yang terlibat adalah siri masa aras air sungai yang direkod secara jam di mana data yang diuji adalah mengikut perincian kawasan kajian.

1.8.5 Pendekatan Kalut

Telatah kalut telah ditemui oleh Lorenz (1963). Pendekatan kalut dalam kajian ini merujuk kepada kaedah peramalan data siri masa yang bersifat dinamik dan peka terhadap syarat awal. Ia digunakan untuk mengenal pasti struktur tersembunyi dalam data aras air sungai dan membolehkan peramalan jangka pendek dilaksanakan dengan lebih tepat (Kantz & Schreiber, 1997). Data siri masa dikatakan bertelatah kalut apabila memenuhi ciri-ciri tertentu seperti pola tidak konsisten, nilai dalam julat terhad, sensitif terhadap syarat awal, dan bergerak dalam ruang fasa tertentu (Hamid, 2015). Definisi dan penerangan terperinci mengenai pendekatan kalut dan ciri-cirinya dibincangkan dalam bahagian 2.2.

1.8.6 Pembinaan Ruang Fasa

Pembinaan ruang fasa merujuk kepada proses analisis data siri masa satu dimensi ke dalam bentuk ruang pelbagai dimensi (ruang fasa) menggunakan kaedah Takens





(1981). Proses ini melibatkan penentuan dua parameter utama iaitu masa tunda, τ dan dimensi pembenaman, d yang penting untuk mengenal pasti struktur dinamik sistem. Pemilihan bilangan ruang fasa ditentukan menggunakan kaedah bilangan jiran terdekat, k yang merupakan kepada bilangan titik dalam ruang fasa yang paling hampir dengan titik rujukan semasa yang digunakan dalam proses peramalan untuk menentukan nilai masa hadapan (Cunningham & Delany, 2021). Fasa pembinaan ruang fasa ini diperlukan sebelum peramalan dilaksanakan menggunakan pendekatan kalut. Huraian terperinci beserta contoh pengiraan berkaitan proses ini dibincangkan dalam bahagian 3.2.1.

1.8.7 Dimensi Pembenaman

Dimensi pembenaman, d merujuk kepada bilangan minimum pemboleh ubah bebas yang diperlukan untuk menggambarkan dinamik sistem secara lengkap dalam ruang fasa (Cao, 1997). Nilai d ditentukan menggunakan Kaedah Cao (*Cao's Method*), yang mengukur perubahan struktur dalam ruang fasa apabila dimensi meningkat. Dimensi pembenaman yang optimum diperlukan untuk memastikan pembinaan semula ruang fasa yang stabil sebelum membuat peramalan. Huraian kaedah ini diterangkan dalam bahagian 3.2.3.

1.8.8 Ketepatan Peramalan

Ketepatan peramalan merujuk kepada tahap hubungan linear antara data ramalan model dan data sebenar. Ia diukur menggunakan pekali korelasi, CC yang dinyatakan dalam julat nilai antara -1 hingga 1 (Akoglu, 2018; Schober et al., 2018). Nilai CC yang





menghampiri 1 menunjukkan ketepatan peramalan yang sangat cemerlang, manakala nilai yang hampir dengan 0 menunjukkan data siri masa tersebut tidak boleh diramal seperti penerangan di Jadual 2.8. Penulisan tesis ini akan merujuk kepada Jadual 2.8 bagi skala ketepatan peramalan. Penerangan berkenaan ini diterangkan dalam bahagian 2.6.1.

1.9 Rumusan

Bab ini memberikan pengenalan mengenai bencana yang berkaitan dengan topik yang sering terjadi di Malaysia, iaitu banjir. Banjir merupakan salah satu bencana alam yang membawa impak besar terhadap masyarakat, ekonomi, dan persekitaran. Secara khusus, bab ini akan menerangkan dengan lebih mendalam senario semasa berkenaan isu bencana banjir di Malaysia, termasuk faktor-faktor yang menyumbang kepada peningkatan kejadian banjir dan kesan yang ditimbulkan terhadap penduduk serta infrastruktur.

Melalui pengenalan kajian ini, beberapa elemen penting telah digariskan, termasuk masalah yang dihadapi, objektif kajian yang ingin dicapai, persoalan kajian yang akan dijawab, dan kepentingan kajian ini dalam konteks penyelidikan yang lebih luas. Selain itu, sumbangan yang diharapkan daripada kajian ini juga telah dinyatakan, di mana kajian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan yang berguna dan cadangan praktikal untuk menangani isu bencana di Malaysia.





Definisi operasional juga akan dibincangkan untuk memberikan penjelasan yang lebih jelas tentang terminologi yang digunakan dalam kajian ini. Diharapkan dengan pendekatan ini, kajian ini dapat dilaksanakan dengan cemerlang, memenuhi semua cadangan penyelidikan, dan memberikan impak positif kepada pengurusan bencana banjir di masa hadapan.

Kajian ini dibina secara sistematik bermula daripada isu utama dalam pernyataan masalah yang membawa kepada persoalan kajian, seterusnya membentuk objektif kajian yang jelas dan akhirnya diterjemahkan melalui kaedah pelaksanaan (metodologi kajian). Untuk memudahkan kefahaman, hubungan antara keempat-empat komponen ini dipaparkan dalam Jadual 1.5. Jadual 1.5 menunjukkan bahawa setiap persoalan kajian yang dibangkitkan adalah berasaskan kepada pernyataan masalah yang telah dikenalpasti. Kemudian, setiap persoalan dijawab secara langsung oleh objektif kajian yang dirangka dengan jelas. Seterusnya, objektif tersebut diterjemahkan ke dalam bentuk metodologi kajian yang sesuai dan berfokus. Pendekatan ini menjamin kesinambungan logik dan kesepaduan antara isu kajian, halatuju penyelidikan dan kaedah pelaksanaannya.



Jadual 1.5*Hubungan antara Pernyataan Masalah, Persoalan Kajian, Objektif Kajian dan Metodologi Kajian*

Pernyataan Masalah	Persoalan Kajian	Objektif Kajian	Metodologi Kajian
Data siri masa mempunyai dua keadaan antara berketentuan atau rawak. Data siri masa yang berketentuan dapat diramal manakala data bersifat rawak tidak boleh diramal.	Bagaimanakah kehadiran telatah kalut data aras air sungai dapat dikenal pasti mengikut perincian di Sungai Pahang?	Mengenal pasti kehadiran telatah kalut aras air sungai mengikut perincian sungai di Sungai Pahang.	Analisis kehadiran telatah kalut dilaksanakan menggunakan tiga kaedah yang telah dipilih iaitu kaedah Cao, Kaedah Plot Ruang Fasa dan Kaedah Ujian 0 – 1.
Model kacukan yang menggabungkan kaedah kalut dan kaedah lain belum diaplikasikan terhadap mana-mana data siri masa bagi meningkatkan ketepatan ramalan.	Bagaimanakah pembinaan model peramalan aras air sungai dapat dilaksanakan melalui model kacukan kalut dan algoritma genetik (k-GA)?	Membina model kacukan kaedah kalut dan algoritma genetik (k-GA).	Pembinaan model hibrid k-GA dibantu oleh perisian MATLAB berdasarkan kacukan kaedah kalut (KPPS) dan Algoritma Genetik.
Setiap model baru yang dibina memerlukan kesahan dan kebolehppercayaan sebelum diaplikasikan terhadap data yang diuji.	Apakah kesahan dan kebolehppercayaan model k-GA dengan aplikasi peramalan terhadap data sintetik?	Menilai kesahan dan kebolehppercayaan model k-GA.	Model k-GA yang dibina akan diaplikasikan menggunakan data logistik dengan menguji nilai ketepatan pekali korelasi (CC).
Ketidaktentuan data aras air sungai mengikut kawasan geografi menyukarkan peramalan kalut.	Adakah model k-GA dapat diaplikasikan terhadap peramalan aras air sungai mengikut perincian di Sungai Pahang?	Mengaplikasikan model k-GA terhadap peramalan aras air sungai mengikut perincian.	Aplikasi model k-GA pada tiga lokasi kajian iaitu hulu, tengah, hilir Sungai Pahang.
Kaedah kalut sedia ada masih mempunyai kelemahan dalam ramalan aras air terutama pada puncak siri masa.	Sejauh manakah keberkesanan model k-GA dibandingkan dengan kaedah kalut dalam peramalan aras air sungai?	Membandingkan prestasi model k-GA dengan kaedah kalut.	Perbandingan keputusan ramalan k-GA dan KPPS/KPLS menggunakan nilai pekali korelasi CC dan juga di jelaskan dalam bentuk gambar rajah.