

**ANALISIS HIDROLOGI DI LEMBANGAN  
SUNGAI GELUGOR, PULAU PINANG**

**MASITAH BINTI ZAINI**

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**2019**

**ANALISIS HIDROLOGI DI LEMBANGAN  
SUNGAI GELUGOR, PULAU PINANG**

**oleh**

**MASITAH BINTI ZAINI**

**Tesis yang diserahkan untuk  
memenuhi keperluan bagi  
Ijazah Sarjana Sastera**

**Oktober 2019**

## **PENGHARGAAN**

Alhamdulillah. Bersyukur ke hadrat Illahi dengan izinNYA dapat juga saya menyiapkan tesis penyelidikan ini sepenuhnya. Di sini, saya ingin merakamkan jutaan terima kasih yang tidak terhingga kepada kedua ibu bapa saya iaitu Zaini bin Sulaiman dan Jemilah binti Abdullah serta ahli keluarga atas segala pengorbanan, dorongan dan doa. Saya juga ingin merakamkan jutaan terima kasih kepada penyelia utama saya, Prof. Dr. Wan Ruslan Ismail atas segala ilmu, nasihat, dorongan, bantuan semasa menyempurnakan tesis penyelidikan ini. Terima kasih kepada suami tercinta, Muhammad Elyas bin Sulaiman yang sentiasa membantu sokongan, motivasi dan kewangan sepanjang tempoh pengajian saya di USM. Selain itu, ucapan jutaan terima kasih juga ditujukan khas buat pelajar master iaitu En. Mohd Nazrul bin Ibrahim yang selalu memberi tunjuk ajar dan bimbingan. Tidak lupa juga kepada sahabat perjuangan saya yang begitu cekal dan tabah sepanjang tempoh menyiapkan tesis penyelidikan ini kerana banyak berkorban masa, tenaga dan kewangan iaitu Nor Adillah binti Ayob. Terima kasih juga buat sahabat karib saya Nurazynie binti Herman dan Mohd Syafiq bin Dasuki untuk pertolongan dan sokongan sepanjang saya menjalankan kajian. Pada kesempatan ini juga, saya ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada pihak Universiti Sains Malaysia (USM) terutamanya staff Pusat Pengajian Ilmu Kemanusiaan (PPIK) dan Institut Pengajian Siswazah (IPS) yang memudahkan segala urusan saya. Jutaan terima kasih buat pihak penaja iaitu Kementerian Pelajaran Malaysia melalui biasiswa MyMASTER- MOHE (MYM).

# ISI KANDUNGAN

<b>PENGHARGAAN</b>	ii
<b>ISI KANDUNGAN</b>	iii
<b>SENARAI RAJAH</b>	x
<b>SENARAI JADUAL</b>	xiv
<b>ABSTRAK</b>	xvi
<b>ABSTRACT</b>	xviii
<b>BAB 1 - PENGENALAN</b>	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Sumber Air	1
1.3 Skop Kajian	4
1.4 Isu dan Permasalahan Kajian	5
1.5 Persoalan Kajian	7
1.6 Objektif Kajian	7
1.7 Kerangka Konseptual Penyelidikan	8
1.8 Kepentingan Kajian	10
1.9 Susunan Tesis	11
1.10 Kesimpulan	13

## **BAB 2 - KAJIAN LITERATUR**

2.1	Pengenalan	14
2.2	Hidrologi	14
2.3	Hidrologi Bandar	17
2.4	Pembangunan dan Perubahan Guna Tanah	17
2.5	Hakisan	18
	2.5.1 Jenis-Jenis Hakisan	19
2.6	Sedimen	21
2.7	Air Larian Permukaan	25
2.8	Luahan Sungai	26
2.9	Kajian Kualiti Air	29
2.10	Parameter Fizikokimia	32
	2.10.1 Jumlah Pepejal Terampai (TSS)	33
	2.10.2 Suhu (°C)	33
	2.10.3 Potential Hydrogenii (pH)	34
	2.10.4 Jumlah Pepejal Terlarut (TDS)	35
	2.10.5 Oksigen Terlarut (DO)	36
	2.10.6 Konduktiviti (CND)	36
	2.10.7 Kekeruhan (FTU)	37
2.11	Nutrien	37
	2.11.1 Nitrogen	38
	2.11.2 Nitrit (NO <sub>2</sub> )	39
	2.11.3 Nitrat (NO <sub>3</sub> )	40
	2.11.4 Ammonia (NH <sub>3</sub> )	40

2.11.5	Fosfat (PO <sub>4</sub> )	41
2.12	Pencemaran Air	42
2.13	Kesimpulan	45

### **BAB 3 - KAEDAH DAN INSTRUMENTASI**

3.1	Pengenalan	46
3.2	Kawasan Kajian	47
3.3	Peta Lokasi Kajian	51
3.3.1	Latar Belakang Kawasan Kajian	54
3.3.2	Hujan	54
3.3.3	Suhu	55
3.3.4	Geologi dan Jenis Tanah	56
3.3.5	Topografi	56
3.3.6	Order Lembangan Sungai	57
3.4	Kaedah Di Lapangan	59
3.4.1	Persampelan Air Sungai	59
3.4.2	Masa Persampelan	59
3.4.2	Persampelan Air Hujan	60
3.5	Pengukuran Halaju	61
3.6	Pengukuran Kedalaman Sungai	62
3.7	Pengukuran Luahan Sungai	63
3.8	Pengukuran Keratan Rentas	64
3.9	Analisis Makmal	68
3.9.1	Analisis Kekeruhan	68

3.9.2	Analisis pH	69
3.9.4	Analisis Kepekatan Nitrit	70
3.9.5	Analisis Kepekatan Nitrat	73
3.9.6	Analisis Kepekatan Ammonia	75
3.9.7	Analisis Kepekatan Fosfat	78
3.9.8	Analisis Jumlah Pepejal Terampai	81
3.10	Analisis Data	84
3.11	Kesimpulan	86

#### **BAB 4 - PARAMETER FIZIKOKIMIA**

4.1	Pengenalan	87
4.2	Parameter Fizikokimia	87
4.2.1	Suhu (°C)	88
4.2.2	pH	92
4.2.3	Jumlah Pepejal Terlarut (TDS)	95
4.2.4	Oksigen Terlarut (DO)	98
4.2.5	Konduktiviti (CND)	104
4.2.6	Kekeruhan (FTU)	108
4.3	Kesimpulan	112

#### **BAB 5 - KADAR LUAHAN DAN JUMLAH BEBAN SEDIMEN**

5.1	Pengenalan	113
5.2	Hidrologi	113
5.3	Luahan	115

5.3.1	Purata Jumlah Luahan Dan Jumlah Luahan Sedimen (Bulanan)	116
5.3.2	Pertalian Jumlah Pepejal Terampai (TSS) Dengan Luahan (Bulanan)	123
5.3.3	Pertalian Jumlah Pepejal Terampai (TSS) Dengan Jumlah Beban Luahan Sedimen (Bulanan)	126
5.3.4	Pertalian Jumlah Pepejal Terampai (TSS) Dengan Luahan (Musim Kering)	130
5.3.5	Pertalian Jumlah Pepejal Terampai (TSS) Dengan Jumlah Beban Luahan Sedimen (Musim Kering)	133
5.3.6	Pertalian Jumlah Pepejal Terampai (TSS) Dengan Luahan (Musim Basah)	137
5.3.7	Pertalian Jumlah Pepejal Terampai (TSS) Dengan Jumlah Beban Luahan Sedimen (Musim Basah)	141
5.3.8	Jumlah Pepejal Terampai (TSS)	144
5.4	Kesimpulan	149

## **BAB 6 - KEPEKATAN NITROGEN & FOSFORUS**

6.1	Pengenalan	150
6.2	Nutrien	150
6.2.1	Kepekatan Nitrit (NO <sub>2</sub> )	151
6.2.1(a)	Pertalian Kepekatan Nitrit (NO <sub>2</sub> ) Dengan Luahan (Bulanan)	156
6.2.1(b)	Pertalian Kepekatan Nitrit (NO <sub>2</sub> ) Dengan Luahan (Musim Kering)	158
6.2.1(c)	Pertalian Kepekatan Nitrit (NO <sub>2</sub> ) Dengan Luahan (Musim Basah)	160



	6.2.1(d)	Perbandingan Kepekatan Nitrit (NO <sub>2</sub> ) Dengan Luahan (Bulanan dan Musiman)	162
6.2.2		Kepekatan Nitrat (NO <sub>3</sub> )	164
	6.2.2(a)	Pertalian Kepekatan Nitrat (NO <sub>3</sub> ) Dengan Luahan (Bulanan)	168
	6.2.2(b)	Pertalian Kepekatan Nitrat (NO <sub>3</sub> ) Dengan Luahan (Musim Kering)	170
	6.2.2(c)	Pertalian Kepekatan Nitrat (NO <sub>3</sub> ) Dengan Luahan (Musim Basah)	172
	6.2.2(d)	Perbandingan Kepekatan Nitrat (NO <sub>3</sub> ) Dengan Luahan (Bulanan dan Musiman)	174
6.2.3		Kepekatan Ammonia (NH <sub>3</sub> )	176
	6.2.3(a)	Pertalian Kepekatan Ammonia (NH <sub>3</sub> ) Dengan Luahan (Bulanan)	182
	6.2.3(b)	Pertalian Kepekatan Ammonia (NH <sub>3</sub> ) Dengan Luahan (Musim Kering)	184
	6.2.3(c)	Pertalian Kepekatan Ammonia (NH <sub>3</sub> ) Dengan Luahan (Musim Basah)	186
	6.2.3(d)	Perbandingan Kepekatan Ammonia (NH <sub>3</sub> ) Dengan Luahan (Bulanan dan Musiman)	188
6.3		Fosforus	190
	6.3.1	Kepekatan Fosfat (PO <sub>4</sub> )	194
	6.3.1(a)	Pertalian Kepekatan Fosfat (PO <sub>4</sub> ) Dengan Luahan (Bulanan)	194
	6.3.1(b)	Pertalian Kepekatan Fosfat (PO <sub>4</sub> ) Dengan Luahan (Musim Kering)	196

	6.3.1(c)	Pertalian Kepekatan Fosfat ( $\text{PO}_4$ ) Dengan Luahan (Musim Basah)	198
	6.3.1(d)	Perbandingan Kepekatan Fosfat ( $\text{PO}_4$ ) Dengan Luahan (Bulanan dan Musiman)	200
6.4		Kesimpulan	202
		<b>BAB 7 - KESIMPULAN</b>	203
7.1		Pengenalan	203
7.2		Cadangan	204
		<b>RUJUKAN</b>	206

## SENARAI RAJAH

	<b>Halaman</b>
Rajah 1.1 Kerangka konseptual penyelidikan analisis hidrologi di lembangan Sungai Gelugor, Pulau Pinang	9
Rajah 2.1 Sumber daripada: Portal the water cycle, Malay Gambarajah Kitaran Air U.S. Geological Survey	16
Rajah 2.2 Kitaran Nitrogen dalam tanah	39
Rajah 2.3 Pecahan insiden pencemaran air daripada pelbagai punca aktiviti ekonomi pada tahun 2012	44
Rajah 3.1 Lokasi persampelan di Stesen 1 (Air Terjun)	48
Rajah 3.2 Lokasi persampelan di Stesen 2 (Perumahan)	48
Rajah 3.3 Lokasi persampelan di Stesen 3 (Masjid)	49
Rajah 3.4 Lokasi persampelan di Stesen 4 (Loji)	49
Rajah 3.5 Lokasi persampelan di Stesen 5 (Sekolah)	50
Rajah 3.6 Peta lokasi stesen persampelan Sungai Gelugor, Pulau Pinang	51
Rajah 3.7 Lakaran lembangan Sungai Gelugor, Pulau Pinang	52
Rajah 3.8 Peta guna tanah di Sungai Gelugor, Pulau Pinang	53
Rajah 3.9 Taburan hujan di Pulau Pinang pada Januari 2016 hingga Januari 2017	55
Rajah 3.10 Taburan hujan di USM pada Januari 2016 hingga Januari 2017	55
Rajah 3.11 Kaedah Strahler (1950) telah digunakan bagi menentukan order lembangan saliran	57
Rajah 3.12 Alat tadahan hujan di Stesen USM	61
Rajah 3.13 Pengukuran keratan rentas sungai dan pembahagian mengikut segmen untuk pengukuran halaju oleh Shaw (1988)	65

Rajah 3.14	Keratan rentas di Stesen 1	66
Rajah 3.15	Keratan rentas di Stesen 2	66
Rajah 3.16	Keratan rentas di Stesen 3	67
Rajah 3.17	Keratan rentas di Stesen 4	67
Rajah 3.18	Keratan rentas di Stesen 5	68
Rajah 3.19	(Perkin Elmer Instrument Lamda 25 Spetrophometer with u/vis Win/ab 2.85)	81
Rajah 4.1	Gambar Sisa-sisa makanan dan sampah dibuang terus ke dalam sungai di Stesen 3	90
Rajah 4.2	Purata suhu (C°) bulanan di kesemua stesen persampelan	91
Rajah 4.3	Purata Potential Hydrogenii (pH) bulanan di kesemua stesen persampelan	94
Rajah 4.4	Purata Jumlah Pepejal Terlarut (TDS) bulanan di kesemua stesen persampelan	97
Rajah 4.5	Purata Oksigen Terlarut (DO) bulanan di kesemua stesen persampelan	103
Rajah 4.6	Purata Konduktiviti (CND) bulanan di kesemua stesen persampelan	107
Rajah 4.7	Purata Kekeruhan (FTU) bulanan di kesemua stesen persampelan	111
Rajah 5.1	Jumlah luahan (bulanan) di kesemua stesen persampelan	119
Rajah 5.2	Jumlah beban luahan sedimen (bulanan) di kesemua stesen persampelan	120
Rajah 5.3	Pertalian regresi Jumlah Pepejal Terampai (TSS) luahan sedimen (bulanan) di kesemua stesen persampelan	124
Rajah 5.4	Pertalian regresi Jumlah Pepejal Terampai (TSS) luahan sedimen (bulanan) di kesemua stesen persampelan	128
Rajah 5.5	Pertalian regresi Jumlah Pepejal Terampai (TSS) dengan luahan pada (musim kering) di	131

	kesemua stesen persampelan	
Rajah 5.6	Pertalian regresi Jumlah Pepejal Terampai (TSS) dengan luahan sedimen pada (musim kering) di kesemua stesen persampelan	135
Rajah 5.7	Pertalian regresi Jumlah Pepejal Terampai (TSS) dengan luahan pada (musim basah) di kesemua stesen persampelan	139
Rajah 5.8	Pertalian regresi Jumlah Pepejal Terampai (TSS) dengan jumlah beban luahan sedimen pada (musim basah) di kesemua stesen persampelan	143
Rajah 5.9	Purata kepekatan Jumlah Pepejal Terampai (TSS) bulanan di kesemua stesen persampelan	148
Rajah 6.1	Purata kepekatan Nitrit (NO <sub>2</sub> ) bulanan di kesemua stesen persampelan	155
Rajah 6.2	Pertalian purata kepekatan Nitrit (NO <sub>2</sub> ) dengan luahan (bulanan) di kesemua stesen persampelan	157
Rajah 6.3	Pertalian purata kepekatan Nitrit (NO <sub>2</sub> ) dengan luahan (musim kering) di kesemua stesen persampelan	159
Rajah 6.4	Pertalian purata kepekatan Nitrit (NO <sub>2</sub> ) dengan luahan (musim basah) di kesemua stesen persampelan	161
Rajah 6.5	Purata kepekatan Nitrat (NO <sub>3</sub> ) bulanan di kesemua stesen persampelan	167
Rajah 6.6	Pertalian purata kepekatan Nitrat (NO <sub>3</sub> ) dengan luahan (bulanan) di kesemua stesen persampelan	169
Rajah 6.7	Pertalian purata kepekatan Nitrat (NO <sub>3</sub> ) dengan luahan (musim kering) di kesemua stesen persampelan	171
Rajah 6.8	Pertalian purata kepekatan Nitrat (NO <sub>3</sub> ) dengan	173

	luahan (musim basah) di kesemua stesen persampelan	
Rajah 6.9	Pasar basah dan pasar tani Taman Tun Sardon	180
Rajah 6.10	Loji kumbahan Indah Water di Stesen 4	169
Rajah 6.11	Purata kepekatan Ammonia (NH <sub>3</sub> ) bulanan di kesemua stesen persampelan	181
Rajah 6.12	Pertalian purata kepekatan Ammonia (NH <sub>3</sub> ) dengan luahan (bulanan) di kesemua stesen persampelan	183
Rajah 6.13	Pertalian purata kepekatan Ammonia (NH <sub>3</sub> ) dengan luahan (musim kering) di kesemua stesen persampelan	185
Rajah 6.14	Pertalian purata kepekatan Ammonia (NH <sub>3</sub> ) dengan luahan (musim basah) di kesemua stesen persampelan	187
Rajah 6.15	Kepekatan Fosfat (PO <sub>4</sub> ) bulanan di kesemua stesen persampelan	193
Rajah 6.16	Pertalian purata kepekatan Fosfat (PO <sub>4</sub> ) dengan luahan (bulanan) di kesemua stesen persampelan	195
Rajah 6.17	Pertalian purata kepekatan Fosfat (PO <sub>4</sub> ) dengan luahan (musim kering) di kesemua stesen persampelan	197
Rajah 6.18	Pertalian purata kepekatan Fosfat (PO <sub>4</sub> ) dengan luahan (musim basah) di kesemua stesen persampelan	199

## SENARAI JADUAL

	<b>Halaman</b>
Jadual 2.1 Perbandingan penghasilan sedimen yang dikeluarkan daripada sungai-sungai terpilih yang telah dikaji di Malaysia	24
Jadual 2.2 Pengelasan kualiti air berdasarkan piawai Standard Kualiti Air Kebangsaan (YSI)	31
Jadual 2.3 Pengelasan kualiti air mengikut piawai Standard Kualiti Air Kebangsaan (Nutrien)	31
Jadual 2.4 Pengelasan kualiti air mengikut piawai Standard Kualiti Air Kebangsaan	32
Jadual 2.5 Komposisi sumber pencemaran air mengikut sektor di Malaysia	45
Jadual 3.1 Bilangan order Sungai Gelugor	58
Jadual 3.2 Ciri-Ciri morfometri kawasan kajian	58
Jadual 3.3 Skor regresi analisis regresi linear (David 1971)	84
Jadual 3.4 Deskripsi parameter, unit dan metodologi	85
Jadual 5.1 Purata bulanan kadar halaju kesemua stesen persampelan	115
Jadual 5.2 Perbandingan peningkatan jumlah beban luahan sedimen sepanjang persampelan	122
Jadual 5.3 Perbandingan pertalian antara Jumlah Pepejal Terampai (TSS) sepanjang persampelan dengan luahan dikesemua stesen persampelan	125
Jadual 5.4 Perbandingan pertalian antara Jumlah Pepejal Terampai (TSS) sepanjang persampelan dengan luahan dikesemua stesen persampelan	129
Jadual 5.5 Perbandingan pertalian antara Jumlah Pepejal Terampai (TSS) dengan luahan dikesemua stesen pada musim kering	132

Jadual 5.6	Perbandingan pertalian antara Jumlah Pepejal Terampai (TSS) dengan beban luahan sedimen dikesemua stesen pada musim kering	136
Jadual 5.7	Perbandingan pertalian antara Jumlah Pepejal Terampai (TSS) dengan luahan dikesemua stesen pada musim basah	140
Jadual 5.8	Perbandingan pertalian antara Jumlah Pepejal Terampai (TSS) dengan jumlah beban luahan sedimen dikesemua stesen pada musim basah	144
Jadual 6.1	Perbandingan pertalian antara purata kepekatan Nitrit ( $\text{NO}_2$ ) dengan luahan sepanjang persampelan	163
Jadual 6.2	Perbandingan pertalian antara purata kepekatan Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) dengan luahan sepanjang persampelan	175
Jadual 6.3	Perbandingan pertalian antara purata kepekatan Ammonia ( $\text{NH}_3$ ) dengan luahan sepanjang persampelan	189
Jadual 6.4	Perbandingan pertalian antara purata kepekatan Fosfat ( $\text{PO}_4$ ) dengan luahan sepanjang persampelan	201



# **ANALISIS HIDROLOGI DI LEMBANGAN SUNGAI GELUGOR, PULAU PINANG**

## **ABSTRAK**

Kajian ini merupakan satu kajian dalam bidang hidrologi yang terdiri daripada kualiti air dan nutrien. Objektif utama kajian ini untuk meneliti status kualiti air sungai di kawasan kajian. Kedua, menganggarkan beban sedimen dan purata kepekatan nutrien daripada lembangan yang masuk ke dalam sungai mengikut bulanan dan musiman. Ketiga, mengenalpasti faktor-faktor yang mempengaruhi perbandingan dan pertalian antara karekter fizikokimia, beban sedimen dan purata kepekatan nutrien dengan luahan. Kajian dijalankan di Sungai Gelugor yang terletak di latitud  $05^{\circ}22.379^{\circ}$  hingga  $05^{\circ}22.875^{\circ}$  dan longitud  $100^{\circ}17.730^{\circ}$  hingga  $100^{\circ}18.654^{\circ}$  di Negeri Pulau Pinang, Malaysia. Persampelan dijalankan selama 12 bulan iaitu dua kali seminggu pada hari Isnin dan Khamis bermula pada 1 Januari 2016 sehingga 1 Januari 2017 dan pada musim hujan lebat di Stesen 3 dan Stesen 5. Analisis makmal dijalankan mengikut prosedur standard yang dicadangkan oleh Adams (1989) dan APHA (1989). Berdasarkan pengkelasan Standard Kualiti Air Kebangsaan bagi purata suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH, dan Jumlah Pepejal Terlarut (TDS) air bagi kelima-lima stesen persampelan berada pada kelas I. Manakala purata Oksigen Terlarut (DO), pada kelas II dan purata kekeruhan (FTU) pada kelas III. Jumlah beban luahan sedimen yang dicatatkan di Stesen 1 ialah  $3455.15 \text{ tan/km}^2$ , Stesen 2 ialah  $2282.66 \text{ tan/km}^2$ , Stesen 3 ialah  $2428.86 \text{ tan/km}^2$ , Stesen 4 ialah  $2043.92 \text{ tan/km}^2$  dan di Stesen 5 ialah  $1277.84 \text{ tan/km}^2$ . Berdasarkan keseluruhan kajian, jumlah beban sedimen yang dicatatkan di Sungai Gelugor ialah  $1277.84 \text{ tan/km}^2/\text{tahun}$ . Berdasarkan hasil kajian, nilai regresi perbandingan pertalian paling tinggi telah dicatatkan sepanjang persampelan antara luahan dengan purata kepekatan

Nitrit ( $\text{NO}_2$ ) ialah  $R^2 = 0.8077$  di Stesen 1. Kemudian, bagi Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) pula ialah  $R^2 = 0.8077$  juga di Stesen 1 dan purata kepekatan Ammonia ( $\text{NH}_3$ )  $R^2 = 0.7872$  juga di Stesen 1, dan kepekatan Fosfat ( $\text{PO}_4$ ) ialah  $R^2 = 0.5953$  di Stesen 3. Faktor-faktor yang mempengaruhi perbandingan pertalian kepekatan nutrien dengan luahan ialah faktor cuaca dan iklim serta aktiviti manusia di kawasan kajian.

## **ANALYSIS OF HYDROLOGY IN GELUGOR RIVER'S CATCHMENT, PENANG**

### **ABSTRACT**

This study is a study in the field of hydrology consisting of water quality and nutrients. The main objective of this study is to examine the state of river water quality status in the study area. Second, estimating the sediment load and nutrient concentration from the basin entering into the river by monthly and seasonal. Third, identify factors that influence the comparison and correlation between physicochemical character, sediment load and nutrient concentration with discharge. The study was conducted at Sungai Gelugor located at latitude  $05^{\circ} 22.379^{\circ}$  to  $05^{\circ} 22.875^{\circ}$  and longitude  $100^{\circ} 17.730^{\circ}$  to  $100^{\circ} 18.654^{\circ}$  in the State of Penang, Malaysia. Sampling is carried out for 12 months, twice a week on Mondays and Thursdays from 1 January 2016 to 1 January 2017 and during heavy rain season at Station 3 and Station 5. Laboratory analysis is conducted according to the standard procedures recommended by Adams (1989) and APHA (1989). Based on the classification of the National Water Quality Standards for the average temperature ( $^{\circ}$  C), pH, and total dissolved solids (TDS) of the five sampling stations are in class I. While the average oxygen dissolved (DO), in class II and the average turbidity FTU) in class III. The total sediment load discharge recorded at Station 1 is 3455.15 tons / km<sup>2</sup>, Station 2 is 2282.66 tons / km<sup>2</sup>, Station 3 is 2428.86 tons / km<sup>2</sup>, Station 4 is 2043.92 tons / km<sup>2</sup> and at Station 5 is 1277.84 tons / km<sup>2</sup>. Based on the overall study, the total sediment load discharge recorded in Sungai Gelugor is 1277.84 tons / km<sup>2</sup> / year. Based on the results of the study, the highest regression ratio regression was recorded during the sampling between the discharge and the average nitrate

concentration ( $\text{NO}_2$ ) was  $R^2 = 0.8077$  at Station 1. Then, for Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) is  $R^2 = 0.8077$  also at Station 1 and average concentration Ammonia ( $\text{NH}_3$ )  $R^2 = 0.7872$  also at Station 1, and Phosphate concentration ( $\text{PO}_4$ ) is  $R^2 = 0.5953$  at Station 3. Factors affecting the comparison and correlation between nutrient concentration with discharge are weather and climate factors and human activity in the study area.

# **BAB 1**

## **PENGENALAN**

### **1.1 PENGENALAN**

Bab ini membicarakan pengenalan kajian yang dijalankan. Perbincangan meliputi pengenalan bab, skop kajian, isu dan permasalahan, persoalan kajian, objektif kajian, kerangka konseptual penyelidikan, dan kepentingan kajian. Di akhir bab pula menyenaraikan susunan tesis keseluruhan kajian ini.

### **1.2 SUMBER AIR**

Air adalah sumber yang sangat penting kepada semua kehidupan. Manusia memerlukan air untuk pelbagai kegiatan domestik untuk minuman, pengairan ke kawasan pertanian, perindustrian, pengangkutan dan pelupusan bahan buangan. Selain kegunaan domestik, air juga amat penting dalam kegiatan ekonomi seperti perindustrian, perkilangan dan pengangkutan. Malah, air juga digunakan untuk penjanaan tenaga elektrik di empangan-empangan. Ciri-ciri air dapat dilihat sebagai gabungan molekul antara dua atom hidrogen dan satu atom oksigen yang terikat secara ikatan kovalen. Air juga sebenarnya merupakan pelarut dan oleh itu secara semula jadi kelarutan bahan dalam air mencerminkan ramuan kimia di muka bumi ini.

Sejak kebelakangan ini kesan daripada aktiviti manusia telah dikenalpasti sebagai punca pencemaran air. Kemerosotan kualiti air sungai dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti buangan daripada kumbahan domestik, perindustrian, pertanian dan binatang ternakan. Selain itu, penyahutan untuk membangunkan kawasan penempatan, dan bangunan komersial akibat daripada pengaruh urbanisasi yang pesat dapat memberi kesan yang besar ke atas ekologi dan hidrologi (Ahmad Sofiman Othman, *et.*, 2008). Hal ini kerana, kehilangan kanopi hutan tersebut telah mengganggu keseimbangan proses semula jadi seperti perubahan kadar sejat peluhan, kehilangan penyerapan dan ciri-ciri tanah dan secara tidak langsung akan mengubah operasi aliran sungai dalam hutan. Oleh sebab itu, proses penyahutan akan memberi impak kepada jangka masa panjang dan akhirnya menyebabkan struktur semulajadi tanah turut terjejas kerana permukaan tanah tersebut telah terdedah kepada hakisan oleh agen-agen hakisan yang akan mengangkut partikel-partikel tanah. Hal ini secara tidak langsung akan memberi perubahan kepada corak aliran jumlah air larian, aliran permukaan, aliran sungai serta kualiti air sungai. Perubahan guna tanah daripada kawasan hutan kepada kawasan perbandaran, pembangunan, atau perindustrian akan mengubah struktur semulajadi secara langsung atau tidak langsung kepada struktur tepu bina atau kawasan yang tidak telap air.

Kawasan yang mempunyai litupan tumbuhan yang lebih tebal akan memintas tenaga kinetik hujan dan merupakan peranan penting dalam mengurangkan kadar hakisan (Dunne dan Leopold, 1978). Semakin padat litupan tumbuhan, semakin rendah kadar hakisan yang akan berlaku. Namun sedemikian, kawasan yang memiliki kecerunan yang tinggi turut mempercepatkan lagi kadar hakisan. Keadaan ini akan menyebabkan tanah mudah terhakis dan dibawa masuk ke dalam saluran. Proses hakisan ini seterusnya akan mempengaruhi tahap

pencemaran sungai. Hal ini kerana, kandungan hasil sedimen yang tinggi akan memberi kesan terhadap kualiti air di saluran tersebut (Abd. Latif *et. al.*, 1999). Selain itu, penanaman tumbuhan penutup bumi sangat penting untuk menghalang air hujan jatuh terus ke permukaan bumi. Hal ini kerana tumbuhan-tumbuhan ini dapat melindungi permukaan tanah daripada hentaman air hujan, mengurangkan hakisan dan memperlambatkan halaju aliran permukaan. Hutabarat dan Evans (1985) menjelaskan bahawa, penebangan hutan akan menyebabkan berjuta-juta tan lapisan permukaan tanah akan masuk ke dalam sungai dan akhirnya ke laut.

Sememangnya pemerhatian telah dijalankan terlebih dahulu sebelum kajian ini dijalankan. Pemerhatian ini bertujuan untuk melihat situasi sebenar di kawasan kajian supaya dapat memberikan gambaran berkaitan dengan punca-punca pencemaran kualiti air dan hakisan. Sebenarnya, aktiviti manusia di kawasan tersebut banyak mempengaruhi kualiti air dan hakisan tanah melalui pembukaan kawasan hutan tersebut dan keadaan ini telah melibatkan perubahan ke atas guna tanah dan berupaya untuk mengubah persekitaran yang asal iaitu sebelum pembangunan tersebut dijalankan. Selain itu, kawasan tersebut juga merupakan sebuah kawasan lereng bukit iaitu Bukit Gambir yang mempunyai kecerunan yang tinggi. Pembinaan perumahan yang sedang giat dijalankan ini turut melibatkan kerja-kerja seperti pengorekan, pengemburan tanah dan penebangan hutan semulajadi di kawasan kajian. Hasil kajian ini perlu dinilai daripada pelbagai sudut termasuklah dalam menganggarkan purata beban luahan sedimen, dan beban nutrien yang masuk ke dalam sungai dalam sepanjang persampelan. Melalui hasil kajian ini, pengkaji juga dapat meramalkan kesan-kesan yang akan berlaku pada masa akan datang, seterusnya mengambil inisiatif atau langkah-langkah kawalan serta pencegahan yang harus dilaksanakan secepat mungkin.

### 1.3 SKOP KAJIAN

Kajian ini merupakan satu kajian dalam bidang hidrologi yang terdiri daripada kualiti air dan nutrien air. Skop utama yang diberikan adalah komponen air sahaja. Limitasi kajian ini adalah:

Kajian ini telah dijalankan di kawasan sungai yang berada di kawasan berbukit atau lereng bukit yang mempunyai air terjun dan telah tercemar apabila pembangunan telah didirikan di kawasan berhampiran. Bahkan berlaku proses penyahutan di kawasan lereng bukit tersebut. Sungai yang dikaji ialah Sungai Gelugor 1, Sungai Gelugor 2, Sungai Gelugor 3, Sungai Gelugor 4 dan Sungai Gelugor 5 di Negeri Pulau Pinang. Kajian ini dijalankan selama setahun tempoh.

Kajian ini turut memberikan penekanan terhadap beberapa perkara yang saling berkait rapat antara satu sama lain ataupun faktor-faktor yang akan mempengaruhi tahap kualiti air seperti pengukuran jumlah luahan, jumlah luahan beban sedimen, dan juga kepekatan nutrien seperti Fosforus Orto-Fosfat ( $PO^4$ ) dan nitrogen yang terdiri daripada Nitrit ( $NO^2$ ), Nitrat ( $NO^3$ ), dan Ammonia ( $NH^3$ ). Manakala untuk parameter seperti Suhu ( $C^\circ$ ), pH, Jumlah Pepejal Terlarut (TDS), Oksigen Terlarut (DO), Konduktiviti (CND), dan Kekeruhan (FTU) adalah untuk mewakili parameter fizikokimia bagi mengelaskan status kualiti air berdasarkan piawai Standard Kualiti Air Kebangsaan.



#### 1.4 ISU DAN PERMASALAHAN KAJIAN

Masalah kemerosotan kualiti air berlaku ekoran daripada ketiadaan sistem pengawalan yang efisien terhadap punca pencemaran sungai. Masalah utama yang telah menjejaskan kualiti air sungai di sekitar kawasan sungai tersebut ialah ekoran daripada kegiatan pembukaan tanah yang giat dijalankan di sekitar kawasan kajian bagi memenuhi pelbagai keperluan manusia seperti perbandaran, petempatan, jaringan pengangkutan (jalan raya), pertumbuhan pusat-pusat perniagaan, premis makanan dan sebagainya yang telah menyumbang kepada pencemaran ini. Dalam rangka menghadapi cabaran pada masa hadapan yang disebabkan oleh kepesatan pembangunan ekonomi, terdapat permintaan yang tinggi bagi keperluan kawasan tanah rata di Pulau Pinang (Ahmad *et al.*, 2005). Walaupun pelbagai kemajuan dapat dilihat, namun pelbagai kesan sampingan juga dapat kita saksikan dari hari ke hari. Antaranya ialah kemerosotan kualiti alam sekitar khususnya terhadap kualiti air sungai. Di samping itu, perubahan akibat kesan-kesan percampuran yang secara umumnya adalah relatif lebih kecil berbanding perubahan yang berlaku dalam zon tanah atau dalam sesuatu akuifer, perubahan semulajadi bagi ciri kimia air sesuatu jisim air juga berlaku semasa ia mengalir ke dalam sungai.

Selain itu, sistem saliran utama di Pulau Pinang terdiri daripada perparitan semulajadi dan anak sungai yang berpunca dari kawasan pertanian dan kawasan tadahan semulajadi. Sistem luahan terakhir (*final discharged*) saliran perparitan dan pebetungan yang terus ke laut menyebabkan kualiti air laut tercemar. Negeri Pulau Pinang juga menghadapi masalah banjir di beberapa kawasan yang berpunca daripada kapasiti sungai dan parit yang tidak mampu menampung aliran semasa, kawasan pembangunan terletak di dataran banjir dan kawasan

penempatan terletak terlalu hampir dengan laut. Namun begitu, pelbagai aktiviti manusia dalam lembangan di kawasan kajian turut membawa perubahan terhadap bentuk muka bumi di kawasan kajian seperti penerokaan kawasan hutan untuk dijadikan kawasan pertanian, perbandaran, petempatan, pembuangan sampah dan sisa domestik ke dalam sungai di kawasan kajian turut mempengaruhi kualiti sungai yang dikaji. Hal ini akan menyebabkan kemasukan unsur nutrien dan sedimen yang berlebihan ke dalam satu-satu lembangan sungai secara langsung akan menyebabkan kerosakan dan gangguan pada sistem sungai tersebut (Enger dan Smith, 2000).

Bahan sedimen yang dianggap menjadi punca pencemaran utama kerana mengandungi nutrien (Datta *et. al.*, 1999), logam berat yang bertoksik, bahan organik dan pathogen (Meybeck *et. al.*, 1989). Hal ini secara tidak langsung telah menyebabkan pelbagai permasalahan dalam ekosistem sebuah sungai. Semasa musim kemarau, air dalam sungai atau aliran dasar diperolehi daripada sistem air tanah kekal. Istilah air larian pula digunakan bagi merujuk kepada jumlah air yang meninggalkan sesuatu kawasan (Polkowska *et. al.*, 2001). Semasa fenomena air larian berlaku, akan berlaku proses pemendapan yang disebabkan oleh air larian yang membawa bebanan mengalir masuk ke dalam sungai. Perubahan yang berlaku umumnya disebabkan oleh proses-proses biologi dan mendatangkan kesan terutamanya ke atas unsur nutrien di mana tumbuhan mikro dan dwiatom telah mengekstrak silica daripada air untuk membentuk rangka jasad masing-masing (Mazlin *et. al.*, 2003).

## **1.5 PERSOALAN KAJIAN**

1. Apakah status kualiti air sungai di kawasan kajian?
2. Berapakah anggaran jumlah luahan, jumlah beban luahan sedimen dan kepekatan nutrien daripada lembangan yang masuk ke dalam sungai mengikut bulanan dan musiman (musim kering) dan (musim basah)?
3. Apakah faktor-faktor yang mempengaruhi pertalian antara karektor fizikokimia, dan kepekatan nutrien dengan jumlah luahan dan jumlah beban luahan sedimen di kawasan kajian mengikut bulanan dan musiman (musim kering) dan (musim basah)?

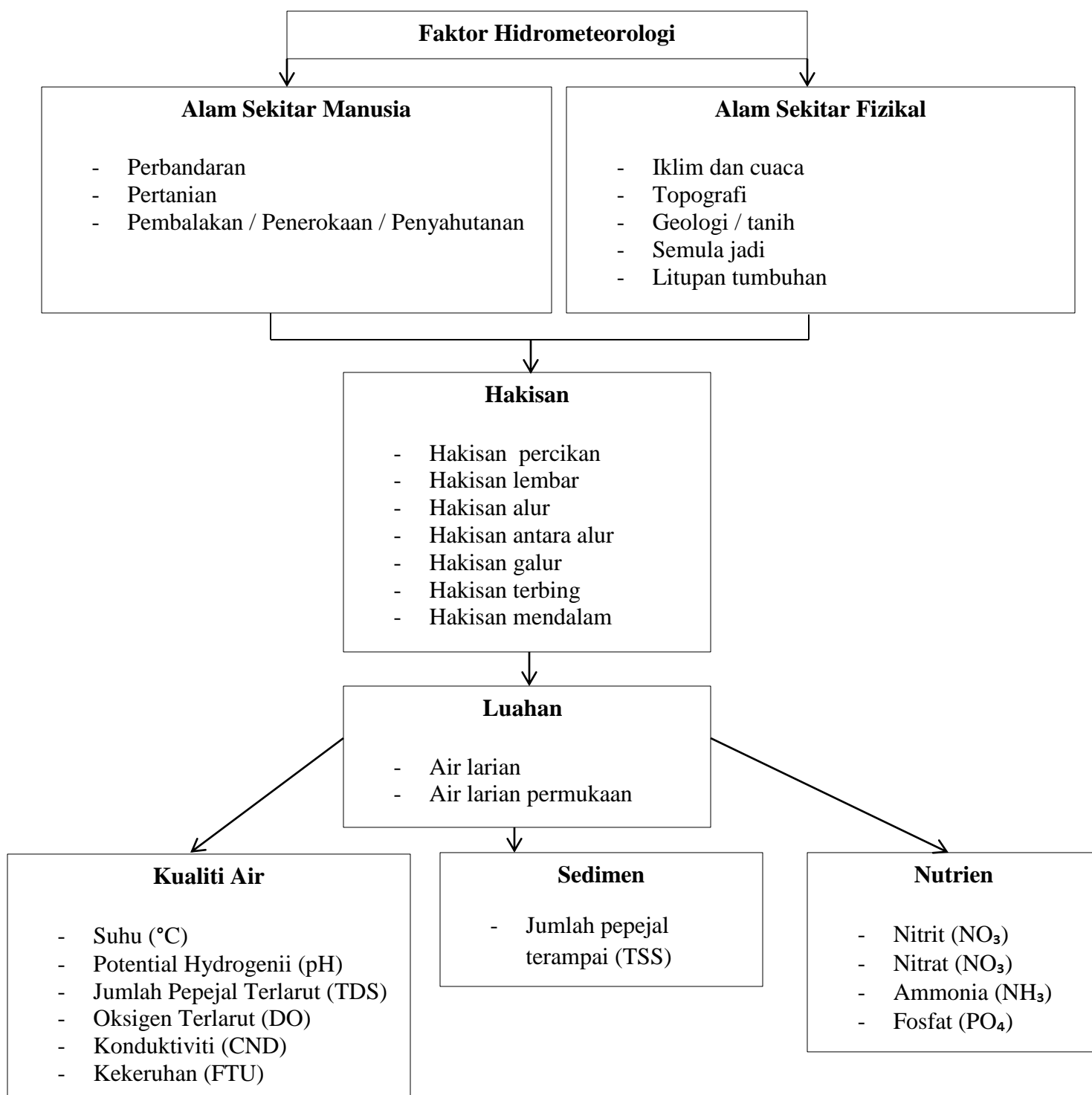
## **1.6 OBJEKTIF KAJIAN**

Kajian ini mempunyai objektif kajian yang utama. Secara umumnya kajian ini bertujuan untuk meramalkan kesan atau impak pembangunan dan perbandaran serta kesan terhadap perubahan persekitaran fizikal di kawasan kajian. Antara objektif kajian adalah seperti berikut:

1. Meneliti status kualiti air sungai di kawasan kajian.
2. Menganggarkan jumlah luahan, jumlah beban luahan sedimen dan kepekatan nutrien daripada lembangan yang masuk ke dalam sungai mengikut bulanan dan musiman (musim kering) dan (musim basah).
3. Mengenalpasti faktor-faktor yang mempengaruhi pertalian antara karektor fizikokimia, dan kepekatan nutrien dengan jumlah luahan dan jumlah beban luahan sedimen di kawasan kajian mengikut bulanan dan musiman (musim kering) dan (musim basah).

## 1.7 KERANGKA KONSEPTUAL PENYELIDIKAN

Rajah 1.1 menunjukkan kerangka konseptual penyelidikan analisis hidrologi di lembangan Sungai Gelugor, Pulau Pinang. Hidrometeorologi dapat didefinisikan sebagai ilmu fenomena atmosfera. Dengan demikian, hidrometeorologi adalah cabang hidrologi, yang berhubungan dengan air di atmosfera. Melalui faktor hidrometeorologi, akan mempengaruhi alam sekitar manusia dan alam sekitar fizikal sama ada secara langsung atau tidak langsung. Sesuatu yang berlaku dalam alam sekitar fizikal di dalam kawasan lembangan saliran khususnya adalah disebabkan oleh faktor iklim dan cuaca, topografi, geologi (tanah), semula jadi dan juga litupan tumbuhan. Manakala bagi alam sekitar manusia adalah melibatkan proses perbandaran, pertanian dan pembalakan hutan. Akibat daripada kedua-dua faktor ini, telah menyebabkan berlakunya proses-proses hakisan seperti percikan, lembar, alur, antara alur, galur, tebing dan mendalam. Apabila hujan lebat, luahan akan meningkat, dan air larian permukaan juga meningkat. Apabila luahan meningkat, maka beban sedimen (jumlah pepejal terampai) juga akan meningkat. Keadaan ini secara tidak langsung telah menggalakkan proses hakisan untuk berlaku dengan kemasukan air larian permukaan dengan hebat terutamanya pada musim hujan. Menurut Wan Ruslan *et al.* (2013), kadar luahan yang tinggi dapat meningkatkan kepekatan sedimen dalam air yang seterusnya mempengaruhi kualiti air tersebut. Begitu juga bagi kepekatan nutrien yang terdiri daripada Nitrit ( $\text{NO}_2$ ), Nitrat ( $\text{NO}_3$ ), Ammonia ( $\text{NH}_3$ ) dan Fosfat ( $\text{PO}_4$ ) yang turut dipengaruhi oleh kadar luahan. Kelestarian dalam proses pembangunan sangat penting dalam memastikan aspek persekitaran khususnya kitaran sistem hidrologi berada dalam situasi yang terkawal.



Rajah 1.1: Kerangka konseptual penyelidikan analisis hidrologi di lembangan Sungai Gelugor, Pulau Pinang

## **1.8 KEPENTINGAN KAJIAN**

Kajian yang telah dijalankan di kawasan Sungai Gelugor, Pulau Pinang ini menjadi satu kajian yang terpenting untuk mengkaji status kualiti air di kawasan petempatan itu. Kajian kualiti air ini dapat membantu memastikan kawasan tersebut sentiasa bersih dan terpelihara. Malah, kawasan kajian ini terletak di dalam pulau yang menjadi sebuah negeri pelancongan. Bahkan di kawasan kajian juga merupakan kawasan rekreasi (air terjun). Hal ini secara tidak langsung boleh mewujudkan tekanan daripada pertambahan bilangan penduduk dan juga pelancong yang mengunjungi kawasan tersebut.

Kajian ini dijalankan adalah untuk mengenalpasti tahap pencemaran air di Sungai Gelugor dan melihat sejauhmana kesan yang telah mempengaruhi jumlah luahan dan jumlah beban luahan sedimen sepanjang tempoh persampelan di Stesen 1 hingga Stesen 5 iaitu selama setahun dan juga musiman (musim kering) dan (musim basah). Kajian ini turut mengganggu jumlah luahan, jumlah beban luahan sedimen dan kepekatan nutrien daripada lembangan yang masuk ke dalam sungai mengikut bulanan dan musiman (musim kering) dan (musim basah) di kawasan kajian mengikut faktor musiman bagi satu projek pembinaan di lereng bukit terhadap hidrologi dan geomorfologi samada projek pembangunan tersebut sesuai untuk dijalankan atau akan memberi kesan terhadap alam sekitar untuk masa hadapan serta kepada penduduk di sekitar kawasan kajian. Hal ini, boleh terjadi akibat daripada aktiviti manusia di kawasan kajian yang telah mengubah landskap fizikal secara langsung atau tidak langsung di kawasan pinggir yang disebabkan oleh faktor-faktor semula jadi.

Selain itu juga, kajian ini turut membolehkan pihak pemaju atau pihak pengusaha mengambil langkah kawalan dan pencegahan yang lebih awal serta efisien bagi mengurangkan hakisan tanah dan pencemaran sungai daripada berlaku dengan menyediakan pelbagai inisiatif seperti membuat struktur hidraulik (gabion), penstrukturan fizikal seperti memperluas dan memperdalam saluran longkang, kolam pemendapan, sungkupan plastik, dan sebagainya. Mohd Ekhwan *et al.*, (2007), menyatakan bahawa pembinaan struktur kawalan tebing sungai adalah alternatif dapat mengurangkan hakisan tebing sungai. Oleh sebab itu, kebanyakan tebing sungai di bandar telah diluruskan dan disimen. Hal ini termasuklah di kawasan kajian iaitu Sungai Gelugor, Pulau Pinang.

## **1.9 SUSUNAN TESIS**

Secara keseluruhannya, tesis ini terdiri daripada tujuh bab.

Bab 1 mengandungi pengenalan yang mempunyai skop kajian, isu dan permasalahan kajian, objektif kajian, kerangka konseptual kajian, dan kepentingan kajian.

Bab 2 akan meneliti tinjauan literatur mengenai penyelidikan ini. Menurut Samsudin Wahab (2005), tinjauan literatur perlu membawa kepada hasil penyelidikan terkini dan sumber catatan yang merangkumi buku, jurnal, majalah ataupun laporan penyelidikan dan bahan terkini daripada internet. Bahan yang dipetik perlu bersesuaian dengan tajuk kajian, objektif dan kaedah ataupun protokol penyelidikan dan asas teori atau pendekatan yang akan diguna pakai.

Bab 3 pula akan membincangkan kaedah dan instrumentasi dalam kajian ini merujuk kepada kaedah dan bahan-bahan yang digunakan dalam proses mengumpul dan menganalisis data sama ada data primer ataupun sekunder. Kajian ini adalah satu bahagian yang akan membincangkan dan menghuraikan tentang kawasan kajian, kaedah kajian di lapangan dan kaedah kajian di makmal. Kaedah dan instrumentasi ini turut akan meleraikan sesuatu permasalahan mengenai tentang lokasi kajian yang terlibat. Perbincangan akan diteruskan dengan lebih terperinci untuk setiap aspek parameter-parameter fiziko-kimia yang dikaji dan melibatkan pengumpulan data dan di kawasan lapangan dan analisis makmal.

Dalam Bab 4 hingga Bab 7 pula, membentangkan hasil kajian yang diperolehi dan merupakan satu perantaraan perbincangan bagi melihat keputusan kajian yang berlaku yang dipersembahkan melalui bantuan graf dan jadual. Keputusan kajian akan dianalisis berdasarkan parameter yang telah dijalankan. Data tersebut akan dipersembahkan dengan bantuan graf dan jadual bagi memudahkan penerangan yang lebih jelas dan mudah untuk difahami.

Manakala dalam Bab 8, pula merupakan sebuah kesimpulan yang dibuat berdasarkan dapatan kajian dan hasil perbincangan kajian penyelidikan yang telah dijalankan serta beberapa cadangan untuk kajian akan datang

Bab 9 merupakan susunan rujukan yang telah dirujuk sepanjang penulisan ini.



## **1.10 KESIMPULAN**

Dalam bab ini telah membincangkan pengenalan yang mempunyai skop kajian, isu dan permasalahan kajian, objektif kajian, kerangka konseptual kajian, dan kepentingan kajian di Sungai Gelugor, Pulau Pinang.

Air merupakan sumber yang sangat penting dalam kehidupan seharian. Oleh sebab itu, kawasan Sungai Gelugor, Pulau Pinang ini menjadi satu kajian yang terpenting untuk mengkaji status kualiti air di kawasan petempatan itu agar kualiti air berada pada tahap yang baik, bersih dan terpelihara memandangkan kawasan kajian ini terletak di dalam pulau yang menjadi sebuah negeri pelancongan di Malaysia dan mempunyai satu daya tarikan iaitu kawasan rekreasi (air terjun).

Secara keseluruhannya, dapat disimpulkan bahawa kesan daripada aktiviti manusia di kawasan kajian telah memberi impak yang besar kepada alam sekitar fizikal. Segala aktiviti manusia yang dijalankan di kawasan kajian perlulah seiring dengan pemeliharaan alam sekitar. Walaupun kawasan kajian di Sungai Gelugor tidak mencatatkan jumlah kes pencemaran sungai yang tinggi di Negeri Pulau Pinang, namun perhatian perlulah diberikan agar tahap pencemaran tidak menjadi lebih serius. Diharapkan agar pihak berkuasa dan pemaju dapat meningkatkan pengawasan dan permonitoran terhadap sungai yang dikaji sedikit sebanyak dapat mengawal dan mengurangkan pencemaran air.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN LITERATUR**

#### **2.1 PENGENALAN**

Bab ini akan meneliti tinjauan literatur mengenai kajian penyelidikan yang telah dijalankan. Tinjauan literatur perlu membawa kepada hasil penyelidikan terkini dan sumber catatan yang merangkumi buku, jurnal, majalah ataupun laporan penyelidikan dan bahan terkini daripada sumber internet. Bahan yang dipetik perlulah bersesuaian dengan tajuk kajian, objektif dan kaedah ataupun protokol penyelidikan dan asas teori atau pendekatan yang akan diguna pakai.

#### **2.2 HIDROLOGI**

Hidrologi merupakan satu kajian saintifik mengenai kitaran air dan merupakan satu disiplin yang mengkaji sifat air, kewujudannya di atas serta di bawah permukaan tanah. Menurut (Wan Ruslan, 1994) kitaran air ini akan sentiasa berpusing dan tiada titik permulaan ataupun titik akhir pusingannya. Kitaran hidrologi merupakan kajian mengenai pergerakan, pengagihan dan kualiti air di permukaan bumi dan dalam bumi. Kitaran tersebut digunakan untuk memodelkan penyimpanan dan pergerakan air antara biosfera, atmosfera, litosfera dan hidrosfera.

Kita sering memikirkan proses kejadian alam ciptaan Allah S.W.T yang sangat unik sekali iaitu melalui proses air hujan yang turun daripada langit dan mengalir ke muka bumi lalu proses ini berterusan tanpa henti. Matahari yang menggerakkan kitaran air, memanaskan air dalam lautan, yang tersejat sebagai wap ke dalam udara. Air juga tersejat dari permukaan daun tumbuh-tumbuhan melalui transpirasi. Tumbuhan ini berkeupayaan melakukan transpirasi air dalam jumlah yang besar. Proses ini sangat penting dalam kitaran hidrologi. Fungsi ini sebenarnya mempunyai hubungkait yang lebih kompleks seperti kejadian aliran air bawah tanah, tanah runtuh dan juga pengekalan lembapan dalam atmosfera. (Main Rindam et al., 2010). Transpirasi hampir tidak berlaku ketika waktu malam atau musim hujan. Ini kerana keadaan sejuk atau kelembapan tinggi menyebabkan berlaku defusi wap air dari saluran udara di dalam daun ke udara luar. Bila transpirasi kurang,imbangan air melalui proses ini tidak dapat berjalan dengan sempurna. Akibatnya air dalam tanah akan cepat tepu seterusnya tahap ricih tanah akan segera tercapai. Ini boleh mengundang tanah runtuh di kawasan cerun. Arus udara yang naik ke atas akan membawa wap-wap ke atas atmosfera di mana suhu sejuk akan menyebabkan wap-wap tersebut terpeluwap atau terkondensasi menjadi awan. Arus udara akan memindahkan awan-awan mengelilingi bumi dan titisan-titisan awan akan berlagu, berkembang dan kemudian akan jatuh dari awan sebagai kerpasan iaitu dikenali sebagai hujan, salji dan sebagainya. Sebahagian daripada air ini akan menyerap ke dalam sumber-sumber air permukaan serta lautan sebagai luahan air tanah. Terdapat juga air yang keluar sebagai matair daripada bumi dan sedikit sebanyak air ini akan diserap semakin mendalam ke dalam tanah dan akan memenuhi akuifer iaitu batuan sub-permukaan yang menyimpan air dalam kuantiti yang besar untuk jangka masa dan kitaran air tersebut akan berulang lagi dengan sejatan dan tidak akan berhenti. Rajah 2.1 menunjukkan kitaran air yang berlaku di muka bumi ini.



Rajah 2.1: Sumber daripada: Portal the water cycle, Malay gambarajah kitaran air U.S. Geological Survey

Sumber laman web: <https://water.usgs.gov/edu/watercyclemalay.html>

Diambil daripada lama sesawang pada 03.03.2017.

Manusia tidak dapat hidup tanpa air dan pada masa yang sama juga keadaan terlampau banyak air. Menurut Mohd Ekhwan (2004), sektor domestik merupakan sektor terbesar yang menggunakan bekalan air bersih bagi sesebuah negara yang sedang membangun. Kualiti air sungai yang dinilai dan dianalisis berdasarkan Standard Kualiti Air Kebangsaan. Hal ini secara tidak langsung, telah menyebabkan potensi krisis air berlaku adalah tinggi kerana kadar penggunaan air adalah tidak sepadan dengan kadar rizab air negara. Oleh sebab itu, jika keadaan ini terus berlarutan, negara kita akan menghadapi ketiadaan rizab air pada tahun 2025 (Teh Boon Sung, 2011).

## **2.3 HIDROLOGI BANDAR**

Hidrologi bandar adalah satu edaran hidrologi tempatan yang melibatkan tiga medium penting iaitu atmosfera bandar, daratan bandar, dan juga sumber-sumber air di bandar. Ia juga melibatkan semua proses kitaran hidrologi. Proses perbandaran yang pesat menyebabkan kesan negatif seperti kejadian banjir kilat, kesan terhadap luahan (discas) sungai, kemerosotan kualiti air dan kesan terhadap sumber air tanah. Pemusnahan atau penghapusan tumbuhan dan penurapan muka bumi (jalan bertar dan kaki lima) akibat daripada proses perbandaran akan memberi kesan terhadap kitaran hidrologi seperti mengurangkan kadar susupan, meningkatkan larian permukaan, mengurangkan proses perpeluhan, menghapuskan fungsi cegatan silara, menjejaskan sumber tanah dan banjir kilat.

## **2.4 PEMBANGUNAN DAN PERUBAHAN GUNA TANAH**

Pembangunan merujuk kepada sesuatu pemajuan atau dikenali sebagai satu proses untuk mencapai sebuah kemajuan dan perkembangan di sesuatu kawasan. Dalam konteks pembangunan yang dilakukan di sesebuah kawasan, biasanya bentuk muka bumi asal atau permukaan tanah sedikit sebanyak akan mengalami perubahan kerana pelbagai aktiviti manusia dilakukan di kawasan tersebut. Antara contoh aktiviti perubahan guna tanah ialah guna tanah pertanian, guna tanah pengangkutan, guna tanah perlombongan, guna tanah pembangunan (perbandaran, petempatan, perkhidmatan) dan pelbagai lagi.

Selain itu, perubahan guna tanah telah menyebabkan berlakunya perubahan terhadap sistem saluran dalam sesebuah lembangan saluran iaitu larian air permukaan yang akan mengganggu sistem semula jadi aliran air di dalam sungai. Pada masa yang sama, proses dinamik sungai seperti proses hakisan, proses pengangkutan dan proses pemendapan turut akan berubah. Hal ini secara tidak langsung, akan menyebabkan perubahan guna tanah bukan sahaja memberi implikasi kepada kuantiti atau jumlah luahan, tetapi juga memberi kesan terhadap kualiti air sungai berkenaan khususnya sedimen terampai atau luahan endapan. Keadaan ini mungkin akan menjadi lebih serius, jika pembangunan guna tanah dilakukan di kawasan yang sensitif seperti di kawasan hutan bukit, kawasan cerun bukit, atau kawasan tanah tinggi.

## **2.5 HAKISAN**

Hakisan merupakan suatu proses penghausan yang dialami oleh permukaan bumi yang disebabkan oleh beberapa agen yang bergerak misalnya ombak, angin dan air yang mengalir. Terdapat dua konsep asas hakisan iaitu hakisan geologi dan juga hakisan tanah (Pimentel, 1993). Hakisan geologi bermaksud proses hakisan yang berlaku secara semula jadi. Proses ini berlaku secara perlahan-lahan dan mengambil masa yang sangat lama serta melibatkan keseluruhan permukaan bumi (Pimentel dan Kounang, 1998). Kebiasaannya proses pemendapan juga dikenali sebagai proses penghasilan sedimen. Walau bagaimanapun, jika kedua-dua proses ini berlaku di kawasan yang sama, proses ini ditakrifkan sebagai tabur semula tanah. Hal ini demikian kerana, tanah yang terhakis akan termendap di sekitar kawasan yang sama sebelum dibawa ke kawasan yang lebih rendah (Wan Ruslan Ismail dan Zainudin Otman, 2017). Hakisan tanah pula merupakan sesuatu yang sebaliknya iaitu suatu proses hakisan yang teracetus daripada angkara

manusia mengganggu keadaan semula jadi alam sekitar. Hakisan juga merujuk kepada kehilangan tanah yang berlaku di tapak, manakala pemendapan pula biasanya berlaku di luar tapak. Hakisan melibatkan satu proses fizikal pemindahan atau penyingkiran tanah dari satu tempat ke tempat yang lain. Dua daya atau agen hakisan utama yang mempengaruhi kejadian hakisan tanah ialah air dan angin. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hakisan tanah agen hakisan, keterhakisan tanah, cerun tanah dan litupan tumbuhan semulajadi (Morgan, 1995). Hujan merupakan penyebab utama kepada hakisan tanah. Kesan hakisan tanah oleh hujan bergantung kepada ciri-ciri fizikalnya seperti kadar dan had hujan, kelajuan dan arah jatuhnya hujan, potensi elektrik dalam atmosfera, pola turun naik dan kekerapan berlakunya hujan, darjah berlakunya dengan faktor yang lain seperti hujan batu (Zachar, 1982). Malmer (1990) telah menjalankan kajian di beberapa lembangan di Sabah dan beliau mendapati kehilangan tanah adalah besar di kawasan lembangan sungai yang telah diganggu oleh kebakaran hutan berbanding dengan tiada gangguan yang berlaku sejak pembalakan terpilih dilakukan sebelum lima hingga sembilan tahun yang lalu.

### **2.5.1 JENIS-JENIS HAKISAN**

Terdapat beberapa jenis-jenis hakisan tanah iaitu hakisan percikan, hakisan lembar, hakisan alur, hakisan antara alur, hakisan galur, dan hakisan tebing. Hakisan percikan (*splash erosion*) berlaku akibat air hujan yang turun menghentam tanah dengan tenaga kinetik tertentu sekaligus menyebabkan tanah terhakis (Brayn, 2000). Hakisan percikan air hujan adalah suatu proses yang bermula apabila titisan air hujan terkena tanah. Setiap titisan air hujan yang turun menimpa tanah ini sebenarnya mempunyai tenaga yang dipanggil sebagai tenaga kinetik dan tenaga potensi.

Hakisan lembar (*sheet erosion*) pula berlaku disebabkan oleh pergerakan tanah akibat tindakan percikan titisan air hujan bersama air larian permukaan (Ferro dan Minacapilli, 1995). Hakisan lembar melibatkan hakisan secara kepingan akibat daripada proses penanggalan partikel tanah dan diangkut ke kawasan yang rendah dengan kepelbagaian lapisan di dalam lembangan.

Hakisan alur dan galur (*rill and gullies erosion*) pula berlaku di dalam alur sungai disebabkan oleh aliran air yang bertindak ke atas tebing atau dasar sungai (Merritt et al., 2003). Jika proses hakisan alur berterusan maka wujud hakisan antara alur dimana saluran yang telah dihasilkan semasa hakisan alur akan menjadi lebih besar dan dalam. Hakisan alur merupakan hakisan yang dominan berlaku di kawasan persekitaran Mediterranean yang melibatkan kajian yang dijalankan oleh beberapa orang pengkaji seperti (Gomez, et al., 2003) menunjukkan bahawa hakisan galur menyediakan endapan 10-100 kali lebih daripada hakisan lembar. Malah, hakisan alur dan galur menjadi isu dunia dalam bidang akademik dan kesan hakisan yang berlaku (Valentin et al., 2005).

Hakisan tebing merupakan penyumbang utama kepada kepada pengangkutan endapan di sesebuah lembangan sungai dan sering dikaitkan dengan kemerosotan kualiti air akibat daripada kandungan kelodok, liat dan pasir yang menyebabkan kadar kekeruhan tinggi. Hakisan tebing di sungai yang sederhana besar (order 3-5) mungkin menjalankan kerja hakisan akan lebih cepat berbanding alur sungai yang lebih kecil (order < 3). (Mohd Ekhwan Toriman dan Haryati Che' Lah, 2007). Pimentel pula telah menganggarkan sebanyak 75 billion tan tanah telah dihakis oleh air hujan di seluruh dunia. Kebanyakan tanah pertanian di dunia mengalami kehilangan tanah sebanyak  $13 \text{ tan ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$  hingga  $40 \text{ tan ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$  akibat hakisan.



## 2.6 SEDIMEN

Sedimen merupakan pecahan, mineral atau material organik yang telah ditransformasikan dari pelbagai sumber dan diendapkan oleh medium lain seperti udara, angin, ais atau oleh air. Ia juga termasuk material yang diendapkan dari material yang terkandung di dalam air atau terlarut sebagai larutan kimia.

Penghasilan sedimen endapan lembangan saluran dikatakan cukup tinggi di negara-negara yang mengalami iklim tropika khususnya di benua Asia (Jamaluddin Md. Jahi. 1989; Ahmad Fuad Embi 2004). Sebarang aktiviti pembangunan yang dilakukan seperti melombang, membalak, pembinaan kemudahan jalan raya dan perumahan menambahkan beban mendak dalam sesuatu lembangan saluran. Sedimen mempunyai peranan yang penting dalam sesuatu ekosistem sungai di mana ia sendiri akan menentukan sifat sedimen itu. Menurut Lai (1992), sedimen bertindak sebagai (*source and sink*) yang penting bagi konstituen kimia dalam sistem akuatik. Menurut Wan Ruslan (2013) sedimen di dalam sungai berasal daripada dua punca utama iaitu sedimen berasal daripada sistem cerun dalam lembangan atau dikenali sebagai sumber luar alur yang tersimpan secara sementara di dalam saluran sungai dan yang kedua pula ialah sumber daripada hakisan di dalam saluran sungai itu sendiri seperti hakisan dasar dan tebing sungai. Menurut Pimentel (1995) kehadiran bahan pencemar seperti endapan dan nutrien yang berlebihan boleh memberi kesan yang negatif kepada kualiti air di kawasan-kawasan tadahan dan kawasan saluran seperti tasik dan sungai. Endapan terhasil daripada penghakisan bahan yang terhasil daripada penyepaian batu-batan melalui proses luluhawa kimia dan luluhawa mekanikal (El-Swaify, 1990).

Terdapat banyak faktor yang telah mempengaruhi pengeluaran hasil endapan. Sebagai contoh, kawasan kajian di Pulau Pinang sebahagian besarnya terdiri daripada topografi curam, termasuk kawasan berbukit, dan sebahagian besar dataran rendah kawasan telah dibangunkan. Pulau Pinang adalah salah satu daripada negeri-negeri yang banyak berlakunya proses industrialisasi di Malaysia dengan populasi bandar yang sangat besar. Walaupun penambakan laut mempunyai meringankan tekanan sedikit, namun ia tidak mencukupi untuk memenuhi permintaan yang tinggi untuk tanah di pulau itu. Dengan keadaan ini, pemaju telah berpaling kepada baki tanah bukit di pulau itu. Banyak kawasan berbukit sedang dibangunkan dan beberapa bukit lain projek-projek pembangunan sedang dalam perancangan untuk masa depan perkembangan (Ahmad 1992; Cheng *et al.* 2008; Pradhan dan Lee 2010a, b, c; Pradhan 2010a; Oh dan Pradhan 2010). Akibatnya, Pulau Pinang adalah di bawah tekanan berterusan untuk pelbagai pertanian dan pembangunan bandar. Ini telah menyebabkan ramai masalah alam sekitar seperti penebangan hutan, penipuan tadahan air, pemusnahan fauna dan flora yang terancam, hakisan tanah, tanah runtuh, pencemaran air, pemendapan dan hiliran banjir (Ahmad *et al* 2006; Pradhan dan Lee 2009). Di dalam kajian ini, faktor luahan sungai merupakan suatu parameter yang sangat penting. Sebagai contoh, kebanyakan lembangan sungai di negara China mengalami pengurangan luahan endapan semenjak dekad yang lepas. Luahan endapan tahunan bagi Sungai Huanghe atau Sungai Kuning telah mengalami pengurangan daripada 1000 juta tan (Milliman & Meade, 1983) kepada kira-kira 400 juta tan pada tahun 1990 (Xu, 2003) dan berkurangan kepada 200 juta tan pada masa kini (Wang *et al.*, 2007).

Penghasilan bekalan sedimen yang banyak adalah berpunca selepasnya kejadian ribut yang membawa hujan yang masuk ke dalam lembangan sungai. Holmes (1965) yang dipetik daripada Tjia (1987) menganggarkan bahawa lapan juta tan beban dialirkan oleh sungai setiap tahun dan maklumat tersebut diperolehi daripada kawasan darat seluas lebih kurang 100 juta km<sup>2</sup>. Secara tidak langsung permukaan daratan dianggarkan bertambah rendah sebanyak 100 cm setiap 30,000 tahun. Kajian fluks sedimen terdahulu pernah dijalankan di dalam Malaysia iaitu melalui kajian penyelidikan Zullyadini, dan Wan Ruslan (2006) yang bertujuan untuk mengkaji kadar variasi pengangkutan sedimen hasil daripada pengaruh hujan dan aktiviti manusia di sekeliling kawasan kajian iaitu di Sungai Timah Tasoh, Perlis. Hasil kajian penyelidikan tersebut, pengkaji mendapati bahawa pengaruh manusia sangat memainkan peranan dalam mencorak variasi kadar air larian permukaan serta kadar luahan sungai. Didapati jumlah beban sedimen bagi lembangan Sungai Gelugor adalah 1277.84 tan/km<sup>2</sup>/tahun. Jika dibandingkan dengan sungai yang lain, dapatan kajian telah mendapati bahawa Sungai Gelugor telah mencatatkan nilai yang tertinggi. Perbezaan yang sangat tinggi ini adalah disebabkan oleh pelbagai aktiviti manusia di kawasan kajian terutamanya aktiviti pembalakan, dan juga pembangunan di kawasan kajian yang sedang giat dijalankan. Jadual 2.1 menunjukkan perbandingan jumlah penghasilan sedimen di kawasan lembangan kajian dan dibandingkan dengan sungai-sungai terpilih yang telah dikaji di Malaysia.

Jadual 2.1: Perbandingan penghasilan sedimen yang dikeluarkan daripada sungai-sungai terpilih yang telah dikaji di Malaysia

<b>Lembangan Sungai</b>	<b>Purata Muatan Sedimen (tan/km<sup>2</sup>/tahun)</b>	<b>Guna Tanah Dikaji</b>	<b>Pengkaji</b>
Sungai Air Terjun	101.7	Hutan-Setengah bandar	Wan Ruslan Ismail (1995)
Sungai Kalangan	15.5	Balak	Sinun (1995)
Sungai Relau	910.49	Kuari	Wan Ruslan Ismail (1997)
Sungai Air Hitam	376.59	Perbandaran	Wan Ruslan Ismail (1995)
Sungai Relau RB	3100.6	Kuari	Wan Ruslan Ismail (1997)
Sungai W3, Lumaku Sipitang	58.4	Hutan	Malmer (1990)
Sungai Tekam	29	Hutan	DID (1989)
Bukit Berembun	20	Hutan	Baharuddin (1988)
Sungai W 855 Danum	312	Pertanian	Douglas et al. (1992)
Sungai Jarom / Tasoh	84	Pelbagai jenis tanaman	Zullyadini A. Rahaman (2003)
Sungai Kalangan	15.5	Hutan	Sinun (1995)
Sungai Klang	165-2283	Perbandaran	Balamurugam (2003)
Sungai Chini	1755	Hutan	Ekhwan et al., (2012)
Sungai Relau Hulu	178.5	Perbandaran	Sumayyah Aimi (2016)
<b>Sungai Gelugor</b>	<b>1277.84</b>	<b>Perbandaran</b>	<b>Kajian Ini (2016-2017)</b>