

**PEMODELAN NILAI EKSTRIM MENGGUNAKAN
PENDEKATAN KOPULAS BAGI ALIRAN
MAKSIMUM SUNGAI DI SABAH**



RAZIRA ANIZA BINTI ROSLAN

UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

**FAKULTI SAINS DAN SUMBER ALAM
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH
2022**

**PEMODELAN NILAI EKSTRIM MENGGUNAKAN
PENDEKATAN KOPULAS BAGI ALIRAN
MAKSIMUM SUNGAI DI SABAH**

RAZIRA ANIZA BINTI ROSLAN



**TESIS INI DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI
SYARAT MEMPEROLEH IJAZAH SARJANA SAINS**

**FAKULTI SAINS DAN SUMBER ALAM
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH
2022**

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS

JUDUL : **PEMODELAN NILAI EKSTRIM MENGGUNAKAN PENDEKATAN KOPULAS BAGI ALIRAN MAKSIMUM SUNGAI DI SABAH**

IJAZAH : **SARJANA SAINS**

BIDANG : **MATEMATIK DENGAN EKONOMI**

Saya **RAZIRA ANIZA BINTI ROSLAN**, Sesi **2018-2022**, mengaku membenarkan tesis Sarjana ini disimpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:-

1. Tesis ini adalah hak milik Universiti Malaysia Sabah
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. Sila tandakan (/):

SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA 1972)

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

TIDAK TERHAD

Disahkan Oleh,

RAZIRA ANIZA BINTI ROSLAN
MS1821040T

(Tandatangan Pustakawan)

Tarikh : 11 January 2022

(Prof. Madya Dr. Darmesah Gabda)
Penyelia

PERAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nuklian dan ringkasan yang setiap satunya telah dijelaskan sumbernya.

24 Ogos 2021

Razira Aniza Binti Roslan

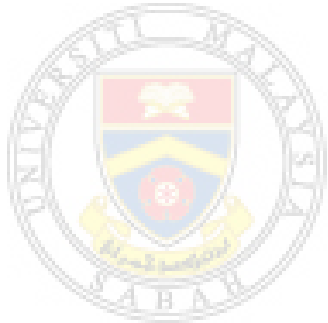
MS1821040T



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PENGESAHAN

NAMA : **RAZIRA ANIZA BINTI ROSLAN**
NO. MATRIK : **MS1820140T**
TAJUK : **PEMODELAN NILAI EKSTRIM MENGGUNAKAN
PENDEKATAN KOPULAS BAGI ALIRAN MAKSIMUM DI
SABAH**
IJAZAH : **SARJANA SAINS**
BIDANG : **MATEMATIK DENGAN EKONOMI**
TARIKH VIVA : **24 OGOS 2021**



DISAHKAN OLEH;
UMMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

Tandatangan

PENYELIA

Prof. Madya Dr. Darmesah Gabda

PENGHARGAAN

Terlebih dahulu saya ingin mengambil kesempatan untuk mengucapkan ribuan terima kasih kepada Prof. Madya Dr. Darmesah Gabda selaku penyelia yang telah banyak menyumbang masa, tenaga, serta membantu dan memberikan tunjuk ajar sepanjang pelaksanaan kajian ini. Beliau telah bertanggungjawab dan memberikan nasihat untuk membantu saya agar dapat menjalankan kajian ini dengan sempurna.

Saya juga ingin berterima kasih kepada pensyarah-pensyarah lain dalam program Matematik dengan Ekonomi yang telah memberikan pandangan serta komen tentang penulisan saya dalam projek ini. Selain daripada itu saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak fakulti Sains dan Sumber Alam yang menyediakan kemudahan dan memberikan saya peluang untuk menjalankan kajian ini.

Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada bahagian Hidrologi dan Ukur, Jabatan Pengairan dan Saliran Negeri Sabah atas kerjasama untuk memberikan data dan maklumat yang diperlukan sepanjang projek ini dijalankan. Disamping itu, saya sangat menghargai dan berterima kasih kepada rakan-rakan saya yang telah banyak membantu dan sanggup berkongsi maklumat serta belajar bersama-sama sepanjang menjalankan kajian ini.

Akhir sekali saya ingin mengucapkan terima kasih kepada ahli keluarga saya yang telah banyak membantu saya dari segi sumber kewangan dan sokongan moral. Terima kasih tidak terhingga kepada ibubapa saya Roslan Bin Olluh dan Rosemawati Ahamd kerana mempercayai anakmu akan menghabiskan tesisnya dengan baik. Tesis ini dapat siap, kerana orang sekeliling yang membantu mendoakan dan memberikan sokongan.

Razira Aniza binti Roslan

24 Ogos 2021

ABSTRAK

Pengetahuan dalam kejadian ekstrim adalah sangat penting untuk menilai aliran sungai sekaligus dapat meramalkan kejadian ekstrim yang akan berlaku seperti banjir. Maka, tujuan kajian ini dijalankan adalah untuk menyuaikan model esktrim ke atas data taburan aliran sungai maksimum tahunan. Kajian ini menggunakan data aliran maksimum sungai tahunan (m^3s^{-1}) dari sepuluh stesen di Sabah dengan saiz sampel untuk setiap stesen sungai adalah $n=29$ tahun yang dicerap dari tahun 1988 sehingga 2016. Kaedah pemodelan pertama adalah dengan penyuaian univariat taburan nilai ekstrim teritlak (GEV) secara tidak bersandar yang tidak memenuhi andaian kebersandaran data spasial. Maka, pemodelan bivariat logistik disuaikan ke atas data dengan mengambil kira fungsi kebolehjadian tercantum yang mengambil kira kebersandaran antara aliran sungai pada stesen yang berdekatan. Kaedah kebolehjadian maksimum (MLE) digunakan sebagai penganggaran parameter. Plot P-P menunjukkan taburan kebarangkalian populasi aliran maksimum sungai berada dalam 95% selang toleransi, oleh itu taburan GEV adalah sesuai ke atas data. Hasil kajian juga menunjukkan terdapat kebersandaran aliran sungai antara stesen yang dapat dimodelkan menggunakan bivariat logistik. Peramalan menunjukkan tahap pulangan aliran maksimum sungai adalah meningkat secara konsisten dan dijangkakan berlaku sekali dalam selang $1/p$ tahun = {5, 10, 50 dan 100 tahun} dengan kebarangkalian p .

ABSTRACT

MODELING EXTREME VALUE USING COPULA APPROACH FOR MAXIMUM RIVER FLOW IN SABAH

Extreme event knowledge is important to assess river's flow and to be able to predict the occurrence of extreme events such as floods. Therefore, the objective of this study is to fit the extremes model on the annual maximum river flow. This study uses an annual maximum river flow ($m^3 s^{-1}$) data from ten stations in Sabah with a sample size of $n=29$ for each of station that observed from 1988 to 2016. The first method is by fitting the generalized extreme value (GEV) independently that violated the assumption of spatial data. Thus, the logistic bivariate model is considered to taking into account the dependencies of river flows at neighbouring sites. The maximum likelihood estimation (MLE) method was used for parameter estimation. The P-P plot shows the probability distribution of population maximum river flow lay within the 95% tolerance interval, hence GEV is an appropriate model for the data. The results also show that there is a dependency of river flow that can be modeled using bivariate logistics. We forecast that the return level of the maximum river flow is increasing consistently and expected to exceed once for every interval $1/p$ year = {5, 10, 50 and 100 year} with probability p .

SENARAI KANDUNGAN

	Halaman
TAJUK	i
PERAKUAN	ii
PENGESAHAN	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
SENARAI KANDUNGAN	vii
SENARAI JADUAL	xi
SENARAI RAJAH	xii
SENARAI SINGKATAN	xiii
SENARAI SIMBOL	xiv
SENARAI LAMPIRAN	xv
BAB 1: PENGENALAN	1
1.1 Latar Belakang Kajian	1
1.1.1 Data Aliran Sungai Dan Kaedah Pengukuran	4
1.1.2 Faktor Mempengaruhi Aliran Sungai	5
1.2 Permasalahan Kajian	5
1.3 Objektif Kajian	7
1.4 Skop Kajian	8
1.5 Struktur Laporan	8

BAB 2: KAJIAN LEPAS	10
2.1 Pengenalan	10
2.2 Teori Nilai Ekstrim	11
2.3 Kajian Aliran Maksimum Sungai	14
2.3.1 Kaedah Taburan Nilai Esktrim Teritlak (GEV)	14
2.3.2 Kaedah Taburan Pareto Teritlak (GPD)	19
2.3.3 Analisis Aliran Sungai Maksimum Menggunakan Mann-Kendall	21
2.3.4 Analisis Aliran Sungai Maksimum Menggunakan Artificial Neural Network Wavelet (WANN)	22
2.4 Model Multivariat Nilai Ekstrim (MEV)	22
2.4.1 Kopula	23
2.4.2 Kebersandaran Antara Data	26
2.5 Ringkasan	28
BAB 3: METODOLOGI	30
3.1 Pengenalan	30
3.2 Univariat Nilai Ekstrim	31
3.2.1 Taburan Nilai Ekstrim teritlak (GEV)	32
3.3 Penganggaran Parameter-Univariat	36
3.3.1 Penganggaran Kebolehjadian Maksimum (MLE)	37
3.3.2 Kaedah Momen Pemberat (PWM)	41
3.4 Kaedah Kebersandaran data	43
3.4.1 Pekali Korelasi Pearson	43
3.4.2 Madogram	44
3.5 Taburan Multivariat Nilai Ekstrim	47

3.5.1	Kopula Nilai Ekstrim	49
3.5.2	Model Logistik kopulas	51
3.5.3	Multivariat Nilai Ekstrim- logistik model	51
3.6	Penganggaran Parameter- Multivariat	53
3.6.1	Kebolehjadian Komposit	55
3.7	Ujian Nisbah Kebolehjadian Maksimum	57
3.8	Kebagusan Penyuaian	59
3.8.1	Plot Kebarangkalian (P-P Plot) Dan Plot Kuantil (Q-Q Plot)	59
3.8.2	Selang Toleransi	61
3.9	Aplikasi Tahap Pulangan	62
BAB 4: HASIL KAJIAN		66
4.1	Pengenalan	66
4.2	Analisis Deskriptif	66
4.3	Kajian Simulasi	74
4.3.1	Penyuaian Model Ke Atas Data Simulasi	74
4.4	Penyuaian GEV Ke Atas Kajian Aliran Maksimum Sungai	76
4.5	Ujian Kebagusan Penyuaian (Univariat)	79
4.5.1	Selang Toleransi	79
4.6	Kebersandaran Data	81
4.6.1	Spearman Korelasi	81
4.6.2	F-madogram	84
4.7	Penganggaran Parameter Bivariat (Kebolehjadian Komposit)	91
4.8	Perbandingan Model: Ujian Nisbah Kebolehjadian	93
4.9	Ujian Kebagusan penyuaian	97

4.10 Tahap Pulangan (Bivariat)	100
4.11 Ringkasan Hasil Kajian	101
BAB 5: PERBINCANGAN DAN KESIMPULAN	103
5.1 Pengenalan	103
5.2 Perbincangan	103
5.3 Kesimpulan	107
5.4 Cadangan	108
RUJUKAN	110
LAMPIRAN	116



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

SENARAI JADUAL

	Halaman
Jadual 4.1: Data aliran Sungai maksimum tahunan bagi setiap stesen	68
Jadual 4.2: Analisis deskriptif bagi aliran maksimum sungai di Sabah	73
Jadual 4.3: Penganggaran Parameter $\hat{\theta}$ bagi GEV	76
Jadual 4.4: Ketidapkincangan dan RMSE bagi parameter bagi taburan GEV	76
Jadual 4.5: Ringkasan keputusan penganggaran parameter dan selang keyakinan	78
Jadual 4.6: Keputusan Ujian Shapiro-Wilk	82
Jadual 4.7: Pekali Korelasi Spearman	84
Jadual 4.8: Keputusan korelasi Spearman	85
Jadual 4.9: Jarak Euclidean	86
Jadual 4.10: Jarak dalam unit Kilometer	87
Jadual 4.11: F-madogram	88
Jadual 4.12: Nilai F-madogram yang memiliki kebersandaran	90
Jadual 4.13: Penganggaran parameter model bivariat logistik bagi kawasan Sandakan	93
Jadual 4.14: Penganggaran parameter model bivariat logistik bagi kawasan Pantai Barat dan Pedalaman	94
Jadual 4.15: Nilai ujian nisbah kebolehjadian	95
Jadual 4.16: Penganggaran parameter bentuk sepunya bagi Model 2	97
Jadual 4.17: Penganggaran parameter bentuk sepunya bagi Model 3	97
Jadual 4.18: Tahap Pulangan bivariat	101

SENARAI RAJAH

	Halaman
Rajah 3.1: Graf taburan nilai ekstrim (GEV)	34
Rajah 3.2: Ilustrasi plot semivarogram	46
Rajah 3.3: Plot Kuantil (Q-Q plot)	61
Rajah 3.4: Plot Kuantil dan 95% Selang Toleransi	63
Rajah 4.1: Peta taburan stesen sungai	70
Rajah 4.2: Histogram dan graf ketumpatan bagi aliran maksimum sungai	74
Rajah 4.3: Menunjukkan plot kuantil dan selang toleransi bagi taburan GEV	81
Rajah 4.4: Plot F-madogram	91
Rajah 4.5: Menunjukkan plot kuantil dan selang toleransi bagi taburan MEVD.	99



SENARAI SINGKATAN

AD	-	Anderson Darling
BM	-	Blok Maksima
BVET	-	Bivariat Nilai Ekstrim Teritlak
CDF	-	Fungsi taburan kumulatif
CI	-	Selang Toleransi
EVT	-	Teori Nilai Esktrim
GEV	-	Nilai ekstrim teritlak
GOF	-	Ujian kebaguasan penyuaiian
GPD	-	Taburan Penyuaian Pareto
K-S	-	Kolmogorov smirnov
L-M	-	L moment
M-K	-	Mann kendall
MLE	-	Penganggaran Kebolehjadian Maksimum
MVED	-	Multivariat Nilai ekstrim teritlak
PDF	-	fungsi ketumpatan kebarangkalian
PMLE	-	Penganggaran Kebolehjadian Maksimum Penalti
POT	-	nilai ambang Batas
P-P	-	Plot Kebarangkalian
PWM	-	Kebarangkalian Momen Pemberat
Q-Q	-	Plot Kuantile
RMSE	-	Punca ralat min kuasa dua
SG	-	Sungai
STN	-	Stesen

SENARAI SIMBOL

$+$	-	Tambah
$-$	-	Tolak
ξ	-	Xi
μ	-	Mu
σ	-	Sigma
$=$	-	Sama Dengan
\neq	-	Tidak Sama
$>$	-	Lebih Besar
$<$	-	Lebih Kecil
\leq	-	Lebih Kecil Atau Sama Dengan
\geq	-	Lebih Besar Atau Sama Dengan
e/exp	-	Eksponen
∞	-	Infiniti
ι	-	Fungsi Kebolehjadian
L	-	Log Fungsi Kebolehjadian
Π	-	Pi
Σ	-	Hasil Tambah
\ln	-	Logaritma Natural
$\hat{\mu}$	-	Parameter Lokasi
$\hat{\xi}$	-	Parameter Bentuk
$\hat{\sigma}$	-	Parameter Skala
θ	-	Parameter Sebenar
$\hat{\theta}$	-	Penganggaran Parameter
\log	-	Logarithma
γ	-	Gmma
χ^2	-	Taburan Khi-Kuasa Dua
t	-	Kovariat
X_i	-	Aliran maksimum tahunan sungai (i)

SENARAI LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A : Hasil Penganggaran Parameter GEV	116
Lampiran B : Contoh Ujian Kebagusan Penyuaian GEV Dijalankan ke atas Data Sungai Kuamut	119
Lampiran C : Output Nilai Penganggaran Parameter Bivariat (Kebolehjadian Komposit)	120
Lampiran D : Penganggaran Parameter Bentuk Sepunya dan Nilai Ujian Nisbah Kebolehjadian	122
Lampiran E : Graf Tahap Pulangan	124
Lampiran F : Senarai Penerbitan	125



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Latar Belakang Kajian

Sungai sememangnya sinonim dengan Malaysia kerana negara kita memiliki iklim lembap dan panas sepanjang tahun disebabkan kedudukan Malaysia yang berada di garisan Khatulistiwa dan dikelilingi oleh laut (Ahmad *et al.*, 2015). Kebiasaannya paras air dan tahap kelajuan sungai dipengaruhi oleh hujan. Oleh kerana negara sentiasa menerima hujan yang banyak dan lebat (Ahmad *et al.*, 2015), sekaligus boleh mempengaruhi tahap kelajuan sungai. Selain itu, hujan yang lebat juga boleh meningkatkan kapasiti air sungai dengan cepat sehingga menyebabkan masalah banjir (Guru & Jha, 2015). Kejadian banjir selalunya berlaku setiap tahun terutama sekali pada musim tengkujuh dan menyebabkan kerosakkan serta kehilangan banyak harta benda. Perkara ini berlaku kerana kesan perubahan iklim yang membuatkan hujan bertukar menjadi semakin lebat (Yendra, 2014).

Selain daripada itu fenomena banjir berlaku disebabkan oleh tanah yang tidak dapat menyerap air ke dalam tanah. Hal ini juga akan mempengaruhi aliran sungai kerana sekiranya tanah tidak mampu menyerap air, aliran sungai akan mengalir dengan cepat dan akan melebihi paras bahaya (Guru & Jha, 2015). Oleh itu teori nilai ekstrim sangat penting untuk mengetahui aliran sungai bagi mengelakkan berlakunya banjir. Perkara ini perlu dipandang serius kerana hujan yang lebat boleh menjeruskan

kepada peningkatan aliran sungai dan akan menyebabkan kegagalan sistem perparitan. Apabila hujan terlalu lebat, perparitan di kawasan bandar tidak mampu menampung jumlah air yang banyak sehinggakan banjir kilat terjadi (Yendra *et al.*, 2014). Situasi ini akan memberikan impak yang buruk kepada manusia, alam sekitar dan haiwan (Guru & Jha, 2015).

Maka pengetahuan dalam kejadian ekstrim sangat penting untuk mengetahui keadaan aliran sungai sekaligus dapat meramal kejadian yang akan berlaku seperti banjir. Selain itu jurutera dan peramal juga dapat merancang dan mereka bentuk kerja-kerja hidraulik seperti membina jambatan, benteng pembentungan struktur kawalan banjir dan sebagainya (Lang *et al.*, 1999). Oleh kerana setiap sungai mempunyai taburan yang berbeza, maka adalah sangat penting untuk membuat anggaran aliran maksimum sungai. Bagi pemilihan reka bentuk takungan dan struktur perlindungan banjir, analisis aliran sungai adalah sangat diperlukan.

Pada kebiasaannya teori nilai ekstrim (EVT) adalah kaedah yang selalu digunakan dalam bidang hidrologi terutama bagi peramalan kadar banjir dan kemarau (Renard & Lang, 2010). Penggunaan EVT semakin banyak digunakan bukan saja dalam bidang hidrologi, bahkan di dalam bidang lain seperti sains dan kejuruteraan. Hal ini kerana EVT boleh diguna pakai dalam pemodelan kejadian ekstrim seperti kelajuan maksimum angin, maksimum hujan dan aliran maksimum sungai (Jose *et al.*, 2008; Aranda & García-Bartual, 2018). Oleh itu, kajian ini akan menyuaikan model teori nilai ekstrim (EVT) ke atas data aliran maksimum sungai.

Menurut Gilli dan Kellezi (2003) terdapat dua cara untuk menentukan nilai ekstrim iaitu menggunakan model blok maksima (BM) atau model nilai ambang batas (POT). Cara mengira nilai ekstrim melalui kaedah BM adalah dengan mengambil nilai maksimum atau minimum data dalam setiap selang masa yang sama dan tidak bertindan seperti data maksimum tahunan, data maksimum bulanan, atau data maksimum mingguan mengikut tempoh pemerhatian yang dikehendaki. Manakala bagi kaedah POT pula ialah dengan mengambil nilai yang tinggi iaitu nilai yang melebihi suatu nilai ambang. Kajian ini adalah menggunakan kaedah BM iaitu melibatkan data

aliran maksimum tahunan sungai. Pada kebiasaannya pendekatan BM banyak diaplikasikan dalam pemodelan aliran sungai dan dipadankan menggunakan taburan Nilai Ektstrim Teritlak (GEV) (Zakaria *et al.*, 2017).

Tujuan kajian ini dilakukan adalah untuk menyuaikan model univariat ekstrim ke atas data taburan aliran maksimum sungai. Maka penyuaian pemodelan univariat akan menggunakan taburan nilai ekstrim teritlak (GEV). Namun, apabila menganalisis sesuatu kejadian ekstrim, menganggarkan setiap kejadian secara tidak bersandar merupakan satu andaian statistik yang tidak betul (Toulemande *et al.*, 2016). Hal ini kerana jika dilihat dari sudut geografi, tahap sungai setiap stesen adalah tidak terlalu berbeza dan kebiasaannya trend setiap sungai adalah hampir sama. Maka, taburan multivariat nilai ekstrim teritlak (MEVD) dipertimbangkan bagi mengambil kira kebersandaran di antara stesen sungai yang berada di Sabah.

Dengan mengambil kira kebersandaran di antara setiap stesen, maka kaedah teori multivariat nilai ekstrim (MEVT) akan dipertimbangkan. Kaedah ini boleh digunakan dengan penggabungan pembolehubah rawak dari setiap stesen. Bidang hidrologi telah banyak mengaplikasikan kaedah ini untuk menganalisis sesuatu kejadian ekstrim. Sebagai contoh dalam kajian Requena *et al.* (2013) menggunakan kaedah MEVT untuk mengambil kira kebersandaran antara nilai batas dan isipadu empangan menggunakan taburan sungai yang terdekat. Hasil kajian tersebut menunjukkan bahawa model multivariat boleh digunakan untuk menganalisis anggaran nilai batas dan isipadu empangan. Kemudian hasil analisis akan digunakan untuk mereka bentuk empangan pada masa akan datang. Hal ini menunjukkan bahawa, sekiranya hanya pendekatan univariat saja yang digunakan dalam menganalisis risiko, maka akan ada risiko lain yang akan diabaikan dan analisis kejadian akan menjadi terhad (Favre *et al.*, 2004).

Oleh hal sedemikian, pembolehubah rawak bagi model univariat ekstrim adalah bersandar di antara satu sama lain (Hao *et al.*, 2018) dan untuk membentuk taburan multivariat nilai ekstrim, taburan akan disuaikan ke dalam model kopula. Manakala untuk mengetahui kebersandaran diantara stesen, pendekatan kopula melalui model

logistik akan disesuaikan ke atas data. Model logistik ialah model yang diperkenalkan oleh Gumbel pada tahun 1960 untuk mengukur kebersandaran diantara pembolehubah (Gudendorf and Segers, 2010).

1.1.1 Data aliran sungai dan kaedah pengukuran

Sungai didefinisikan sebagai sumber semulajadi yang berfungsi kepada laluan aliran banjir, penyaluran saliran, sumber makanan dan bekalan air, jalan air untuk pengangkutan dan perhubungan (*Water Encyclopedia*, 2015). Sungai juga boleh didefinisikan sebagai laluan air yang mengalir secara semulajadi, di mana aliran air adalah menuju terus ke laut, tasik dan sungai yang lain (National Geographic Society, 2011).

Berdasarkan Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia (2012), kejadian banjir di Malaysia di kategorikan sebagai monsun, kilat atau pasang surut yang bergantung kepada ciri-ciri tertentu antaranya ialah lokasi, sebab, masa kejadian dan tempoh (Hallard & Jack, 1963). Secara amnya, banjir berlaku adalah disebabkan oleh kejadian semula jadi ataupun kecuaiian manusia. Selain itu, banjir juga boleh terjadi apabila aliran air sungai melebihi dari tahap maksimum ataupun kapasiti sungai.

Aliran maksimum adalah satu kejadian yang biasa terjadi pada kitaran aliran sungai dan pada kebiasaannya sungai adalah sebagai kitaran hidrologi yang akan mencapai tahap maksimum setiap tahun. Oleh hal sedemikian, statistik model aliran maksimum sungai digunakan untuk menganalisis trend dan kekerapan banjir.

Dalam kajian ini, data yang diperolehi adalah daripada Jabatan Hidrologi Sabah. Pada kebiasaannya kadar aliran sungai akan diukur dalam m^3 /saat di setiap lokasi dan dikira berdasarkan persamaan di bawah;

$$\text{Kadar aliran air} = \text{luas} \times \text{halaju}$$

$$\text{Luas dasar sungai} = \text{panjang} \times \text{lebar} \times \frac{1}{2} \text{tinggi}$$

Luas dikira dengan membahagikan keratan rentas (*cross section*) saluran sungai kepada sub-kawasan yang menegak dan didarab kepada lebar dan kedalaman. Halaju pula diukur menggunakan pengukur meter semasa dan dimasukkan ke dalam sungai jika keadaan mengizinkan. Jika keadaan tidak mengizinkan, pengukuran boleh dilakukan melalui cara kabel, sungai ataupun bot (*U.S. Geological Survey, 2019*).

1.1.2 Faktor Mempengaruhi Aliran Sungai

Berdasarkan Hallard & Jack (1963) terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi aliran sungai antaranya ialah kekasaran saluran, perimeter yang basah dan kecerunan saluran air. Bagi kekasaran saluran, terdapat beberapa penghalang yang menghalang saluran seperti batu, batu tongkol (*Boulder*) dan tumbuhan yang berada di bawah air (Hallard & Jack, 1963). Teorinya, adanya penghalang akan memberikan geseran dan membantu mengurangkan kelajuan aliran air sungai. Manakala sungai yang memiliki kekasaran saluran yang kurang akan melancarkan lagi aliran air sungai dengan lebih laju.

Seterusnya salah satu faktor yang mempengaruhi adalah perimeter yang basah. Perimeter yang basah ialah panjang dan lebar sebuah saluran yang berada dalam lingkungan air sungai. Semakin besar perimeter yang basah maka semakin luas sebuah sungai, sekaligus geseran akan bertambah dan membantu memperlambatkan aliran sungai (Hallard dan Jack, 1963). Faktor yang terakhir adalah kecerunan saluran aliran sungai yang jatuh dari kawasan yang tinggi disebabkan oleh tarikan graviti. Kelajuan aliran bergantung kepada kecerunan saluran, semakin rendah kecerunan aliran sungai, semakin perlahan aliran sungai (Hallard dan Jack, 1963).

1.2 Permasalahan Kajian

Objektif kajian ini adalah untuk memodelkan aliran maksimum tahunan di beberapa stesen di Sabah. Pendekatan kaedah konvensional untuk memodelkan aliran sungai adalah dengan menyuaikan taburan GEV ke atas satu stesen secara tidak bersandar. Namun penyuaian univariat taburan GEV adalah tidak mengambil kira kebersandaran

aliran maksimum di antara stesen. Oleh itu, kerana persamaan dari segi geografi seperti bentuk muka bumi, iklim dan taburan hujan maka, trend aliran sungai yang dicerap dari beberapa stesen berhampiran adalah tidak terlalu berbeza. Hal ini kerana berdasarkan maklumat dari laman web rasmi kerajaan Negeri Sabah (2019) struktur muka bumi di Sabah adalah sama iaitu dengan campuran kawasan pantai, pergunungan dan hutan hujan tropika. Selain itu juga dinyatakan dalam laman web tersebut bahawa, iklim diseluruh Sabah adalah dengan anggaran suhu 32°C bagi kawasan tanah rendah dan purata suhu 21°C bagi kawasan tanah tinggi. Manakala bagi taburan hujan pula, dalam kajian Payus *et al.* (2020) menyatakan bahawa purata hujan di Sabah adalah sekitar 2630 mm dengan jumlah hujan sekitar 950 km^3 .

Seterusnya dilihat melalui jarak lokasi antara sungai seperti dalam jadual 4.10 adalah tidak jauh, hal ini kerana stesen sungai X1, X2, X3, X4 dan X5 berada dibahagian yang sama iaitu di Sandakan. Manakala, bagi stesen sungai X6, X7 dan X8 yang berada di Pantai Barat, serta X9 dan X10 berada di Pedalaman adalah saling berdekatan. Oleh itu, dengan menganggarkan setiap sungai menggunakan pemodelan univariat melalui marginal GEV secara tidak bersandar merupakan andaian statistik yang salah dan tidak memenuhi penganggaran data spasial (Toulemande *et al.*, 2016). Ini adalah kerana pemodelan GEV secara tidak bersandar ke atas data spasial adalah berdasarkan andaian statistik yang salah kerana fungsi kebolehjadian penganggaran parameter yang mengabaikan kebersandaran antara cerapan.

Maka pemodelan ke atas taburan aliran sungai maksimum tercantum adalah perlu untuk mengambil kira kebersandaran di setiap stesen. Oleh itu, taburan multivariat ekstrim akan diaplikasikan dalam kajian ini untuk memodelkan taburan aliran maksimum sungai bagi mengambil kira fungsi kebersandaran antara cerapan sungai. Namun bagaimanapun apabila melibatkan banyak stesen sungai, ia boleh membentuk satu pengiraan dan persamaan matematik yang kompleks kerana menggunakan dimensi yang tinggi (Gabda dan Tawn, 2017).

Kajian ini akan mempertimbangkan model bivariat logistik sebagai fungsi kopula khusus bagi multivariat ekstrim bagi membentuk fungsi tercantum aliran

maksimum tahunan di beberapa stesen di Sabah. Penganggaran parameter melalui kaedah ini adalah berdasarkan fungsi model yang akan dibincangkan dalam sub topik 3.6.1 melibatkan penganggaran parameter bersandar.

1.3 Objektif Kajian

Objektif kajian ini adalah seperti berikut;

- i. Menyuaikan model univariat ekstrim ke atas data taburan aliran maksimum sungai yang berada di Sabah.
- ii. Menyuaikan model multivariat ekstrim dengan mengambil kira kebersandaran antara stesen aliran sungai di Sabah.
- iii. Meramalkan nilai tahap pulangan aliran maksimum tahunan sungai di Sabah.

Objektif kajian pertama dapat dicapai dengan menyuaikan data aliran tahunan maksimum sungai menggunakan kaedah taburan nilai ekstrim teritlak (GEV). Data kajian adalah pendekatan menggunakan blok maksimum (BM), maka GEV akan disesuaikan ke atas data kajian (Zakaria *et al.*, 2017).

Pemodelan univariat dikembangkan menjadi data multivariat dengan memasukkan unsur lokasi yang diambil daripada beberapa lokasi yang berdekatan yang mempunyai kecenderungan untuk saling bersandar. Oleh itu objektif kajian yang kedua dilakukan dengan penyuaian model multivariat ekstrim untuk mempertimbangkan kebersandaran di antara stesen sungai di Sabah dengan menggunakan pendekatan kopula.

Bagi objektif kajian yang terakhir ialah peramalan dengan mengira nilai tahap pulangan maksimum tahunan aliran sungai. Pengiraan tahap pulangan dilakukan bertujuan untuk meramalkan kebolehjadian nilai ekstrim yang dijangkakan berlaku sekali dengan kebarangkalian p dalam selang masa $1/p$ tahun (Hao *et al.*, 2018). Proses pengiraan tahap pulangan dapat dilakukan menggunakan nilai-nilai anggaran parameter yang diperolehi daripada objektif yang kedua.