

PENGGUNAAN ALGA PERIFITON DI DALAM  
PENILAIAN STATUS KUALITI AIR LEMBANGAN  
SUNGAI PINANG

Oleh

WAN MAZNAH WAN OMAR

Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi Ijazah

Doktor Falsafah

Julai 2002

## Penghargaan

Saya ingin merakamkan jutaan terima kasih kepada pihak Universiti Sains Malaysia (USM) kerana membiayai pengajian saya di bawah Skim Latihan Kakitangan Akademik (SLAB). Penghargaan yang tidak terhingga ditujukan kepada Penyelia Utama saya, Prof. Mashhor Mansor, yang banyak memberikan semangat, nasihat, bimbingan dan kritikan yang membina bagi menghasilkan tesis dan beberapa penerbitan yang bermutu sepanjang projek penyelidikan saya. Kepada Prof. Ho Sinn Chye selaku Penyelia bersama saya, terimakasih diucapkan di atas segala tunjukajar dan bimbingan yang diberikan.

Saya juga berterimakasih kepada Prof. F. E. Round dari University of Bristol, UK, kerana membantu pengecaman diatom (*Psammothidium bioretii*, *Cocconeis placentula*, *Achnanthes oblongella*). Beliau juga banyak memberikan komen dan idea bernas berkenaan penggunaan diatom di dalam penilaian kualiti air Lembangan Sg. Pinang. Pengecaman diatom juga dibantu oleh Dr. Paul M. Stewart dari U. S. Geological Survey (*Eunotia monodon* var. *alpina*, *Achnanthes exigua* dan *Pinnularia biceps*). Ribuan terimakasih juga ditujukan kepada Dr. Masafumi Iima dari Universiti Nagasaki, Jepun kerana kesudian beliau mengenalpasti alga berfilamen (*Oscillatoria curviceps* var. *minor*, *Mougeotia* sp., *Chaetomorpha* sp. dan *Tribonema bombycinum*).

Kepada Prof. Madya Dr. Misni Surip dan Prof. Madya Dr. Yahya M. Nor, terima kasih saya ucapkan kerana membenarkan saya menggunakan bahan-bahan kimia dan peralatan makmal bagi analisis kualiti air. Saya juga terhutang budi kepada kakitangan P. P. Sains Kajihayat, USM, terutama En. Ismail Sadin, En. Ganesan

Muthaiya, En. Su'aid Ideris, En. M. Kalimuthu, Cik Jamilah, En. Adrian dan lain-lain, yang namanya tidak tercatat di sini di atas kerjasama dan pertolongan yang diberikan. Saya juga amat menghargai sokongan moral dan semangat yang diberikan oleh para pensyarah PPS Kajihayat. Kepada rakan-rakan seperjuangan, Hasmah Abdullah, Hazlan, Carmen, Wan Azrai (Jigong), Jongkar, Sharifah Nora, galakan dan bantuan yang diberikan tidak akan dilupakan.

Kepada pihak Jabatan Pengairan dan Saliran Pulau Pinang, berbanyak terima kasih saya ucapkan kerana kerjasama yang telah diberikan, terutama berkenaan dengan data hujan dan maklumat tentang Lembangan Sg. Pinang. Jabatan Alam Sekitar Pulau Pinang juga banyak membantu di dalam menjayakan projek penyelidikan ini.

Paling istimewa, penghargaan saya tujukan buat suami tersayang, Mohd Bajuri yang banyak membantu bukan sahaja dari segi moral, malah dari segi teknikal, sehingga tesis ini dapat disiapkan. Kepada anak-anak, Amanina, Afnan dan Hanani, terima kasih kerana memahami kerjaya umi, walaupun penyiapan tesis ini banyak mencuri masa kita bersama. Tidak lupa juga kepada keluarga tercinta, mak dan ayah, yang tidak pernah jemu memberikan semangat dan dorongan untuk terus maju. Semoga Allah memberkati dan melindungi kalian semua.

*Wan Maznah Wan Omar*

<b>Kandungan</b>	<b>Muka surat</b>
PENGHARGAAN	ii
KANDUNGAN	iv
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI RAJAH	xiv
SENARAI PLAT	xviii
SENARAI LAMPIRAN	xx
SENARAI ISTILAH	xxi
RINGKASAN KATA	xxiv
ABSTRAK	xxv
ABSTRACT	xxviii
<b>BAB I      PENGENALAN AM</b>	
1.1    Pendahuluan	1
1.2    Pemantauan Biologi	5
1.3    Objektif Kajian	13
<b>BAB II      TINJAUAN LITERATUR</b>	
2.1    Pendahuluan	15
2.2    Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan komuniti perifiton	20
<b>BAB III     MAKLUMAT TENTANG KAWASAN KAJIAN               DAN STESEN PERSAMPELAN</b>	
3.1    Geologi dan Topografi	27
3.2    Iklim	29
3.3    Vegetasi	32
3.4    Guna Tanah dan Sosio-ekonomi	33

3.5	Penduduk dan Aktiviti Pembangunan	35
3.6	Pengkelasan Sungai Berdasarkan Guna Tanah, Hidrologi dan Ciri-ciri Sosio-ekonomi	43
3.7	Punca Pencemaran dan Beban	40
3.8	Isu dan Masalah	45
3.9	Maklumat tentang stesen persampelan	
3.9.1	Kriteria Pemilihan Tapak Kajian	48
3.9.2	Tinjauan morfologi keratan rentas sungai, halaju arus dan luahan	53
3.9.3	Stesen A- Sungai Air Terjun	55
3.9.4	Stesen B- Sungai Air Terjun	56
3.9.5	Stesen C- Sungai Air Itam	57
3.9.6	Stesen D - Sungai Air Itam	58
3.9.7	Stesen E - Sungai Air Itam	59
3.9.8	Stesen F - Sungai Pinang	60
3.9.9	Stesen G - Sungai Pinang	61
3.9.10	Stesen H - Sungai Pinang	63
3.9.11	Stesen I - Sungai Dondang	64
3.9.12	Stesen J - Sungai Dondang	65
3.9.13	Stesen K - Sungai Dondang	66
3.9.14	Stesen L - Sungai Jelutong	67

#### BAB IV KUALITI AIR DI LEMBANGAN SUNGAI PINANG

4.1	Pengenalan	68
4.2	Bahan dan Kaedah	

4.2.1	Pengutipan sampel	72
4.2.2	Pemerhatian 24 jam di stesen berhampiran muara	74
4.2.3	Analisis fisiko-kimia	76
4.2.4	Analisis Statistik	83
4.2.5	Indeks Kualiti Air (IKA)	85
4.3	Keputusan	
4.3.1	Kualiti air dari segi ruang dan masa	85
4.3.2	Fisiko-kimia muara	110
4.4	Perbincangan	
4.4.1	Keadaan kualiti air di Lembangan Sg. Pinang	118
4.4.2	Kualiti air di bahagian muara	126
4.5	Kesimpulan	130
BAB V	KOMUNITI ALGA PERIFITON DI LEMBANGAN SUNGAI PINANG	
5.1	Pengenalan	131
5.2	Bahan dan Kaedah	
5.2.1	Persampelan alga perifiton	
5.2.1.1	Substrat buatan	134
5.2.1.2	Substrat semulajadi	140
5.2.2	Penyediaan sampel	142
5.2.3	Pengecaman dan penghitungan sel alga	143
5.2.4	Analisis statistik	146

5.3	Keputusan	
5.3.1	Kehadiran alga perifiton pada substrat buatan (slaid kaca)	146
5.3.2	Kehadiran alga perifiton pada substrat semulajadi	163
5.4	Perbincangan	174
5.5	Kesimpulan	181
BAB VI	BIOJISIM PERIFITON DAN HUBUNGANNYA DENGAN KUALITI AIR DI LEMBANGAN SUNGAI PINANG	
6.1	Pengenalan	182
6.2	Bahan dan Kaedah	
6.2.1	Penentuan klorofil <i>a</i>	184
6.2.2	Penentuan Berat Kering Tanpa Abu (BKTA)	185
6.2.3	Indeks Autotrof (IA)	186
6.2.4	Analisis statistik	186
6.3	Keputusan	
6.3.1	Klorofil <i>a</i>	187
6.3.2	Berat Kering Tanpa Abu (BKTA)	194
6.3.3	Kadar Pengeluaran Bersih	196
6.3.4	Indeks Autotrof (IA)	198
6.4	Perbincangan	200
6.5	Kesimpulan	208

BAB VII	KOMUNITI DIATOM SEBAGAI PENUNJUK KUALITI AIR DI LEMBANGAN SUNGAI PINANG	
7.1	Pengenalan	209
7.2	Bahan dan Kaedah	212
7.2.1	Indeks Kepelbagaian	213
7.2.2	Indeks Kesamaan Sorensen	215
7.2.3	Indeks Saprob	215
7.2.4	Analisis statistik	217
7.3	Keputusan	218
7.4	Perbincangan	238
7.5	Kesimpulan	251
BAB VIII	PERBINCANGAN DAN KESIMPULAN	252
	RUJUKAN	261
	LAMPIRAN	292



## Senarai Jadual

Jadual 1.1	Sifat alga dan penunjuk yang berkaitan yang biasa digunakan di dalam pemantauan biologi	8
Jadual 3.1	Taburan guna tanah di Sungai Pinang 1992/93 yang dipetik daripada DOE (1999)	34
Jadual 3.2	Pengkelasan pencemaran sungai-sungai di Lembangan Sungai Pinang yang berdasarkan taraf guna tanah dan order sub-lembangan Strahler yang dipetik dari DOE (1999)	40
Jadual 3.3	Beban BOD buangan domestik bagi daerah Timur Laut yang dipetik daripada GEC (1999)	42
Jadual 3.4	Ciri-ciri efluen dari kilang memproses getah SMR, seperti yang dilaporkan oleh GEC (1999).	44
Jadual 3.5	Senarai industri utama yang menghasilkan efluen (punca bertitik) di Lembangan Sungai Pinang.	44
Jadual 4.1	Nilai Indeks Kualiti Air (IKA) bagi setiap stesen persampelan di sepanjang Lembangan Sungai Pinang.	88
Jadual 4.2	Keputusan ANOVA dua-hala bagi data kualiti air di antara dua belas stesen persampelan dan 24 bulan kajian.	89
Jadual 4.3	Ujian- <i>t</i> tidak berpasangan untuk menentukan perbezaan parameter kualiti air di antara musim	91

kemarau dan hujan.

Jadual 4.4	Nilai rho Analisis Urutan taraf pekali korelasi Spearman di antara parameter kualiti air yang diukur di sepanjang Lembangan Sg. Pinang	92
Jadual 4.5	Min kepekatan logam ( $\mu\text{g/g} \pm \text{s.e}$ ) di setiap stesen persampelan (bilangan sampel, $n = 20$ ).	100
Jadual 4.6.	Keputusan ANOVA dua-hala bagi data kepekatan logam di dua belas stesen di sekitar Lembangan Sungai Pinang.	101
Jadual 4.7	Nilai- $F$ antara -kumpulan dan kesignifikanan yang didapati dari densiti pada slaid kaca di sepanjang Lembangan Sg. Pinang di penghujung langkah akhir analisis pembezaalayan (Perbandingan Kumpulan Pasangan)	105
Jadual 4.8	Purata nilai parameter fisiko-kimia ( $\pm \text{s.e}$ ) yang diukur bagi 8 keadaan kitar pasang surut di 4 stesen berhampiran muara.	111
Jadual 4.9	Keputusan ANOVA dua-hala bagi data kualiti air di empat stesen berdekatan muara Lembangan Sungai Pinang.	113
Jadual 4.10	Ujian- $t$ tidak berpasangan bagi menentukan perbezaan parameter fisiko-kimia antara sampel permukaan dan dasar semasa keadaan air pasang surut- tinggi.	115
Jadual 5.1	Spesies bukan diatom yang dijumpai pada	147

	substrat semulajadi dan substrat buatan (slaid kaca) di Lembangan Sungai Pinang	
Jadual 5.2.	Senarai taksa diatom yang didapati pada substrat buatan (slaid kaca) di 12 stesen persampelan di Lembangan Sungai Pinang	149
Jadual 5.3	Kelimpahan relatif taksa perifiton yang didapati pada slaid kaca di 12 stesen persampelan sepanjang Sungai Pinang.	152
Jadual 5.4	Senarai spesies diatom dengan nilai indeks kepentingan spesies melebihi 1.0 yang didapati dari slaid kaca di Lembangan Sungai Pinang	154
Jadual 5.5	Senarai spesies bukan-diatom dengan nilai indeks kepentingan spesies melebihi 1.0 yang didapati dari slaid kaca di Lembangan Sungai Pinang	156
Jadual 5.6	Kelimpahan relatif alga diatom pada substrat buatan (slaid kaca di stesen A, B, C, D, F dan G), substrat batu dan pasir serta sedimen .	164
Jadual 5.7	Kelimpahan relatif alga bukan diatom pada substrat buatan (slaid kaca di stesen A, B, C, D, F dan G), substrat batu dan pasir serta sedimen.	168
Jadual 5.8.	Kelimpahan relatif alga pada substrat batu, pasir dan sedimen	170
Jadual 5.9	Ujian-t tidak berpasangan untuk menentukan perbezaan densiti alga perifiton antara slaid	171

	kaca dan substrat semulajadi	
Jadual 6.1	Data bukan-taksonomi alga perifiton (n = 144) di Lembangan Sg. Pinang	191
Jadual 6.2	Keputusan ANOVA dua-hala bagi densiti, klorofil $\alpha$ , berat kering tanpa abu (BKTA), kadar pengeluaran bersih dan indeks autotrof perifiton pada slaid kaca di sekitar Lembangan Sg. Pinang	192
Jadual 6.3	Ujian- $t$ tidak berpasangan untuk menentukan perbezaan densiti, biojisim dan indeks autotrof alga perifiton pada slaid kaca di antara musim kemarau dan hujan	193
Jadual 6.4	Nilai rho Analisis Korelasi Spearman di antara biojisim alga perifiton, dengan parameter persekitaran serta densiti alga	195
Jadual 7.1	Nilai indeks Saprob bagi setiap stesen di Lembangan Sungai Pinang	219
Jadual 7.2	Perhubungan di antara beberapa spesies diatom dengan parameter kualiti air (Ujian Pekali Korelasi Spearman).	220
Jadual 7.3	Nilai indeks kesamaan Sorensens (dalam %) antara stesen persampelan	223
Jadual 7.4	Nilai- $F$ antara -kumpulan dan kesignifikanan yang didapati dari densiti diatom pada slaid kaca di penghujung langkah akhir analisis pembezalayan (Perbandingan Kumpulan	227

Pasangan)

Jadual 7.5	Min Indeks kepelbagaian Shannon ( $H'$ ) dan komponennya (kekayaan spesies, $S$ dan $H'$ maksima), serta indeks kepelbagaian Margalef, Menhinick dan Simpson ( $\pm$ SE)	230
Jadual 7.6	ANOVA dua-hala bagi menentukan perbezaan min indeks kepelbagaian di antara stesen persampelan dan bulan (Mac 1998-Mac 2000)	231
Jadual 7.7	Ujian- $t$ tidak berpasangan untuk menentukan perbezaan nilai indeks kepelbagaian Shannon ( $H'$ ), kekayaan spesies ( $S$ ) dan keseragaman ( $E$ ) di antara musim kemarau dan hujan di setiap stesen persampelan	235
Jadual 7.8	Pertalian (korelasi Spearman) di antara komponen Indeks Kepelbagaian Shannon ( $H'$ ) dengan parameter kualiti air dan dengan indeks kepelbagaian yang lain (Margalef, Menhinick dan Simpson)	237

## Senarai Rajah

Rajah 3.1	Kedudukan Lembangan Sg. Pinang di bahagian pulau Negeri Pulau Pinang	28
Rajah 3.2	Lokasi stesen persampelan di Lembangan Sg. Pinang	52
Rajah 3.3	Min curahan hujan bagi tempoh dua tahun (Februari 1998 – Mac 2000). Sumber: Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS).	54
Rajah 4.1	Hipotesis kitar pasang surut dan masa persampelan sampel (1) hingga (8) (Nemerow, 1974).	75
Rajah 4.2	Min parameter kualiti air bagi setiap stesen.	86
Rajah 4.3	Min kepekatan oksigen terlarut (DO) dan BOD pada musim hujan dan kemarau di setiap stesen.	93
Rajah 4.4.	Min kepekatan fosfat ( $PO_4$ -P) dan COD pada musim hujan dan kemarau di setiap stesen	94
Rajah 4.5.	Min kepekatan ammonia dan nitrat pada musim hujan dan kemarau di setiap stesen.	96
Rajah 4.6	Min kepekatan minyak dan gris di setiap stesen	97
Rajah 4.7	Min kepekatan minyak dan gris pada musim hujan dan kemarau di setiap stesen persampelan.	98
Rajah 4.8	Min kepekatan logam berat pada musim hujan dan kemarau di setiap stesen persampelan	102

Rajah 4.9.	Purata kepekatan koliform jumlah (TC) dan koliform najis (FC) pada musim hujan dan kemarau di setiap stesen (stesen disusun mengikut tahap pencemaran)	103
Rajah 4.10	Plot taburan fungsi 2 melawan fungsi 1 pembezalayan kanonikal bagi semua kumpulan yang berdasarkan parameter kualiti air di Lembangan Sungai Pinang.	106
Rajah 4.11	Skema membujur variasi parameter kualiti air di sepanjang Lembangan Sg. Pinang dari stesen bersih (stesen A) sehingga ke hilir.	108
Rajah 4.12	Skema membujur variasi logam berat di sepanjang Lembangan Sg. Pinang dari stesen bersih (stesen A) sehingga ke hilir.	109
Rajah 4.13	Purata kepekatan parameter persekitaran di bahagian muara.	112
Rajah 4.14	Perhubungan antara fosfat dengan kemasinan	117
Rajah 4.15	Perhubungan antara nitrat dengan kemasinan	118
Rajah 5.1	Pandangan atas penyampel perifiton yang menunjukkan susunan slaid kaca di antara bingkai PVC di atas dulang bersimen (Penyampel 2).	137
Rajah 5.2	Rak terapung dengan slaid kaca yang disusun antara bingkai PVC (Penyampel 3)	138
Rajah 5.3	Bilangan spesies diatom bagi setiap genus yang	148

didapati dari slaid kaca di 12 stesen persampelan  
di Lembangan Sg. Pinang

Rajah 5.4	Genera diatom yang didapati pada slaid kaca di Lembangan Sg. Pinang	148
Rajah 5.5	Struktur komuniti perifiton (dari segi peratusan bilangan spesies) yang didapati dari substrat slaid kaca di 12 stesen persampelan	150
Rajah 5.6	Struktur komuniti perifiton (dari segi purata densiti) pada substrat slaid kaca	151
Rajah 5.7	Bilangan spesies diatom dan bukan-diatom yang berjaya disampel dari slaid kaca di setiap stesen persampelan	157
Rajah 5.8	Bilangan spesies bagi setiap genus diatom yang didapati dari substrat batu dan pasir serta sedimen	167
Rajah 5.9.	Purata densiti alga perifiton pada substrat semulajadi dan buatan (slaid kaca).	171
Rajah 5.10	Purata densiti 18 diatom dominan pada substrat semulajadi dan buatan	173
Rajah 6.1	Variasi mengikut masa BKTA (bar) dan kepekatan klorofil <i>a</i> (garis) di stesen A – L	189
Rajah 6.2	Min klorofil <i>a</i> pada musim kemarau dan hujan di 12 stesen persampelan.	191
Rajah 6.3	Perhubungan di antara berat kering tanpa abu (BKTA) dan klorofil <i>a</i>	194



Rajah 6.4	Min BKTA pada musim kemarau dan hujan di 12 stesen persampelan	196
Rajah 6.5	Min kadar pengeluaran bersih pada musim kemarau dan hujan di 12 stesen persampelan	197
Rajah 6.6	Perhubungan di antara IA ( $\log_{10}$ ) dan oksigen terlarut	199
Rajah 6.7	Min Indeks Autotrof pada musim kemarau dan hujan di 12 stesen persampelan	199
Rajah 7.1	Perhubungan antara nilai-S dan kualiti air	216
Rajah 7.2	Indeks Kepentingan Spesies bagi 18 spesies diatom utama dan kaitannya dengan keadaan saprob di Lembangan Sungai Pinang	222
Rajah 7.3	Pengkelasan stesen persampelan berdasarkan nilai indeks kepentingan spesies diatom menggunakan 'Ward Linkage'	225
Rajah 7.4	Plot taburan fungsi 2 melawan fungsi 1 pembezalayan kanonikal bagi semua kumpulan yang berdasarkan densiti diatom di Lembangan Sg. Pinang.	228
Rajah 7.5	Variasi mengikut masa indeks kepelbagaian ( $H'$ ) dan kekayaan spesies diatom ( $S$ ) di stesen A – L	232
Rajah 7.6	Min kepelbagaian spesies Shannon ( $H'$ ) dan kekayaan spesies ( $S$ ) diatom yang didapati pada slaid kaca semasa musim hujan dan kemarau	236
Rajah 7.7	Perhubungan antara kepelbagaian spesies ( $H'$ )	238

dengan kekayaan spesies (*S*) dan keseragaman  
(*E*) spesies diatom

Rajah 8.1	Kehadiran spesies diatom dan indeks biotik, serta hubungannya dengan status kualiti air di Lembangan Sg. Pinang	258
-----------	---	-----

### Senarai Plat

Plat 3.1	Pengukuran kedalaman, arus dan luahan sungai	54
Plat 3.2	Stesen A. Keadaan air yang bersih dengan substrat berbatu.	56
Plat 3.3	Stesen B. Keadaan semasa musim kemarau.	57
Plat 3.4	Stesen C. Sungai agak sempit, air jernih dengan substrat berpasir.	58
Plat 3.5	Stesen D. Keadaan semasa musim kemarau, dengan air berwarna kehitaman.	59
Plat 3.6	Stesen E. Air berwarna kehitaman, terutama semasa musim kemarau.	60
Plat 3.7	Stesen F. Keadaan semasa musim kemarau.	61
Plat 3.8	Stesen G. Kedudukannya di bahagian hilir yang tercemar dan menerima pengaruh air laut.	62
Plat 3.9	Stesen H. Airnya teruk tercemar dan menerima pengaruh air laut.	63

Plat 3.10	Stesen I. Air agak berkeladak semasa musim hujan.	64
Plat 3.11	Stesen J. Air tercemar dan berwarna kehitaman.	65
Plat 3.12	Stesen K. Keadaan semasa musim kemarau, air kehitaman dan tebing/dasar jelas kelihatan.	66
Plat 3.13	Stesen L. Sungai sempit, air kehitaman dan menerima air buangan terus dari penempatan di sekitar tebing.	67
Plat 5.1	Penyampel 1, setiap penjuru penyampel diikat ke tebing sungai menggunakan tali	135
Plat 5.2	Arus deras dan sampah-sarap yang tersangkut pada penyampel menyebabkan bingkai PVC putus dan hilang	135
Plat 5.3	Penyampel 2. Bingkai PVC yang mengandungi slaid kaca pada dulang bersimen	136
Plat 5.4	Penyampel 2 yang dihubungkan pada pelampung diletakkan dalam sungai	137
Plat 5.5	Penyampel 3. Bingkai PVC yang mengandungi slaid kaca dinaikkan ke tebing	139
Plat 5.6	Penyampel 3. Bingkai PVC sentiasa terapung mengikut kedalaman paras sungai	139
Plat 5.7	Pemegang slaid yang diletakkan di dalam bekas yang berisi air dari lapangan	140

## Senarai Lampiran

Lampiran 1	Min dan sisihan piawai kedalaman, arus dan luahan sungai di 12 stesen persampelan	292
Lampiran 2	Persamaan kesesuaian bagi penganggaran berbagai nilai Subindeks (diadaptasi dari DOE, 1994)	293
Lampiran 3	Status kualiti air berdasarkan nilai Indeks Kualiti Air (DOE, 1994)	293
Lampiran 4	Min parameter fisiko-kimia ( $\pm$ s.e) bagi setiap stesen.	294
Lampiran 5	Julat nilai $H'$ pada musim kemarau dan hujan.	296
Lampiran 6	Min nilai keseragaman ( $E$ ) dan kekayaan spesies ( $S$ ) pada musim kemarau dan hujan	296
Lampiran 7	Frekuensi kehadiran dan Min kelimpahan relatif alga perifiton yang didapati dari substrat buatan (slaid kaca) di setiap stesen persampelan	297
Lampiran 8	Spesies 'saprophobous'	303
Lampiran 9	Spesies 'saproxenous'	304
Lampiran 10	Spesies 'saprophilic'	305
Lampiran 11	Spesies marin	306
Lampiran 12	Alga bukan diatom	307

## Senarai Istilah

Bahasa Melayu	Bahasa Inggeris
Air permukaan	Surface water
Air ternyahion	Deionised water
Analisis pembezalayan	Discriminant analysis
Analisis pengkelompokan	Cluster analysis
Asas Kebersihan Indeks Kualiti Air Kebangsaan	National Sanitation Foundation Water Quality Index
Curahan hujan efektif	Effective rainfall
Fosfat reaktif terlarut	Soluble Reactive Phosphate
Fungsi Pembezalayan Kanonikal	Canonical Discriminant Functions
Indeks saprob	Saprobic Index
Jumlah pepejal	Total solids
Jumlah pepejal terampai	Total suspended solids
Kadar pencerobohan	Invasion rate
Kaedah berperingkat Wilk Lambda	Stepwise method of Wilk's Lambda
Kajian garis asas	Baseline studies
Kawasan binaan	Built-up area
Kelimpahan relatif	Relative abundance
Kekayaan taksa	Taxa richness
Keserataan/ keseragaman	Evenness/ equitability
Keserupaan	Similarity
Kekayaan spesies	Species richness

Koliform najis	Fecal coliform
Koliform jumlah	Total coliform
Kombinasi berpasangan fungsi pembezaian	Pairwise combinations of the discriminant functions
Larutan berakua	Aqueous solution
Legeh/batas air	Watershed
Luahan	Discharge
Masa	Temporal
Menuliskan	Purify
Min pasang surut- rendah	Mean low tide
Min pasang surut- tinggi	Mean high tide
Muara hilir	Lower estuary
Muara tengah	Middle estuary
Muara hulu	Upper estuary
Order anak sungai Strahler	Strahler's stream order
Pasang surut	Tide
Pasang surut- rendah	Low tide
Pasang surut- tinggi	High tide
Pembetung terbuka	Open sewers
Pencemar terturun	Reduced pollutants
Penerobosan	Intrusion
Pengesan hidup	Living sensor
Penghasilan	Production
Penghitungan koliform jangkaan	Presumptive coliform counts
Pengutipan kumbahan	Sewer collection

Penyampel	Sampler
Perbandingan Pelbagai Pasangan Keseluruhan	All Pairwise Multiple Comparison
Punca tidak bertitik	Non-point source
Punca bertitik	Point source
Pengkelasan saprob	Saprobic classification
Penulenan sendiri	Self-purification
Ruang	Spatial
Sistem Saprob	Saprobic System
Spesies biasa	Common species
Spesies nadir	Rare species
Spesies petualang	Opportunistic species
Spesies rintang	Resistant species
Status trof	Trophic status
Tanah lembap	Wetland
Tindakan pengampelas	Abrasive action
Urutan taraf pekali korelasi Spearman	Spearman's rank order correlation coefficients
Zon saprob	Saprobic zone

## Ringkasan Kata

BKTA	Berat Kering Tanpa Abu (Ash Free Dry Weight)
BOD	Keperluan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand)
BPM	Bilangan Paling Mungkin
COD	Keperluan Oksigen Kimia (Chemical Oxygen Demand)
DO	Oksigen Terlarut (Dissolved Oxygen)
FC	Kolifom Najis (Fecal Coliform)
s.d	Sisihan piawai (standard deviation)
s.e	Ralat piawai (standard error)
Sg.	Sungai
TC	Kolifom Jumlah (Total Coliform)
TDS	Jumlah Pepejal Terlarut (Total Dissolved Solids)
TS	Jumlah Pepejal (Total Solids)
TSS	Jumlah Pepejal Terampai (Total Suspended Solids)



## ABSTRAK

Status kualiti air Lembangan Sg. Pinang ditentukan melalui pemantauan fisiko-kimia dan penunjuk alga perifiton pada substrat buatan (slaid kaca). Indeks kualiti air (IKA) yang dikira berdasarkan nilai min enam parameter (DO, BOD, COD, pH, N-ammonia dan pepejal terampai) mendapati stesen A adalah bersih, stesen B dan C agak bersih dan stesen I sederhana tercemar, manakala stesen lain di bahagian hilir adalah teruk tercemar. Alga perifiton yang didapati pada slaid kaca terdiri daripada 80 spesies Bacillariophyta, 13 spesies Cyanophyta dan 18 spesies Chlorophyta. Konsep penunjuk biologi dan zon saprob spesifik spesies diatom yang dinyatakan sebagai indeks saprob (nilai-S) mendapati, stesen A adalah bersih (kualiti air baik,  $S = 1.4$ ), kualiti air di stesen B dan C agak baik (nilai-S masing-masing 1.962 dan 1.781), stesen I diklasifikasikan sebagai sederhana tercemar ( $S = 2.292$ ) dan lain-lain stesen di hilir adalah tercemar dari segi organik dengan nilai-S berjulat antara 2.811 dan 3.092. Indeks saprob mendapati stesen persampelan sepanjang Lembangan Sg. Pinang dapat dibahagikan kepada empat zon pencemaran saprob, iaitu Zon Polisaprob (sangat teruk tercemar, stesen J dan L), Zon Alfa-mesosaprob (teruk tercemar), Zon Beta- mesosaprob (sederhana tercemar, stesen I) dan Zon Oligosaprob (bersih, stesen A, B dan C). Setengah spesies diatom menunjukkan corak kelimpahan yang nyata, seperti spesies 'saprophobous' (eg. *Achnanthes minutissima*, *A. woltereckii*, *A. oblongella*, *Cocconeis pediculus*, *C. placentula*, *Fragilaria capucina*, *Psammothidium bioretii* dan *Surirella linearis*, nilai valensi saprob 1), spesies 'saproxenos' (eg. *Diatoma* sp., *Eunotia monodon* var. *alpina*, *Fragilaria* sp. 1, *Gomphonema gracile*, *G. subventricosum* dan *Navicula cryptocephala*, nilai valensi

saprob 2 – 3), dan spesies 'saprophilic' (eg. *Gomphonema parvulum*, *Achnanthes exigua*, *A. exigua* var *heterovalva*, *Hantzschia amphioxys*, *Nitzschia amphibia*, *N. palea* dan *Pinnularia biceps* serta *P. biceps* f. *petersenii*, nilai valensi saprob 3 – 4). Dalam kajian ini, spesies 'saprophobous' dan spesies 'saprophilic' masing-masing dapat menjadi penunjuk kepada kualiti air bersih dan tercemar.

Secara umumnya, stesen bersih mempunyai kekayaan ( $S$ ) dan kepelbagaian spesies diatom (indeks Shannon-Wiener,  $H'$ ) yang lebih tinggi berbanding stesen tercemar yang lain, kecuali stesen berdekatan muara G dan H. Stesen paling tercemar (stesen L) mempunyai nilai terendah dalam kekayaan spesies (min  $S = 9.941$ ), keserataan (0.645) dan kepelbagaian (min  $H' = 2.133$ ). Kepelbagaian spesies ( $H'$ ) di stesen G dan H (min masing-masing 3.563 dan 3.537) adalah lebih tinggi dari stesen bersih, walaupun IKA dan nilai-S menunjukkan yang stesen tersebut adalah teruk tercemar.

Analisis pembezalayan yang berdasarkan densiti diatom juga berjaya membezakan stesen persampelan kepada stesen bersih, tercemar dan air payau. Indeks Autotrof (IA) yang berdasarkan nisbah BKTA:klorofil  $a$  menggambarkan keadaan stesen persampelan, dengan nilai terendah (754.70) dicatatkan di stesen paling bersih (A), nilai meningkat ke stesen di hilir, dan nilai IA tertinggi dicatatkan di stesen L (1206.99). Walaupun kehadiran spesies alga pada substrat buatan (slaid kaca) adalah memilih, tetapi penggunaan substrat buatan mengurangkan keheterogenan substrat yang hadir secara semulajadi dan ianya menjadi kaedah piawai untuk membandingkan antara kawasan yang mempunyai substrat yang berlainan. Keadaan kualiti air di Lembangan Sg. Pinang

digambarkan dengan jelas melalui parameter fisiko-kimia, di samping indeks biotik dan pengukuran bukan taksonomi alga perifiton.

**THE USE OF PERIPHYTIC ALGAE IN THE ASSESSMENT OF WATER  
QUALITY STATUS OF SUNGAI PINANG BASIN**

**ABSTRACT**

Water quality status of Sg. Pinang Basin was determined by physico-chemical monitoring and by periphytic algal indicators colonized on artificial substrates (glass slides). Water quality index (WQI) that was computed based on the mean values of six parameters (DO, BOD, COD, pH, ammonia-N and suspended solids) showed that station A was clean, water quality at stations B and C were relatively good, and station I was moderately polluted, whereas other downstream stations were highly polluted. Periphytic algae attached on glass slides consisted of 80 species of Bacillariophyta, 13 species of Cyanophyta and 18 species of Chlorophyta. The concept of bioindicators and the specific saprobic zone of diatom species, expressed in the form of saprobic index (S-values), showed that station A is clean (good water quality,  $S = 1.4$ ), water quality at stations B and C were fairly good ( $S = 1.962$  and  $1.781$  respectively), station I was classified as slightly polluted ( $S = 2.292$ ) and other stations downstream were highly polluted organically with S-values ranging between 2.811 and 3.092. The sampling stations along Sg. Pinang Basin could be divided into four zones of saprobic contamination, namely Polysaprobic Zone (very heavily polluted stations; J and L), Alpha-mesosaprobic Zone (heavily polluted stations), Beta- mesosaprobic Zone (moderately polluted station; I) and Oligosaprobic Zone (clean stations; A, B and C). There was a marked trend in the abundance of certain group of diatom species, namely saprohobous species (eg.

*Achnanthes minutissima*, *A. woltereckii*, *A. oblongella*, *Cocconeis pediculus*, *C. placentula*, *Fragilaria capucina*, *Psammothidium bioretii* and *Surirella linearis*, saprobic valency value 1), saproxenous species (eg. *Diatoma* sp., *E. monodon* var. *alpina*, *Fragilaria* sp. 1, *Gomphonema gracile*, *G. subventricosum* and *Navicula cryptocephala*, saprobic valency value 2 – 3), and saprophilic species (eg. *Gomphonema parvulum*, *Achnanthes exigua*, *A. exigua* var *heterovalva*, *Hantzschia amphioxys*, *Nitzschia amphibia*, *N. palea*, *Pinnularia biceps* and *P. biceps* f. *petersenii*, saprobic valency value 3 – 4). In this study, saprophobous and saprophilic species could be indicator for clean and polluted waters respectively.

In general, clean stations have higher species richness and diatom diversity (Shannon-Wiener index,  $H'$ ) than the polluted stations downstream, except for stations near estuary (G and H). The highly polluted station (station L) had the lowest values of species richness (mean  $S = 9.941$ ), evenness (0.645) and diversity (mean  $H' = 2.133$ ). Species diversities ( $H'$ ) at stations G and H (mean 3.563 and 3.537 respectively) were higher than clean stations although WQI and S-values showed that these stations were highly polluted.

Discriminant analysis using the density of diatom also successfully discriminate sampling stations into clean, polluted and brackish waters. Autotrophic index (AI) that was determined as the ratio of AFDW: chlorophyll *a* reflects the conditions of sampling stations, with the lowest value (754.70) was recorded at the most cleanest station (A), the value increases at polluted stations downstream, and the highest AI was recorded at

station L (1206.99). Although the occurrence of algal species on artificial substrate (glass slides) were selective, but it remains possible that the use of artificial substrate reduces the heterogeneity of the naturally occurring substrate and it was a standard means of comparison between sites with differing substrates. The conditions of water quality in Sg. Pinang Basin were clearly reflected both in physico-chemical parameters, as well as in biotic indices and non-taxonomic measurements of periphytic algae.

# BAB I

## PENGENALAN AM

### 1.1 Pendahuluan

Sejarah telah menunjukkan bahawa sungai memainkan peranan penting di dalam sosio-ekonomi dan budaya manusia. Pencemaran sumber bekalan air utama khususnya sungai bukan perkara baru, dan semakin hebat dan pesatnya pembangunan serta pertambahan penduduk, semakin buruk pencemaran yang berlaku. Perubahan dalam penyebaran, kuantiti dan kualiti air serta peningkatan penggunaan sumber air tawar di Malaysia menjadi ancaman terhadap keutuhan alam semulajadi (Ho, 1997). Berbagai definasi pencemaran yang terdapat dalam literatur, dan definasi yang akan digunakan di dalam perbincangan dan huraian seterusnya adalah berdasarkan definasi oleh Holdgate (1979) yang menghuraikan pencemaran sebagai sesuatu bahan atau tenaga yang dibawa dan diperkenalkan oleh manusia ke dalam persekitaran yang boleh membawa kemudaratan kepada kesihatan manusia, merbahaya kepada sumber kehidupan dan sistem ekologi, kemusnahan kepada struktur atau kemudahan, atau gangguan kepada penggunaan sah sesuatu persekitaran.

Pembangunan yang pesat dalam segala aspek bagi mencapai objektif sosio-ekonomi telah menyebabkan perubahan negatif kepada alam sekitar, terutama impak terhadap hidrologi dan ekologi ekosistem sungai. Pencemaran sungai di Malaysia merupakan satu masalah alam sekitar yang bertambah serius dari semasa ke semasa dan sehingga sekarang masih tiada kaedah penyelesaian yang benar-benar berkesan untuk menangani masalah ini. Sungai dan lain-lain sumber air di Malaysia dicemari

oleh buangan domestik, buangan pertanian dan penternakan, dan buangan organik dan kimia yang tidak dirawat dari ladang kelapa sawit dan getah serta industri. Mansor & Ahmad (1986) melaporkan bahawa penggunaan baja yang berlebihan mengakibatkan masalah rumpai air di kawasan penanaman padi dan lain-lain sumber air seperti sungai, empangan dan takungan. Eutrofikasi di kawasan persekitaran air dipercepatkan akibat aktiviti manusia dan menyebabkan pertumbuhan alga dan tumbuhan akuatik yang tidak diingini (Mansor, 1987).

Kajian oleh Jabatan Alam Sekitar (JAS) mendapati bahawa pertambahan sebanyak 17 peratus di dalam kategori sungai tercemar pada tahun 1998 berbanding tahun 1995. JAS telah mengenalpasti sejumlah 42 batang sungai yang teruk tercemar, yang hampir tiada hidupan biologi (Ho, 1995), termasuklah Sg. Cuping (Perlis), Sg. Pinang, Sg. Dondang dan Sg. Juru (Pulau Pinang), Sg. Raja Hitam, Sg. Sepetang, Sg. Kinta, Sg. Tumbuh (Perak), Sg. Kelang (Kuala Lumpur), Sg. Sepang (Selangor), Sg. Batang Benar (Negeri Sembilan), Sg. Melaka (Melaka), Sg. Seriong (Johor) dan Sg. Sarawak (Sarawak). Bilangan sungai yang sederhana tercemar menurun sebanyak 2 peratus dan sungai bersih sebanyak 16 peratus. Negeri Pulau Pinang mempunyai bilangan sungai yang kedua paling banyak tercemar (tiga) selepas Johor (lima) dan diikuti oleh Pahang (dua). Pencemaran sungai akibat buangan toksik juga amat membimbangkan. Kebanyakan kilang-kilang di Malaysia masih kekurangan kemudahan rawatan dan pembuangan sisa yang efektif.

Paras dasar sungai di negara ini telah meningkat sejak kebelakangan ini akibat pemendakan yang berpunca daripada pembangunan legeh yang tidak teratur bagi projek bersekala besar (Ho, 1997). Ini mengakibatkan kualiti air merosot,



mengurangkan saliran dan banjir kilat. Di Pulau Pinang, pemendapan bahan pepejal menyebabkan Sg. Pinang dan cawangannya menjadi cetek dan tidak berupaya untuk menampung arus yang meningkat. Akibatnya, di Georgetown sering dilanda banjir selepas hujan lebat (JPS, 1999). Dengan mengubah kawasan hutan menjadi kawasan pertanian dan pembangunan, manusia telah menukar fungsi dan struktur ekosistem tersebut (Rankin, 1995). Kaitan di antara kawasan daratan dengan atmosfera, sistem akuatik serta kawasan sekitarnya akan terganggu (Mansor, 1999). Aktiviti memanipulasi persekitaran seperti mengubah saluran sungai, takungan air dan mengawal aliran akan mengganggu dan memberi kesan yang buruk terhadap habitat dan organisma semulajadi (Hellawell, 1986).

Ciri-ciri fizikal dan parameter kualiti air adalah berkait rapat dengan pencirian habitat sungai. Habitat sungai menggabungkan setiap aspek jujuk fizikal dan kimia berserta dengan interaksi biotik. Ciri-ciri fizikal termasuk dokumentasi tentang penggunaan tanah secara umum, keterangan tentang jenis dan asal usul sungai, ringkasan tentang ciri vegetasi riparian dan pengukuran parameter 'instream' seperti kelebaran, kedalaman, aliran dan substrat. Kombinasi maklumat ini termasuk ciri-ciri fizikal dan parameter kualiti air memberi gambaran tentang keupayaan sungai untuk menampung komuniti akuatik yang sihat, dan kehadiran pencemar kimia dan bukan kimia di dalam ekosistem sungai (Barbour *et al.*, 1996).

Kesan manusia terhadap keutuhan biologi sumber air adalah kompleks dan kumulatif. Karr (1998) menyatakan bahawa tindakan manusia mengancam keutuhan biologi sumber air dengan mengubah salah satu atau lebih daripada lima faktor utama, iaitu habitat fizikal, aliran bermusim air, makanan asas sesuatu sistem, interaksi antara

biota sungai dan kualiti kimia air. Ekosistem air tawar semulajadi secara umumnya mempunyai keupayaan yang terhad untuk menyerap atau memampatkan terhadap tekanan luaran, misalnya terhadap pencemaran air tawar tidak toksik (Ho, 1997).

Di Malaysia, Jabatan Alam Sekitar (JAS), di bawah Kementerian Sains dan Teknologi telah menubuhkan Program Pemantauan Kualiti Air Kebangsaan semenjak tahun 1978. Program ini meliputi semua lembangan sungai di Semenanjung Malaysia, yang melibatkan persampelan manual dan pengukuran *in situ* kualiti air sungai. Objektif utama program pemantauan adalah untuk menyediakan rekod jangka panjang dan maklumat kualiti air bagi menyokong usaha JAS dalam menangani masalah mengawal pencemaran air dari efluen domestik dan industri (Jaafar *et al.*, 1999). Data seperti aliran sungai, kimia air, punca pencemaran, guna tanah, statistik populasi dan data tadahan air dikumpul dan dianalisa, seterusnya corak dan status kualiti air sistem sungai di negara ini dapat ditentukan.

Lembangan Sungai Pinang merupakan contoh sungai yang terdedah kepada pengaruh manusia dan mengalami pencemaran dari segenap aspek. Kajian terkini sistem sungai Sungai Pinang adalah program pengkelasan sungai oleh Jabatan Alam Sekitar dengan kerjasama Universiti Sains Malaysia (DOE, 1999). Kajian tersebut meliputi Fasa V yang membolehkan Jabatan Alam Sekitar mengenalpasti kawasan yang bermasalah dan membentuk strategi bagi pengurusan kualiti air.

## 1.2 Pemantauan Biologi

Kajian ini menggunakan alga perifiton sebagai salah satu cara untuk menilai status kualiti air (selain ciri-ciri fizikal dan kimia jasad air) Lembangan Sungai Pinang, jadi pendekatan yang digunakan dikatakan sebagai pemantauan biologi. Pemantauan biologi boleh ditafsirkan sebagai penggunaan sistematik tindakbalas biologi untuk menilai perubahan alam sekitar dengan tujuan menggunakan maklumat ini di dalam program pengawalan mutu (Matthews *et al.*, 1982). Pemantauan biasanya digunakan untuk mengesan perubahan fizikal dan kimia persekitaran abiotik. Data yang diperolehi dari pemantauan fizikal dan kimia adalah sangat mustahak untuk menggambarkan kemusnahan ekologi. Pemantauan biologi juga penting untuk mengesan perubahan di persekitaran, oleh itu penilaian pencemaran mesti melibatkan integrasi pemantauan kimia, fizikal dan biologi (Cairns *et al.*, 1973). Keupayaan memelihara sumber biologi bergantung kepada keupayaan untuk mengenalpasti dan meramalkan kesan tindakan manusia keatas sistem biologi, terutama sekali keupayaan untuk membezakan di antara variasi keadaan biologi yang diterbitkan secara semulajadi atau akibat perbuatan manusia (Karr & Chu, 1999). Hawkes (1982) menyatakan bahawa hanya satu cara untuk mengesan sebarang perubahan ekologi akibat aktiviti manusia terhadap ekosistem akuatik iaitu melalui pemerhatian biologi.

Komuniti biologi menyepadukan kesan tekanan yang berlainan dan dengan itu menyediakan satu pengukuran yang meluas terhadap impak agregat mereka. Pemantauan rutin komuniti biologi secara relatifnya tidak mahal jika dibandingkan dengan kos menaksirkan pencemar toksik, samada secara kimia atau dengan ujian

toksik (Ohio EPA, 1987). Status komuniti biologi biasanya menarik minat umum untuk mengukur pencemaran alam sekitar dan tekniknya lebih mudah dan berkesan.

Salah satu kategori umum kaedah biologi yang digunakan dalam pemantauan persekitaran akuatik seperti yang digariskan oleh Weber (1973) ialah kaedah untuk mengkaji pencemaran ke atas komuniti asal sesuatu organisma akuatik. Kualiti air adalah digambarkan dalam bentuk komposisi dan kepelbagaian spesies, kepadatan populasi dan keadaan fisiologi komuniti asal. Pemantauan ini melibatkan pengutipan sampel, pemprosesan dan penghitungan sampel, pengecaman organisma akuatik, penentuan biojisim, pengukuran kadar metabolik dan pemprosesan serta penilaian data.

Analisis biologi digunakan untuk melihat kesan variabel kualiti air terhadap kesihatan komuniti akuatik (Round, 1991a; Stewart & Robertson, 1992; Simon & Stewart, 1998). Organisma akuatik boleh digunakan sebagai penunjuk kualiti air setelah perhubungan antara komuniti biologi dan status kimia diwujudkan (Round, 1991a). Perhubungan ini dapat difahami dengan menyelidiki dinamik komuniti biotik menggunakan metrik biologi (Shannon & Weaver, 1949; Cairns, 1974) dan dengan memeriksa pilihan ekologi dan indeks ketoleranan pencemaran (Hilsenhoff, 1987; Lange-Bertalot, 1979; Karr, 1987; Metzmeier, 1994; Patrick & Palavage, 1994; Simon & Stewart, 1998). Data biologi tersebut dapat dihubungkan secara statistik kepada variabel abiotik seperti kualiti air dan guna tanah (Richards & Minshall, 1992; Lenat & Crawford, 1994; Richards *et al.*, 1996; Stewart *et al.*, 1999).

Himpunan perifiton adalah sangat penting untuk pemantauan kualiti air, tetapi belum digunakan secara meluas di dalam program pemantauan. Kaedah alga (organisma fotosintetik secara keseluruhannya) belum meluas digunakan berbanding dengan kaedah mikrobiologi, ikan dan invertebrata (Whitton, 1991). Jadual 1.1 meringkaskan sifat dan penunjuk alga yang biasa digunakan dalam pemantauan kualiti air (modifikasi dari McCormick & Cairns, 1994).

Di antara kebaikan menggunakan himpunan alga perifiton untuk pemantauan kualiti air, seperti yang dinyatakan oleh Patrick (1973), Rodgers *et al.* (1979) dan Weitzel (1979) adalah, alga secara umumnya mempunyai kadar pembiakan yang cepat dan kitar hidup yang pendek, menjadikan mereka penunjuk yang baik untuk impak jangka masa pendek. Alga berperanan sebagai pengeluar primer, mereka dipengaruhi secara terus oleh faktor fizikal dan kimia persekitarannya. Kaedah persampelan adalah mudah, murah dan impak yang dikenakan kepada penghuni biota adalah minima. Alga perifiton tinggal tetap pada sesuatu lokasi dan mengintegrasikan parameter persekitaran yang dikenakan kepadanya (Marcus, 1980). Himpunan alga adalah sensitif kepada setengah pencemar yang tidak dapat dilihat kesannya ke atas himpunan akuatik yang lain, atau hanya memberi kesan ke atas organisma pada kepekatan yang tinggi seperti herbisid dan pestisid.

Jadual 1.1 Sifat alga dan penunjuk yang berkaitan yang biasa digunakan di dalam pemantauan biologi (modifikasi dari McCormick & Cairns, 1994). \* kajian dijalankan di Malaysia.

Sifat	Penunjuk/Kaedah	Rujukan
<b>STRUKTUR KOMUNITI</b>		
Biojisim	Berat Kering Tanpa Abu (BKTA)	Ho* (1976a); Vymazal & Richardson (1995); Putz (1997); McCormick <i>et al.</i> (1998); Hill <i>et al.</i> (2000a)
	Klorofil <i>a</i>	Ho* (1976a); Joy <i>et al.</i> (1990); Welch <i>et al.</i> (1992); Putz (1997); Hill <i>et al.</i> (2000a); Biggs (2000)
Kepelbagaian	Indeks Autotrof (BKTA): Klorofil <i>a</i>	Putz (1997); Bourassa & Cattaneo (1998)
	Biovolum sel Kepelbagaian spesies (diatom)	Stevenson & Lowe (1986) Stevenson (1984); Nather Khan* (1991); Ho & Peng* (1997); Stewart <i>et al.</i> (1999); Maznah & Mansor* (1999)
Komposisi	Kekayaan spesies	Anton *(1981); Nather Khan* (1990a); Mansor & Lidun*, 1992; Maznah & Mansor* (1999)
	Analisis multivariate (diatom)	Sabater <i>et al.</i> (1988); Kelly <i>et al.</i> (1995); Stewart <i>et al.</i> (1999); Hill <i>et al.</i> (2000a); Winter & Duthie (2000); Wan Maznah & Mansor* (2000)
	Indeks Keserupaan	Heckman <i>et al.</i> (1990); Stevenson (1984); Maznah & Mansor* (1999)

Jadual 1.1 Sambungan

Sifat	Penunjuk/Kaedah	Rujukan
<b>METABOLISMA KOMUNITI</b>		
Pengeluaran bersih	Perubahan biojisim	Ho* (1976a); Keithan & Lowe (1985); Biggs (2000)
Pengeluaran	Kadar pertumbuhan spesifik relatif	Rosenfeld & Roff (1991); Rier & King (1996)
	Evolusi oksigen	Tease <i>et al.</i> (1983); Blanck (1985)
	Penyurih radioisotop ( <sup>14</sup> C)	Keithan & Lowe (1985); Shamsudin* (1987); Napolitano <i>et al.</i> (1994); Vadeboncouer & Lodge (2000)
Bioakumulasi	Keupayaan fotosintesis	Napolitano <i>et al.</i> (1994); Rier & King (1996)
	Nutrien	Grimshaw <i>et al.</i> (1993)
Keadaan metabolisme	Logam	Knauer <i>et al.</i> (1997)
	Caj kuasa adenilat	Hino (1988)
Biomolekul	Asid ribonukleik	Guckert <i>et al.</i> (1991); Napolitano <i>et al.</i> (1994)
Aktiviti enzim	Aktiviti fosfatase alkali	Guckert <i>et al.</i> (1991)
<b>ANALISIS POPULASI</b>		
Spesies penunjuk	Indeks pH	Cox (1988); Whitmore (1989)
	Indeks tolerans pencemaran	Palmer (1969); Descy (1979); Lange-Bertalot (1979); Kelly <i>et al.</i> (1995)
	Indeks Saprobien	Pantle & Buck (1955); Lange-Bertalot (1979); Friedrich <i>et al.</i> (1992); Ho & Peng*(1997)
	Indeks diatom	Prygiel & Coste (1993); Kelly <i>et al.</i> (1995)
	Analisis spektrum mikroalgae	Vanlandingham (1976)
Pertumbuhan	Indeks trof	Whitmore (1989)
	Potensi pertumbuhan alga	Ho*(1980); Pringle (1987); Lukavsky (1992); Fujimoto & Sudo (1997)

Kebanyakan kajian literatur yang dijalankan adalah dari negara temperat.

Laporan kajian alga dan kaitannya dengan kualiti air di negara-negara tropika belum meluas dijalankan, dan antara kajian yang pernah dijalankan adalah seperti struktur

komuniti dan pengeluaran alga. Rao *et al.* (1979) mendapati, buangan toksik industri dan luahan kumbahan mengurangkan kadar pengeluaran keseluruhan di sungai tropika. Joy *et al.* (1990) melaporkan beberapa faktor penyebab kepada peningkatan pengeluaran alga di zon industri terutamanya pada musim premonsun. Struktur komuniti, biojisim dan pengeluaran komuniti perifiton, serta jaringan makanan di sungai Amazon telah dijalankan oleh Putz (1997).

Vyverman (1996) mengulas tentang flora alga air tawar di rantau Indo-Malaysia Australia Utara dan melaporkan bahawa sebanyak 4700 taksa telah direkodkan di rantau ini. Di dalam laporan beliau didapati bahawa desmid, diatom dan cyanobacteria merupakan antara kumpulan organisma yang paling banyak dikaji. Beliau merumuskan bahawa taksonomi yang tidak lengkap dan kekurangan pemahaman berkenaan dengan autekologi, penyebaran dan penspesiesan alga air tawar menghalang analisis biogeografi.

Laporan awal kajian alga air tawar di Malaysia adalah pengecaman taksonomi diatom dari Persekutuan Tanah Melayu dan negara Siam (Patrick, 1936). Diatom didapati dari usus berudu dari Perak dan Kedah, dan sebanyak 185 spesies dikenalpasti. Kajian seterusnya adalah terhadap desmid (Prowse, 1957), terutama yang besar dan berbentuk cantik (Prowse, 1969). Di Malaysia, kajian mengenai taburan spesies alga air tawar masih belum meluas dijalankan, dan kebanyakan kajian ekologi tertumpu kepada komposisi fitoplankton dan perifiton dan kadar pengeluaran serta kaitannya dengan parameter limnologi beberapa jasad air seperti tasik (Fatimah *et al.*, 1984; Yusoff & Patimah, 1994), takungan (Arumugam & Furtado, 1980; Anton



& Abdullah, 1982; Shamsudin *et al.*, 1994; Yusoff *et al.*, 1998), sawah padi (Sands, 1934; Johnson, 1970; Ho, 1980; Niriyati, 1981), kolam ikan (Yusoff, 1989; Yusoff & McNabb, 1989) dan sungai (Bishop, 1973; Nather Khan *et al.*, 1986; Wah *et al.*, 1987; Anton *et al.*, 1998; Sato *et al.*, 1999).

Beberapa genera seperti *Batrachospermum*, *Oedogonium*, *Spirogyra*, *Ulothrix* dan *Plectomena* telah dijumpai di sungai yang bersih di Pulau Tioman (Ratnasabapathy, 1977). Kajian oleh Phang & Leong (1987) ke atas sungai di kawasan Ulu Endau, Johor mendapati kehadiran alga merah dan desmid dalam komposisi yang tinggi dan ketidakhadiran euglenofit menunjukkan sungai tersebut adalah bersih dan mendapat pengudaraan yang baik. Ho (1976a) melakukan kajian ke atas pengeluaran perifiton di Sungai Renggam, Selangor yang dicemari oleh sedimen inorganik dan buangan organik, dan mendapati kadar pengeluaran alga bertambah sejajar dengan penambahan bahan organik. Nather Khan (1990a) telah membuat penilaian pencemaran air di Lembangan Sungai Linggi menggunakan struktur komuniti dan taburan spesies diatom. Beliau mendapati perbezaan yang nyata wujud di dalam sekutuan alga di antara stesen yang bersih dan teruk tercemar. Kesan pencemaran dari efluen ladang getah terhadap struktur komuniti diatom juga telah dijalankan oleh Nather Khan *et al.* (1986). Aspek pencemaran sungai dari sudut kepelbagaian spesies diatom juga dibincangkan oleh Nather Khan (1991).

Komuniti alga juga digunakan di dalam projek pengelasan sungai- sungai di Malaysia, misalnya Ho dan Peng (1997) mengelaskan beberapa sungai tercemar organik (Sungai Juru, Sungai Perai dan Sungai Perlis) dari perspektif biologi iaitu dengan menggunakan 'Pantle-Buck saprobic index' dan indeks kepelbagaian spesies

Shannon-Wiener. Alga perifiton juga merupakan salah satu organisma penunjuk yang digunakan di dalam pemantauan biologi Sungai Langat oleh DOE (1998). Laporan tersebut menyatakan bahawa kelimpahan relatif individu sel alga di antara stesen kajian dapat menggambarkan tahap pencemaran. Komuniti perifiton dibincangkan dari aspek komposisi dan kepelbagaian spesies relatif, kehadiran alga filamen dan spesies penunjuk diatom.

Di Pulau Pinang khususnya, Mansor & Lidun (1992) melaporkan kehadiran beberapa spesies alga filamen sebagai penunjuk terhadap pencemaran organik. Taburan spesies alga perifiton juga dilaporkan di dalam pemantauan kualiti air untuk pengelasan sungai Lembangan Sungai Pinang (DOE, 1999). Maznah & Mansor (1999) mengkaji komuniti diatom bentik di Sungai Pinang dan cawangannya, dan mendapati perubahan kepelbagaian spesies diatom tidak dapat digunakan sebagai indeks kualiti air tetapi nilainya dapat dikaitkan dengan perubahan kualiti air.

### 1.3 Objektif kajian

Kajian yang dijalankan bermula pada Februari 1998 sehingga Mac 2000, yang melibatkan pemerhatian dan tinjauan kualiti air dan alga perifiton. Objektif kajian ini dijalankan dapat diringkaskan seperti berikut:

1. mengkaji parameter fizikal dan kimia air Lembangan Sungai Pinang, dan mengaitkannya dengan faktor-faktor persekitaran seperti cuaca, guna tanah serta aktiviti manusia.
2. Melihat perubahan parameter air dari segi masa dan mengaitkannya dengan kesan musim hujan dan kemarau terhadap kualiti air. Perbezaan kualiti air dari segi ruang juga ditentukan dengan membandingkan setiap stesen persampelan di sepanjang Lembangan Sungai Pinang yang menerima pelbagai jenis pencemar bertitik dan tidak bertitik dengan stesen rujukan yang bersih. Penelitian 24 jam juga dilakukan di stesen berdekatan muara untuk mengkaji kesan kemasukan air laut semasa air pasang terhadap kualiti air di stesen tersebut, dan mengaitkannya dengan kehadiran alga perifiton.
3. Menentukan status Lembangan Sungai Pinang berdasarkan ciri-ciri fizikal dan kimia air dan mengkelaskan sungai berpandukan kaedah oleh Jabatan Alam Sekitar.
4. Mengkaji alga perifiton yang terdapat di Lembangan Sungai Pinang, dan melihat perubahan komposisi alga dari segi masa dan mengaitkannya dengan kesan musim hujan dan kemarau, serta melihat perbezaan dari segi tempat iaitu menilai kelimpahan dan kepelbagaian spesies alga, khususnya komuniti diatom di sepanjang Lembangan Sungai Pinang yang mempunyai berbagai tahap

pencemaran. Kehadiran alga pada substrat semulajadi juga dikaji dan membandingkannya dengan alga yang terdapat pada substrat buatan (slaid kaca).

5. Mengkaji beberapa indeks komuniti alga khususnya diatom dan mengaitkannya dengan persekitaran fiziko-kimia air, serta menggunakan data tersebut untuk menentukan status kualiti air di Lembangan Sungai Pinang. Indeks biologi yang berasaskan diatom dan maklumat bukan taksonomi alga perifiton diuji untuk menentukan keberkesanannya sebagai penunjuk biologi. Komuniti alga perifiton diharapkan dapat digunakan untuk menggambarkan tahap pencemaran akuatik.

## BAB II

### TINJAUAN LITERATUR

#### 2.1 Pendahuluan

Perkataan 'periphyton' (perifiton) berasal dari perkataan Russia (Behning, 1928) dan pada awalnya ditujukan kepada organisma yang tumbuh pada objek yang diletakkan di dalam air oleh manusia (substrat buatan). Cooke (1956) menyatakan bahawa literatur Eropah dan Asia mula menggunakan perkataan perifiton dengan pengertian yang lebih luas yang meliputi pertumbuhan semua organisma akuatik pada semua jenis substrat yang tenggelam semenjak sebelum tahun 1928. Pengertiannya diperluaskan (Young, 1945) dan kini secara umumnya meliputi semua mikroorganisma yang melekat yang hidup di atas substrat semulajadi atau buatan yang tenggelam.

'Haptobenthos' iaitu organisma yang tumbuh pada substrat pepejal seperti batu, tumbuhan, logam, plastik dan lain-lain objek buatan manusia atau substrat buatan adalah sinonim dengan perifiton (Weitzel, 1979), tetapi Round (1981) menekankan bahawa istilah perifiton dikhususkan kepada pertumbuhan di atas substrat buatan sahaja. Mengikut Aloï (1990), perifiton secara amnya terbahagi kepada beberapa kumpulan bergantung kepada sekutuannya dengan substrat inorganik atau organik. Epifiton adalah perifiton di atas substrat batu, epipelon di atas lumpur atau kelodak, epipsamon di atas substrat pasir dan epifiton di atas bahagian makrofit akuatik yang tenggelam. Foerster & Schlichting (1965) memperkenalkan istilah 'phycoperiphyton' untuk menggambarkan komponen alga. Sládecková (1962)

menghuraikan perifiton sebagai sebarang organisma melekat ('true periphyton') yang tak bergerak dan menyesuaikan diri dengan kehidupan sesil dengan berbagai penyesuaian seperti rizoid, tangkai bergelatin dan sebagainya, serta organisma bersandar iaitu 'pseudo-periphyton' yang hidup bebas, merayap dan meragut 'true periphyton'. Kedua-dua 'true' dan 'pseudo-periphyton' hidup bersama di semua jenis substrat, mereka membentuk satu komuniti, dan seharusnya dihuraikan dengan kaedah yang sama. Sifatnya yang melekat menjadikan perifiton penting terutamanya di sungai, di mana ianya digunakan sebagai indeks kualiti air. Wetzel (1983) memberi definasi perifiton sebagai satu kompleks komuniti mikrobiota (alga, bakteria, fungi, haiwan, detritus organik dan tak organik) yang melekat pada substrat, samada substrat organik atau tak organik, hidup atau mati.

Oleh kerana kekompleksan dari segi taksonomi, perifiton terlibat dalam banyak proses fungsian ekosistem akuatik, termasuk daya pengeluaran primer, penguraian dan kitar nutrien (Clark *et al.*, 1979). Maklumat tentang himpunan perifiton telah menjadi bahagian penting di dalam kebanyakan program pemantauan kualiti air (Weitzel, 1979). Di antara kajian awal yang membuat penilaian kualiti air dan keadaan sesuatu sungai dan tasik berdasarkan kehadiran, struktur komuniti dan ekologi perifiton ialah Butcher (1932, 1940, 1946), Patrick (1949), Fjerdingsstad (1950), dan Kolkwitz & Marsson (1967). Perifiton dapat menyesuaikan diri dalam banyak keadaan, dan mereka boleh di dapati di dalam hampir semua jenis jasad air, dari keadaan paling oligotrofik kepada eutrofik (Horne & Goldman, 1994). Stevenson (1999) membincangkan dengan mendalam tentang dua protokol penilaianbio (Two Rapid Bioassessment Protocols) untuk perifiton, iaitu pendekatan piawai di mana penilaian dibuat di dalam makmal terhadap komposisi spesies dan/atau biojisim

sampel, yang dapat memberikan maklumat tepat berkenaan dengan keutuhan biotik, serta tinjauan biojisim perifiton dan anggaran kasar komposisi taksonomi yang dibuat di lapangan.

Perifiton dengan banyaknya menghuni semua habitat sungai dan telah banyak digunakan sebagai biota yang menunjukkan ciri-ciri fizikal dan kimia (Cazaubon *et al.*, 1995). Kecenderungan ini adalah disebabkan oleh taburan perifiton di merata tempat, kepekaannya kepada gangguan persekitaran dan kadar perolehan yang tinggi. Oleh kerana perifiton adalah asas kepada banyak rantai makanan, faktor yang mempengaruhi dinamikanya mempunyai implikasi yang besar terhadap ekosistem akuatik secara keseluruhannya (Napolitano *et al.*, 1994). Di dalam sistem yang tertekan, komuniti ini paling sesuai digunakan di dalam kajian impak pencemaran kerana sifatnya yang sesil dan kadar tumbesaran yang cepat (Stevenson & Lowe, 1986). Kelimpahan dan komposisi perifiton di sebarang lokasi ditentukan oleh kualiti air, jadi pemerhatian terhadap keadaan komuniti perifiton dapat menggambarkan keadaan jasad air di tempat tersebut (APHA, 1992). Beberapa indeks perifiton telah dicipta dan digunakan di banyak negara (Kentucky Department of Environmental Protection, 1993; Hill, 1997). Perubahan komposisi komuniti digunakan untuk menentukan pencemar alam sekitar semenjak ketoleranan ekologi kebanyakan spesies diketahui (Stevenson, 1998; Stevenson & Pan, 1999).

Kegunaannya banyak dibincangkan di dalam literatur, dan ulasan tentang metodologi secara umum telah dibuat oleh Aloi (1990) dan Biggs (1987). Morin dan Cattaneo (1992) menganalisa data dari beberapa penerbitan untuk mewujudkan satu hubungan di antara min dan varians variabel perifiton seperti densiti sel, biovolum,

klorofil, berat kering, berat kering tanpa abu dan penghasilan. Mereka juga menyelidik jika kevariabelan perifiton dipengaruhi oleh saiz sampel, penggunaan substrat semulajadi atau buatan, dan samada pengukuran dibuat di sungai, tasik atau habitat eksperimen.

Rott (1991) menyatakan bahawa niche ekologi alga perifiton dicirikan oleh pelbagai variabel persekitaran iaitu hidrologi, substratum, cahaya, kimia air, suhu dan biota lain. Tindakbalas spesies tertentu adalah ditentukan terutamanya oleh ketoleran spesifik spesies, seperti julat di antara keperluan minimum dan optimum bagi satu set kriteria kualiti air dan persekitaran. Sifat semulajadi spesies seperti saiz, morfologi koloni dan purata jangka hayat dapat dimodifikasi oleh ciri sesuatu sistem. Oleh itu kepelbagaian morfologi menjadi asas penting bagi pemantauan (Sinclair & Whitton, 1977; Gibson & Whitton, 1987).

Di dalam komuniti semulajadi, perifiton menyumbangkan kepada pengeluar primer (Cattaneo & Kalff, 1980) dan merupakan sumber makanan utama kepada invertebrat dan vertebrat di dalam jaringan makanan bentos (Lamberti, 1996). Di dalam sistem air yang cetek di mana biojisim fitoplankton secara relatifnya rendah atau fitoplankton hampir tiada, mikro fitobentos yang terampai menjadi sumber makanan tambahan kepada peragut di dalam turus air dan dataran pasang-surut (de Jonge & van Beusekom, 1995). Perifiton juga memainkan peranan penting di dalam pengkitaran nutrien dan penstoran (Mulholland *et al.*, 1994; Wetzel, 1996). Kajian eutrofikasi oleh McCormick *et al.* (1998) mendapati peningkatan pertumbuhan makrofit menyebabkan penurunan biojisim, pengeluaran dan retensi nutrien perifiton, serta perubahan komposisi taksonomi perifiton. Perubahan fungsi akibat kemerosotan



ini mempengaruhi komponen biotik dan abiotik, salah satu daripadanya adalah pengurangan perifiton sebagai sumber makanan tersedia, yang mengakibatkan pengeluaran herbivor akuatik menurun, seterusnya perubahan menuju rantai makanan detrital. Perifiton menunjukkan kepekaan yang tinggi dengan bertindakbalas dengan cepat terhadap parameter persekitaran, dan terdapat beberapa faktor penting yang mengawal penyebaran mikro fitobentos (Cazaubon *et al.*, 1995).

Patrick (1973) menggariskan dua pendekatan penggunaan alga untuk menggambarkan kualiti air, iaitu yang pertama ialah, dengan pemerhatian dan penganalisan komuniti semulajadi, di mana kesan pencemar dapat ditaksirkan melalui perubahan komposisi dan struktur komuniti. Misalnya, perubahan yang boleh mengakibatkan pertukaran komposisi komuniti dari spesies yang diingini kepada penguasaan oleh spesies yang kurang diingini, seperti pertukaran dari komuniti yang dikuasai oleh diatom dan alga hijau kepada penguasaan oleh alga biru-hijau (Stewart, 1995). Data bagi kajian komuniti alga ini adalah terhimpun dari kajian autekologi dan sinekologi. Pendekatan yang ke dua ialah dengan mengkaji kultur satu atau beberapa spesies dalam makmal di bawah keadaan yang dikawal. Kajian ini penting dalam penentuan perubahan kadar fungsi fisiologi dan morfologi akibat kepekatan bahan kimia atau faktor fizikal yang dikenakan. Perubahan pengeluaran dan struktur komuniti perifiton digunakan untuk menerangkan dan menentukan keadaan persekitaran sediaada, dan juga untuk menerangkan perubahan kualiti air dari segi masa dan di antara lokasi persampelan (Weitzel *et al.*, 1979).

## 2.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan komuniti perifiton

Perkembangan komuniti mikro perifiton adalah satu fungsi faktor yang mengawal pertumbuhan komponen individu. Secara amnya faktor yang biasa dikatakan sebagai penghad atau sangat penting adalah seperti jenis air iaitu samada tasik, sungai atau anak sungai; ketersediaan cahaya, insidens solar, kelutsinaran, kekeruhan; jenis, keadaan, lokasi, kedalaman dan ketersediaan substrat; pergerakan air, arus dan halaju; pH, alkaliniti dan keliatan; nutrien seperti nitrogen, fosforus dan karbon; lain-lain bahan terlarut seperti kalsium, sulfur dan silikon; logam dan logam surih seperti besi, kuprum, kromium, boron, vanadium dan selenium; suhu, kemasinan, oksigen dan karbon dioksida (Weitzel, 1979). Faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangan alga perifiton perlu difahami untuk mendapatkan gambaran bagaimana keadaan kualiti air memberi kesan terhadap komuniti alga, dan sebaliknya bagaimana komuniti alga yang terhasil dapat memberikan gambaran tentang status kualiti air.

Faktor yang mempengaruhi kesediaan cahaya ke permukaan substrat adalah faktor yang berkesan di dalam mengawal komponen alga perifiton. Peningkatan teduhan terhadap substrat tenggelam mengurangkan pengkolonian dan perkembangan perifiton. Kekeruhan akibat kelodak dan fitoplankton juga mengurangkan jumlah radiasi mengikut kedalaman, dengan demikian merencatkan pertumbuhan perifiton di dasar air, seterusnya mengurangkan nilai klorofil, seperti yang dilaporkan di dalam beberapa kajian (Weitzel, 1979). Adalah penting untuk memastikan persampelan bagi stesen yang berlainan dilakukan di bawah keadaan fizikal yang serupa mungkin,

supaya perbezaan ukuran klorofil adalah disebabkan keadaan kualiti air yang berbeza, bukannya disebabkan pengaruh teduhan. McIntire (1973) melaporkan bahawa biojisim perifiton yang rendah di sungai Oregon barat sebahagiannya disebabkan oleh kesan pengurangan cahaya akibat kanopi vegetasi daratan.

Faktor lain yang mempengaruhi pertumbuhan perifiton adalah jenis dan ketersediaan substrat. Cazaubon *et al.* (1995) mendapati bahawa substrat batu adalah elemen terbaik bagi mengutip perifiton dari substrat semulajadi, terutama apabila terdapat enjakan pasir dasar dan paras kekeruhan yang tinggi, serta disebabkan kedudukan batu yang stabil di dalam sungai dan pengkolonian perifiton adalah seragam di substrat berbatu. Penyebaran mikro di sekeliling substrat juga bergantung kepada bentuk, saiz dan posisi substrat di dalam air. Komuniti perifiton adalah lebih kompleks di permukaan batu yang kasar.

Jenis tumbuhan makrofit yang berlainan juga mempunyai pengkolonian alga yang berbeza (Cazaubon *et al.*, 1995). Bila bersentuhan dengan permukaan pepejal, diatom penat dan desmid merembeskan lendir untuk pergerakan (Sze, 1998). Setengah cyanobacteria berfilamen seperti *Oscillatoria*, bergerak untuk menyelaraskan kepadatan mereka sebagai tindakbalas terhadap keadaan persekitaran. Kebanyakan alga bentos bergantung kepada peringkat berflagelum untuk penyebaran dan pengkolonian pada permukaan baru.

Pergerakan air iaitu halaju sungai, tindakan gelombang, arus dan peredaran juga mempengaruhi pertumbuhan dan pengeluaran perifiton, samada berguna atau

penghalang, bergantung kepada kekuatan dan arah pergerakan (Weitzel, 1979). Pergerakan air secara berterusan mengganti atau memperbaharui bahan-bahan penting dan menyingkirkan bahan sampingan metabolisme (Hynes, 1970). Faktor tersebut merupakan faktor penyumbang kepada produktiviti yang tinggi di dalam sungai berbanding tasik. Peningkatan halaju di bawah julat 50-60 cm/s menggalakkan pengambilan nutrien dan pertumbuhan perifiton (Welch, 1992). Kajian oleh Schumacher & Whitford (1965) menunjukkan peningkatan pengambilan  $^{32}\text{P}$  oleh *Spirogyra* apabila halaju bertambah dalam julat 0-4 cm/s. Pergolakan di sekitar permukaan lapisan alga oleh halaju arus mengekalkan kecerunan maksima kepekatan nutrien di antara air ambien dan permukaan sel alga perifiton. Oleh itu, pertambahan halaju meningkatkan resapan nutrien dan meningkatkan ketebalan lapisan alga, seterusnya meninggikan biojisim. Aliran air juga mengurangkan zon susutan yang mengandungi nutrien penting dan lain-lain ion, yang terbentuk di sekitar sel yang mengalami fotosintesis dan respirasi yang aktif.

Pergerakan air juga memilih dan menghalang pertumbuhan setengah organisma. Di bawah keadaan halaju sederhana hingga deras, hanya diatom yang tumbuh atau melekat dengan kusen jeli atau tangkai bergelatin yang dapat bertahan terhadap pergerakan air. Douglas (1958) mendapati bahawa kepadatan perifiton pada jenis substrat yang berbeza adalah pelbagai disebabkan fungsi paras dan halaju air. Di dalam sungai, himpunan perifiton yang paling padat didapati di kawasan terlindung dari arus deras seperti di lopak tenang dan di sepanjang tebing sungai. Selain mempengaruhi keupayaan perlekatan perifiton, pergerakan air juga mempengaruhi keterlarutan dan kesediaan bahan-bahan terlarut seperti oksigen, karbon dioksida dan nutrien, serta suhu, kekeruhan dan kelutsinaran.

Halaju air yang deras dan pergerakan gelombang merencat pertumbuhan perifiton, terutama alga berfilamen melalui tindakan menghakis (Blum, 1956). Berhubungan dengan itu, terhasil juga tindakan pengampelas dan kekeruhan akibat partikel yang dibawa oleh arus yang deras. Perifiton yang tumbuh pada permukaan pasir lebih senang untuk terhakis berbanding perifiton di atas permukaan batu, walaupun berlaku sedikit pertambahan halaju arus. Batu bersaiz kecil lebih mudah bergolek di dasar sungai dan kehilangan perifiton di bawah pengaruh arus deras. Kesan ini tidak begitu ketara bagi perifiton yang tumbuh pada objek yang berada teguh di dalam air. Kajian juga mendapati pengeluaran dan penghasilan biojisim yang lebih tinggi di kawasan yang halaju airnya lebih perlahan (Weitzel, 1979).

Bahan-bahan terlarut dalam bentuk karbon, nitrogen, fosforus dan bahan organik adalah penting untuk mengawal pertumbuhan dan perkembangan perifiton. Nutrien menunjukkan kesan yang berbeza terhadap spesies yang berbeza (Patrick, 1982). Keperluan nutrien mengakibatkan penggantian spesies yang mempunyai keperluan yang tinggi oleh spesies yang mempunyai keperluan yang rendah melalui eksploitasi berlebihan.

Eutrofikasi menghasilkan sejumlah besar perifiton, terutama alga hijau berfilamen seperti *Cladophora* yang menjadi gangguan kualiti air dan penggunaan estetik air. Kajian *in situ* menunjukkan bahawa pengkayaan fosforus merupakan faktor utama yang menghasilkan perkembangan gangguan ini (Welch, 1992). Kekurangan nutrien akan mengakibatkan penyingkiran saingan. Horne & Goldman