

**IMPAK AKTIVITI ANTROPOGEN DAN FAKTOR YANG  
BERKAITAN TERHADAP KUALITI AIR SUNGAI TROPIKA,  
SUNGAI PINANG, BALIK PULAU, PULAU PINANG**

**NURUL RUHAYU BINTI MOHD ROSLI**

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**2011**

**IMPAK AKTIVITI ANTROPOGEN DAN FAKTOR YANG  
BERKAITAN TERHADAP KUALITI AIR SUNGAI TROPIKA,  
SUNGAI PINANG, BALIK PULAU, PULAU PINANG**

**oleh**

**NURUL RUHAYU BINTI MOHD ROSLI**

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

**Februari 2011**

## PENGHARGAAN

Dengan nama ALLAH yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Syukur ke hadrat ALLAH SWT kerana dengan limpah kurnia-Nya saya telah menyempurnakan tesis ini.

Dalam kesempatan ini, saya ingin mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada Dr. Khairun Yahya selaku penyelia kerana beliau telah banyak memberi bimbingan, sokongan padu dan nasihat berguna kepada saya. Segala dorongan, tunjuk ajar dan ilmu yang dicurahkan oleh beliau telah banyak membantu saya sepanjang perjalanan projek dan penghasilan tesis ini.

Saya ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada En. Hussain, En. Teoh, En. Suhaimi, Cik Rogayah, En. Hamzah dan semua pensyarah dan kakitangan pejabat di Pusat Pengajian Sains Kajihayat yang telah banyak memberi bantuan secara langsung dan tidak langsung, sokongan moral tanpa henti dan yang paling utama sumbangan kudrat sepanjang proses perjalanan projek ini. Ribuan terima kasih diucapkan kepada Research Creativity and Management Office (RCMO) kerana membiayai sepenuhnya projek ini melalui Fundamental Research Grant Scheme (FRGS) dan juga kepada Institut Pengajian Siswazah kerana meluluskan Research University – Postgraduate Research Grant Scheme (RU-PGRS) serta menampung sebahagian kos projek ini. Ucapan khas terima kasih saya tujukan kepada World Federation of Scientists kerana penajaan biasiswa kepada saya. Tidak lupa ucapan terima kasih saya kepada Dr. Anita Talib kerana telah mengajar menggunakan aplikasi perisian Non-supervised Artificial Neural Network (ANN) sebagai salah satu analisis data projek ini.

Bantuan dan sokongan daripada rakan seperjuangan saya Shazana, Nur Izni, Mohd Adib Fadhil, Norzuliana, Aisyah, Nor Fadheha, Nur Hafiza dan ramai lagi sepanjang masa projek ini berlangsung, berbilang terima kasih saya ucapkan. Terima kasih diucapkan kepada En. Syuhaimy (boatman) yang telah banyak meluangkan masa menyertai saya

dalam aktiviti persampelan di Sungai Pinang, Balik Pulau. Terima kasih jua kepada kakitangan Perbadanan Bekalan Air (PBA), Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS), dan Jabatan Perancang Bandar dan Desa (JPBD) di Pulau Pinang dan En. Mohd Noor (ranger hutan simpan) kerana sudi meluangkan masa menemani kumpulan saya semasa pendakian di Bukit Laksamana dan Bukit Tiger. Jasa baik anda semua amat dihargai.

Akhirul kalam, saya mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga buat Mama, Ayah, adik-adik dan seluruh ahli keluarga yang sentiasa mendoakan, memahami dan menyokong apa jua yang saya lakukan.

## ISI KANDUNGAN

	<b>Muka surat</b>
<b>PENGHARGAAN</b>	ii
<b>ISI KANDUNGAN</b>	iv
<b>SENARAI JADUAL</b>	x
<b>SENARAI RAJAH</b>	xi
<b>SENARAI PLAT</b>	xix
<b>ISTILAH BAHASA MALAYSIA – BAHASA INGGERIS</b>	xxii
<b>ABSTRAK</b>	xxiii
<b>ABSTRACT</b>	xxv
<b>BAB 1.0 - PENGENALAN</b>	1
1.1 Fungsi Ekosistem Sungai	1
1.2 Aktiviti Antropogen di Hulu hingga Hilir Sungai Pinang	3
1.3 Kesan Aktiviti Antropogen	4
1.3.1 Pertanian	5
1.3.2 Domestik	6
1.3.3 Akuakultur	7
1.4 Kajian di Sungai Pinang	7
1.5 Objektif Kajian	9
<b>BAB 2.0 - TINJAUAN BACAAN</b>	10
2.1 Latar Belakang dan Ciri-ciri Kawasan Tadahan Air	10
2.2 Impak Aktiviti Antropogen di Pinggir Sungai	11
2.3 Hasil Kajian Terhadap Pencemaran Sungai	12
2.3.1 Impak Aktiviti Pertanian	14
2.3.2 Impak Aktiviti Domestik	16
2.3.3 Impak Aktiviti Akuakultur	17

2.4	Parameter Fizikal Air Sungai	17
2.4.1	Suhu	17
2.4.2	pH	18
2.4.3	Jumlah Pepejal Terampai ('Total Suspended Solid', TSS)	19
2.5	Parameter Kimia Air Sungai	20
2.5.1	Oksigen Terlarut	20
2.5.2	Saliniti	21
2.5.3	Konduktiviti	22
2.5.4	Keperluan Oksigen Biologi ('Biological Oxygen Demand', BOD <sub>5</sub> )	22
2.5.5	Nutrien	23
<b>BAB 3.0 - TAPAK KAJIAN</b>		26
3.1	Stesen-stesen Kajian di Sungai Pinang	29
3.1.1	Hulu Sungai Pinang	29
3.1.2	Tengah Sungai Pinang	31
3.1.3	Hilir Sungai Pinang	34
3.2	Kajian Nutrien (Ammonium, Nitrit, Nitrat dan Orto-fosfat) di Aliran Anak Sungai di Bukit Laksamana dan Bukit Tiger yang Membentuk Lembangan Sungai Pinang	36
<b>BAB 4.0 - BAHAN DAN KAEDAH</b>		37
4.1	Tempoh Aktiviti Persampelan, Jenis Pasang Surut dan Taburan Jumlah Hujan	37
4.2	Teknik Kutipan Sampel Air dan Pengukuran in-situ Parameter Fizikal dan Kimia di Lapangan	40
4.2.1	Kutipan Sampel Air untuk Analisis Nutrien	40
4.2.2	Pengukuran <i>in-situ</i> Parameter Fizikal dan Kimia	40
4.2.2.1	Kedalaman	41
4.2.2.2	Suhu Air	41
4.2.2.3	pH	41

4.2.2.4	Oksigen Terlarut	42
4.2.2.5	Keperluan Oksigen Biologi ('Biological Oxygen Demand', BOD <sub>5</sub> )	42
4.2.2.6	Saliniti	42
4.2.2.7	Konduktiviti	43
4.3	Kaedah Analisis Jumlah Pepejal Terampai ('Total Suspended Solid', TSS) di Makmal	43
4.4	Kaedah Analisis Nutrien di Makmal	44
4.4.1	Kaedah Analisis Nitrogen dan Fosforus	44
4.4.1.1	Analisis Ammonium	44
4.4.1.2	Analisis Nitrit	46
4.4.1.3	Analisis Nitrat	46
4.4.1.4	Analisis Orto-Fosfat	47
4.5	Analisis Statistik	48
4.6	'Non-supervised Artificial Neural Network' (ANN)	49
4.7	Kajian Nutrien (Ammonium, Nitrit, Nitrat dan Orto-fosfat) di Aliran Anak Sungai di Bukit Laksamana dan Bukit Tiger yang Membentuk Lembangan Sungai Pinang	51
<b>BAB 5.0 - KEPUTUSAN</b>		52
5.1	Parameter Fizikal dan Kimia di Sungai Pinang	52
5.1.1	Suhu Air	52
5.1.1.1	Hulu Sungai	52
5.1.1.2	Tengah Sungai	54
5.1.1.3	Hilir Sungai	58
5.1.2	pH	61
5.1.2.1	Hulu Sungai	61
5.1.2.2	Tengah Sungai	62
5.1.2.3	Hilir Sungai	66

5.1.3	Oksigen Terlarut	69
5.1.3.1	Hulu Sungai	69
5.1.3.2	Tengah Sungai	70
5.1.3.3	Hilir Sungai	74
5.1.4	Keperluan Oksigen Biologi ('Biological Oxygen Demand', BOD <sub>5</sub> )	76
5.1.4.1	Hulu Sungai	76
5.1.4.2	Tengah Sungai	77
5.1.4.3	Hilir Sungai	80
5.1.5	Saliniti	83
5.1.5.1	Hulu Sungai	83
5.1.5.2	Tengah Sungai	83
5.1.5.3	Hilir Sungai	87
5.1.6	Konduktiviti	90
5.1.6.1	Hulu Sungai	90
5.1.6.2	Tengah Sungai	91
5.1.6.3	Hilir Sungai	95
5.1.7	Jumlah Pepejal Terampai ('Total Suspended Solid', TSS)	98
5.1.7.1	Hulu Sungai	98
5.1.7.2	Tengah Sungai	100
5.1.7.3	Hilir Sungai	104
5.1.8	Ammonium	106
5.1.8.1	Hulu Sungai	106
5.1.8.2	Tengah Sungai	107
5.1.8.3	Hilir Sungai	111
5.1.9	Nitrit	113
5.1.9.1	Hulu Sungai	113
5.1.9.2	Tengah Sungai	114
5.1.9.3	Hilir Sungai	118

5.1.10 Nitrat	121
5.1.10.1 Hulu Sungai	121
5.1.10.2 Tengah Sungai	122
5.1.10.3 Hilir Sungai	126
5.1.11 Orto-Fosfat	128
5.1.11.1 Hulu Sungai	128
5.1.11.2 Tengah Sungai	129
5.1.11.3 Hilir Sungai	133
5.2 Analisis Statistik	136
5.2.1 Analisis Varians ('Analysis of Variance', ANOVA) Satu Hala	136
5.2.2 Ujian-t Sampel Tak Bersandar	137
5.2.3 Korelasi Pearson	138
5.3 'Non-supervised Artificial Neural Network' (ANN)	139
5.4 Kajian Nutrien (Ammonium, Nitrit, Nitrat dan Orto-fosfat) di Aliran Anak Sungai di Bukit Laksamana dan Bukit Tiger yang Membentuk Lembangan Sungai Pinang	142
<b>BAB 6.0 - PERBINCANGAN</b>	143
6.1 Parameter Fizikal dan Kimia di Sungai Pinang	144
6.1.1 Suhu	144
6.1.2 pH	146
6.1.3 Oksigen Terlarut	148
6.1.4 Keperluan Oksigen Biologi ('Biological Oxygen Demand', BOD <sub>5</sub> )	150
6.1.5 Saliniti	152
6.1.6 Konduktiviti	154
6.1.7 Jumlah Pepejal Terampai ('Total Suspended Solid', TSS)	155
6.1.8 Ammonium	157
6.1.9 Nitrit	159
6.1.10 Nitrat	161

6.1.11 Orto-Fosfat	164
6.2 Status Pencemaran Kualiti Air di Sungai Pinang	166
6.3 Kajian Nutrien (Ammonium, Nitrit, Nitrat dan Orto-fosfat) di Aliran Anak Sungai di Bukit Laksamana dan Bukit Tiger yang Membentuk Lembangan Sungai Pinang	167
<b>BAB 7.0 - KESIMPULAN</b>	168
<b>RUJUKAN</b>	169
<b>LAMPIRAN</b>	188

## SENARAI JADUAL

		<b>Muka surat</b>
Jadual 2.1	Status kualiti air sungai terpilih di Malaysia berdasarkan Indeks Kualiti Air (WQI) 1990 – 2007	14
Jadual 3.1	Kepelbagaian aktiviti antropogen dan guna tanah sepanjang Sungai Pinang di setiap stesen kajian dengan koordinat Sistem Kedudukan Sejagat ('Global Positioning System', GPS)	27
Jadual 5.1	Korelasi Pearson antara parameter fizikal dan kimia yang berkolerasi kuat dan signifikan, n = 442 ( $\alpha = 0.01$ )	139
Jadual 5.2	Julat kepekatan nutrien punca air di kawasan tadahan Bukit Laksamana dan Bukit Tiger	142

## SENARAI RAJAH

### Muka surat

Rajah 4.1	Ketinggian paras air laut semasa pasang perbani sepanjang kajian dijalankan dari Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (Jadual Pasang Surut Malaysia 2007 dan Jadual Pasang Surut Malaysia 2008)	38
Rajah 4.2	Ketinggian paras air laut semasa pasang anak sepanjang kajian dijalankan dari Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (Jadual Pasang Surut Malaysia 2007 dan Jadual Pasang Surut Malaysia 2008)	38
Rajah 4.3	Taburan jumlah hujan sebelum hari persampelan (mm) dan jumlah hujan bulanan (mm) semasa pasang perbani dan pasang anak dari Oktober 2007 hingga Oktober 2008	39
Rajah 4.4	Struktur dan fungsi prinsip diagram dalam 'Non-supervised Artificial Neural Network' (ANN)	49
Rajah 4.5	Peraturan dan pengkelasan bahagian di Sungai Pinang dari Oktober 2007 hingga Oktober 2008 mengikut purata ANN dan gambaran seperti yang dijelaskan dalam U-matrix (a) dan K-means (b)	50
Rajah 5.1	Profil purata suhu bagi persampelan yang dilakukan dua kali sebulan di kawasan tadahan air stesen 1 dan stesen 2 di hulu Sungai Pinang sepanjang tempoh kajian dari Oktober 2007 hingga Oktober 2008	53
Rajah 5.2	Profil suhu ketika pasang perbani di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	55
Rajah 5.3	Profil suhu ketika pasang anak di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	57
Rajah 5.4	Profil suhu ketika pasang perbani di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	59

Rajah 5.5	Profil suhu ketika pasang anak di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	60
Rajah 5.6	Profil purata pH bagi persampelan yang dilakukan dua kali sebulan di kawasan tadahan air stesen 1 dan stesen 2 di hulu Sungai Pinang sepanjang tempoh kajian dari Oktober 2007 hingga Oktober 2008	61
Rajah 5.7	Profil pH ketika pasang perbani di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	63
Rajah 5.8	Profil pH ketika pasang anak di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	65
Rajah 5.9	Profil pH ketika pasang perbani di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	67
Rajah 5.10	Profil pH ketika pasang anak di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	68
Rajah 5.11	Profil purata oksigen terlarut bagi persampelan yang dilakukan dua kali sebulan di kawasan tadahan air stesen 1 dan stesen 2 di hulu Sungai Pinang sepanjang tempoh kajian dari Oktober 2007 hingga Oktober 2008	69
Rajah 5.12	Profil oksigen terlarut ketika pasang perbani di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	71

Rajah 5.13	Profil oksigen terlarut ketika pasang anak di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	73
Rajah 5.14	Profil oksigen terlarut ketika pasang perbani di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	74
Rajah 5.15	Profil oksigen terlarut ketika pasang anak di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	75
Rajah 5.16	Profil purata BOD <sub>5</sub> bagi persampelan yang dilakukan dua kali sebulan di kawasan tadahan air stesen 1 dan stesen 2 di hulu Sungai Pinang sepanjang tempoh kajian dari Oktober 2007 hingga Oktober 2008	76
Rajah 5.17	Profil BOD <sub>5</sub> ketika pasang perbani di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	78
Rajah 5.18	Profil BOD <sub>5</sub> ketika pasang anak di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	79
Rajah 5.19	Profil BOD <sub>5</sub> ketika pasang perbani di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	80
Rajah 5.20	Profil BOD <sub>5</sub> ketika pasang anak di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	82

Rajah 5.21	Profil saliniti ketika pasang perbani di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	84
Rajah 5.22	Profil saliniti ketika pasang anak di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	86
Rajah 5.23	Profil saliniti ketika pasang perbani di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	88
Rajah 5.24	Profil saliniti ketika pasang anak di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	89
Rajah 5.25	Profil purata konduktiviti bagi persampelan yang dilakukan dua kali sebulan di kawasan tadahan air stesen 1 dan stesen 2 di hulu Sungai Pinang sepanjang tempoh kajian dari Oktober 2007 hingga Oktober 2008	90
Rajah 5.26	Profil konduktiviti ketika pasang perbani di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	92
Rajah 5.27	Profil konduktiviti ketika pasang anak di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	94
Rajah 5.28	Profil konduktiviti ketika pasang perbani di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	96

Rajah 5.29	Profil konduktiviti ketika pasang anak di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	97
Rajah 5.30	Profil purata TSS bagi persampelan yang dilakukan dua kali sebulan di kawasan tadahan air stesen 1 dan stesen 2 di hulu Sungai Pinang sepanjang tempoh kajian dari Oktober 2007 hingga Oktober 2008	99
Rajah 5.31	Profil TSS ketika pasang perbani di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	101
Rajah 5.32	Profil TSS ketika pasang anak di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	103
Rajah 5.33	Profil TSS ketika pasang perbani di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	104
Rajah 5.34	Profil TSS ketika pasang anak di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	105
Rajah 5.35	Profil purata ammonium bagi persampelan yang dilakukan dua kali sebulan di kawasan tadahan air stesen 1 dan stesen 2 di hulu Sungai Pinang sepanjang tempoh kajian dari Oktober 2007 hingga Oktober 2008	106
Rajah 5.36	Profil ammonium ketika pasang perbani di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	108

Rajah 5.37	Profil ammonium ketika pasang anak di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	110
Rajah 5.38	Profil ammonium ketika pasang perbani di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	111
Rajah 5.39	Profil ammonium ketika pasang anak di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	112
Rajah 5.40	Profil purata nitrit bagi persampelan yang dilakukan dua kali sebulan di kawasan tadahan air stesen 1 dan stesen 2 di hulu Sungai Pinang sepanjang tempoh kajian dari Oktober 2007 hingga Oktober 2008	113
Rajah 5.41	Profil nitrit ketika pasang perbani di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	115
Rajah 5.42	Profil nitrit ketika pasang anak di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	117
Rajah 5.43	Profil nitrit ketika pasang perbani di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	119
Rajah 5.44	Profil nitrit ketika pasang anak di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	120
Rajah 5.45	Profil purata nitrat bagi persampelan yang dilakukan dua kali sebulan di kawasan tadahan air stesen 1 dan stesen 2 di hulu Sungai Pinang sepanjang tempoh kajian dari Oktober 2007 hingga Oktober 2008	121

Rajah 5.46	Profil nitrat ketika pasang perbani di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	123
Rajah 5.47	Profil nitrat ketika pasang anak di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	125
Rajah 5.48	Profil nitrat ketika pasang perbani di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	126
Rajah 5.49	Profil nitrat ketika pasang anak di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	127
Rajah 5.50	Profil purata orto-fosfat bagi persampelan yang dilakukan dua kali sebulan di kawasan tadahan air stesen 1 dan stesen 2 di hulu Sungai Pinang sepanjang tempoh kajian dari Oktober 2007 hingga Oktober 2008	128
Rajah 5.51	Profil orto-fosfat ketika pasang perbani di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	130
Rajah 5.52	Profil orto-fosfat ketika pasang anak di tengah Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 3 (b) Stesen 4 (c) Stesen 5	132
Rajah 5.53	Profil orto-fosfat ketika pasang perbani di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	134

Rajah 5.54	Profil orto-fosfat ketika pasang anak di hilir Sungai Pinang sepanjang kajian dari bulan Oktober 2007 hingga Oktober 2008 (a) Stesen 6 (b) Stesen 7	135
Rajah 5.55	Ordinasi dan pengkelasan corak taburan keseluruhan data parameter fizikal dan kimia dalam kejadian pasang perbani dan pasang anak mengikut bahagian di Sungai Pinang dari Oktober 2007 hingga Oktober 2008	141

## SENARAI PLAT

		<b>Muka surat</b>
Plat 3.1	Lokasi kajian di Sungai Pinang dengan keluasan aktiviti guna tanah (ha)	28
Plat 3.2	Stesen 1 adalah aliran dari air sungai di kawasan berbukit Air Terjun Titi Kerawang	30
Plat 3.3	Stesen 2 merupakan aliran air sungai dari Air Terjun Titi Kerawang di kaki bukit	30
Plat 3.4	Stesen 3 terletak di kawasan domestik yang dibangunkan di pinggir Sungai Pinang	31
Plat 3.5	Stesen 4 merupakan kawasan penanaman kelapa sawit	32
Plat 3.6	Pintu air yang menghalang kemasukan air laut semasa air pasang	32
Plat 3.7	Stesen 5 adalah alur air buangan yang dilepaskan dari kolam akuakultur	33
Plat 3.8	Stesen 6 terletak di bahagian muara sungai	34
Plat 3.9	Stesen 7 merupakan lautan terbuka yang menghala perairan Selat Melaka	35

## SENARAI LAMPIRAN

		<b>Muka surat</b>
Lampiran A	Data kegunaan tanah Daerah Barat Daya di Pulau Pinang (sehingga Mac 2008)	188
Lampiran B	Tarikh aktiviti persampelan dari bulan Oktober 2007 – Oktober 2008	189
Lampiran C	Kepekatan piawai bagi analisis ammonium	190
Lampiran D	Kepekatan piawai bagi analisis nitrit dan nitrat	190
Lampiran E	Kepekatan piawai bagi analisis orto-fosfat	190
Lampiran F	ANOVA satu hala antara parameter fizikal dan kimia serta nutrien dengan bahagian sungai (hulu, tengah dan hilir sungai) pada aras $\alpha = 0.01$	191
Lampiran G	Analisis penentuan subset-subset sama jenis ('homogeneous subsets') menerusi ujian Tukey HSD daripada ANOVA satu hala antara parameter fizikal dan kimia serta nutrien dengan bahagian sungai (hulu, tengah dan hilir sungai)	192
Lampiran H	Ujian-t antara parameter fizikal dan kimia (tengah dan hilir) dengan permukaan dan dasar air sungai ( $\alpha = 0.05$ )	195
Lampiran I	Ujian-t antara parameter fizikal dan kimia (tengah dan hilir) dengan air surut dan air pasang ( $\alpha = 0.05$ )	198
Lampiran J	Ujian-t antara parameter fizikal dan kimia (tengah dan hilir) dengan pasang perbani dan pasang anak ( $\alpha = 0.05$ )	201
Lampiran K	Ujian-t antara parameter fizikal dan kimia (tengah dan hilir) dengan musim hujan dan musim panas ( $\alpha = 0.05$ )	204
Lampiran L	Korelasi Pearson antara parameter fizikal dan kimia	207
Lampiran M	Perbandingan nilai purata parameter fizikal dan kimia di Sungai Pinang daripada aplikasi 'Non-supervised Artificial Neural Network' ANN dengan piawaian INWQSM (JAS, 2008), WHO (WHO, 2008), MWQCSM (JAS, 2010) dan MWQCA (AWGCME, 2004)	209

Lampiran N	The Impact of Anthropogenic Activities in Pinang River, Balik Pulau, Penang. [2nd Annual PPSK/IPS Postgraduate Colloquium, May 2009]	210
Lampiran O	Estimation of Nutrient and Sediment Loading in the Pinang River, Balik Pulau, Penang, Malaysia [UNAIR-USM 2 <sup>nd</sup> Collaborative Conference on Life Science Synergy for Enhancement of Quality of Life, 10 – 11th February 2009]	211
Lampiran P	The Impact of Anthropogenic Activities in Pinang River, Balik Pulau, Penang, Malaysia [UMT 7 <sup>th</sup> International Annual Symposium on Sustainability Science and Management, 8 – 10 June 2008]	212

## ISTILAH BAHASA MALAYSIA – BAHASA INGGERIS

Istilah Bahasa Malaysia	Istilah Bahasa Inggeris
Eutrofikasi	Eutrophication
Hipoksia	Hypoxia
Indeks Kualiti Air	Water Quality Index (WQI)
Interim Kebangsaan Piawai Kualiti Air untuk Malaysia	Interim National Water Quality Standards for Malaysia (INWQSM)
Jumlah pepejal terampai	Total suspended solids (TSS)
Keperluan oksigen biologi	Biological oxygen demand (BOD)
Keperluan oksigen kimia	Chemical oxygen demand (COD)
Kriteria dan Piawai Kualiti Air Marin untuk Malaysia	Marine Water Quality Criteria and Standards for Malaysia (MWQCSM)
Kriteria Kualiti Air Marin untuk ASIA	Marine Water Quality Criteria for ASEAN (MWQCA)
Pasang anak	Neap tide
Pasang perbani	Spring tide
Pasang surut mikro	Micro-tidal
Pecahan pada bahagian peta	K-means
Penyatuan jarak matrik	U-matrix
Peta swaorganisasi	Self-organizing map (SOM)
Sistem kedudukan sejagat	Global Positioning System (GPS)
Stratifikasi	Stratification
Subset-subset sama jenis	Homogeneous subsets
Organisasi Kesihatan Sedunia	World Health Organization (WHO)

**IMPAK AKTIVITI ANTROPOGEN DAN FAKTOR YANG  
BERKAITAN TERHADAP KUALITI AIR SUNGAI TROPIKA,  
SUNGAI PINANG, BALIK PULAU, PULAU PINANG**

**ABSTRAK**

Sungai Pinang bermula dari kawasan hutan simpan Bukit Laksamana dan Bukit Tiger. Ianya berfungsi membekalkan sumber air tawar kepada penduduk Balik Pulau, Pulau Pinang. Kebanyakan aktiviti antropogen seperti pertanian, domestik dan akuakultur tertumpu di sepanjang pinggir sungai ini. Sungai Pinang yang berukuran 6.5 km panjang mengalami pasang surut mikro dengan kemasukan air masin sehingga ke bahagian tengah sungai dan bersaliniti 30 psu ketika pasang perbani. Kajian ini dijalankan selama 13 bulan semasa air pasang perbani dan anak (Oktober 2007 hingga Oktober 2008) bagi menentukan impak aktiviti antropogen terhadap sistem sungai ini. Dari Analisis Varians (ANOVA) satu hala dan 'Non-supervised Artificial Neural Network' (ANN) menunjukkan bahawa sumber pencemaran nitrat ( $44.68 \pm 0.62 \mu\text{M}$ ) tertumpu di hulu sungai manakala keperluan oksigen biologi ('Biological Oxygen Demand',  $\text{BOD}_5$ ) ( $13.85 \pm 2.05 \text{ mg/L}$ ), jumlah pepejal terampai ('Total Suspended Solids', TSS) ( $2366.67 \pm 707.11 \text{ mg/L}$ ) dan orto-fosfat ( $34.17 \pm 0.43 \mu\text{M}$ ) mempengaruhi di bahagian tengah sungai. Ujian korelasi Pearson menunjukkan nitrat berkorelasi secara negatif dengan saliniti ( $r = -0.70$ ), konduktiviti ( $r = -0.67$ ) dan suhu ( $r = -0.62$ ). Faktor pasang surut dan kemusiman memainkan peranan penting dalam mempengaruhi kualiti air Sungai Pinang. Ujian-t menunjukkan impak aktiviti antropogen bagi nitrat,  $\text{BOD}_5$ , TSS dan orto-fosfat secara signifikan lebih tinggi ( $p < 0.05$ ) semasa air sungai surut berbanding ketika air pasang. Kepekatan nitrat lebih tinggi semasa pasang anak ( $8.72 \mu\text{M}$ ,  $p < 0.05$ ) jika dibandingkan dengan pasang

perbani, berkemungkinan disebabkan percampuran air yang lemah. Nilai TSS lebih tinggi semasa pasang perbani (115.22 mg/L,  $p < 0.05$ ) berbanding semasa pasang anak kerana kemasukan dan percampuran air laut. Musim hujan merekod nitrat lebih tinggi (9.30  $\mu\text{M}$ ,  $p < 0.05$ ) kerana air hujan membawa nutrien melalui larian permukaan air yang mengalir masuk ke sungai. Nilai BOD<sub>5</sub> (4.54 mg/L,  $p < 0.05$ ) dan TSS (179.66 mg/L,  $p < 0.05$ ) meningkat ketika musim kering, kemungkinan pelepasan bahan buangan ke dalam sungai sering berlaku. Kesimpulannya, impak aktiviti antropogen di hulu dan tengah sungai yang mengalirkan bahan pencemar sewaktu air sungai surut merupakan punca utama menyumbang pencemaran air sungai. Setiap pembangunan di kawasan tadahan air dan juga di pinggir sungai seharusnya dielakkan bagi menjamin dan mengekalkan nilai estetik dan kelestarian sesebuah ekosistem sungai.

**THE IMPACT OF ANTHROPOGENIC ACTIVITIES AND OTHER RELATED  
FACTORS ON WATER QUALITY OF TROPICAL RIVER,  
PINANG RIVER, BALIK PULAU, PENANG**

**ABSTRACT**

Pinang River originates from the Laksamana Hill and Tiger Hill forest reserve. Its function to supply freshwater source to the residents of Balik Pulau, Penang. Many anthropogenic activities such as agriculture, domestic and aquaculture concentrated along the river bank. Pinang River with 6.5 km length experiences a micro-tidal with the intrusion of seawater up to the middle-stream with 30 psu salinity during spring tide. This study was carried out for 13 months during spring and neap tides (October 2007 until October 2008) to determine the impact of anthropogenic activities towards the river system. From one way Analysis of Variance (ANOVA) and Non-supervised Artificial Neural Network (ANN) showed that the source of nitrate pollution ( $44.68 \pm 0.62 \mu\text{M}$ ) concentrated at the upstream while biological oxygen demand ( $\text{BOD}_5$ ) ( $13.85 \pm 2.05 \text{ mg/L}$ ), total suspended solids (TSS) ( $2366.67 \pm 707.11 \text{ mg/L}$ ) and ortho-phosphate ( $34.17 \pm 0.43 \mu\text{M}$ ) dominated at the middle-stream. Pearson's correlation test indicated that nitrate is negatively correlated with salinity ( $r = -0.70$ ), conductivity ( $r = -0.67$ ) and temperature ( $r = -0.62$ ). Tidal and seasonal factors play an important role influencing the water quality of Pinang River. T-test showed that the impact of anthropogenic activities for nitrate,  $\text{BOD}_5$ , TSS and ortho-phosphate were significantly higher ( $p < 0.05$ ) during low tide compared to high tide. Nitrate concentration was higher during neap tide ( $8.72 \mu\text{M}$ ,  $p < 0.05$ ) compared to spring tide, might be due to weak tidal mixing. The TSS value was higher during spring tide ( $115.22 \text{ mg/L}$ ,  $p < 0.05$ ) compared to neap tide due to seawater intrusion and tidal mixing. Wet

season recorded higher nitrate ( $9.30 \mu\text{M}$ ,  $p < 0.05$ ) because rain water brings nutrient into the river from surface water runoff.  $\text{BOD}_5$  ( $4.54 \text{ mg/L}$ ,  $p < 0.05$ ) and TSS ( $179.66 \text{ mg/L}$ ,  $p < 0.05$ ) values increased during dry season, due to discharge of effluent into the river frequently occurred. It can be concluded that, the impact of anthropogenic activities at the upstream and middle-stream which flow pollutants during low tide are the main source that contributes to river pollution. Any development surrounding the water catchment and also near the river bank should be avoided to ensure and maintain the aesthetic value and the sustainability of a river ecosystem.

## **BAB 1.0 - PENGENALAN**

Sungai adalah sistem lotik yang membentuk habitat kepada pelbagai spesies fauna dan flora terutama sistem sungai yang mengalami pasang surut. Sesebuah sistem sungai mempunyai ciri-ciri fizikal, kimia dan biologi yang berbeza-beza dengan sungai-sungai yang lain. Secara amnya, keadaan fizikal hulu sungai adalah cetek dan sempit dengan persekitaran yang redup dilindungi pokok-pokok hutan. Sebaliknya, hilir sungai adalah dalam serta lebih lebar di samping persekitaran yang terdedah dengan pancaran matahari.

Berdasarkan Kamus Biologi Oxford ('Dictionary of Biology' Oxford) (2000), sungai adalah ekosistem yang mempunyai ciri-ciri yang dinamik bermula dari kawasan punca air sungai hingga ke muara sungai yang bergantung pada input tenaga alam sekitar. Faktor-faktor seperti kejadian pasang surut, corak penyaliran air dari hulu sungai yang bermusim dan pola cuaca yang tidak menentu menyebabkan perubahan terhadap kemasinan, suhu, nutrien dan bahan mendapan dalam ekosistem sungai dari semasa ke semasa (Levinton, 1994).

### **1.1 Fungsi Ekosistem Sungai**

Ekosistem sungai memberi manfaat dalam kehidupan manusia dari zaman dahulu sehingga ke hari ini. Sungai bermanfaat kepada komuniti nelayan yang menetap berhampiran dengan sungai untuk mencari mata pencarian. Hidupan di sungai seperti ikan, ketam dan udang dijadikan sebagai sumber pendapatan dan makanan harian mereka. Sungai juga digunakan sebagai laluan air yang menghubungkan dari

satu lokasi dengan lokasi yang lain. Sumber air di hulu sungai menjadi keperluan asas sebagai bekalan air bersih untuk memasak, membasuh dan sebagainya kepada penduduk tempatan yang menetap berhampiran sungai jika ketiadaan sistem perpaipan air yang sistematik.

Bagi ekosistem sungai yang ditumbuhi dengan vegetasi paya bakau, selalunya mendominasi di sekitar kawasan muara sungai. Muara sungai adalah kawasan pertemuan dan percampuran air sungai dengan air laut ketika mengalami keadaan pasang surut. Definisi yang lebih tepat bagi muara yang telah dihurai oleh Pritchard (1967) adalah suatu jasad air laut di persisiran pantai yang menjalani proses pencairan dengan sumber air tawar yang mengalir dari bahagian hulu dan tengah sungai. Keadaan ini menghasilkan sebuah ekosistem sungai yang unik dan kompleks. Bagi sesebuah muara yang berdekatan dengan paya bakau, ianya kaya dengan sumber makanan serta memberi perlindungan dan habitat untuk anak-anak ikan, udang dan organisma bercengkerang (McHugh, 1967). Selain kaya dengan juvenil ikan dan krustasia, ekosistem muara juga mempunyai pelbagai pengeluar primer contohnya fitoplankton, mikroalga bentic, alga epifitik, makrofita (tumbuhan paya rawa, paya bakau), makrofita sub-emergen (rumput laut) dan makroalga yang lebih tinggi daripada ekosistem lain (Knox, 1986; Primavera, 1989). Ekosistem muara ini amat penting kerana mempunyai biodiversiti dan produktiviti ikan yang tinggi (Ahyaudin, 2000). Kebanyakan spesies hidupan muara terdiri daripada pelbagai jenis organisma eurihaline iaitu organisma yang boleh beradaptasi dalam julat kemasinan yang tinggi (Lokman, 1992). Kewujudan ekosistem muara paya bakau ini menyebabkan pelbagai hasil makanan laut mudah didapati di kawasan perairan tersebut.

Pengkayaan nutrien di muara sungai disebabkan oleh kemasukan bahan organik dari hutan paya bakau seperti sampah sarap, kemasukan nitrogen inorganik dan fosforus dari sisa domestik dan pertanian serta kemasukan karbon organik dari bahan kumbahan ke dalam aliran sungai (Wosten *et al.*, 2003). Kadar penyerapan nutrien ini menentukan sama ada paya bakau di muara merupakan sumber ataupun sinki nutrien bagi sesebuah muara sungai (Wosten *et al.*, 2003).

## **1.2 Aktiviti Antropogen di Hulu hingga Hilir Sungai Pinang**

Penyelidikan yang dijalankan di Sungai Pinang yang terletak dalam daerah Balik Pulau, Pulau Pinang melibatkan kajian antropogen yang bertumpu di bahagian hulu dan tengah sungai hingga ke hilir sungai seterusnya ke laut terbuka (Jadual 3.1 dan Plat 3.1). Hulu sungai merupakan kawasan air tawar dan kawasan tadahan air. Pihak Perbadanan Bekalan Air Pulau Pinang (PBA) telah membina loji takungan air bertujuan menyalurkan sumber bekalan air bersih untuk kegunaan penduduk setempat di sekitar Balik Pulau. Oleh yang demikian, kepentingan pemeliharaan kawasan tersebut perlu dirancang supaya tidak dicemari dan kekal sebagai warisan semulajadi kita. Menurut Wetzel (2001), sungai telah digunakan untuk kepentingan manusia sejak beratus-ratus tahun yang lalu dan kini, hanya tinggal beberapa batang sungai yang masih dalam keadaan semulajadi iaitu tanpa sebarang gangguan aktiviti antropogen. Oleh itu, sebarang kemusnahan daripada aktiviti antropogen di sepanjang sungai akan memberi impak terhadap kualiti air sesebuah sungai.

Sumber air Sungai Pinang berpunca daripada kewujudan mata air di Bukit Laksamana dan Bukit Tiger yang mengalir keluar dari puncak bukit tersebut membentuk aliran-aliran air yang bercabang sehingga mengalir ke hilir sungai. Namun begitu, di sekitar kawasan tadahan air di hulu Sungai Pinang yang terletak di kawasan topografi berbukit-bukau dipenuhi dengan tanaman pokok-pokok durian. Penerokaan kawasan berbukit di sekitar kawasan tadahan bagi pembukaan dusun durian telah berlaku semenjak 30 tahun yang lalu.

Sungai Pinang mengalir melalui kawasan perumahan yang terancang, kawasan kampung-kampung kecil tanpa sistem pembetungan dan kolam akuakultur di sekitar bahagian tengah sungai. Bahan-bahan buangan dari kumbahan tanpa dirawat boleh menjejaskan kualiti air sungai ini jika dibiarkan berlarutan. Ketiadaan sistem rawatan air yang dibina untuk merawat sisa atau bahan buangan kedua-dua aktiviti domestik dan akuakultur ini menyumbang kepada permasalahan air sungai yang semakin hari semakin dicemari.

### **1.3 Kesan Aktiviti Antropogen**

Sungai Pinang adalah sebatang sungai yang tercemar akibat kewujudan aktiviti antropogen seperti pertanian, domestik dan akuakultur. Ketiga-tiga aktiviti antropogen ini terletak berhampiran ataupun di sekitar cabang aliran sungai ini.

### **1.3.1 Pertanian**

Aktiviti pertanian merupakan salah satu punca berlakunya perubahan kualiti dan kuantiti larian air (Richards & Host, 1994). Kesan daripada kewujudan penanaman pokok-pokok durian dan kelapa sawit secara meluas menyebabkan penggunaan baja, herbisid dan pestisid secara berkala dilakukan terutama apabila musim durian berbunga.

Walaupun impak aktiviti antropogen di kawasan yang kecil di hulu sungai, ia berupaya memberi kesan pencemaran yang lebih besar terhadap keseluruhan lembangan sungai sehingga ke hilir sungai (Peters & Meybeck, 2000). Oleh itu, tidak mustahil faktor luaran seperti penggunaan baja dan pestisid (Bellos *et al.*, 2004) untuk tanaman durian di hulu dan tanaman kontan pokok kelapa sawit di tengah Sungai Pinang yang menggunakan keluasan tanah yang besar boleh menyebabkan pencemaran air yang lebih teruk pada masa akan datang.

Baja utama yang biasa digunakan untuk aktiviti pertanian seperti ini ialah nitrogen, fosforus dan kalium (Todd, 1989). Sungguhpun, baja fosforus dan kalium yang digunakan dapat melarut lesap melalui aliran bawah tanah, tetapi jumlahnya adalah sedikit kerana ia dipegang kuat oleh zarah-zarah tanah. Oleh itu, ia jarang menjadi masalah pencemaran terhadap air sungai. Menurut Todd (1989) lagi, hanya sebahagian sahaja daripada baja nitrogen dalam bentuk larutan yang diserap ke dalam tanah dan digunakan oleh tumbuhan. Selebihnya, ia mengalir melalui aliran bawah tanah seterusnya memasuki sistem sungai (Todd, 1989).

Tambahan pula, aplikasi baja terhadap tanah pertanian yang berdekatan dengan aliran sungai menambahkan peluang ia bergerak dengan cepat mengikut aliran sungai melalui proses larut lesap (Peters & Meybeck, 2000) dan juga bergantung kepada jumlah dan kualiti larian air semasa hujan lebat (Ngoye & Machiwa, 2004). Di samping itu juga, racun serangga yang digunakan pada tumbuhan pertanian turut menjadi punca kepada masalah pencemaran air (Hishamudin *et al.*, 1987).

### **1.3.2 Domestik**

Pembuangan sisa-sisa domestik secara terus ke dalam sungai menyebabkan kekeruhan air serta menghasilkan bau yang kurang menyenangkan (Todd, 1989). Berdasarkan kajian Todd (1989), pembuangan secara langsung sisa-sisa domestik ini boleh mengakibatkan peningkatan kepekatan keperluan oksigen biologi ('Biochemical Oxygen Demand', BOD), nitrat, kimia organik dan juga bakteria dalam tanah. Air buangan domestik ini boleh menyebabkan bakteria, virus, kimia tak organik dan kimia organik masuk ke dalam tanah (Todd, 1989) dan menjurus kepada pencemaran sungai.

Di sekitar Sungai Pinang terdapat kawasan perumahan, premis kedai dan restoran. Persekitaran tersebut amat mendukacitakan kerana keadaan air sungai yang keruh dipenuhi sampah-sarap, sisa minyak masakan dan minyak pelincir bot, najis manusia, sisa buangan makanan dan sebagainya dilihat terapung-apung di permukaan air sungai berkenaan. Pembinaan perumahan yang tidak terancang tanpa sistem rawatan air menyebabkan bahan buangan dari aktiviti domestik disalur secara terus ke sistem sungai (Wan Maznah, 2002).

### **1.3.3 Akuakultur**

Bahan buangan akuakultur yang mengandungi lebihan pelet yang tidak dimakan, urin dan najis haiwan boleh menyebabkan keadaan eutrofikasi akibat daripada kandungan nutrien nitrat dan fosforus yang tinggi (Defur & Rader, 1995; Taufik, 2000). Selain itu, pengurangan oksigen dan biodiversiti ikan boleh menggugat aktiviti perikanan oleh nelayan daripada segi kuantitatif dan kualitatif (Kautsky *et al.*, 2001).

Kawasan kolam akuakultur biasanya terletak antara 2 hingga 20 hektar dari pinggir muara paya bakau (Sasekumar, 2000). Kolam akuakultur merupakan faktor utama yang menyumbang kepada kemusnahan ekosistem paya bakau (Todd, 1989). Pembukaan dan pembinaan sektor akuakultur telah memusnahkan sebanyak 64% daripada keluasan paya bakau bagi negeri Pulau Pinang sepanjang tempoh 1973 hingga 2004 (SAM, 2004) akibatnya menjurus kepada kehilangan habitat fauna.

### **1.4 Kajian di Sungai Pinang**

Kajian ini menekankan tahap kualiti air Sungai Pinang yang menerima impak daripada aktiviti antropogen yang wujud di sepanjang dan sekitar kawasan kajian. Kawasan kajian ini bermula dari kawasan tadahan air terjun Titi Kerawang sehinggalah mengalir ke laut terbuka.

Lembangan Sungai Pinang di bahagikan kepada tiga bahagian iaitu hulu, tengah dan hilir sungai. Hulu sungai iaitu di kawasan rekreasi air terjun Titi Kerawang menjadi kawasan tadahan air untuk memenuhi keperluan air penduduk di sekitar daerah Balik

Pulau. Kawasan tengah sungai merupakan kawasan yang pesat dengan aktiviti pertanian, kawasan domestik dan perindustrian akuakultur. Hanya beberapa batang pokok paya bakau kelihatan di sepanjang pinggir bahagian tengah sungai. Kawasan hilir sungai berhampiran dengan bukaan muara paya bakau dan lautan terbuka yang terletak kira-kira 0.5 km dari muara Sungai Pinang.

Parameter fizikal dalam kajian ini yang diukur adalah pH, jenis pasang surut (pasang anak atau pasang perbani), suhu, kedalaman sungai dan jumlah pepejal terampai ('Total Suspended Solids', TSS). Parameter kimia yang diukur adalah BOD<sub>5</sub>, oksigen terlarut, konduktiviti, saliniti, ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dan orto-fosfat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Kandungan nutrien sepanjang Sungai Pinang ini berubah-ubah dari hulu hingga hilir bergantung kepada punca air tersebut, bahan buangan yang dihasilkan oleh aktiviti antropogen yang berdekatan dengan kawasan tersebut selain daripada beberapa faktor luaran seperti jumlah hujan, tindakan mikroorganisma, sedimentasi, bentuk muka bumi, topografi dan sebagainya.

Data penyelidikan yang diperolehi daripada kajian di Sungai Pinang dianalisis dengan menggunakan kaedah statistik daripada perisian SPSS 15.0. Kaedah statistik yang diterapkan dalam kajian ini adalah Analisis Varians ('Analysis of Variance', ANOVA) satu hala iaitu dengan menggunakan bahagian sungai (hulu, tengah dan hilir) sebagai faktor. Selain itu, kaedah analisis ujian-t sampel tidak bersandar digunakan untuk membuat bandingan setiap parameter dengan permukaan dan dasar sungai, keadaan air surut dan pasang, jenis pasang perbani dan pasang anak serta perbezaan musim hujan dan musim kering.

Selain daripada itu, data tersebut juga dianalisis dan diaplikasikan dengan menggunakan pendekatan pemodelan persekitaran dinamakan ‘Non-supervised Artificial Neural Network’ (ANN) yang didapati daripada perisian MATLAB 6.5. ANN digunakan untuk mengenalpasti bahagian sungai yang dicemari daripada taburan data parameter fizikal dan kimia yang mana merupakan faktor utama menyumbang kepada pencemaran air di Sungai Pinang.

### **1.5 Objektif Kajian**

Dalam kajian ini beberapa objektif disasarkan untuk mengetahui setakat mana impak aktiviti antropogen memberi kesan terhadap kualiti air sungai ini. Oleh yang demikian, objektif kajian ini adalah untuk:

1. Mengkaji impak aktiviti antropogen dan faktor yang berkaitan terhadap parameter kualiti air di sepanjang lembangan Sungai Pinang.
2. Melihat pengaruh pasang surut terhadap taburan parameter kualiti air Sungai Pinang.
3. Menentukan taburan nutrien di Sungai Pinang dengan mengaplikasi ‘Non-supervised Artificial Neural Network’ (ANN).

## **BAB 2.0 - TINJAUAN BACAAN**

### **2.1 Latar Belakang dan Ciri-ciri Kawasan Tadahan Air**

Secara amnya, kawasan tadahan air berpunca daripada mata air yang membentuk aliran anak-anak sungai di puncak bukit. Pembentukan sungai menjadi lebih besar dan luas semakin ia mengalir menuju ke laut. Segala permasalahan pencemaran air yang berlaku di bahagian tengah dan hilir sungai berkait rapat dengan keadaan persekitaran di bahagian hulu sungai. Sungai dan kawasan tadahannya merupakan bahagian yang sangat penting sebagai warisan semulajadi (Wetzel, 2001).

Sebarang pengubahsuaian ciri-ciri kawasan tadahan air termasuk kawasan sekitarnya oleh aktiviti penerokaan dan pembangunan kawasan hutan (Anderson *et al.*, 2001; Yan *et al.*, 2005; Lehrter, 2006) pertanian, sektor perindustrian dan perbandaran (Richards & Host, 1994; JAS, 2007) di hulu sungai boleh menjejaskan kualiti air daripada segi eksport nitrogen ke dalam aliran sungai di hilir (Anderson *et al.*, 2001; Yan *et al.*, 2005; Merseburger *et al.*, 2005; Lehrter, 2006). Sehubungan dengan itu, pengubahsuaian bentuk muka bumi dan perubahan yang bersangkutan paut dengan vegetasi bukan sahaja mengubah keseimbangan aliran air malah ia juga mempengaruhi keseluruhan proses kawalan kualiti air (Peters & Meybeck, 2000).

Selain daripada itu, pembangunan sosioekonomi, kekurangan alat sanitasi dan kemudahan sistem rawatan bahan buangan di negara membangun yang mempunyai populasi penduduk yang tinggi turut menyebabkan pencemaran air sungai (Peters & Meybeck, 2000). Penggunaan gas, aerosol dan pelbagai bahan kimia lain dalam

atmosfera yang memasuki aliran sungai melalui tindakan hujan berkemungkinan memberi kesan toksik terhadap sesebuah kawasan tadahan air sehinggakan sumber air tersebut tidak lagi bersih digunakan oleh manusia (Peters & Meybeck, 2000).

Sebarang perubahan yang berlaku di kawasan tadahan air oleh impak aktiviti antropogen ataupun fenomena semulajadi berpotensi mengakibatkan perubahan secara tidak langsung terhadap ekosistem muara sungai (Dauer *et al.*, 2000).

## **2.2 Impak Aktiviti Antropogen di Pinggir Sungai**

Dari dahulu sehingga ke hari ini, aktiviti pembangunan sering diwujudkan di pinggir-pinggir sungai. Rentetan daripada keadaan tersebut, banyak kemusnahan ekosistem di pinggir sungai dilakukan bagi memenuhi kehendak masyarakat yang inginkan pembangunan. Hasil daripada kemusnahan di pinggir sungai mengakibatkan kualiti air sungai dan ekosistem sungai terjejas secara keseluruhannya.

Sungai Pinang adalah satu contoh di mana kawasan paya bakaunya tertumpu di kawasan tengah dan hilir sungai. Kawasan tersebut dibangunkan menjadi kawasan domestik dan sebahagiannya dibuka menjadi kolam akuakultur. Contohnya di Pulau Pinang hanya tinggal seluas 1,400 hektar paya bakau pada tahun 2004 berbanding 3,900 hektar pada tahun 1973 disebabkan masalah yang sama (SAM, 2004). Pembukaan kolam akuakultur dan kawasan domestik (SAM, 2004; Schaffelke *et al.*, 2005), pembinaan pelabuhan, kemudahan lapangan terbang, perindustrian dan juga kawasan pertanian (Ong, 1982) menyumbang kepada kemusnahan paya bakau di pinggir muara sungai.

Kemusnahan ini menyebabkan kehilangan habitat, fauna, flora dan proses hakisan di persisiran pantai atau sedimentasi (Esam Ahmad, 1998). Kesan pembangunan ini menyebabkan struktur tanah yang tidak stabil, kemerosotan kualiti air secara nyata dan kehilangan habitat utama di kawasan persisiran marin (Schaffelke *et al.*, 2005).

Paya bakau secara alamiahnya merupakan tempat pembuangan sampah secara haram, bahan buangan dari sektor akuakultur dan perindustrian (Clark, 1998) serta dijadikan tempat buangan kumbahan (Clough *et al.*, 1983; Clark, 1998).

### **2.3 Hasil Kajian Terhadap Pencemaran Sungai**

Di Malaysia, muara sungai bertindak sebagai tempat penyaluran sisa perindustrian, bahan kumbahan, bahan kimia pertanian dan bahan buangan akuakultur. Berdasarkan Laporan Kualiti Alam Sekeliling (JAS, 2007), kawasan tempat pembuangan sampah pepejal, tempat pembuangan bahan radioaktif, kawasan pedalaman, tapak bekas lombong, kawasan penanaman bangkai haiwan dan kawasan pelancongan juga menyumbang kepada pencemaran aliran air bawah tanah dan sungai di Malaysia.

Pelbagai aktiviti antropogen yang dijalankan di sekitar sungai juga turut mengakibatkan masalah pencemaran dan ketoksikan air di hilir sungai. Keadaan berterusan seperti ini boleh menjejaskan kelestarian ekosistem di kawasan muara paya bakau dan pantai sebagai kawasan terakhir dalam pengaliran sesebuah sungai (Ahyaudin, 2000). Kajian Sidik *et al.* (2008) menyatakan banyak perairan muara dan

pinggir pantai mengalami pengkayaan kepekatan nutrien sejak 40 tahun yang lalu kerana dipengaruhi oleh aktiviti antropogen di sekitarnya.

Pada tahun 2007, sebanyak tujuh lembangan sungai dilaporkan paling tercemar di Malaysia iaitu lembangan Sungai Pinang (Georgetown) dan Sungai Juru di Pulau Pinang, Sungai Merlimau di Melaka manakala, Sungai Dangga, Sungai Segget, Sungai Kawasan Pasir Gudang dan Sungai Tebrau di Johor (JAS, 2007). Lembangan sungai ini diklasifikasikan sebagai sungai yang paling tercemar berdasarkan Indeks Kualiti Air ('Water Quality Index', WQI) untuk enam parameter iaitu oksigen terlarut, BOD, keperluan oksigen kimia ('Chemical Oxygen Demand', COD), ammonium, pepejal terampai dan pH (JAS, 2007). WQI yang digunakan untuk menilai dan menentukan sesebuah sungai itu bersih adalah seperti berikut; oksigen terlarut ( $> 7$  mg/L), BOD ( $< 1$  mg/L), COD ( $< 10$  mg/L), ammoniakal-nitrogen ( $< 0.1$  mg/L), pepejal terampai ( $< 25$  mg/L) dan pH ( $> 7$ ) seperti yang terkandung dalam Piawaian Kualiti Air Kebangsaan bagi Malaysia (JAS, 2007).

Jadual 2.1 menunjukkan kualiti air sungai di Malaysia berada dalam paras membimbangkan bermula dari tahun 1993 dengan 11 batang sungai yang direkodkan tercemar, sebanyak 35 batang sungai sedikit tercemar dan 48 batang sungai dilaporkan bersih daripada 90 batang sungai yang dikaji. Kemerostan kualiti air sungai diperhatikan berlaku sekitar tahun 1997 dengan 25 batang sungai didapati tercemar. Ini adalah satu peningkatan sekali ganda dari tahun sebelumnya.

Jadual 2.1 Status kualiti air di sungai-sungai terpilih di Malaysia berdasarkan Indeks Kualiti Air (WQI) 1990 – 2007

Tahap Kualiti Air	Bilangan Sungai Tahun																	
	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07
Bersih	48	37	25	32	38	48	42	24	33	35	34	60	63	59	58	80	80	91
Sedikit tercemar	35	44	55	73	64	53	61	68	71	72	74	47	43	52	53	51	59	45
Tercemar	7	6	7	11	14	14	13	25	16	13	12	13	14	9	9	15	7	7
Jumlah diawasi	90	87	87	116	116	115	116	117	120	120	120	120	120	120	120	146	146	143

*Sumber: Jabatan Alam Sekitar (JAS, 2007)*

Pemantauan kebersihan sungai diperluaskan lagi dengan mengkaji sebanyak 146 batang sungai pada tahun 2005. Daripada jumlah tersebut, sebanyak 80 batang sungai telah dikenalpasti bersih, 51 batang sungai sedikit tercemar dan 15 batang sungai tercemar daripada 146 batang sungai yang dipantau. Dalam kajian tersebut, bilangan sungai yang didapati tercemar semakin berkurangan pada tahun-tahun berikutnya (Jadual 2.1).

### 2.3.1 Impak Aktiviti Pertanian

Antara aktiviti pertanian yang terdapat di sepanjang dan sekitar kawasan Sungai Pinang adalah dusun buah-buahan, kebun sayur-sayuran dan ladang kelapa sawit. Kewujudan aktiviti pertanian yang semakin berleluasa di bahagian hulu kawasan tadahan air merupakan salah satu punca pencemaran air sungai secara keseluruhannya (Piscart *et al.*, 2009).

Penggunaan baja dalam pertanian telah bermula sejak tahun 1874 (Dermott, 1979). Pada waktu itu, kandungan nutrien fosforus dan kalium dalam penghasilan baja tidak banyak berubah sehingga kini. Walau bagaimanapun, kuantiti nitrogen yang

digunakan semakin meningkat secara berterusan mengikut perubahan masa dan keperluan sesuatu tumbuhan (Dermott, 1979).

Berdasarkan kajian-kajian sebelum ini, peningkatan nutrien nitrogen (Arheimer & Linden, 2000; Castillo *et al.*, 2000; Goolsby *et al.*, 2000, Bramly & Roth, 2002) dan fosforus (Fisher *et al.*, 2000; Bramly & Roth, 2002; Schaffelke *et al.*, 2005) dari larut lesap aktiviti pertanian boleh menyebabkan pencemaran terhadap sumber air minuman dan eutrofikasi di permukaan air sungai (Gomann *et al.*, 2004). Pembajaan pokok durian perlu dilakukan tiga atau empat kali setahun dan jumlah baja yang diperlukan adalah daripada 9 – 40 kg baja organik yang berunsur nitrogen (N), fosforus (P) dan kalium (K) untuk setiap pokok per tahun (PPDM, 2010). Tanaman pokok kelapa sawit memerlukan baja sebanyak 1.2 kg N, 0.4 kg P dan 2.0 kg K untuk setiap pokok setahun bagi menggalakkan pertumbuhan pokok dan penghasilan buah (Hishamudin *et al.*, 1987).

Kandungan pestisid yang tinggi dalam air boleh menyebabkan keadaan air sungai bertoksik dan berlaku pengurangan kandungan oksigen dalam air sungai (Griffin *et al.*, 1979). Di samping memberi kesan karsinogen dan mutagen terhadap hidupan akuatik di muara sungai, ia mampu menyebabkan kesan penyakit jangka panjang kepada manusia (Dermott, 1979).

### **2.3.2 Impak Aktiviti Domestik**

Penempatan manusia biasanya bermula di pinggir sungai seperti di muara-muara sungai. Masyarakat yang menetap di kawasan ini boleh menimbulkan masalah pencemaran air sungai seperti penggunaan detergen, bahan makanan, minyak, urin, najis (Jothy, 1976, Wan Maznah, 2002; Schaffelke *et al.*, 2005) pemendapan, hakisan dan kesihatan awam (Ahyaudin, 2000). Pembuangan secara terus dari kawasan perbandaran merupakan penyumbang utama terhadap pencemaran di Sungai Pinang, Georgetown (Wan Maznah, 2002). Punca masalah ini disebabkan penggunaan tanah seperti kawasan domestik, industri kecil dan gudang-gudang yang terdapat di sebahagian kawasan muara sungai (Wan Maznah, 2002).

Kehadiran lumpur dan pembuangan sampah sarap secara haram ke sungai, sisa domestik dan pepejal yang tak terurai oleh penduduk yang menetap di sepanjang sungai mengakibatkan keadaan sungai menjadi cetek dan sempit sehingga menjejaskan pengaliran air sungai (Wan Maznah, 2002).

Peningkatan kepekatan bahan nutrien domestik yang disalurkan ke dalam sistem sungai boleh meningkatkan masalah eutrofikasi di perairan laut (Ahyaudin, 2000). Goldberg (1976) dalam kajiannya melapor bahawa bahan boleh larut seperti bahan buangan najis yang disalurkan ke sungai telah dikenalpasti boleh dibawa sejauh 10 kilometer dari tempat ia dilepaskan bergantung kepada kuantiti dan pasang surut air laut.

### **2.3.3 Impak Aktiviti Akuakultur**

Bahan buangan dari kolam udang yang mengandungi nitrat dan fosforus boleh menimbulkan masalah eutrofikasi dalam air dan peningkatan pepejal terampai (Defur & Rader, 1995; Taufik, 2000). Bahan buangan dari kolam akuakultur mengeluarkan bahan kimia bertoksik, kehadiran parasit, antibiotik, bahan organik dan mendorong penularan penyakit melalui air sungai (Kautsky *et al.*, 2001; SAM, 2004).

Di samping itu, bahan buangan yang mengandungi lebihan pelet yang tidak dimakan, urin dan najis ternakan menghasilkan pencemaran organik dan kepekatan nutrien yang tinggi terhadap sungai dan menjurus kepada pengurangan kandungan oksigen terlarut dalam sistem sungai (Kautsky *et al.*, 2001 dan SAM, 2004). Impak daripada keadaan itu, biodiversiti ikan akan berkurangan seterusnya menggugat kuantiti dan juga kualiti hasil tangkapan para nelayan menerusi aktiviti perikanan (Kautsky *et al.*, 2001).

## **2.4 Parameter Fizikal Air Sungai**

### **2.4.1 Suhu**

Suhu air tawar di hulu sungai beriklim tropika adalah dalam lingkungan 25°C hingga 29°C (Dudgeon, 2008). Persekitaran yang menerima haba daripada cahaya matahari dapat mempengaruhi peningkatan suhu air sungai dan laut di sesebuah kawasan secara langsung (Sanderson dan Taylor, 2003). Walau bagaimanapun, kawasan yang terdedah dengan cahaya matahari di kawasan pasang surut mampu memindahkan

haba secara tidak langsung ke persekitaran perairan pinggir pantai (Sanderson & Taylor, 2003).

Selain daripada itu, julat tahunan bagi suhu air secara keseluruhannya bergantung kepada perubahan latitud, kelembapan udara, saiz kawasan perairan dan jarak yang menghampiri perairan di persisiran pantai (Lokman, 1992; Dudgeon, 2008). Persekitaran yang dilitupi pokok-pokok atau hutan memberikan nilai suhu yang lebih rendah berbanding dengan persekitaran yang terdedah atau di tempat yang terbuka yang mempunyai suhu persekitaran yang lebih tinggi (Ngoye & Machiwa, 2004; Dudgeon, 2008). Nilai suhu air juga berkait rapat dengan perubahan kandungan oksigen yang dipegang dalam kolum air (Lokman, 1992; Dudgeon, 2008).

#### **2.4.2 pH**

Nilai pH yang optimum untuk sumber air minuman di bawah piawai Organisasi Kesihatan Sedunia ('World Health Organization', WHO) antara 6.5 – 9.5 (WHO, 2008) manakala dalam Interim Kebangsaan Piawai Kualiti Air untuk Malaysia ('Interim National Water Quality Standards for Malaysia', INWQSM) adalah 6.5 – 8.5 (JAS, 2008).

pH air sungai rendah semasa musim kering manakala peningkatan nilai pH berlaku pada musim hujan (Akpan, 2004; Uzoukwu *et al.*, 2004). Paras keasidan air sungai boleh dipengaruhi oleh aktiviti pembuangan sampah-sarap dari kawasan domestik (Akpan, 2004; Mendiguchia *et al.*, 2007), kemasukan bahan buangan berasid dan

penggunaan baja untuk pertanian (Karuppiah & Gupta, 2006; Sanjay Kumar *et al.*, 2006).

### **2.4.3 Jumlah Pepejal Terampai ('Total Suspended Solids', TSS)**

Secara amnya, kepekatan TSS lebih rendah di hulu berbanding dengan bahagian tengah dan hilir sungai. Ciri-ciri dasar sungai yang berselut dan berlumpur di tengah dan hilir sungai mempengaruhi peningkatan kepekatan TSS di kedua-dua bahagian sungai tersebut. Keadaan ini berbeza dengan struktur dasar di hulu sungai yang berpasir serta merekodkan kepekatan TSS yang lebih rendah.

Berdasarkan kajian Sanderson dan Taylor (2003) ketika sungai mengalami air surut, kepekatan TSS paling tinggi disebabkan oleh bahan buangan sedimen terampai yang terhasil dari saluran air kawasan pertanian. Kepekatan TSS dalam kolom air berpunca daripada pergolakan dari dasar sungai semasa air pasang (Sanderson & Taylor, 2003). Musim hujan menunjukkan peningkatan TSS (Costanzo *et al.*, 2003; Akpan, 2004; Sanjay Kumar *et al.*, 2006; Mendiguchia *et al.*, 2007) dengan kehadiran kelodak dan bahan organik yang dibawa oleh aliran sungai (Akpan, 2004) jika dibanding dengan musim kering.

Kemasukan air laut ke muara sungai (Mendiguchia *et al.*, 2007) dan bahan buangan daripada lebihan bahan makanan yang berlebihan dari kolam ternakan udang dan ikan (Macintosh & Phillips, 1992) adalah antara faktor peningkatan TSS. Hasil kajian oleh Jones *et al.* (2001), menunjukkan bahawa kepekatan TSS adalah tinggi dalam bahan buangan dari kolam akuakultur berbanding sisa kumbahan dari

domestik. TSS meningkat apabila pH (Sanderson & Taylor, 2003; Mendiguchia *et al.*, 2007), saliniti (Sanderson & Taylor, 2003) dan oksigen terlarut (Mendiguchia *et al.*, 2007) menurun pada paras minimum.

## **2.5 Parameter Kimia Air Sungai**

### **2.5.1 Oksigen Terlarut**

Oksigen yang terlarut di dalam air terhasil daripada proses percampuran oksigen di udara dengan air di bahagian permukaan air sungai. Proses fotosintesis oleh fitoplankton juga menghasilkan oksigen terlarut (Lokman, 1992).

Oksigen yang terlarut dalam air juga dipengaruhi oleh suhu, kemasinan, altitud dan kawasan sesebuah perairan (Lokman, 1992). Paras kandungan oksigen terlarut yang rendah boleh menyebabkan tekanan dan kesesakan nafas terhadap hidupan akuatik (Lokman, 1992). Kandungan oksigen yang rendah atau dalam istilah sains hipoksia ('hypoxia') terjadi disebabkan kewujudan peningkatan bakteria dan juga plankton yang banyak dalam air (Lindenschmidt *et al.*, 1998; Lindenschmidt *et al.*, 2009). Sungai mengalami masalah hipoksia kerana tahap BOD yang tinggi disebabkan peningkatan kandungan sedimen dari aliran perbandaran dan sisa kumbahan (Dauer *et al.*, 2000).

Kajian Dauer *et al.* (2000) mendapati kepekatan oksigen yang rendah berkorelasi dengan kepadatan penduduk ( $r = 0.7$ ) dan aktiviti guna tanah ( $r = 0.7$ ) tetapi ia tidak menunjukkan korelasi dengan kemuatan nutrien. Kajian ini menjelaskan bahawa