

**FLUKS NUTRIEN DAN SEDIMEN DI
LEMBANGAN SUNGAI MERBOK, KEDAH**

MOHD NAZRUL BIN IBRAHIM

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2017

PENGHARGAAN

Segala puji dan syukur selayaknya hanya buat Allah SWT, selawat dan salam buat junjungan mulia Baginda Nabi Muhammad SAW. Saya ingin merakamkan budi kasih dan cinta yang tidak terhingga kepada keluarga, Ibrahim bin Abdul Hamid, Khariah binti Alan dan keluarga yang lain di atas segala pengorbanan, dorongan dan doa yang mengiringi saya mengharungi segala cabaran sepanjang tempoh pengajian ini. Setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih dirakamkan kepada penyelia iaitu Prof. Dr. Wan Ruslan Ismail atas segala nasihat, dorongan, bantuan dan keprihatinan semasa menyempurnakan tesis ini. Bimbingan, pandangan dan tunjuk ajar yang dihulurkan banyak membantu kepada kejayaan tesis ini. Saya amat menghargai kesabaran dan kesediaan berkongsi maklumat dan kepakaran, senang dihubungi dan cepat dalam tindakan semasa sesi penyeliaan sepanjang pengajian ini. Ribuan terima kasih juga diucapkan kepada pihak Kementerian Pengajian Tinggi dan Majlis Amanah Rakyat dalam memberi bantuan dan pinjaman kewangan untuk pembayaran yuran dan sara hidup. Tidak ketinggalan, ucapan terima kasih kepada Jabatan Pengaliran dan Saliran (JPS) dan Jabatan Pertanian Malaysia atas kerjasama dalam memberi maklumat dan data yang sangat diperlukan untuk menyiapkan tesis ini. Tidak lupa, ribuan terima kasih kepada kakitangan Pusat Pengajian Ilmu Kemanusiaan, USM yang banyak membantu dan memberi kerjasama yang baik kepada saya. Akhir sekali, terima kasih kepada isteri saya iaitu Siti Norafiza yang sentiasa memberi dorongan, sokongan dan motivasi sepanjang tempoh pengajian saya di Universiti Sains Malaysia.

SENARAI ISI KANDUNGAN

PENGHARGAAN	ii
SENARAI KANDUNGAN	iii
SENARAI RAJAH	x
SENARAI JADUAL	xii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv

BAB 1: PENDAHULUAN

1.1	Pengenalan	1
1.2	Permasalahan Kajian	4
1.3	Objektif Kajian	7
1.4	Skop Kajian	7
1.5	Kepentingan Kajian	8
1.6	Susunan Tesis	10

BAB 2: TINJAUAN BAHAN BACAAN

2.1	Pengenalan	12
2.2	Hidrologi	15
2.3	Kajian Kualiti Air	17
2.4	Luahan Sungai	22
2.5	Parameter Fizikokimia	23

2.5.1	Jumlah Pepejal Terampai	24
2.5.2	Suhu	22
2.5.3	pH	25
2.5.4	Oksigen Terlarut	26
2.5.5	Konduktiviti	27
2.5.6	Jumlah Pepejal Terlarut	27
2.5.7	Kemasinan	28
2.5.8	Kekeruhan	29
2.6	Sumber Pencemaran Air Sungai	29
2.6.1	Pencemaran Bertitik	30
2.6.2	Pencemaran Tidak Bertitik	30
2.7	Nitrogen dan Fosforus	31
2.7.1	Nitrat dan Nitrit	33
2.7.2	Ammonia	37
2.7.3	Fosfat	38
2.7.4	Jumlah Nitrogen dan Jumlah Fosforus	41
2.8	Kitaran Nitrogen	41
2.9	Kitaran Fosforus	45
2.10	Fluks Nutrien dan Sedimen	47
2.11	Eutrofikasi	59

BAB 3: KAEDAH DAN INSTRUMENTASI

3.1	Pengenalan	60
3.2	Kerangka Kerja	60

3.3	Kerangka Konseptual	61
3.4	Kawasan Kajian	62
3.5	Guna Tanah	70
3.6	Iklm	73
3.7	Geologi	75
3.8	Morfometri	76
3.9	Kaedah Kajian	79
3.9.1	Kaedah Persampelan	79
3.9.2	Analisis Kimia dan Jumlah Pepejal Terlampai (TSS)	83
3.9.2(a)	Analisis Ammonia	83
3.9.2(b)	Analisis Nitrat	84
3.9.2(c)	Analisis Nitrit	84
3.9.2(d)	Analisis Fosfat	84
3.9.2(e)	Analisis Jumlah Nitrogen	85
3.9.3	Pengukuran Berat Jumlah Pepejal Terampai (TSS)	85
3.9.4	Pengukuran Halaju Sungai	88
3.9.5	Pengukuran dan Pengiraan Luas Keratan Rentas Sungai	89
3.9.6	Pengukuran Luahan Sungai	91
3.9.7	Pengiraan Beban dan Fluks Nutrien / Jumlah pepejal Terampai (TSS)	92
3.9.8	Analisis Data	94
3.10	Kesimpulan	94

BAB 4: DAPATAN KAJIAN

4.1	Pengenalan	95
4.2	Hidrologi	95
4.3	Parameter fizikokimia	99
4.3.1	Suhu	99
	4.3.1(a) Purata Tahunan Suhu	103
	4.3.1(b) Purata Musiman Suhu	103
4.3.2	Jumlah Pepejal Terlarut	104
	4.3.2(a) Purata Tahunan Jumlah Pepejal Terlarut	107
	4.3.2(b) Purata Musiman Jumlah Pepejal Terlarut	108
4.3.3	Konduktiviti	108
	4.3.3(a) Purata Tahunan Konduktiviti	112
	4.3.3(b) Purata Musiman Konduktiviti	112
4.3.4	pH	113
	4.3.4(a) Purata Tahunan pH	116
	4.3.4(b) Purata Musiman pH	116
4.3.5	Oksigen Terlarut	117
	4.3.5(a) Purata Tahunan Oksigen Terlarut	121
	4.3.5(b) Purata Musiman Oksigen Terlarut	122
4.3.6	Kemasinan	122
	4.3.6(a) Purata Tahunan Kemasinan	125
	4.3.6(b) Purata Musiman Kemasinan	126
4.3.7	Kekeruhan	126
	4.3.7(a) Purata Tahunan Kekeruhan	130

4.3.7(b)	Purata Musiman Kekерuhan	130
4.4	Kepekatan Jumlah Pepejal Terampai (TSS)	131
4.4.1	Purata Tahunan Jumlah Pepejal Terampai (TSS)	135
4.4.2	Purata Musiman Jumlah Pepejal Terampai (TSS)	136
4.5	Beban Jumlah Pepejal Terampai (TSS)	136
4.5.1	Jumlah Tahunan Beban Jumlah Pepejal Terampai (TSS)	138
4.5.2	Purata Musiman Beban Jumlah Pepejal Terampai (TSS)	138
4.5.3	Pertalian Beban Jumlah Pepejal Terampai (TSS) dengan Luahan Sungai	139
4.6	Fluks Jumlah Pepejal Terampai (TSS)	142
4.7	Kepekatan Fosfat	145
4.7.1	Purata Tahunan Kepekatan Fosfat	149
4.7.2	Purata Musiman Kepekatan Fosfat	149
4.8	Beban Fosfat	149
4.8.1	Jumlah Tahunan Beban Fosfat	152
4.8.2	Purata Musiman Beban Fosfat	152
4.8.3	Pertalian Beban Fosfat dengan Luahan Sungai	153
4.9	Fluks Fosfat	156
4.10	Kepekatan Jumlah Fosforus (TP)	158
4.10.1	Purata Tahunan Kepekatan Jumlah Fosforus (TP)	161
4.10.2	Purata Musiman Kepekatan Jumlah Fosforus (TP)	161
4.11	Beban Jumlah Fosforus (TP)	162
4.11.1	Jumlah Tahunan Beban Jumlah Fosforus (TP)	165
4.11.2	Purata Musiman Beban Jumlah Fosforus (TP)	165
4.11.3	Pertalian Beban Jumlah Fosforus (TP) dengan Luahan Sungai	166

4.12	Fluks Jumlah Fosforus (TP)	169
4.13	Kepekatan Nitrit	171
4.13.1	Purata Tahunan Kepekatan Nitrit	174
4.13.2	Purata Musiman Kepekatan Nitrit	174
4.14	Beban Nitrit	176
4.14.1	Jumlah Tahunan Beban Nitrit	177
4.14.2	Purata Musiman Beban Nitrit	178
4.14.3	Pertalian Beban Nitrit dengan Luahan Sungai	178
4.15	Fluks Nitrit	183
4.16	Kepekatan Nitrat	185
4.16.1	Purata Tahunan Kepekatan Nitrat	188
4.16.2	Purata Musiman Kepekatan Nitrat	189
4.17	Beban Nitrat	191
4.17.1	Jumlah Tahunan Beban Nitrat	192
4.17.2	Purata Musiman Beban Nitrat	193
4.17.3	Pertalian Beban Nitrat dengan Luahan Sungai	193
4.18	Fluks Nitrat	197
4.19	Kepekatan Ammonia	199
4.19.1	Purata Tahunan Kepekatan Ammonia	201
4.19.2	Purata Musiman Kepekatan Ammonia	201
4.20	Beban Ammonia	203
4.20.1	Jumlah Tahunan Beban Ammonia	205
4.20.2	Purata Musiman Beban Ammonia	205
4.20.3	Pertalian Beban Ammonia dengan Luahan Sungai	205
4.21	Fluks Ammonia	210

4.22	Kepekatan Jumlah Nitrogen (TN)	212
4.22.1	Purata Tahunan Kepekatan Jumlah Nitrogen (TN)	214
4.22.2	Purata Musiman Kepekatan Jumlah Nitrogen (TN)	214
4.23	Beban Jumlah Nitrogen (TN)	216
4.23.1	Jumlah Tahunan Beban Jumlah Nitrogen (TN)	217
4.23.2	Purata Musiman Beban Jumlah Nitrogen (TN)	217
4.23.3	Pertalian Beban Jumlah Nitrogen (TN) dengan Luahan Sungai	218
4.24	Fluks Jumlah Nitrogen (TN)	222
4.25	Kesimpulan	225

BAB 5: KESIMPULAN

5.1	Rumusan Kajian	226
5.2	Sumbangan dan Cadangan Kajian	229

SENARAI RUJUKAN	231
------------------------	------------

SENARAI RAJAH

		Halaman
Rajah 2.1	Kitaran hidrologi dan komponennya.	16
Rajah 2.2	Proses-proses imbalan nutrien dan sedimen yang terlibat dalam sesebuah lembangan sungai.	54
Rajah 3.1	Kerangka kerja penyelidikan.	61
Rajah 3.2	Kerangka konseptual penyelidikan.	62
Rajah 3.3	Peta lokasi 15 stesen persampelan.	63
Rajah 3.4	Gambar di lokasi persampelan di Bongkok 1 (A), Bongkok 2 (B) dan Bongkok 3 (C).	65
Rajah 3.5	Gambar di lokasi persampelan di Bongkok 4 (A), Ketapan (B) dan Nibong 1 (C).	66
Rajah 3.6	Gambar di lokasi persampelan di Nibong 2 (A), Puntar (B) dan Bukit Merah (C).	67
Rajah 3.7	Gambar di lokasi persampelan di Getah (A), Kerah (B) dan Tok Pawang (C).	68
Rajah 3.8	Gambar di lokasi persampelan di Lalang (A), Merbok 1 (B) dan Merbok 2 (C).	69
Rajah 3.9	Peta guna tanah di lembangan Sungai Merbok, 2010.	71
Rajah 3.10	Graf taburan hujan di enam stesen yang berada dalam lingkungan lembangan Sungai Merbok, Kedah.	73
Rajah 3.11	Analisis Poligon Theissen bagi menunjukkan pembahagian stesen hujan di kawasan kajian.	75
Rajah 3.12	Peta geologi Negeri Kedah dan kawasan kajian (dalam petak merah).	77
Rajah 3.13	Longitud, keratan rentas dan pelan pandangan bagi sungai.	78
Rajah 3.14	Alat YSI multiparameter 556 mps (A), Analite Turbidity Meter (B), kolum kadmium (C).	82
Rajah 3.15	Alat penuras Sartorius 250 ml (A), Alat penimbang Analytical Balance ER 180 (B).	87
Rajah 3.16	Pengukuran keratan rentas sungai dan pembahagian mengikut	89

segmen untuk pengukuran halaju, persampelan air dan pengambilan bacaan parameter secara *in-situ*.

Rajah 4.1	Purata suhu di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	102
Rajah 4.2	Purata kepekatan jumlah pepejal terlarut di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	107
Rajah 4.3	Purata kepekatan konduktiviti di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	111
Rajah 4.4	Purata pH di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	115
Rajah 4.5	Purata kepekatan oksigen terlarut di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	121
Rajah 4.6	Purata kepekatan kemasinan di segmen atas (A), segmen tengah (B), segmen bawah (C).	125
Rajah 4.7	Purata kepekatan kekeruhan di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	129
Rajah 4.8	Kadar kepekatan jumlah pepejal terampai (TSS) di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	132
Rajah 4.9	Jumlah beban pepejal terampai (TSS) di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	137
Rajah 4.10	Pertalian di antara beban jumlah pepejal terampai (TSS) dengan luahan sungai.	141
Rajah 4.11	Fluks jumlah pepejal terampai (TSS) di lembangan Sungai Merbok.	144
Rajah 4.12	Purata kepekatan fosfat di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	148
Rajah 4.13	Jumlah beban fosfat di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	151
Rajah 4.14	Pertalian di antara beban fosfat dengan luahan sungai.	155
Rajah 4.15	Fluks fosfat di lembangan Sungai Merbok.	157
Rajah 4.16	Purata kepekatan jumlah fosforus (TP) di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	160
Rajah 4.17	Jumlah beban TP di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan	164

	segmen bawah (C).	
Rajah 4.18	Pertalian di antara beban jumlah fosforus (TP) dengan luahan sungai.	168
Rajah 4.19	Fluks jumlah fosforus di lembangan Sungai Merbok.	170
Rajah 4.20	Purata kepekatan nitrit di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	175
Rajah 4.21	Jumlah beban nitrit di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah.	180
Rajah 4.22	Pertalian di antara beban nitrit dengan luahan sungai.	182
Rajah 4.23	Fluks nitrit di lembangan Sungai Merbok.	184
Rajah 4.24	Purata kepekatan nitrat di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	190
Rajah 4.25	Jumlah beban nitrat di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	194
Rajah 4.26	Pertalian di antara beban nitrat dengan luahan sungai.	196
Rajah 4.27	Fluks nitrat di lembangan Sungai Merbok.	198
Rajah 4.28	Purata kepekatan ammonia di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	202
Rajah 4.29	Jumlah beban ammonia di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	207
Rajah 4.30	Pertalian di antara beban ammonia dengan luahan sungai.	209
Rajah 4.31	Fluks ammonia di lembangan Sungai Merbok.	211
Rajah 4.32	Purata kepekatan jumlah nitrogen (TN) di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	215
Rajah 4.33	Jumlah beban jumlah nitrogen (TN) di segmen atas (A), segmen tengah (B) dan segmen bawah (C).	219
Rajah 4.34	Pertalian di antara beban jumlah nitrogen (TN) dengan luahan sungai.	221
Rajah 4.35	Fluks jumlah nitrogen (TN) di lembangan Sungai Merbok	224

SENARAI JADUAL

		Halaman
Jadual 2.1	Isipadu, peratusan dan masa jisim air menetap di bumi.	12
Jadual 2.2	Pengelasan kualiti air berdasarkan Piawai Interim Kualiti Air Kebangsaan (INWQS).	20
Jadual 2.3	Kegunaan air tawar berdasarkan pengelasan kualiti air berdasarkan Piawai Interim Kualiti Air Kebangsaan (INWQS).	20
Jadual 2.4	Pengelasan kualiti air badan air mengikut LAWA (1998) untuk TP, PO ₄ , TN, NH ₃ , NO ₂ dan NO ₃ .	21
Jadual 2.5	Indeks kualiti air (WQI) dan kegunaanya.	21
Jadual 2.6	Cartaimbangan air, sedimen dan nutrien.	49
Jadual 3.1	Senarai sungai dan kedudukan kordinat.	64
Jadual 3.2	Jenis-jenis guna tanah di lembangan Sungai Merbok (2010).	72
Jadual 3.3(a)	Ciri morfometri lembangan Sungai Merbok (pengiraan berdasarkan peta topografi tahun 1974).	78
Jadual 3.3(b)	Jarak, latitud tertinggi dan terendah serta kecerunan sungai .	78
Jadual 3.4	Parameter dan keperluan pemilihannya.	81
Jadual 3.5	Deskripsi parameter, unit dan metodologi.	85
Jadual 4.1	Kadar luahan dan halaju setiap stesen di lembangan Sungai Merbok.	98
Jadual 4.2	Kepekatan dan beban jumlah pepejal terampai (TSS) di kawasan kajian.	144
Jadual 4.3	Kepekatan dan beban fosfat di kawasan kajian.	157
Jadual 4.4	Kepekatan dan beban jumlah fosforus (TP) di kawasan kajian.	170
Jadual 4.5	Kepekatan dan beban nitrit di kawasan kajian.	184
Jadual 4.6	Kepekatan dan beban nitrat di kawasan kajian.	198
Jadual 4.7	Kepekatan dan beban ammonia di kawasan kajian.	211
Jadual 4.8	Kepekatan dan beban jumlah nitrogen (TN) di kawasan kajian.	224

FLUKS NUTRIEN DAN SEDIMEN DI LEMBANGAN SUNGAI MERBOK,

KEDAH

ABSTRAK

Kajian ini adalah untuk menganggarkan fluks beban nutrien dan sedimen di Lembangan Sungai Merbok. Pengumpulan data dan aktiviti persampelan dilakukan secara berskala iaitu dua minggu sekali dan dijalankan bermula dari Disember 2012 hingga Disember 2013 yang melibatkan sungai utama Merbok serta cawangannya. Objektif kajian adalah menganggarkan fluks nutrien dan sedimen terampai, menganalisis pola kepekatan nutrien dan sedimen terampai mengikut faktor musiman dan guna tanah dan menentukan kualiti air sungai berdasarkan kepekatan nutrien, sedimen dan karakter fizikokimia. Fluks nitrogen iaitu nitrit, nitrat, ammonia dan jumlah nitrogen (TN) di kawasan kajian menunjukkan pola beban yang lebih tinggi di segmen tengah dan mengalami beban yang lebih rendah di muara sungai iaitu Merbok 1. Fluks nitrit dan nitrat menunjukkan berlaku keadaan pengekalan dan pемendapan beban di sepanjang sungai sebanyak 100.32 t/thn (42.48%) dan 326.38 t/thn (53.10%). Fluks ammonia dan TN pula menunjukkan beban turut mengalami pengekalan dan pемendapan di kawasan kajian dengan jumlah beban yang termendap daripada kawasan kajian adalah 140.53 t/thn iaitu 47.16% dan 317.63 t/thn (31.05%) dengan jumlah beban output yang keluar dari lembangan sungai adalah sebanyak 704.33 t/thn. Fluks TSS pula menunjukkan berlaku di kawasan kajian adalah penyingkiran beban sebanyak 2857.37 t/thn iaitu kira-kira 29.92%. Manakala, bagi fosforus pula menunjukkan penyingkiran beban 58.49 t/thn atau 11.95% untuk jumlah fosforus (TP) dan 226.25 t/thn iaitu kira-kira 78.96% untuk fosfat. Beban nutrien dan sedimen yang tinggi di kawasan kajian didapati berpunca dari kawasan pekan, bandar kecil, petempatan, pertanian kelapa sawit di Gurun dan Bedong, Kedah.

**NUTRIENT AND SEDIMENT FLUX IN MERBOK RIVER CATCHMENT,
KEDAH**

ABSTRACT

This study was conducted to investigate and estimate the flux of nutrient and sediment load in Merbok River basin. Data collection and sampling activities were carried out once in two weeks starting from December 2012 to December 2013 involving the main river of Sungai Merbok and its tributaries. The objective of the study was to estimate the flux of nutrients and suspended sediments, analyze the patterns of concentration of nutrients and suspended sediments by seasonal factors and land use and lastly to determine the water quality based on the concentration of nutrients, sediment and physicochemical characteristics. Nitrogen flux of nitrite, nitrate, ammonia and total nitrogen (TN) in the study area showed higher load pattern in the middle segment and having lower load at Merbok estuary 1. The nitrite's and nitrate's flux showed retention and deposition conditions of the load along the river by 100.32 t/yr (42.48%) and 326.38 t/yr (53.10%). The ammonia's and TN's flux also experienced retention and sedimentation in the study area with the total cost of the deposited from the study area is 140.53 t/yr (47.16%) and 317.63 t/yr (31.05%) with a total output load coming out of the river basin is as much as 704.33 t/yr. TSS fluxes showed that the removal of load occur in the study area by the total of 2857.37 t/yr, which is about 29.92%. While, for the removal of phosphorus load are 58.49 t/yr or 11.95% of the total phosphorus (TP) and 226.25 t/yr, which is about 78.96% of the phosphate. Nutrient and sediment load are high in the study area were found to originated from the small towns, settlements and palm oil agriculture at Gurun and Bedong, Kedah.

BAB 1: PENGENALAN

1.1 PENGENALAN

Kajian fluks nutrien dan sedimen telah lama dijalankan termasuk di Malaysia. Kajian kadar kemasukan dan pengeluaran beban nutrien dan sedimen ke dalam satu badan air seperti sungai dan tasik. Perubahan guna tanah dan tanaman di sesebuah kawasan akan memberi kesan kepada kadar air larian permukaan dan larian sungai yang mungkin akan mengganggu kadar pengangkutan dan pemendapan nutrien di dalam sungai (Wan Ruslan dan Sumayyah Aimi, 2011). Selain itu, pengaruh semulajadi seperti variasi jatuhan hujan dan musiman sangat memainkan peranan dalam mencorak variasi kadar air larian permukaan serta kadar luahan sungai. Oleh itu, kajian fluks adalah penting untuk memastikan keseimbangan ekosistem sungai melalui penganggaran kadar kemasukan dan pengeluaran beban di dalam sistem lembangan sungai.

Pengelasan indeks kualiti air di Lembangan Sungai Merbok, Kedah didapati adalah rendah (Kelas III) yang disebabkan oleh aktiviti akuakultur, pertanian, industri, pertempatan penduduk dan lot-lot komersial (Ain Nihla *et al.*, 2012). Perkara ini menimbulkan tanda tanya mengenai anggaran jumlah sebenar beban cemar yang dialami dan melihat sumbangan setiap anak sungai dalam kawasan lembangan tersebut.

Keberlangsungan kehidupan manusia dan hidupan lain sangat bergantung kepada kualiti dan kuantiti sumber air yang tersedia. Penggunaan air bersih sangat penting untuk kegunaan aktiviti dalam rumah dan segala kegiatan ekonomi yang dijalankan seperti perindustrian, perniagaan dan pertanian. Namun, sektor domestik

merupakan sektor yang membuat permintaan bekalan air yang paling tertinggi berbanding sektor-sektor yang lain. Sektor domestik melibatkan aktiviti membasuh pinggan mangkuk, memasak, mencuci pakaian, mandi dan menyiram tanaman (Abrashinsky, 2004).

Namun, permasalahan bekalan air tawar yang berkualiti dan mencukupi merupakan suatu masalah klasik yang dihadapi bukan sahaja di negara kita bahkan di seluruh dunia. Air tercemar menyebabkan bekalan air menjadi sedikit dan secara langsung menyebabkan penawaran air bersih menjadi lebih kecil dari masa ke semasa jika dibandingkan permintaan yang wujud di serata dunia. Pertumbuhan penduduk yang pesat serta ekonomi manusia yang semakin meluas menyebabkan permintaan air bersih menjadi lebih besar dan tidak dapat dielakkan (Sharifah, 2011). Dalam usaha menyediakan sumber air bersih yang mencukupi, pemeliharaan dan pemuliharaan kawasan tadahan air atau lembangan adalah menjadi suatu kewajipan. Pemahaman dalam sistem tadahan air merupakan perkara utama yang perlu dititikberatkan jika ingin mengatasi masalah bekalan air yang semakin kritikal.

Malaysia tidak mengalami kekurangan sumber air tawar yang drastik kerana faktor jatuhan hujan yang tinggi, tetapi disebabkan pencemaran sumber air, pertumbuhan penduduk yang pesat dan perubahan iklim menyebabkan air yang tersedia dan selamat digunakan semakin berkurangan (Chan, 2008). Setiap individu dianggarkan mempunyai keperluan air sebanyak 165 liter sehari dan juga merupakan cadangan dari Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu (PBB) (Cherian, 2009). Manakala, penduduk Malaysia pula mencatatkan penggunaan air melebihi dari yang dicadangkan oleh PBB iaitu 300 liter sehari (Chan, 2004). Kadar penggunaan air oleh seorang penduduk Malaysia per kapita per hari adalah meningkat saban tahun iaitu kira-kira 7.6 liter setahun. Hal ini menyebabkan potensi krisis air berlaku adalah

tinggi kerana kadar penggunaan air adalah tidak sepadan dengan kadar rizab air negara. Oleh itu, jika berlarutan negara kita akan menghadapi ketiadaan rizab air pada tahun 2025 (Teh Boon Sung, 2011).

Masalah krisis air yang berlaku adalah berlaku kerana kadar pencemaran air yang tinggi akibat aktiviti manusia yang tidak terkawal. Secara umumnya, pencemaran yang kerap berlaku di kebanyakan ekosistem sungai adalah pencemaran nutrien iaitu nitrogen (N) dan fosforus (P) dan sedimen. Pencemaran air di Malaysia berpunca dari pelbagai aktiviti ekonomi dan ianya semakin membimbangkan. Amnya, pencemaran sungai dalam kawasan tadahan air adalah berpunca daripada dua faktor utama iaitu faktor semulajadi dan pelbagai aktiviti manusia (Davis dan Conwell, 1991; Nemerow, 1991). Kemasukan unsur nutrien secara semulajadi ke dalam sungai pula adalah dalam kadar yang sedikit dan tidak membahayakan. Proses kitaran nutrien semulajadi yang berlaku melibatkan beberapa proses seperti pereputan, pernafasan, dan perkumuhan oleh organisma dan tumbuhan. Kesan kemasukan nutrien nitrogen (N) dan fosforus (P) hasil daripada aktiviti manusia menyebabkan ketidakseimbangan kitaran N dan P. Pencemaran N dan P yang memasuki sungai atau badan air yang lain lebih tertumpu kepada penglibatan aktiviti antropogenik dalam kawasan tadahan berbanding secara semulajadi (Wasman dan Olli, 2004). Pencemaran yang masuk ke sungai pula boleh dikelaskan kepada dua iaitu pencemaran bertitik dan terbaur (Novotny, 1995).

Punca pencemaran terbaur iaitu dari air larian permukaan akibat aktiviti pembuangan sisa aktiviti pertanian, perladangan dan domestik (O'Shea, 2002). Di negara kita juga mengalami fenomena yang sama iaitu melalui aktiviti-aktiviti domestik, pertanian dan perindustrian seperti air larian permukaan di kawasan

pengumpulan dan perlupusan sampah sarap dan sisa pembuangan industri daripada kilang-kilang dan kawasan perumahan, air larian daripada aktiviti pertanian yang tidak diselia dengan baik dan aktiviti penternakan iaitu melalui sisa-sisa najis haiwan ternakan.

Pencemaran bertitik pula melibatkan kemasukan langsung daripada paip atau saluran pembuangan sisa pepejal dan cecair seperti longkang dan parit. Pencemaran air di Malaysia pada tahun 2000 adalah berpunca daripada bahan buangan domestik (46.1%), sisa industri (43%), ternakan khinzir (7.5%) dan industri berasaskan pertanian (3.4%) (Ainon *et al.*, 2002). Tambahan lagi, kelemahan dan ketidakcekapan dalam pengurusan sisa pepejal dan cecair seperti ini menyebabkan masalah pencemaran air di Malaysia tidak dapat diatasi dengan baik.

1.2 PERMASALAHAN KAJIAN

Kemasukan unsur nutrien dan sedimen yang berlebihan ke dalam satu-satu lembangan sungai secara langsung akan menyebabkan berlaku kerosakan dan gangguan pada sistem sungai tersebut (Enger dan Smith, 2000). Beban sedimen dianggap punca mencemaran utama kerana ianya mengandungi nutrien (Datta *et al.*, 1999), logam berat yang bertoksik, bahan organik dan patogen (Meybeck *et al.*, 1989). Kemasukan nutrien dan sedimen ini akan membawa pelbagai permasalahan dalam ekosistem sungai dan kehidupan manusia seperti fenomena eutrofikasi, kerosakan dan penurunan nilai estetika sungai serta sungai menjadi pasif dalam berfungsi untuk kegunaan manusia dalam pelbagai aktiviti seperti kegiatan ekonomi, riadah dan domestik (Chan, 2004).

Fenomena eutrofikasi adalah berpunca dari pengayaan kandungan nutrien yang melampau sehingga menyebabkan pertumbuhan alga dan tumbuhan air secara

pesat. Perkara ini banyak berlaku di beberapa sungai di serata dunia dan dianggap sebagai masalah global yang semakin meruncing. Di Malaysia, masalah ini juga mula menjadi perhatian dan terdapat banyak kajian dilakukan bagi mengatasi dan mengekang dari perkara tersebut berlaku. Pencemaran dan pengumpulan nutrien di Lembangan Sungai Merbok juga berpotensi menyebabkan berlakunya fenomena eutrofikasi. Didapati Sungai Merbok dan cawangannya telah terdedah dengan pelbagai pencemaran sehingga menjejaskan kualiti airnya. Kajian oleh Kaniz Fatema et al., (2014), menyatakan bahawa kepekatan nitrat, nitrit dan ammonia di Sungai Merbok berada dalam kelas E iaitu menunjukkan sungai ini berada dalam status kualiti air yang rendah. N dan P merupakan dua unsur yang sering dikaitkan dengan fenomena eutrofikasi kerana kedua-dua unsur ini wujud dalam jumlah yang banyak terutama di kawasan yang mengamalkan aktiviti guna tanah pertanian, pertempatan dan perindustrian serta mudah diangkut oleh agen pengangkutan seperti air larian permukaan dan air bawah tanah (Viney *et al.*, 2000). Fenomena ini menyebabkan beberapa keadaan yang berupaya menjejaskan ekosistem sungai seperti pengurangan kandungan oksigen terlarut (Sharpley, 2000), kandungan air menjadi bertoksik dan berbahaya kepada hidupan akuatik, pemendapan bahan seperti endapan yang menyebabkan sungai menjadi cetek dan menyebabkan bau yang tidak menyenangkan.

Kajian oleh Ain Nihla *et al.*, (2012) mendapati pengelasan indeks kualiti air di Lembangan Sungai Merbok, Kedah didapati adalah rendah (Kelas III). Parameter fizikokimia didapati mengalami beberapa gangguan terutama kesan dari aktiviti ekonomi manusia terutama dari sumber tidak bertitik iaitu air larian permukaan di kawasan pertanian dan bandaran. Kadar konduktiviti yang tinggi (purata sebanyak $260.93 \pm 76.76 \mu\text{S/cm}$) di kawasan lembangan Sungai Merbok menunjukkan

kewujudan partikel pencemar yang tinggi yang disumbangkan melalui pembentungan sisa kumbahan dan air larian dari kawasan pertanian (Kaniz Fatema *et al.*, 2014). Jumlah pepejal terampai (TSS) juga didapati tinggi dengan purata 41.50 ± 25.09 mg/l yang diakibatkan oleh proses hakisan di sepanjang lembangan sungai.

Kesan pencemaran ini, sumber air di Sungai Merbok tidak dapat digunakan dengan sebaiknya. Pencemaran sungai juga menyebabkan nilai estetika sungai merosot, di samping jumlah hidupan akuatik juga akan menjadi lebih kecil. Kebiasaannya, sungai ini menjadi kawasan riadah seperti memancing dan menaiki serta beristirehat terutama di Jeti Semeling. Namun jika sungai menjadi kotor dan tidak selamat untuk digunakan, fungsi sungai ini secara langsung akan musnah. Selain itu juga, sungai juga menjadi medan rezeki kepada sebahagian penduduk melalui aktiviti perikanan dan sumber air bagi aktiviti ekonomi yang lain. Malahan, air sungai juga digunakan sebagai sumber air minum, air untuk membersihkan diri serta segala aktiviti harian. Kemerosotan kualiti air akan menyebabkan segala aktiviti penduduk setempat yang bergantung kepada sumber air sungai akan terbantut dan terjejas. Masalah kesihatan mungkin akan wujud jika penduduk mengambil air yang tercemar sebagai sumber air untuk minuman dan masakan. Bukan itu sahaja, kesihatan dan pertumbuhan haiwan ternakan dan tumbuhan juga akan mengalami gangguan jika air tidak bersih digunakan (Dufour *et al.*, 2013).

Bagi mengatasi masalah ini, pihak terbabit seperti Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS) dan pihak kerajaan terpaksa menggunakan modal yang besar sehingga mencapai nilai jutaan ringgit untuk membaik pulih dan mengembalikan kualiti air sungai kepada sedia kala. Oleh itu, kajian seumpama ini dijalankan untuk memahami dan mendalami masalah pencemaran sungai, justeru langkah kawalan dan pencegahan dapat diambil dengan segera.

1.3 OBJEKTIF KAJIAN

Kajian ini memfokuskan kepada fluks beban nutrien N dan P serta sedimen terampai di dalam air sungai di Lembangan Sungai Merbok, Kedah. Terdapat beberapa objektif yang ingin dicapai dalam kajian ini antaranya ialah;

1. Menganggar dan mengenalpasti fluks nutrien dan sedimen terampai di Lembangan Sungai Merbok dalam tempoh setahun.
2. Menganalisis pola kepekatan nutrien dan sedimen terampai mengikut faktor musiman dan guna tanah yang wujud dalam kawasan kajian.
3. Menganalisis kualiti air sungai berdasarkan kepekatan nutrien, sedimen dan karakter fizikokimia.

1.4 SKOP KAJIAN

Kajian ini melibatkan 15 anak sungai di dalam Lembangan Sungai Merbok yang terletak di negeri Kedah Darul Aman. Kajian dijalankan selama setahun bermula Disember 2012 hingga Disember 2013. Rasional pemilihan kawasan kajian adalah kerana kawasan kajian mempunyai perbagai aktiviti ekonomi seperti pertanian dan perindustrian yang dijangka berpotensi mencemarkan sungai. Pengiraan fluks dilakukan mengikut prosedur yang dicadangkan oleh Littlewood (1992). Parameter nutrien yang dikaji adalah nitrogen dan fosforus yang berada dalam bentuk partikulat (boleh ditapis melalui kertas turas). Senarai elemen nitrogen dan fosforus yang terlibat adalah ini adalah nitrat, nitrit, ammonia dan jumlah nitrogen serta fosfat dan jumlah fosforus yang diukur berdasarkan kadar kepekatan dan jumlah beban. Manakala bagi parameter sedimen pula hanya memfokuskan kepada sedimen terampai yang juga dalam bentuk kepekatan (TSS) dan beban. Pemilihan oksigen terlarut (DO), pH, jumlah pepejal terlarut (TDS), konduktiviti (CND), kemasinan dan

turbiditi adalah untuk mewakili parameter fizikokimia bagi mengelaskan kualiti air berdasarkan pengelasan kualiti air kebangsaan. Metodologi kajian di lapangan yang melibatkan teknik pengukuran luas dan keratan rentas dirujuk kepada kaedah Shaw (1988), manakala kaedah analisis kimia pula merujuk kepada kaedah yang disarankan oleh Adams (1989) dan APHA (1989). Kepekatan nutrien digunakan untuk menilai keadaan dalam sungai di setiap stesen pemantauan. Kepekatan nutrien adalah berbeza bagi setiap aliran sungai kerana perbezaan dalam penggunaan tanah, geologi, aliran sungai, sumber air, dan faktor-faktor lain di lembangan saliran. Peratusan relatif penggunaan tanah yang berbeza dan pelepasan sisa buangan daripada loji rawatan air sisa ke hulu sungai dari setiap stesen juga adalah berbeza-beza. Beban nutrien pula adalah jisim nutrien diangkut oleh aliran sungai dari masa ke masa, dan dianggarkan sebagai hasil kepekatan nutrien dan aliran sungai (dilaporkan dalam unit tan/tahun).

1.5 KEPENTINGAN KAJIAN

Kepentingan kajian ini adalah untuk mengenal pasti tren pencemaran yang berlaku di kawasan kajian. Tren adalah pergerakan naik dan turun dalam unsur yang diukur dalam tempoh masa yang dinyatakan. Tren dalam kepekatan nutrien boleh dipengaruhi oleh strategi kawalan nutrien, oleh pihak yang mengurus dan mengawal kualiti air dan sumber airnya dalam usaha untuk mencapai tren kepekatan nutrien yang rendah. Punca pencemaran juga boleh dikesan dengan baik berdasarkan kepekatan nutrien yang diperolehi di setiap cawangan anak sungai. Kawasan kajian ini iaitu Lembangan Sungai Merbok mempunyai keluasan yang besar dan penduduk sekitar mengamalkan pelbagai aktiviti ekonomi. Hasil daripada itu, kawasan ini tidak terasing dari pembangunan dan pembukaan kawasan yang mampu mengubah senario

pandang darat dan juga geomorfologi sekitarnya. Hal ini sedikit sebanyak akan mengganggu kesihatan ekosistem sungai secara tidak langsung. Kajian kualiti air dan fluks wajar dilaksanakan untuk memastikan kawasan ini sentiasa terpelihara. Pengawasan dan permonitoran terhadap anak-anak sungai ini juga adalah perlu kerana sumber pencemaran kemungkinan besar berpunca daripada salah satunya. Secara keseluruhannya, kajian ini diharap dapat mengawal dan mengurangkan pencemaran air daripada berlaku disamping membantu mengembalikan kualiti air sungai kepada sedia kala dan meningkatkan kadar air bersih untuk kegunaan penduduk.

Kajian ini dilakukan selaras dengan matlamat kerajaan untuk mengurangkan kadar pencemaran di seluruh negara. Kerajaan telah berusaha untuk meningkatkan rizab air bersih disamping berusaha mengurangkan kadar pencemaran termasuk pencemaran air. Dasar Sumber Air Negara (DSAN) merupakan perintis kepada proses bagi memastikan bekalan air yang terjamin dalam era pembangunan ekonomi, pertumbuhan perbandaran serta pertambahan penduduk yang pesat, yang memberi kesan besar kepada negara dalam pengurusan sumber air pada masa hadapan.

Dicadangkan pihak yang berwajib menjalankan strategi pengawalan kualiti air sungai di Sungai Merbok dengan lebih serius seperti zon berumput di sepanjang koridor sungai, pemasangan perangkap sampah dan menyediakan kolam khas bagi tujuan pembuangan sisa-sisa buangan seperti sampah sarap dan air longkang dari kawasan kilang, kawasan perniagaan dan perumahan. Selain itu, melalui langkah penguatkuasaan undang-undang Jabatan Alam Sekitar (JAS) merupakan jabatan di bawah Kementerian Sumber Asli dan Alam Sekitar (NRE) yang memainkan peranan

untuk mempertingkatkan penguatkuasaan Akta Kualiti Alam Sekeliling, 1974 dan peraturan-peraturan di bawahnya yang menyekat pencemaran dari pencemaran bertitik (point sources) Efluen dan sisa kumbahan daripada industri dan loji-loji pengolahan kumbahan perlu dirawat terlebih dahulu dan mematuhi had yang ditetapkan di bawah Akta berkenaan dan peraturan-peraturan berkaitan sebelum dilepaskan. Selain itu, Bagi masalah pencemaran air yang melibatkan pencemaran sungai Jabatan Pengaliran dan Saliran (JPS) juga diberikan peranan oleh NRE untuk mengambil tindakan bagi mensyaratkan semua premis makanan dalam kawasan Pihak Berkuasa Tempatan (PBT) memasang Sistem Penapis Sisa Makanan (Food, Oil & Grease Trap) untuk menghalang sisa makanan, minyak dan gris disalurkan terus memasuki sungai dan mencemarkannya dan melaksanakan program 'Pencegahan Pencemaran dan Peningkatan Kualiti Air Sungai' untuk mempertingkatkan kualiti air sungai dan mengambil tindakan undang-undang terhadap pihak-pihak yang melakukan kesalahan mencemarkan sungai, sekiranya disabit kesalahan, boleh dikenakan hukuman di bawah Seksyen 25 (3) Akta Kualiti Alam Sekeliling 1974, iaitu denda tidak lebih daripada RM 100,000.00 atau penjara untuk tempoh tidak lebih daripada 5 tahun atau kedua-duanya sekali. Denda tambahan juga pada kadar tidak lebih daripada RM 1000.00 boleh dikenakan bagi tiap-tiap hari kesalahan yang diteruskan selepas suatu notis yang menghendaknya menghentikan perbuatan tersebut disampaikan kepadanya

1.6 SUSUNAN TESIS

Bab 1 merupakan bab pengenalan yang akan menerangkan mengenai kajian yang telah dilakukan. Kajian ini akan memfokuskan kepada fluks nutrien dan sedimen di

Lembangan Sungai Merbok. Objektif, kerangka kajian dan kerangka konseptual juga akan dijelaskan dalam bab ini.

Bab 2 merupakan bab tinjauan bahan bacaan iaitu meliputi bahan bacaan mengenai topik kajian yang meliputi kajian-kajian terdahulu di serata dunia dan juga kajian-kajian dalam negara. Kajian terdahulu akan dijadikan garis panduan dan rujukan ketika proses penulisan tesis ini.

Bab 3 merupakan bab kaedah dan instrumentasi yang meliputi penerangan kepada kawasan kajian termasuklah jenis guna tanah dan iklim iaitu kadar jatuhnya hujan. Selain itu, kaedah persampelan dan analisis kimia juga akan diterangkan secara terperinci dalam bab ini.

Bab 4, 5, 6 dan 7 merupakan bab dapatan kajian bagi data hidrologi, fizikokimia dan nutrien iaitu akan menunjukkan hasil dapatan kajian dan analisa yang telah berjaya dilaksanakan. Dapatan kajian akan dipaparkan dalam bentuk rajah dan jadual untuk memudahkan pemahaman.

Bab 8 adalah bab kesimpulan dan cadangan yang merupakan bab terakhir daripada kajian ini. Selain daripada itu, bab ini akan diselitkan dengan cadangan serta batasan kajian serta cadangan kajian selanjutnya yang boleh dijalankan di Lembangan Sungai Merbok.

BAB 2: TINJAUAN BAHAN BACAAN

2.1 PENGENALAN

Air merupakan salah satu sumber semulajadi yang amat penting bagi semua hidupan di muka bumi sama ada bagi manusia, haiwan, tumbuhan dan organisma lain. Dianggarkan jumlah air keseluruhan di permukaan bumi ialah 96.5% air tersimpan di lautan, 1.69% air bawah tanah dan dalam bentuk ais dan glasier 1.74% (Jadual 2.1). Jumlah ini sahaja sudah mewakili kira-kira 99.93% dari jumlah air dunia. Manakala, selebihnya berada di tasik, sungai, tanah dan juga di atmosfera iaitu kira-kira 0.07% sahaja. Setiap lokasi yang menyimpan air ini bertindak sebagai agen simpanan atau storan air dan kemudiannya air tersebut bergerak dalam satu kitaran semulajadi yang dikenali sebagai kitaran hidrologi (Thompson, 1999).

Jadual 2.1 Isipadu, peratusan dan masa jisim air menetap di bumi.

LOKASI	ISIPADU 10^3KM^3	PERATUSAN (%)	TEMPOH KITARAN (Tahun)
Lautan	1338000	96.5	2650
Ais dan Glasier	24064	1.74	100-20,0000
Air Bawah Tanah - Masin	10530	0.76	1-10,000
Air Bawah Tanah - Tawar	12870	0.93	1-10,000
Tasik - Masin	91	0.007	100
Tasik - Tawar	85.4	0.006	100
Tanah	16.5	0.001	0.25 (2-3 Bulan)
Atmosfera	12.9	0.001	0.022 (8 Hari)
Sungai	2.12	0.0002	0.05 (20 Hari)

Sumber: Dipetik dan diubah suai dari Thompson, (1999).

Sungai adalah sumber utama bekalan air bagi hidupan di bumi. Sumber air ini amat besar nilainya bagi meneruskan keberlangsungan hidup manusia dan hidupan

lain di muka bumi. Sungai bukan sahaja digunakan sebagai sumber air minum dan aktiviti harian, malah turut digunakan untuk tujuan rekreasi seperti bersampan atau berkanu, berenang dan memancing. Selain dari itu juga, persekitaran koridor sungai yang bersih pula digunakan untuk aktiviti rekreasi seperti berehat dan bersantai serta menghayati persekitaran dan estetika sungai dan alam sekeliling. Kesan daripada keadaan sekeliling sungai yang kotor dan kekurangan sumber air yang bersih serta mencukupi bukan sahaja akan menjejaskan aktiviti harian dan ekonomi manusia, malahan akan membawa kepada yang lebih serius iaitu kematian, penyakit dan kebuluran. Oleh itu, amat penting bagi kita untuk menjaga kebersihan dan kesihatan ekosistem sungai yang menyediakan sumber air cukup penting bagi manusia dan keseluruhan hidupan di bumi (Moel *et al.*, 2007).

Air adalah elemen penting kepada kehidupan di muka bumi ini, namun sumber air ini sering kali terjejas dan tercemar akibat dari impak aktiviti pembangunan yang pesat oleh manusia terutama di kawasan membangun seperti kawasan bandar. Kebanyakan bandar-bandar di seluruh dunia dibangunkan berhampiran sungai. Oleh itu, kesan-kesan dari pembangunan dan aktiviti di bandar ini secara tidak langsung akan menyebabkan pencemaran sungai melalui kemasukan input dari sistem perparitan dan loji rawatan air serta aliran air permukaan selepas hujan. Aktiviti manusia sama ada secara sengaja atau tidak sengaja telah menyebabkan kebersihan alam sekitar terganggu, mewujudkan masalah pencemaran air dan mengganggu keseimbangan ekosistem hidrologi secara khususnya (Murdoch *et al.*, 2000). Kesan daripada ketidakseimbangan antara pelaksanaan proses-proses pembangunan dengan pengurusan alam sekitar akan mewujudkan atau meningkatkan pelbagai masalah persekitaran terutama pencemaran air.

Peningkatan input dari aktiviti manusia ini seterusnya akan meningkatkan kepekatan nutrien dan kandungan bahan terampai di dalam sungai seperti sedimen. Aktiviti manusia yang utama melibatkan penggunaan air selain dari kegunaan isi rumah adalah untuk kegunaan perniagaan, pertanian dan industri. Oleh itu, adalah amat penting sungai-sungai di negara ini diurus dan dikawal daripada pencemaran terus berlaku kerana sumber air bersih semakin berkurangan saban tahun (Morgan *et al.*, 2008). Penilaian tahap kualiti air dan tahap pengelasan pencemaran boleh dilakukan dengan melakukan kajian dan ujikaji terhadap sumber air. Sekiranya tahap kualiti air tidak dipantau dan dikawal dengan sebaik mungkin, insiden buruk mungkin boleh berlaku dan mendatangkan kesan negatif kepada manusia, hidupan air dan nilai estetik sungai.

Malaysia mempunyai sumber air yang tinggi kerana menerima hujan yang banyak iaitu melebihi 2000mm setahun. Air hujan merupakan sumber bekalan air utama ke dalam sungai, tasik dan air bawah tanah dan sistem kitaran hidrologi ini akan berlanjutan dan berulang-ulang. Sungai merupakan sumber air mentah utama bagi negara kita iaitu 97% (Santharasekaran dan Husni, 2012). Sungai-sungai di negara kita membekalkan 7000 juta liter air sehari pada tahun 2006 dan dijangka akan meningkat kepada 16,000 juta liter sehari menjelang 2050 (Santharasekaran dan Husni, 2012). Oleh yang demikian, amat penting bagi negara kita untuk memastikan sumber air terutama air sungai sentiasa dalam keadaan baik dan selamat digunakan untuk memastikan dapat memenuhi kehendak dan permintaan rakyat bagi membolehkan segala aktiviti harian dan ekonomi berjalan lancar.

2.2 HIDROLOGI

Kitaran hidrologi adalah satu kajian terhadap pergerakan, pengagihan, kuantiti dan kualiti air di permukaan bumi dan dalam bumi. Fasa atau bentuk air terbahagi kepada tiga iaitu gas (wap air), cecair (hujan, awan, kabus) dan pepejal (ais dan salji). Manakala kitaran air atau kitaran hidrologi terdiri beberapa proses penting yang terdiri daripada proses kerpasan, penyejatan, kondensasi, sejat peluhan, larian permukaan, air bawah tanah serta kemasukan langsung ke permukaan berair (sungai, tasik, kolam dan laut) (Wan Ruslan, 1994).

Kitaran hidrologi digunakan untuk memodelkan penyimpanan dan pergerakan air antara biosfera, atmosfera, litosfera dan hidrosfera. Kitaran hidrologi boleh bermula pada mana-mana kawasan dan proses. Pergerakan air di permukaan bumi dan atmosfera yang dikenali sebagai kitaran hidrologi lazimnya akan dinyatakan bermula dengan proses penyejatan air permukaan hasil dari proses pemanasan permukaan berair oleh bahangan matahari. Ia kemudiannya bergerak dari tempat ke tempat yang lain hasil tindakan angin sehingga ia membentuk awan. Apabila awan telah mencapai takat tepu akan menghasilkan kerpasan yang akan jatuh ke permukaan bumi.

Kerpasan kemudian kembali ke permukaan bumi dalam bentuk sama ada cecair (hujan) atau pepejal (salji, hujan beku, dan lain-lain). Pengangkutan dan pergerakan juga boleh berlaku pada permukaan bumi seperti aliran air permukaan dan sungai atau di bawah permukaan bumi oleh aliran bawah tanah. Air disimpan dalam beberapa tempat iaitu atmosfera, lautan, tasik, sungai, glasier, tanah, salji, dan air bawah tanah. Kemudian, kandungan air tersebut akan mengalami pelbagai jenis

proses seperti sejatan, air larian, penyusupan, pemejalwapan, transpirasi dan air bawah tanah (Rajah 2.1).



Rajah 2.1 Kitaran hidrologi dan komponennya.

Sumber: Dipetik dan diubah suai dari USGS, (2014).

Proses sejatan berlaku apabila tenaga sinaran daripada matahari memanaskan air, menyebabkan molekul air menjadi begitu aktif yang sebahagian daripadanya naik ke atmosfera sebagai wap. Perkara ini adalah pemindahan air dari badan-badan air permukaan ke dalam atmosfera. Pemindahan ini melibatkan perubahan dalam sifat fizikal air daripada cecair kepada gas. Sejat peluhan pula adalah kombinasi antara proses sejatan dan perpeluhan. Proses infiltrasi pula adalah jumlah air yang menyusup ke dalam tanah yang berbeza-beza mengikut karakter tanah seperti kecerunan, jenis tanah dan komposisi tanah. Tumbuh-tumbuhan, batuan dan sama

ada tanah sudah tepu dengan air juga faktor yang mempengaruhi infiltrasi. Lebih banyak ruang di permukaan yang mengalami rekahan dan liang (pori) lebih banyak penyusupan akan berlaku. Air yang tidak menyusup masuk ke tanah akan mengalir di permukaan sebagai air larian permukaan (Wan Ruslan, 1994).

Air larian permukaan juga boleh terhasil dari pencairan ais, salji mahupun glasier. Air larian permukaan juga seperti proses infiltrasi dimana karakter tanah dan tumbuhan selain bahan bina manusia amat memainkan peranan dalam menentukan sama ada wujud atau tidak wujud dan cepat atau lambat proses itu berlaku. Sumber air dari aliran air permukaan, jatuhan langsung dari kerpasan dan juga air bawah tanah akan menuju dan berkumpul masuk ke dalam sungai, tasik, kolam dan badan air yang lain. Sistem hidrologi dalam sesebuah sungai bergantung kepada beberapa elemen tertentu seperti iklim, tumbuh-tumbuhan dan cerun (Dodds, 2002).

2.3 KAJIAN KUALITI AIR

Sungai merupakan sumber semulajadi yang utama dan amat penting dalam membekalkan air bersih kepada manusia termasuklah negara kita Malaysia. Kualiti air sungai perlulah berada dalam keadaan bersih dan mencukupi bagi menampung keperluan manusia. Tanpa aktiviti pengawal dan pemuliharaan kualiti air secara konsisten dan sistematik, dikhuatiri bekalan air bersih akan berkurangan di masa hadapan dan menterencatkan pembangunan sesebuah negara. Secara umumnya, penentuan tahap kualiti air bergantung kepada pengelasan berdasarkan piawaian tertentu disamping kesesuaiannya untuk kegunaan tertentu. Hal ini kerana setiap kelas atau tahap kualiti air akan menentukan ketersesuaian bekalan air itu digunakan untuk tujuan tertentu (Vladimir dan Harvey, 1994). Maka, adalah menjadi salah satu cabaran yang besar dalam menilai dan meningkatkan kualiti air kerana terdapat

banyak faktor mempengaruhi kualiti air yang perlu diambil kira dan diteliti (Cunningham *et al.*, 2007).

Kajian mengenai kualiti air ataupun pencemaran sungai melibatkan tiga aspek utama iaitu aspek fizikal, kimia dan juga biologi (Wan Ruslan *et al.*, 2012). Kualiti air adalah amat bergantung kepada keupayaannya untuk bertindak balas untuk melakukan pemulihan sendiri (*self purification*) akibat dari kemasukan input dan proses-proses yang dialaminya. Sekiranya badan air tersebut tidak berupaya untuk mengekalkan keadaan seimbang (keseimbangan dinamik) komposisi-komposisi air, maka akan berlaku keadaan pencemaran dan kemerosotan kualiti air (Santharasekaran dan Husni, 2012). Lazimnya, keadaan kualiti air sungai dipengaruhi oleh faktor fizikal dan manusia. Kandungan fizikal dan kimia dalam air sungai boleh dipengaruhi oleh faktor semulajadi adalah seperti faktor topografi, geologi dan juga iklim (Gibbs, 1970). Manakala, pencemaran nitrogen (N) dan fosforus (P) dari aktiviti manusia pula secara dominan berpunca daripada aktiviti pertanian yang menyebabkan kualiti air terjejas di dalam ekosistem air tawar dan muara sungai (Downing *et al.*, 1999; Sims *et al.*, 1998).

Di Malaysia, Jabatan Alam Sekitar Malaysia (JAS) adalah badan yang bertanggungjawab dalam pengurusan dan pemantauan alam sekitar termasuk sungai bermula pada tahun 1978. JAS menjalankan aktiviti monitor dan pemantauan sebanyak 143 buah lembangan sungai pada 2007. Selain itu, sebanyak 1,064 stesen pemantauan telah dibina di seluruh negara. Data yang dikutip pada tahun 2007 mendapati 638 buah stesen (60%) menunjukkan keadaan sungai yang bersih, 376 stesen (35%) menunjukkan pencemaran ringan dan 50 stesen (5%) adalah berada pada keadaan tercemar (Jabatan Alam Sekitar, 2014). Pada tahun 2011, di Malaysia juga didapati 54.3% lembangan sungai berada dalam keadaan bersih. Sebaliknya,

37.8% pula berada pada tahap sederhana tercemar dan 7.9% adalah berada dalam keadaan tercemar (Malaysia, 2012). Pemonitoran kualiti air sungai di Malaysia telah dijalankan di bawah Akta Kualiti Alam Sekeliling (1974) dan garis panduan mengenai luahan efluen dalam Peraturan Efluen Kumbahan dan Perindustrian, 1978 (Mazlin Ismail dan Agnes, 2000).

Pengelasan kualiti air sungai berdasarkan parameter *in situ* boleh dikaji mengikut Piawai Interim Kualiti Air Kebangsaan (INQWS). INQWS digunakan untuk mengelaskan kesesuaian sesuatu air sungai itu digunakan oleh manusia mengikut kelas yang telah ditetapkan (Jadual 2.2). Terdapat 6 kelas yang telah ditetapkan oleh INQWS iaitu I, IIA, IIB, III, IV dan V yang bermula pada tahap bersih hingga tahap paling tercemar (Jadual 2.3) (Tong dan Goh, 1997). Indeks kualiti air (WQI) pula merujuk kepada pengelasan air berdasarkan 6 parameter utama iaitu ammoniakal nitrogen, permintaan oksigen biokimia, permintaan oksigen kimia, oksigen terlarut, pH dan jumlah pepejal terampai (Jadual 2.5). Selain itu juga, indeks kualiti air (WQI) turut digunakan untuk mengelaskan kadar pencemaran sungai berdasarkan beberapa parameter iaitu pH, DO, TSS dan ammonia.

Di samping itu, pengelasan kualiti air sungai yang hanya berdasarkan kepada kepekatan nutrien (nitrat, nitrit, ammonia, fosfat, jumlah fosforus dan jumlah nitrogen) adalah berdasarkan pengelasan *Länderarbeitsgemeinschaft Wasser* (LAWA). Pengelasan kualiti air kaedah LAWA (1998) ini mengelaskan kualiti air kepada 7 kelas mengikut tahap pencemaran yang dialami. Terdapat 7 kelas yang telah ditetapkan yang bermula kelas I (tidak tercemar) hingga ke IV (terlampau tercemar) (Jadual 2.4).

Jadual 2.2 Pengelasan kualiti air berdasarkan Piawai Interim Kualiti Air Kebangsaan (INWQS).

Parameter	Unit	Pengelasan					
		I	II	IIB	III	IV	V
Oksigen terlarut	mg/L	7	7-5	5.7	3-5	<3	<1
pH		6.8-8.5	6-9	6-9	5-9	5-9	-
TSS	mg/L	25	50	50	150	300	>300
Suhu	°C	-	Normal	-	Normal	-	-
Turbiditi	FTU	5	50	50	150	300	>300
Konduktiviti	mS/cm	1	1	-	-	6	-
Saliniti	ppt	0.05	0.1	-	-	0.2	-

Sumber: Dipetik dan diubah suai daripada Jabatan Alam Sekitar Malaysia, (1985).

Jadual 2.3 Kegunaan air tawar berdasarkan pengelasan kualiti air berdasarkan Piawai Interim Kualiti Air Kebangsaan (INWQS).

Kelas	Penggunaan
I	<ol style="list-style-type: none"> 1) Keadaan air yang terpelihara pada keadaan persekitaran semulajadi. 2) Untuk kegunaan sebagai bekalan air. Ianya tidak memerlukan rawatan melainkan pembasmian kuman atau dengan cara mendidihkan sahaja. 3) Untuk kehidupan air yang sangat sensitif.
II	<ol style="list-style-type: none"> 1) Untuk kegunaan bekalan air, ia memerlukan rawatan secara konvensional. + 2) Untuk perikanan, sesuai bagi hidupan air yang sensitif.
III	<ol style="list-style-type: none"> 1) Boleh digunakan untuk tujuan rekreasi dan mandi-manda.
IV	<ol style="list-style-type: none"> 1) Untuk kegunaan bekalan air, memerlukan rawatan rapi. 2) Merupakan sumber simpanan bekalan air. 3) Perikanan sesuai untuk spesies yang mempunyai nilai ekonomi dan boleh bertoleransi terhadap kualiti air.
V	<ol style="list-style-type: none"> 1) Sesuai untuk pengairan tanaman.
VI	<ol style="list-style-type: none"> 1) Selain daripada yang dinyatakan di atas dan tidak sesuai digunakan.

Sumber: Dipetik dan diubah suai daripada Tong dan Goh (1997).

Jadual 2.4 Pengelasan kualiti air badan air mengikut LAWA (1998) untuk TP, PO₄, TN, NH₃, NO₂ dan NO₃.

Kelas	Penerangan	TP	PO ₄ -P	TN	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₃ -N
I	Tidak tercemar	≤0.05	≤ 0.02	≤ 1.0	≤ 1.0	≤0.01	≤ 0.04
I-II	Sedikit tercemar	≤0.08	≤ 0.04	≤ 1.5	≤ 1.5	≤0.05	≤ 0.10
II	Sederhana tercemar	≤0.15	≤ 0.10	≤ 3.0	≤ 2.5	≤0.1	≤ 0.30
II-III	Percecaraman kritikal	≤0.3	≤ 0.20	≤ 6.0	≤ 5.0	≤0.2	≤ 0.60
III	Teramat tercemar	≤0.6	≤ 0.40	≤ 12.0	≤ 10.0	≤0.4	≤ 1.20
III-IV	Sangat tercemar	≤1.2	≤ 0.80	≤ 24.0	≤ 20.0	≤0.8	≤ 2.40
IV	Terlampau tercemar	>1.2	> 0.80	> 24.0	> 20.0	>0.8	> 2.40

Jadual 2.5 Indeks kualiti air (WQI) dan kegunaannya.

Parameter	Unit	Kelas				
		I	II	III	IV	V
Ammoniakal nitrogen	mg/l	< 0.1	0.1 - 0.3	0.3 - 0.9	0.9 - 2.7	> 2.7
Permintaan oksigen biokimia	mg/l	< 1	1 - 3	3 - 6	6 - 12	> 12
Permintaan oksigen kimia	mg/l	< 10	10 - 25	25 - 50	50 - 100	> 100
Permintaan oksigen kimia	mg/l	> 7	5 - 7	3 - 5	1 - 3	< 1
pH	-	> 7	6 - 7	5 - 6	< 5	> 5
Jumlah pepejal terampai	mg/l	< 25	25 - 50	50 - 150	150 - 300	> 300
Indeks kualiti air (WQI)	-	< 92.7	76.5 - 92.7	51.9 - 76.5	31.0 - 51.9	> 31.0

Kelas I Pemeliharaan untuk persekitaran semulajadi

Bekalan air I – secara pratiknya tidak memerlukan rawatan

Perikanan I – untuk spesies akuatik yang sangat sensitif

Kelas IIA Bekalan air II – memerlukan rawatan konvensional

Perikanan II – untuk spesies yang sensitif

Kelas IIB Sesuai untuk aktiviti rekreasi yang melibatkan sentuhan badan

- Kelas III** Bekalan air III – memerlukan rawatan yang intensif
Perikanan III – untuk minuman binatang ternakan
- Kelas IV** Pengairan

Sumber: Dipetik dan diubah suai daripada DOE (1997).

2.4 LUAHAN SUNGAI

Luahan sungai merujuk kepada isi padu air sungai yang mengalir melalui titik di aliran sungai pada suatu masa yang tertentu. Lazimnya, kadar luahan sungai boleh diukur jumlah keseluruhan menggunakan unit meter padu persaat atau kaki padu persaat (USGS, 2007). Kajian mengenai pembinaan dan pengiraan fluks nutrien dan sedimen memerlukan data luahan sungai. Pengukuran luahan sungai merupakan satu kajian yang amat penting kerana data mengenai luahan satu-satu sungai dapat digunakan untuk pengurusan risiko banjir, pengurusan sumber air, kajian iklim dan ekologi dan juga untuk pengurusan bagi pemindahan dan penjualan air melepasi sempadan. Selain itu, pengetahuan mengenai kadar kelajuan aliran air sungai dan kiraan masa yang diambil oleh aliran sungai untuk sampai ke kawasan hilir merupakan perkara yang kritikal untuk kajian ramalan banjir, operasi takungan air dalam kawasan lembangan dan pemodelan kawasan tadahan air (Smith dan Pavelsky, 2008).

Selain itu, pengaruh besar luahan sungai terhadap kualiti air sungai adalah melalui kemasukan bahan kimia daripada bahan kimia yang diterima dari atmosfera dan landskap sekitarnya dan input tersebut akan bertindak balas dengan air sungai melalui proses biogeokimia (Murdoch *et. al.*, 2000). Data luahan juga adalah penting