

**KAJIAN TERHADAP CIRI-CIRI ENAP CEMAR DI TASIK HARAPAN,
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

Oleh

HASMARINI BINTI MUHAMMAD

Disertasi ini dikemukakan kepada

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat
keperluan untuk ijazah dengan kepujian

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN AWAM)

Pusat Pengajian Kejuruteraan Awam

Universiti Sains Malaysia

April 2005

PENGHARGAAN

Terlebih dahulu saya ingin memanjatkan syukur ke hadrat Ilahi kerana dengan limpah kurniaNya saya dapat menyiapkan kajian serta disertasi projek tahun akhir ini. Penghargaan yang tidak terhingga diucapkan kepada Prof. Madya Dr. Ir. Haji Mohd Nordin Adlan selaku penyelia projek saya di atas segala bimbingan, nasihat, tunjuk ajar dan bantuan beliau sepanjang saya menjalankan kajian ini. Ucapan penghargaan ini juga ditujukan kepada Prof. Madya Dr. Hamidi bin Abd. Aziz dan Dr. Kamar Shah Ariffin kerana telah banyak membantu saya dalam menjayakan projek ini.

Seterusnya, penghargaan dan jutaan terima kasih diucapkan kepada semua kakitangan Makmal Persekitaran, Kampus Kejuruteraan, Universiti Sains Malaysia terutamanya Puan Nurul Akma Sunai dan Puan Shamsiah serta kakitangan Makmal Geoteknik, Kampus Kejuruteraan, Universiti Sains Malaysia khasnya Encik Ahmad Halmi Ghazalli dan Encik Dziauddin Zainol Abidin kerana telah banyak memberi bimbingan dan bantuan kepada saya semasa menjalankan ujikaji-ujikaji di makmal.

Tidak lupa juga kepada Encik Noor Rizan Khalid, Pengarah Jabatan Keselamatan, Universiti Sains Malaysia kerana telah memberi sedikit sebanyak maklumat yang diperlukan semasa kajian ini dijalankan dan semua kakitangan Kampus Induk, Universiti Sains Malaysia yang turut sama terlibat sepanjang pelaksanaan kajian ini.

Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada kedua-dua ibu-bapa saya yang telah banyak memberi sokongan dan dorongan sepanjang saya menjalankan kajian ini. Tidak lupa juga kepada rakan-rakan seperjuangan yang telah banyak membantu saya di samping bertukar-tukar maklumat untuk menjayakan penghasilan disertasi ini.

Akhir kata, seribu penghargaan ditujukan sekali lagi kepada semua yang telah terlibat sama ada secara langsung atau pun tidak dalam menjayakan kajian ini.

Sekian, terima kasih.

ABSTRAK

Tasik Harapan merupakan sebuah tasik rekreasi buatan yang terletak bersebelahan Desasiswa Harapan dan Pusat Islam Universiti Sains Malaysia dengan keluasan 3156 m². Memandangkan keadaan tasik yang tercemar dan kualiti air tasik yang kurang memuaskan serta sering berlaku limpahan apabila hujan lebat, satu kaedah untuk memulihkan kembali keadaan asal air tasik dijalankan dengan menggunakan alat pengudaraan Bio Reco. Berikutan itu, satu kajian telah dijalankan ke atas enap cemar dan mikrobiologi air di Tasik Harapan.

Kajian ini bertujuan untuk mendapatkan ciri-ciri fizikal serta kimia enap cemar seperti kandungan lembapan, graviti tentu, ketumpatan pukal dan kandungan logamnya serta mengkaji parameter mikrobiologi air. Di samping itu, kajian ini juga bertujuan untuk mengkaji keberkesanan kaedah yang dilaksanakan dan menilai tahap pencemaran air di Tasik Harapan.

Secara umumnya, keputusan kajian menunjukkan purata kandungan lembapan enap cemar ialah 214.21%, purata graviti tentu ialah 2.02 dan purata ketumpatan pukalnya ialah 1.19 g/cm³. Purata ketebalan lapisan enap cemar pula ialah 0.27 m. Kepekatan logam ferum di dalam enap cemar menunjukkan purata yang tertinggi diikuti zink dan kromium menunjukkan purata kepekatan yang paling rendah. Dari segi mikrobiologi air, didapati terdapat kehadiran koloni bakteria dan ini menjadi petunjuk kepada paras pencemaran air tasik.

ABSTRACT

Tasik Harapan is a recreational lake which is situated between Desasiswa Harapan and Pusat Islam Universiti Sains Malaysia, and has an approximately area of 3156 m². Because of polluted lake condition and extremely low water quality, with overflow phenomenon from the lake when heavy rain, a method has been carried out to retreat the water quality by using Bio Reco aerator. Further, a study on sludge and water microbiology has been done at Tasik Harapan.

The objectives of this study are to identify the physical and chemical characteristic of sludge such as moisture content, specific gravity, bulk density and metal content and also to identify the parameter of water microbiology. Besides, this study was undertaken to assess the effectiveness of the method carried out and water pollution of Tasik Harapan.

Generally, the results from this study indicate that average moisture content of sludge is 214.21%, the average of specific gravity is 2.02 and the bulk density is 1.19 g/cm³. The average of sludge thickness is 0.27 m. The concentration of ferum in sludge gives the highest value following by zinc and the lowest metal concentration is chromium. From microbiology aspect, an existence of bacteria in water indicates the pollution level in lake water.

KANDUNGAN

MUKA SURAT

PENGHARGAAN		i
ABSTRAK		iii
ABSTRACT		iv
KANDUNGAN		v
SENARAI RAJAH		ix
SENARAI JADUAL		xi
SENARAI LAMPIRAN		xiii
BAB 1	PENGENALAN	
	1.1	PERNYATAAN MASALAH 1
	1.2	OBJEKTIF KAJIAN 5
	1.3	SKOP KAJIAN 6
BAB 2	SOROTAN LITERATUR	
	2.1	PENGENALAN 7
	2.2	TASIK 8
	2.2.1	Pencemaran Tasik 8
	2.2.2	Eutrofikasi 9
	2.2.3	Kesan Pencemaran Ke Atas Tasik 11

2.2.4	Konsep Proses Swacuci	13
2.3	ENAPCEMAR	14
2.3.1	Tujuan Pengolahan Enap Cemar	14
2.3.2	Ciri-ciri Enap Cemar	15
2.3.2.1	Ciri-ciri fizikal	16
2.3.2.2	Ciri-ciri kimia	17
2.3.2.3	Ciri-ciri biologi	18
2.3.3	Kandungan Lembapan Enap Cemar	19
2.3.4	Graviti Tentu Enap Cemar	19
2.3.5	Ketumpatan Pukal Enap Cemar	20
2.3.6	Kandungan Logam	21
2.3.7	Mikrobiologi air	22
2.3.7.1	Bakteria	23
2.3.7.2	Alga	24
BAB 3	METODOLOGI KAJIAN	
3.1	Pengenalan	26
3.2	Lokasi Kajian	27
3.3	Titik-titik Persampelan	28
3.4	Kerja-kerja Ukur	29
3.5	Pengambilan Sampel	30
3.5.1	Sampel Enap Cemar	30
3.5.2	Sampel Air	31

3.6	ANALISIS ENAP CEMAR	33
3.6.1	Ujikaji Kandungan Lembapan	33
3.6.2	Ujikaji Graviti Tentu	34
3.6.3	Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (AAS)	35
3.6.4	Analisis Pendarflour Sinar X (XRF)	37
3.7	ANALISIS MIKROBIOLOGI AIR	37
3.7.1	Ujikaji Kiraan Plat Agar	37
BAB 4	KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
4.1	KETEBALAN LAPISAN ENAP CEMAR	39
4.2	CIRI-CIRI ENAP CEMAR	41
4.2.1	Kandungan Lembapan Enap Cemar	41
4.2.2	Graviti Tentu Enap Cemar	44
4.2.3	Ketumpatan Pukal Enap Cemar	47
4.2.4	Kandungan Logam Enap Cemar	51
	4.2.4.1 Kromium	52
	4.2.4.2 Mangan	53
	4.2.4.3 Nikel	53
	4.2.4.4 Zink	53
	4.2.4.5 Kuprum	54
	4.2.4.6 Kadmium	54
	4.2.4.7 Ferum	54
	4.2.4.8 Plumbum	55

4.2.5 Analisis Pendafluor Sinar-X (XRF) dan Ujian Kehilangan Semasa Pembakaran (LOI)	55
4.3 CIRI-CIRI MIKROBIOLOGI AIR	57
4.3.1 Analisis Kiraan Plat Agar	57
4.4 KESAN ENAP CEMAR TERHADAP AIR TASIK	59
BAB 5 KESIMPULAN DAN CADANGAN	
5.1 KESIMPULAN	61
5.2 CADANGAN	62
RUJUKAN	63
LAMPIRAN	67

SENARAI RAJAH

MUKA SURAT

Rajah 1.1 : Pencemaran air di Tasik Harapan	2
Rajah 1.2 : Alat pengudaraan Bio Reco 800	3
Rajah 2.1 : Empat peringkat kitar hayat tasik (Nathanson, 2000)	10
Rajah 2.2 : Hubungan tipikal suhu-kedalaman dalam sesebuah tasik (Vesilind <i>et al.</i> , 1994)	12
Rajah 2.3 : Gambaran skematik ekologi tasik (Vesilind <i>et al.</i> , 1994)	12
Rajah 2.4 : Reogram bagi tiga bendalir yang berlainan (Vesilind <i>et al.</i> , 1994)	17
Rajah 3.1 : Carta alir metodologi kajian	27
Rajah 3.2 : Tasik Harapan	28
Rajah 3.3 : Titik-titik persampelan	29
Rajah 3.4 : Alat-alat kerja ukur kejuruteraan	30
Rajah 3.5 : Sampel enap cemar yang disediakan untuk analisis graviti tentu	35
Rajah 3.6 : Proses pencernaan enap cemar	36
Rajah 3.7 : Alat spektrofotometer serapan atom (AAS)	36
Rajah 3.8 : Piring petri yang berisi sampel dan agar semasa proses penyejukan	38
Rajah 4.1 : Graf ketebalan enap cemar berbanding taburan hujan pada Stesen 1	40
Rajah 4.2 : Graf lakaran kekotak (<i>boxplot</i>) bagi data ketebalan lapisan enap cemar	41

Rajah 4.3 : Graf kandungan lembapan enap cemar berbanding taburan hujan pada Stesen 1	43
Rajah 4.4 : Graf lakaran kekotak (<i>boxplot</i>) bagi data kandungan lembapan enap cemar	44
Rajah 4.5 : Graf graviti tentu enap cemar berbanding taburan hujan pada Stesen 1	46
Rajah 4.6 : Graf lakaran kekotak (<i>boxplot</i>) bagi data graviti tentu enap cemar	47
Rajah 4.7 : Graf ketumpatan pukal enap cemar berbanding taburan hujan pada Stesen 1	49
Rajah 4.8 : Graf lakaran kekotak (<i>boxplot</i>) bagi data ketumpatan pukal enap cemar	50
Rajah 4.9 : Graf kandungan kromium dalam sampel enap cemar	52
Rajah 4.10 : Graf bilangan bakteria berbanding taburan hujan	59

SENARAI JADUAL

MUKA SURAT

Jadual 2.1 : Komposisi biasa enap cemar domestik (Nicoll, 1988)	15
Jadual 2.2 : Ciri-ciri enap cemar (Vesilind <i>et al.</i> , 1994)	18
Jadual 2.3 : Nilai-nilai graviti tentu tanah mengikut jenis tanah	20
Jadual 2.4 : Jumlah kandungan logam berat bagi setiap enap cemar dalam mg/kg (Fuentes <i>et al.</i> , 2004)	21
Jadual 2.5 : Ciri-ciri enap cemar dan tanah liat (Weng <i>et al.</i> , 2003)	22
Jadual 3.1 : Tarikh pengambilan sampel enap cemar	31
Jadual 3.2 : Tarikh pengambilan sampel air	32
Jadual 4.1 : Ketebalan lapisan enap cemar di setiap titik persampelan	39
Jadual 4.2 : Keputusan ujikaji kandungan lembapan enap cemar	42
Jadual 4.3 : Nilai-nilai purata, julat dan sisihan piawai bagi kandungan lembapan enap cemar mengikut hari persampelan	42
Jadual 4.4 : Keputusan ujikaji graviti tentu enap cemar	45
Jadual 4.5 : Nilai-nilai purata, julat dan sisihan piawai bagi graviti tentu enap cemar mengikut hari persampelan	45
Jadual 4.6 : Nilai ketumpatan pukal enap cemar	48
Jadual 4.7 : Nilai-nilai purata, julat dan sisihan piawai bagi ketumpatan pukal enap cemar mengikut hari persampelan	48

Jadual 4.8 : Nilai-nilai purata, julat dan sisihan piawai enap cemar untuk keseluruhan sampel	50
Jadual 4.9 : Keputusan ujikaji kandungan logam enap cemar	51
Jadual 4.10 : Nilai purata dan sisihan piawai bagi logam-logam yang dianalisis	52
Jadual 4.11 : Peratus berat komposisi kimia dalam sampel enap cemar dan peratus kehilangan semasa pembakaran	56
Jadual 4.12 : Keputusan analisis kiraan plat agar	58

SENARAI LAMPIRAN

MUKA SURAT

LAMPIRAN A	67
LAMPIRAN B	84
LAMPIRAN C	118
LAMPIRAN D	125

BAB 1

PENGENALAN

1.1 PERNYATAAN MASALAH

Pada masa kini, pihak Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang sedang giat menjayakan 'Program Kampus Sejahtera' sebagai langkah untuk menyediakan persekitaran pengajaran dan pembelajaran yang bersih dan sihat kepada semua warga universiti termasuklah orang-orang awam. Dalam usaha tersebut, salah satu program yang terlibat adalah untuk membersihkan air tasik supaya sesuai digunakan untuk aktiviti-aktiviti rekreasi seperti berenang dan berkayak kerana didapati air tasik amat tercemar sehingga aktiviti-aktiviti tersebut tidak sesuai untuk dilaksanakan.

Melalui pemerhatian yang telah dibuat, air Tasik Harapan didapati tercemar kerana aliran air longkang monsun bersebelahan yang masuk ke dalam kawasan tasik. Air dari longkang tersebut didapati tercemar dengan berbagai-bagai sampah-sarap seperti sisa makanan, plastik dan lain-lain. Di samping itu, air yang mengalir masuk ke dalam tasik juga didapati berpunca daripada sungai kecil berhampiran Pusat Pengajian Farmasi, Sungai Gambir, Loji Indah Water Konsortium dan sungai-sungai kecil di perkampungan berdekatan kawasan kajian yang mengalir masuk ke dalam tasik tanpa sebarang kawalan. Disebabkan itu, kawasan tersebut sering berlaku limpahan air terutamanya apabila berlaku hujan lebat.

Selain itu, air tasik juga didapati tercemar dengan kehadiran alga pada permukaan tasik yang telah merosakkan pemandangan di sekitar tasik. Di samping itu, kehadiran populasi biawak yang banyak juga menunjukkan air tasik sudah tercemar dan memerlukan kaedah untuk mengembalikan kualiti air tasik kepada keadaan asal yang bersih dan terpelihara.



Rajah 1.1 : Pencemaran air di Tasik Harapan

Kualiti air tasik yang kurang memuaskan menyumbang kepada penghasilan enap cemar yang tinggi melalui proses penguraian bahan-bahan pencemar oleh bakteria lalu mengendap di dasar tasik. Keadaan ini menyebabkan penggunaan oksigen yang tinggi seterusnya mengurangkan kandungan oksigen terlarut dalam air. Penghasilan enap cemar yang terlalu banyak akan mencetakkan air tasik dan akan menyebabkan limpahan berlaku.

Oleh yang demikian, analisis enap cemar perlu dilakukan untuk menilai kualiti air tasik dari segi fizikal dan kimianya dengan mengkaji parameter-parameter tertentu serta menilai pengaruh enap cemar terhadap air tasik.

Sehubungan itu, usaha membersihkan tasik dilaksanakan dengan menggunakan suatu kaedah yang mesra alam. Tasik Harapan dijadikan lokasi kajian untuk menguji keberkesanan alat ini sebelum ia digunakan untuk tasik-tasik yang lain. Melalui kaedah ini, suatu alat pengudaraan Bio Reco dipasang di tengah-tengah tasik. Alat ini dapat menjanakan proses aerobik untuk membekalkan lebih banyak oksigen kepada air tasik.



Rajah 1.2 : Alat pengudaraan Bio Reco 800

Alat pengudaraan Bio Reco 300 telah dipasang pada bulan April 2004. Alat ini mempunyai keupayaan 1.18 kW dengan kadar pusingan *propeller* 1500 rpm. Ia

menggunakan kuasa elektrik untuk memutarakan *propeller* supaya dapat menjana lebih banyak oksigen kepada air tasik melalui proses pengudaraan. Pada 17 Ogos 2004, alat pengudaraan Bio Reco 300 telah digantikan dengan Bio Reco 800 dengan keupayaan 1.5 kW dan kadar pusingan *propeller* 3000 rpm. Ini adalah untuk menjanakan lebih banyak oksigen kepada tasik kerana keupayaan alat tersebut sebelum ini kurang memberangsangkan.

Dalam kajian ini, sampel-sampel enap cemar dari tasik tersebut diambil di beberapa tempat yang telah ditetapkan untuk dianalisis. Beberapa parameter enap cemar diuji melalui analisis fizikal seperti kandungan lembapan, graviti tentu dan ketumpatan pukal di samping beberapa analisis kimia untuk menentukan komposisi-komposisi kimia enap cemar seperti analisis pendarflour sinar-X (*X-ray fluorescence-XRF*) serta ujian kehilangan semasa pembakaran (LOI) dan analisis spektrofotometer serapan atom (AAS). Parameter mikrobiologi seperti kehadiran bakteria juga dianalisis untuk mengetahui jumlah bakteria yang hadir dalam sampel air melalui kaedah kiraan plat.

Kajian ini membolehkan parameter-parameter enap cemar di Tasik Harapan diketahui untuk menilai sejauh mana tahap pencemaran air tasik tersebut di samping menentukan ciri-ciri dan komposisi-komposisi enap cemar yang hadir di dalam tasik. Kajian ini penting kerana ia merupakan percubaan yang dilaksanakan oleh pihak universiti dalam usaha membersihkan tasik di sekitar kampus USM sebelum ia dilakukan ke atas ke semua tasik.

1.2 OBJEKTIF KAJIAN

Matlamat utama kajian ini dijalankan adalah untuk mengembalikan semula keadaan asal kualiti air dan enapan di dasar Tasik Harapan di samping untuk mengetahui tahap pencemaran air tasik sehingga ke hari ini. Dengan kajian yang dijalankan ini, diharapkan air tasik yang tercemar dapat dirawat dan menjadikan tasik sesuai untuk dijalankan pelbagai aktiviti pada masa hadapan.

Objektif-objektif kajian ini adalah seperti berikut:

1. Mengkaji ciri-ciri dan komposisi enapcemar yang terdapat di Tasik Harapan dan pengaruhnya terhadap kualiti air tasik.
2. Mengkaji parameter mikrobiologi air tasik.
3. Mengkaji keberkesanan alat pengudaraan Bio Reco terhadap kualiti air tasik.
4. Mencadangkan kaedah-kaedah yang sesuai dilaksanakan bagi memastikan kualiti air tasik kembali kepada keadaan asal supaya sesuai dijadikan tempat rekreasi yang bersih dan selamat.

1.3 SKOP KAJIAN

Skop kajian ini tertumpu kepada analisis enap cemar untuk mengetahui ciri-ciri fizikal dan kimianya di samping analisis mikrobiologi air. Persampelan air telah dilakukan sebanyak 15 kali bermula dari Mei 2004 hingga Januari 2005, manakala persampelan enap cemar pula telah dilakukan sebanyak 7 kali bermula Julai 2004 hingga November 2004. Seterusnya, ia melibatkan pelaksanaan beberapa ujikaji makmal untuk mendapatkan data-data yang diperlukan. Kajian ini juga merangkumi kerja ukur kejuruteraan di sekitar kawasan tasik untuk mendapatkan maklumat-maklumat penting seperti isipadu, kedalaman dan keluasan tasik.

BAB 2

SOROTAN LITERATUR

2.1 PENGENALAN

Bendasing memasuki air apabila ia melalui atmosfera, melintasi permukaan bumi dan di antara partikel-partikel tanah di dalam bumi. Kelodak yang berlebihan serta pepejal lain menjadikan air tidak menarik pada pandangan serta tidak menyenangkan dari segi estetika (Vesilind *et al.*, 1994).

Enap cemar merupakan suatu bahan yang sebahagian besarnya dikandungi air dan sebahagian kecil sahaja pepejal. Istilah enap cemar mengikut tafsiran yang biasa digunakan adalah pepejal yang dienap atau dipisahkan daripada air (Hamidi, 1999). Enap cemar juga mengandungi kandungan organik, tak organik serta lain-lain bentuk bahan cemar.

Dewasa ini, berbagai-bagai langkah telah diketengahkan untuk meningkatkan proses rawatan air sisa bagi mencapai darjah kualiti air yang tinggi dan mengikut standard yang telah ditetapkan. Ini secara tidak langsung telah menyebabkan peningkatan kepada amaun enap cemar yang perlu ditangani dengan sebaik mungkin. Sekiranya enap cemar tidak ditangani dengan baik ia akan mendatangkan kesan yang buruk terhadap alam sekitar. Ciri-ciri dan sifat-sifat yang terdapat pada enap cemar

menentukan cara, corak dan hala tuju kaedah pengurusan dan pelupusan yang bakal digunakan.

2.2 TASIK

Sesebuah tasik terhasil daripada sesuatu proses geologi (semulajadi) atau buatan manusia yang mana selalunya berakhir dengan masalah kehilangan fungsi atau mekanisma sebuah tasik akibat daripada penyejatan disebabkan oleh perubahan dalam keseimbangan hidrologikal ataupun pencetakan disebabkan oleh penganapan (Ningkau, 2004). Menurut Parker & Corbitt (1993), tasik merupakan satu jasad air yang mempunyai saiz yang kecil ke saiz yang sederhana dengan permukaannya terdedah kepada atmosfera. Kebanyakan tasik mempunyai luas permukaan kurang daripada 100 batu persegi (259 km persegi).

2.2.1 Pencemaran Tasik

Pencemaran yang berlaku di dalam tasik semulajadi atau kolam pemuliharaan menimbulkan masalah yang berbeza daripada pencemaran sungai. Ini adalah disebabkan oleh ciri-ciri fizikalnya. Air sungai mengalir secara malar atau konstan dan menghasilkan tindakan pancuran terhadap bahan pencemar yang hadir. Tetapi, air tasik tidak mengalir dan tertahan untuk satu jangka masa yang agak lama. Dalam sesetengah kes, bahan-bahan pencemar boleh berada di dalam tasik untuk beberapa tahun.

Di dalam sungai, bahan pencemar organik akan mempengaruhi profil oksigen. Di dalam tasik pula, kualiti air lebih bergantung kepada tumbuhan nutrien berbanding bahan organik daripada kumbahan. Apabila bahan pencemar yang mengandungi sebatian fosforus dan nitrogen berkumpul di dalam tasik, tumbuhan akuatik berakar dan alga akan tumbuh secara berlebihan. Alga dan rumpai akuatik ini akan mati dan mengendap di dasar tasik, di mana ia akan diuraikan oleh bakteria dan juga protozoa. Keadaan ini menyebabkan penggunaan keperluan oksigen air dan mengurangkan kandungan oksigen terlarut di sesetengah bahagian tasik (Nathanson, 2000).

Pertumbuhan alga yang berlebihan menyebabkan pembentukan satu lapisan alga yang nipis yang terapung di atas permukaan tasik. Keadaan ini mengakibatkan kecacatan pemandangan dan boleh mengganggu aktiviti-aktiviti seperti berenang dan memancing serta tidak sesuai untuk berekreasi.

2.2.2 Eutrofikasi

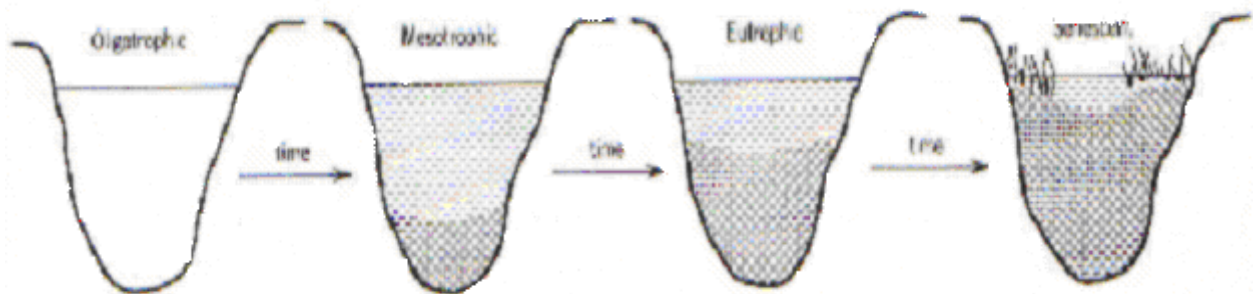
Eutrofikasi merupakan satu tindakbalas biologi terhadap sumber nutrien yang berlebihan ke dalam sesebuah tasik. Peningkatan dalam biojisim mengakibatkan kualiti air menurun. Ningkau (2004) menekankan bahawa eutrofikasi adalah proses semulajadi di mana dalam kebanyakan air permukaan, proses ini memberi kesan dalam penghasilan biojisim yang tinggi dengan kadar pembiakan ikan yang tinggi.

Menurut Nathanson (2000), eutrofikasi ialah proses pengkayaan nutrien dan pemenuhan tasik secara perlahan-lahan. Tasik mempunyai kitar hayat semulajadi.

Secara geologi, kebanyakan tasik bermula sebagai satu jasad yang dalam, sejuk dan jernih. Pada peringkat ini, ia dipanggil tasik oligotropik. Ia biasanya terdiri daripada dasar berpasir atau berbatu, mengandungi sedikit nutrien dan kekurangan tumbuhan dan hidupan air seperti ikan. Selepas beberapa tahun, nutrien akan berkumpul secara perlahan-lahan dan pelbagai hidupan akuatik akan wujud. Enapan akan terhasil pada dasar tasik dan pada ketika ini tasik berada dalam peringkat mesotropik.

Peringkat eutropik dalam kitar hayat tasik pula bermula apabila tasik sudah menjadi semakin cetek, dengan kandungan nutrien yang mencukupi untuk menampung populasi tumbuhan dan haiwan yang semakin banyak. Peringkat seterusnya ialah peringkat *senescent*, di mana ia dicirikan berdasarkan kandungan organik yang tebal dan takat nutrien yang sangat tinggi. Tasik *senescent* adalah sangat cetek dan banyak tumbuhan berakar mula muncul di sekitar tasik.

Eutrofikasi tasik ini mengambil masa beribu-ribu tahun. Ia merupakan satu proses yang terlalu lambat. Walau bagaimanapun, proses ini selalunya dipercepatkan oleh aktiviti-aktiviti manusia.



Rajah 2.1 : Empat peringkat kitar hayat tasik (Nathanson, 2000)

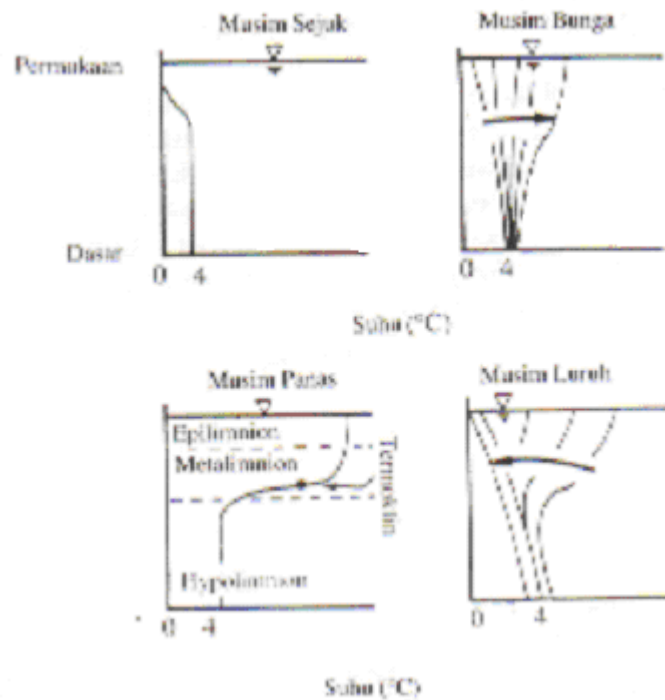
2.2.3 Kesan Pencemaran Ke Atas Tasik

Menurut Vesilind *et al.* (1994), kesan pencemaran ke atas tasik berbeza dari kesan ke atas sungai melalui beberapa cara. Satu darinya ialah cahaya dan suhu mempunyai pengaruh yang besar ke atas tasik dan mesti dimasukkan ke dalam analisis limnologi. Cahaya merupakan sumber tenaga dalam tindak balas fotosintesis dan penembusan cahaya ke dalam air tasik adalah penting. Biasanya tasik ditembusi cahaya hanya dua kaki paling atas, oleh itu semua tindak balas fotosintesis berlaku dalam zon ini.

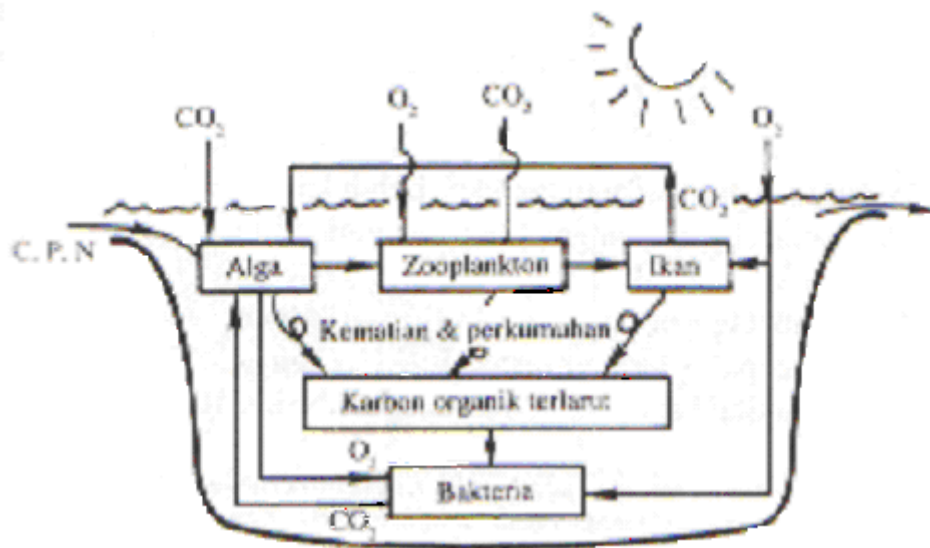
Suhu mempunyai kesan ke atas tasik. Air berada dalam ketumpatan maksimum pada 4°C. Air juga adalah pengalir haba yang lemah tetapi menahan haba dengan baik. Suhu air tasik biasanya mengalami perubahan bermusim. Hubungan suhu dan kedalaman ditunjukkan dalam Rajah 2.2. Semasa musim sejuk, sekiranya tasik tidak beku, suhu biasanya malar dengan kedalaman. Apabila cuaca lebih panas, lapisan atas mula menjadi panas. Oleh kerana air adalah pengalir haba yang lemah dan air yang lebih panas adalah lebih ringan, satu kecerunan suhu yang ketara terbentuk yang dikenali sebagai *penstrataan haba*. Stratum ini biasanya sangat stabil dan kekal di sepanjang musim panas.

Lapisan atas dipanggil *epilimnion*, lapisan pertengahan dipanggil *metalimnion*, sementara lapisan bawah dipanggil *hipolimnion*. Titik lengkok balas dalam lengkung ini dipanggil *termoklin*. Edaran air berlaku hanya di dalam satu zon, dengan itu pemindahan bahan biologi atau kimia (termasuk DO) melintasi sempadan sangat

terhad. Apabila menghampiri musim sejuk, lapisan atas mula sejuk, menjadi lebih tumpat, dan tenggelam.



Rajah 2.2 : Hubungan tipikal suhu-kedalaman dalam sesebuah tasik (Vesilind *et al.*, 1994)



Rajah 2.3 : Gambaran skematik ekologi tasik (Vesilind *et al.*, 1994)

Tindak balas biokimia di dalam tasik asli boleh digambarkan secara skematik seperti di dalam Rajah 2.3. Sungai yang menyuapkan tasik akan membekalkan karbon, fosforus dan nitrogen, sama ada sebagai bahan organik tenaga tinggi atau sebagai sebatian tenaga rendah. Fitoplankton atau alga (mikrob atau tumbuhan terapung bebas) mengambil C, P dan N dan dengan menggunakan cahaya matahari sebagai sumber tenaga menghasilkan sebatian tenaga tinggi. Alga dimakan oleh zooplankton (haiwan akuatik halus), yang kemudiannya dimakan oleh hidupan akuatik yang lebih besar seperti ikan. Kesemua bentuk hidupan ini berkumuh, dengan itu menyumbang kepada takungan *karbon organik terlarut*. Kumpulan ini juga bertambah dengan kematian hidupan akuatik. Bakteria menggunakan karbon organik terlarut dan menghasilkan karbon dioksida, yang digunakan oleh alga. Karbon dioksida tambahan diperolehi dari pernafasan ikan dan zooplankton serta karbon dioksida yang terlarut dari udara.

2.2.4 Konsep Proses Swacuci

Swacuci atau proses pembersihan secara semulajadi ditakrifkan sebagai pemuliharaan separa atau sempurna bagi suatu tasik yang mana pada keadaan asalnya mengandungi bendasing yang cukup dari segi kualiti ataupun kuantiti untuk mengubah ciri-ciri fizikal, biologikal dan kimia tasik tersebut.

Apabila tiada kesan toksik dari sisa industri, pembersihan semulajadi bolehlah dimaksudkan sebagai kebolehan semulajadi tasik untuk menstabilkan bahan organik tanpa mempengaruhi secara serius kandungan oksigennya.

Semasa proses swacuci berlaku, ia melibatkan pengudaraan semula tasik. Perlarutan akan berlaku antara permukaan air dan udara di mana lapisan nipis air akan tepu dengan cepatnya dan pengudaraan semula selanjutnya pula akan dikuasai oleh serapan oksigen pada keseluruhan jasad air. Namun begitu, sekiranya terdapat tasik yang bergelora, lapisan permukaan tepu ini akan terpecah dan pengudaraan semula boleh berlaku dengan lebih pantas lagi (Intan Suraya, 1998).

2.3 ENAP CEMAR

Enap cemar merupakan bahan yang mengenang daripada air sisa dalam tangki Imhoff, penjernih, kolam serta sistem rawatan tanah dan akuatik (Crites & Tchobanoglous, 1998). Enap cemar secara kasarnya boleh dibahagikan kepada enap cemar organik, enap cemar kimia (tak organik) dan enap cemar campuran organik dan tak organik (Nor Lila Shuib, 2003).

2.3.1 Tujuan Pengolahan Enap Cemar

Menurut Hamidi (1999)(b), enap cemar perlu diolah disebabkan oleh beberapa perkara iaitu untuk:

- i. Menstabilkan bahan organik dalam enap cemar.
- ii. Mengurangkan isipadu enapcemar.
- iii. Memusnahkan organisma patogen.
- iv. Mendapatkan sesuatu yang berharga dari enap cemar, terutamanya gas yang boleh dimanfaatkan juga sumber yang boleh dijadikan baja.

Jadual 2.1 : Komposisi biasa enap cemar domestik (Nicoll, 1988)

Parameter	Tangki enap		Terolah oleh pencernaan anaerobik
	Primer	Sekunder	
Graviti tentu	1.04	1.02	1.03
pH	5.5 – 6.5	-	6.8 – 7.6
Kealkalian (mg/l)	1200	-	4400
Asid meruap (mg/l)	3000	-	<200
Kandungan air (%)	92 – 96	96 – 98	94 – 98
Mineral (%)	20 – 30	25 – 35	35 – 45
Kandungan organik (%)	70 – 80	65 – 75	55 – 65
Gris (%)	12 – 16	-	4 – 12
Protein (%)	4 – 14	-	10 – 20
Karbohidrat (%)	8 – 10	-	5 – 8
Nitrogen (%)	2 – 5	-	2 – 4
Fosfat (%)	0.5 – 1.5	-	0.5 – 15
Potash (%)	0.3	-	-
Logam berat (Zn, Pb & Cu) (%)	0.05 – 0.5	-	0.05 – 0.5
Bakteria patogen (bil per 100ml)	$10^3 - 10^5$	-	10 – 100
Organisma parasit (bil per 100ml)	8 -12	-	1 – 3

2.3.2 Ciri-ciri Enap Cemar

Ciri-ciri sesuatu enap cemar yang perlu diberi perhatian bergantung kepada apa yang ingin dilakukan ke atas sesuatu jenis enap cemar. Contohnya, jika enap cemar perlu dipampatkan melalui graviti, penganapan dan pemampatannya adalah penting. Sebaliknya, jika enapcemar perlu dicerna secara anaerob, kepekatan pepejal meruap, logam berat dan sebagainya adalah penting (Vesilind *et al.*, 1994).

Menurut Nathanson (2000), ciri-ciri enap cemar akan berubah mengikut masa. Enap cemar air sisa biasanya mengandungi bahan organik (protein, karbohidrat, lemak, minyak), mikrob (bakteria, virus, protozoa), nutrien (fosfat dan nitrat), dan pelbagai bahan kimia domestik dan industri.

2.3.2.1 Ciri-ciri fizikal

Ciri-ciri reologi enap cemar adalah penting kerana ini merupakan salah satu dari beberapa parameter asas sebenar yang menghuraikan sifat fizikal enap cemar. Enap cemar bertindak sebagai pseudoplastik dengan tegasan alah dan kelikatan plastik. Lakuan reologi bendalir pseudoplastik ditakrifkan melalui satu reogram yang ditunjukkan dalam Rajah 2.4. Enap cemar bertindak sebagai bendalir plastik apabila kepekatan pepejal bertambah. Bendalir plastik sebenar boleh dihuraikan melalui persamaan:

$$\tau = \tau_y + \eta (du/dy) \quad (2.1)$$

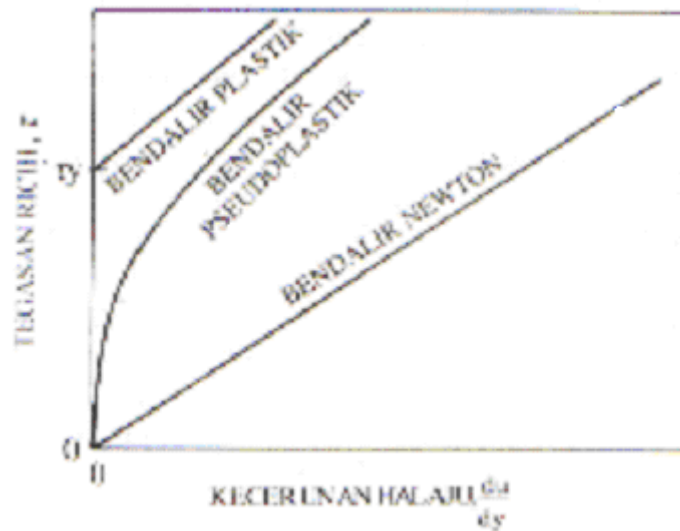
dengan τ = tegasan ricih

τ_y = tegasan alah

η = kelikatan plastik

du/dy = kadar ricih atau kecerunan profil kelikatan (u)–kedalaman (y)

Walaupun enap cemar lazimnya bukanlah plastik sebenar, persamaan di atas boleh digunakan sebagai anggaran reogram tersebut (Vesilind *et al.*, 1994).



Rajah 2.4 : Reogram bagi tiga bendalir yang berlainan (Vesilind *et al.*, 1994)

Ciri-ciri fizikal enap cemar yang selalu dikaji adalah kepekatan pepejal dan ciri-ciri yang terdapat dalam enap cemar. Jadual 2.2 menunjukkan ciri-ciri fizikal enap cemar. Mengikut Nor Lila Shuib (2003), kepekatan pepejal merupakan pembolehubah yang penting untuk mencirikan sesuatu enap cemar kerana melalui cara ini dapat ditentukan jumlah isipadu enap cemar yang perlu dikendalikan. Kepekatan pepejal dalam enap cemar juga digunakan untuk menentukan keadaan rupa bentuk enap cemar sama ada dalam bentuk cecair atau pepejal. Kepekatan pepejal yang tinggi dalam sesuatu enap cemar menghasilkan enap cemar dalam bentuk pepejal.

2.3.2.2 Ciri-ciri kimia

Ciri-ciri kimia sesuatu enap cemar juga penting untuk diketahui selain daripada ciri-ciri fizikalnya. Di antara parameter-parameter yang diambil kira untuk menentukan ciri-ciri kimia enap cemar adalah komposisi kimianya, pH, BOD, COD dan lain-lain.

Komposisi kimia di dalam sesuatu enap cemar terutamanya dari segi kepekatan logam berat dan toksin yang boleh menyebabkan enap cemar toksik kepada persekitaran adalah penting diketahui.

Jadual 2.2 : Ciri-ciri enap cemar (Vesilind *et al.*, 1994)

Jenis Enap Cemar	Fizikal				Kimia		
	Kepekatan Pepejal (mg/l)	Pepejal Meruap (%)	Kekuatan Alah (dine/cm ²)	Kelikatan Plastik (g/cms)	Nitrogen (% sebagai N)	Fosforus (% sebagai P ₂ O ₂)	Kalium (% sebagai K ₂ O)
Air	-	-	0	0.01	-	-	-
Primer mentah	60000	60	40	0.3	2.5	1.5	0.4
Tercerna Bercampur	80000	40	15	0.9	4.0	1.4	0.2
Teraktif Bercampur	15000	70	0.1	0.06	4.0	3.0	0.5
Alum, ppt	20000	40	-	-	2.0	2.0	-
Kapur, ppt	200000	18	-	-	2.0	3.0	-

2.3.2.3 Ciri-ciri biologi

Ciri-ciri biologi enap cemar yang selalu diberi penekanan adalah kepekatan patogen yang terdapat di dalam enap cemar terutamanya dari segi bakteriologi dan virus. Ciri-ciri ini biasanya digunakan untuk tujuan kerja-kerja pelupusan muktamad enap cemar (Nor Lila Shuib, 2003).

Menurut Wang *et al.* (1992), enap cemar olahan air kebanyakannya mengandungi bahan tak organik dengan jumlah karbon organik 3.0% dan jumlah nitrogen 0.6% daripada jumlah berat kering. Nilai-nilai ini lebih kurang sama dengan nilai-nilai tipikal komposisi tanah, dan lebih rendah berbanding dengan kandungan karbon organik dan nitrogen daripada enap cemar perbandaran.

2.3.3 Kandungan Lembapan Enap Cemar

Kandungan lembapan enap cemar adalah banyaknya air yang dikandungi oleh enap cemar tersebut (Hamidi, 1999 (b)). Sampel basah enap cemar yang diketahui beratnya dikeringkan pada suhu 105°C. Kehilangan berat selepas pengeringan mewakili kandungan lembapan enap cemar tersebut. Menurut Nor Lila Shuib (2003), kandungan lembapan enap cemar adalah nisbah berat air dalam sesuatu sampel enap cemar dibandingkan dengan berat pepejal. Nisbah ini adalah berdasarkan jisim kering enap cemar dan bukannya isipadu keseluruhan. Kandungan lembapan selalunya dinyatakan dalam bentuk peratus yang mempunyai julat daripada sifar (tanah kering) sehingga ke nilai peratusan tertentu.

2.3.4 Graviti Tentu Enap Cemar

Graviti tentu ditakrifkan sebagai nisbah berat pepejal pada isipadu tertentu dibandingkan dengan berat air pada isipadu yang sama (Bujang *et al.*, 1991). Graviti tentu bagi enap cemar pula adalah perbandingan antara jisim sesuatu isipadu tertentu sampel enapcemar pada suhu tertentu terhadap jisim air suling yang sama isipadu dengan enap cemar pada suhu 4°C (Nor Lila Shuib, 2003).

Graviti tentu bagi sesuatu bahan banyak bergantung kepada ketumpatan mineral yang membina partikel bahan itu secara individu. Jadual 2.3 menggariskan beberapa graviti tentu bagi jenis-jenis tanah tertentu seperti di bawah:

Jadual 2.3 : Nilai-nilai graviti tentu tanah mengikut jenis tanah (Nor Lila Shuib, 2003)

Jenis tanah	Graviti Tentu
Tanah tak organik	2.6 – 2.8
Tanah laterit	2.75 – 3.0
Partikel pasir kompos	2.65 – 2.67
Tanah liat tak organik	2.7 – 2.8
Tanah dengan kandungan organik atau partikel poros	2.6

Kebanyakan mineral mempunyai nilai graviti tentu dalam julat antara 2.6 hingga 2.9 (Das, 1999).

2.3.5 Ketumpatan Pukal Enap Cemar

Ketumpatan pukal atau ketumpatan ketara adalah jisim tanah yang dibahagi dengan isipadu keseluruhan tanah tersebut. Ketumpatan pukal biasanya mempunyai nilai yang lebih rendah daripada graviti tentu kerana ia termasuk jisim dan isipadu liang sedangkan graviti tentu tidak melibatkan jisim dan isipadu tersebut (Singer & Munns, 1987).

2.3.6 Kandungan Logam

Pengetahuan tentang kandungan logam dalam enap cemar adalah penting sebagai panduan untuk kerja-kerja kumbahan dan pemantauan pelupusan enap cemar ke daratan atau lautan. Logam-logam seperti zink, kuprum, plumbum dan kadmium adalah merupakan logam yang sering diberi perhatian. Logam zink, kuprum dan plumbum penting kerana logam tersebut boleh menjadi *phytotoxic*, iaitu berlaku kesan yang berbahaya kepada tumbuhan disebabkan oleh bahan kimia dalam tanah dan bahan kimia yang digunakan pada tumbuhan itu sendiri. Perhatian terhadap logam kadmium meningkat pada kemungkinannya memasuki rantai makanan dan gangguan pada buah pinggang merupakan tanda ketoksikan kadmium. Logam-logam ini boleh mencemarkan air bawah tanah terutamanya di kawasan yang mempunyai aras air yang tinggi (Udom *et al.*, 2003).

Jadual 2.4 : Jumlah kandungan logam berat bagi setiap enap cemar dalam mg/kg (Fuentes *et al.*, 2004)

	Aerobic	Anaerobic	WSP sludge	Non-stabilised
Cu	204 ± 5	337 ± 10	167 ± 7	146 ± 7
Cr	38 ± 3	3,809 ± 70	71 ± 5	61 ± 1
Ni	17 ± 2	29 ± 2	15 ± 1	25 ± 1
Fe	5583 ± 331	25,208 ± 545	8915 ± 211	5475 ± 44
Zn	487 ± 28	871 ± 37	697 ± 23	458 ± 11
Pb	58 ± 1	167 ± 3	250 ± 10	87 ± 1
Cd	1.10 ± 0.07	18.3 ± 0.5	11.4 ± 0.4	1.14 ± 0.06

Jadual 2.5 menunjukkan perbandingan enap cemar nyahair, enap cemar kering dan tanah liat bagi ciri-ciri enap cemar yang tertentu seperti pH, ketumpatan, kandungan

lembapan, peratus kehilangan semasa pembakaran dan kandungan logam berdasarkan satu kajian yang telah dijalankan di Taiwan.

Jadual 2.5 : Ciri-ciri enap cemar dan tanah liat (Weng *et al.*, 2003)

Characteristics	Dewatered sludge	Dried sludge	Clay
pH	7.19	7.27	8.09
Density (g/cm ³)	1.16	1.75	2.52
Volatile matter (combusted at 550 ± 50 °C for 3 h) (%)	56.9	61.3	5.9
Moisture content (%)	84.1	41.0	1.4
Loss on ignition (combusted at 800 ± 50 °C for 3 h) (%)	94.6	76.6	7.9
Metals (mg/kg)			
Cd	3	5	<0.1
Cr	537	1713	16
Cu	29	212	85
Co	10	24	5
Fe	5265	18 070	8530
Ni	167	1131	20
Pb	3	35	<0.1
Zn	264	628	98

2.3.7 Mikrobiologi air

Salah satu sifat kebanyakan air secara tabiinya ialah mengandungi berbagai-bagai jenis mikroorganisma yang membentuk satu sistem ekologi yang teratur dan seimbang. Kehadiran jenis dan bilangan sesuatu kumpulan mikroorganisma bergantung kepada kualiti air dan beberapa faktor persekitaran yang lain. Dalam rawatan air sisa organik, mikroorganisma memainkan peranan yang penting dan kebanyakan spesies yang ada dalam air dan air sisa adalah tidak membahayakan manusia. Walau bagaimanapun, sebilangannya boleh dihubungkan dengan berbagai-bagai penyakit dan kehadirannya dalam air merupakan satu masalah kesihatan.

Mengikut definisinya, mikroorganisma ialah organisma yang terlalu kecil untuk dilihat oleh mata kasar dan terdapat banyak organisma akuatik yang termasuk dalam kategori ini. Boleh dikatakan kesemua mikroorganisma memerlukan persekitaran lembab untuk tumbesaran yang aktif (Tebbutt, 1988).

Air tawar seperti tasik juga mengandungi mikroorganisma-mikroorganisma lain termasuklah bakteria, eukaritos, alga, fungi (kulat), protozoa dan virus. Mikroorganisma dalam air adalah pelbagai, ada yang hidup menggunakan bahan organik, ada yang menggunakan bahan bukan organik, ada yang hidup dengan oksigen serta ada yang hidup tanpa oksigen dan berbagai-bagai keperluan yang berbeza di antara satu spesies dengan spesies yang lain (Ningkau, 2004).

2.3.7.1 Bakteria

Bakteria mempunyai sistem hidupan yang paling mudah dan juga merupakan kumpulan organisma yang sangat pelbagai. Kehadiran bakteria sebanyak 1 hingga 3000 per 100 mL boleh memberi kesan kepada manusia. Penyakit seperti taun (*cholera*), demam kepialu (*typhoid*) serta najis berdarah (*bacillary dysentery*) adalah disebabkan oleh bakteria. Bakteria mempunyai sel yang mudah, bersaiz di antara 0.1 hingga 10 μm dan mempunyai nisbah luas permukaan kepada berat yang amat besar (Hamidi, 1999).

Kebanyakan bakteria menyukai pH yang neutral walaupun ada yang boleh wujud dalam keasidan yang tinggi. Keadaan pH optimum untuk semua bakteria adalah

sekitar 6.5 hingga 8.0 di mana ia dapat berfungsi dengan baik kecuali bakteri yang terdapat di dalam air sisa industri.

Anggaran bilangan bakteri viabel dalam sampel air boleh didapati dengan membuat kiraan plat dengan menggunakan bahantara agar bernutrien. Satu sampel air 1 ml, dicairkan sekiranya perlu, dicampur dengan agar cecair pada suhu 40°C dalam ceper petri. Agar tersebut akan menjadi jeli dan menetapkan sel bakteri dalamnya. Plat itu kemudiannya dieram dalam keadaan yang sesuai (72 jam pada suhu 22°C untuk bakteri air asli dan 24 jam pada 37°C bagi bakteri yang berasal daripada haiwan atau manusia). Pada akhir tempoh pengamatan, bakteri secara individu akan mengeluarkan koloni yang nampak pada mata kasar dan bilangan koloni dianggap sebagai berfungsi sel viabel dalam sampel asal secara praktis (Tebbutt, 1988).

2.3.7.2 Alga

Kebanyakan alga adalah berbilang sel, walaupun terdapat juga yang unisel. Alga merupakan sejenis mikroorganisma menyerupai tumbuhan berklorofil yang menjalankan fotosintesis. Mereka boleh hidup dalam tiga warna iaitu hijau, coklat dan merah. Kebanyakan alga tidak berbahaya tetapi menjadi masalah dalam rawatan air seperti rasa dan warna. Di samping itu, alga juga boleh menghasilkan toksin yang berbahaya kepada manusia (Ningkau, 2004).

Sebatian tak organik seperti karbon dioksida, ammonia, nitrat dan fosfat merupakan punca makanan untuk mensintesis sel alga baru untuk menghasilkan oksigen. Dengan