

**KANDUNGAN LOGAM BERAT (*Pb, Cr, Zn*) DALAM AIR  
BAWAH TANAH DI KAWASAN BEKAS TAPAK  
PELUPUSAN SAMPAH PENAMPANG SABAH**

**AZIZ AMBOU @ AMBIU**

PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

**TESIS INI DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI  
SEBAHAGIAN DARIPADA SYARAT MEMPEROLEHI  
IJAZAH SARJANA MUDA SAINS DENGAN KEPUJIAN**

**PROGRAM SAINS SEKITARAN  
SEKOLAH SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH**

**APRIL 2006**



**UMS**  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PUMS99:1

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS@

dan ringkasan yang

TITUL: KANDUNGAN LOGAM BERAT (Pb, Cu, Zn) DALAM AIR BAWAH  
LAHAR DI KAWASAN BEKAS TAPAK PELUPUSAN SAMPAH PENAMPANG  
MUDA  
JENJANG: SARJANA MUDA DENGAN KEPUIAN SAINS SEKITARAN

NAMA: AZIZ AMBOU @ AMBIU (HURUF BESAR) SESI PENGAJIAN: \_\_\_\_\_

Perpustakaan ini dibenarkan menyimpan tesis (LPSM/Sarjana/Doktor Falsafah) ini di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:-

1. Tesis adalah hakmilik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. Sila tandakan (/)

*Aziz*

AMBOU @ AMBIU  
HS 2003 - 4849

- SULIT
- TERHAD
- TIDAK TERHAD

**PERPUSTAKAAN UNIVERSITI MALAYSIA SABAH**  
(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau keselamatan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972)

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

Disahkan Oleh

*Aziz*  
TANDATANGAN PENULIS)

*Harun Abdullah*  
(TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

Alamat Tetap: D/A DORIS LIEN MAI LAN  
BOX 11, UNIT BEDAH  
PITAL KENINGAU, 89007  
KUNINGAU  
No: 290406

DR. HARUN ABDULLAH  
Nama Penyalia

Tarikh: \_\_\_\_\_

PANDUAN:- \*Potong yang tidak berkenaan.

\*\*Jika tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.

@Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan atau disertai bagi pengajian secara kerja kursus dan Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).



## PENGAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah dijelaskan sumbernya.

20 Mac 2006

PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

*Aziz*

---

AZIZ AMBOU @ AMBIU

HS 2003 - 4849



## DIPERAKUKAN OLEH

Tandatangan

1. PENYELIA

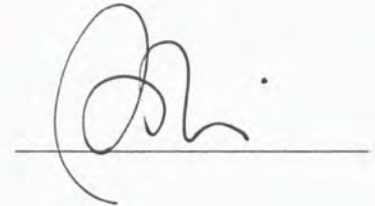
( Prof. Madya Dr. Mohd. Harun Abdullah )



---

2. PEMERIKSA 1

( Dr. Kawi Bidin )



---

3. PEMERIKSA 2

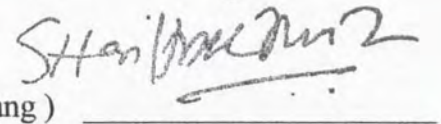
( Dr. Piakong Mohd. Tuan )

PERPUSTAKAAN  
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

---

4. DEKAN

( Supt/Ks. Prof. Madya Dr. Shariff A. K. Omang )



---

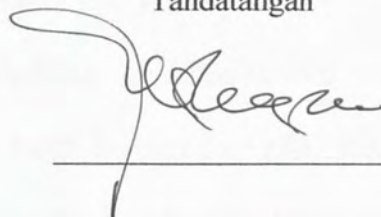


**DIPERAKUKAN OLEH**

Tandatangan

1. PENYELIA

( Prof. Madya Dr. Mohd. Harun Abdullah )



---

2. PEMERIKSA 1

( Dr. Kawi Bidin )

---

3. PEMERIKSA 2

( Dr. Piakong Mohd. Tuah )

---

4. DEKAN

( Supt/Ks. Prof. Madya Dr. Shariff A. K. Omang )

---



## PENGHARGAAN

Saya amat bersyukur kepada Tuhan kerana dengan berkat dan kemurahanNya saya dapat menyiapkan projek ini dalam masa yang ditetapkan. Kesempatan ini, saya merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih kepada penyelia projek saya, Prof. Madya Dr. Mohd. Harun Bin Abdullah yang telah memberikan bimbingan dan tunjuk ajar serta sumbangan idea. Penghargaan ini juga saya tujukan kepada Dr. Piakong Mohd. Tuah, Dr. Kawi Bidin dan Dr. Vun Leong Wan yang telah memberikan komen serta tunjuk ajar dalam penulisan disertasi ini.

Penghargaan dan ucapan terima kasih juga saya tujukan kepada Jabatan Alam Sekitar Malaysia Cawangan Sabah khasnya kepada En. Maida Peter dan Cik. Julia yang memberikan kerjasama dalam menyediakan maklumat dan data-data yang diperlukan serta Jabatan Tanah dan Ukur Kota Kinabalu yang telah menyediakan peta yang diperlukan. Tidak dilupakan rakan-rakan seperjuangan Mohd. Rejab, Anis Nadia, Khai Ern, Kavi, Sebember, Kelvin, Slyvester dan Saravanan kerana memberikan sokongan dan tunjuk ajar. Sesungguhnya sokongan dan tunjuk ajar kalian banyak membantu saya. Buat seluruh keluarga yang dikasihi, Doris Liew, Michelle Christine dan Aaron Harvie, terima kasih yang tak terhingga di atas sokongan dan dorongan yang diberikan. Akhir sekali, kepada semua yang terlibat secara langsung atau tidak, terima kasih di atas segalanya.



## ABSTRAK

Kajian pemetaan data kualiti air bawah tanah telah dilakukan untuk melihat taburan pergerakan bahan pencemar di kawasan bekas pembuangan sampah. Bekas Tapak Pelupusan Sampah Penampang yang pernah beroperasi selama 10 tahun telah dipilih sebagai punca utama pencemaran air bawah tanah. Tiga bahan pencemar inorganik telah dipilih iaitu Pb, Cr dan Zn. Data-data hasil pemantauan kualiti air bawah tanah untuk 7 telaga pemantauan telah diperolehi daripada Jabatan Alam Sekitar (DOE) yang mengendalikan program pemantauan tersebut manakala peta topografi diperolehi dari Jabatan Tanah Dan Ukur Kota Kinabalu. Data-data tersebut kemudiannya ditukarkan ke bentuk output 2D yang dipanggil sebagai *Post Maps* menggunakan perisian Surfer 8 dimana nilai setiap parameter dipaparkan dalam bentuk simbol titik berwarna untuk memudahkan penganalisan. Analisis migrasi pencemar inorganik telah dilakukan berdasarkan perbezaan saiz simbol pada peta post supaya kesan aktiviti pelupusan sampah yang pernah dijalankan kepada kawasan di sekitarnya dapat diramalkan. Daripada kajian ini, menunjukkan taburan kepekatan logam berat (Pb, Cr dan Zn) adalah agak sekata iaitu masing-masing  $\leq 0.002 \text{ mg l}^{-1}$ ,  $\leq 0.002 \text{ mg l}^{-1}$  dan  $\leq 0.03 \text{ mg l}^{-1}$  untuk semua lokasi telaga dan nilai ini masih dibawah nilai Piawaian Kualiti Air Minuman. Dengan itu, kesimpulan telah dibuat bahawa migrasi pencemar Pb, Cr dan Zn dari kawasan bekas tapak pelupusan masih belum memberikan kesan negatif yang signifikan ke atas kualiti air bawah tanah.



## ABSTRACT

This research was carried out by mapping the groundwater quality data to study the pollutants migration at former waste disposal site. An abandoned waste disposal site located at Penampang, which operated for about 10 years, was selected as the point source contamination. Three potential inorganic pollutants were selected in this study, namely Pb, Cr and Zn. Groundwater Quality Data for 7 monitoring wells was obtained from DOE which conducted the groundwater monitoring at that former landfill while, the topography map was obtained from Kota Kinabalu Land & Survey Department. The data then transferred into 2D outputs called *post maps* by using the Surfer 8 software where each parameters value can be illustrated as colored point symbol, making it easy to analyze. From the outputs, pollutants migration is analyzed and thus the impacts of waste disposal activities to the surrounding area are predicted. This study showed that, distribution of heavy metals (Pb, Cr and Zn) concentration in all wells locations are constant which the values are  $\leq 0.002 \text{ mg l}^{-1}$  for Pb, Cr and  $\leq 0.03 \text{ mg l}^{-1}$  for Zn. The values are below of the Drinking Water Quality Standard. Thus, conclusion was made that the pollutants (Pb, Cr, and Zn) migration from waste disposal site still doesn't have significant negative impact to the groundwater quality yet.





## KANDUNGAN

	Muka Surat
PENGAKUAN	ii
PERAKUAN PEMERIKSA	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
SENARAI KANDUNGAN	vii
SENARAI JADUAL	x
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI FOTO	xii
SENARAI SIMBOL	xiii
<b>BAB 1        PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1    PENGENALAN	1
1.2    OBJEKTIF KAJIAN	4
1.3    SKOP KAJIAN	5
1.4    KEPENTINGAN KAJIAN	6
<b>BAB 2        ULASAN KEPUSTAKAAN</b>	<b>7</b>
2.1    AIR BAWAH TANAH	7
2.2    PENCEMARAN AIR BAWAH TANAH	9
2.3    PENCEMARAN DARI TANAH PELUPUSAN SAMPAH	10
2.3.1    Larut Lesapan ( <i>leachate</i> )	11



2.4	PENCEMARAN LOGAM BERAT	13
2.4.1	Plumbum	15
2.4.2	Kromium	17
2.4.3	Zink	18
2.5	PENGECILAN PENCEMAR	20
2.6	PARAMETER FIZIKAL KIMIA	21
2.6.1	pH	21
2.6.2	Oksigen Terlarut (DO)	22
2.6.3	Suhu	23
2.6.4	Konduktiviti	23
2.6.5	Kekeruhan	24
2.7	PIAWAIAN KUALITI AIR	25
<b>BAB 3</b>	<b>BAHAN DAN KAEDAH</b>	<b>27</b>
3.1	LOKASI KAWASAN KAJIAN	27
3.1.1	Latar Belakang Kawasan Kajian	29
3.1.2	Sumber Pencemar Dan Taburan Hujan	29
3.1.3	Lokasi-Lokasi Telaga Pemonitoran	30
3.2	PERISIAN SURFER	32
3.2.1	Peta Post ( <i>Post Maps</i> )	33
3.3	PENYEDIAAN DATA	33
3.3.1	Pemplotan Peta Post	36



<b>BAB 4</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	<b>38</b>
4.1	SUHU	38
4.2	KEKERUHAN	39
4.3	KONDUKTIVITI	40
4.4	pH	42
4.5	OKSIGEN TERLARUT (DO)	43
4.6	PLUMBUM	45
4.7	KROMIUM	46
4.8	ZINK	47
4.9	KEPEKATAN LOGAM BERAT DI SEMUA LOKASI	48
4.10	FAKTOR MEMPENGARUHI KEPEKATAN LOGAM BERAT	49
4.10	LIMITASI KAJIAN DAN CADANGAN	50
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN</b>	<b>52</b>
	RUJUKAN	54
	LAMPIRAN A	60
	LAMPIRAN B	61
	LAMPIRAN C	64



**SENARAI JADUAL**

	<b>Muka surat</b>
1.1 Lokasi Stesen Pengawasan Kualiti Air Bawah Tanah	4
2.2 Malaysia: Garispanduan Kebangsaan Untuk Kualiti Air Minuman.	27
3.1 Kordinat RSO telaga-telaga pemonitoran	30



## SENARAI RAJAH

<b>No. Rajah</b>		<b>Muka surat</b>
<b>Rajah 2.1:</b>	Bahagian-bahagian air bawah-permukaan.	8
<b>Rajah 3.1:</b>	Lokasi Stesen Pemonitoran Kualiti Air Bawah Tanah Negeri Sabah	28
<b>Rajah 3.2:</b>	Lokasi kawasan kajian	28
<b>Rajah 3.3:</b>	Kedudukan telaga-telaga pemonitoran	32
<b>Rajah 3.4:</b>	Contoh rekod data dalam fail Excel	34
<b>Rajah 3.5:</b>	Contoh peta topografi yang perlu dilukis secara digital	35
<b>Rajah 3.6:</b>	Contoh peta digital yang telah dilukis dari peta topografi	35
<b>Rajah 3.7:</b>	Paparan kotak dialog ' <i>Classed Post Properties</i> '	37
<b>Rajah 3.8:</b>	Contoh peta post yang telah diplotkan	37
<b>Rajah 4.1:</b>	Peta post bagi suhu sampel air dari setiap telaga	38
<b>Rajah 4.2:</b>	Peta post bagi kekeruhan sampel air dari setiap telaga	39
<b>Rajah 4.3:</b>	Peta post bagi konduktiviti sampel air dari setiap telaga	40
<b>Rajah 4.4:</b>	Peta post bagi pH sampel air dari setiap telaga	42
<b>Rajah 4.5:</b>	Peta post bagi DO dalam sampel air dari setiap telaga	43
<b>Rajah 4.6:</b>	Peta post bagi plumbum dalam sampel air dari setiap telaga	45
<b>Rajah 4.7:</b>	Peta post bagi kromium dalam sampel air dari setiap telaga	46
<b>Rajah 4.8:</b>	Peta post bagi zink sampel air dari setiap telaga	47



## SENARAI FOTO

<b>No. Foto</b>		<b>Muka surat</b>
<b>Foto 3.1</b>	Kedudukan Telaga 1 dan Telaga 2 di lokasi 1 terletak saling berdekatan.	<b>31</b>
<b>Foto B1</b>	Lawatan bersama Pegawai JAS ke salah sebuah lokasi telaga pemantauan kualiti air bawah tanah di IATC Penampang Sabah.	<b>61</b>
<b>Foto B2</b>	Meter pengukur kedalaman paras muka dan kedalaman air bawah tanah	<b>62</b>
<b>Foto B3</b>	Alat yang digunakan untuk mengepam air menggunakan kuasa enjin generator.	<b>62</b>
<b>Foto B4</b>	Enjin generator digunakan untuk membekalkan kuasa elektrik kepada pam air	<b>63</b>
<b>Foto B5</b>	Tiub air ( <i>hose</i> ) yang panjang digunakan untuk menyedut air bawah tanah.	<b>63</b>

**SENARAI SIMBOL**

%	per seratus
°C	darjah celcius
µg/L	mikrogram per liter
AAS	spektrofotometri serapan atom
As	arsenik
BOD	keperluan oksigen biologi
Ca	kalsium
Cd	kadmium
Cl	klorida
Co	kobalt
COD	keperluan oksigen kimia
Cr	kromium
Cu	kuprum
DNA	asid deoksiribonukleik
DO	keperluan oksigen
EPA	Environmental Protection Agency
Fe	besi
gcm <sup>-3</sup>	gram per sentimeter padu
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	hidrogen bikarbonat
Hg	merkuri



JAS	jabatan alam sekitar
K	kalium
Kg	kampung
Mg	magnesium
mg	miligram
$\text{mg}^{-1}$	miligram per liter
Mn	mangan
Na	natrium
NAL	' <i>natural attenuation landfill</i> '
$\text{NH}_4^+$	ammonium
Pb	plumbum
pH	kepekatan ion hidrogen
$\text{SO}_4^{2-}$	sulfat
TD	tidak dikesan
TOC	jumlah karbon organik
WHO	organisasi kesihatan sedunia
Zn	zink
[ ]	kepekatan
2D	dua dimensi
3D	tiga dimensi
$\leq$	kurang daripada



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Pengenalan

Kawasan tanah pelupusan sampah merupakan tempat yang sangat popular untuk melupuskan sisa domestik dan sisa industri. Terdapat dua jenis tempat pelupusan bahan buangan iaitu jenis '*natural attenuation landfill*' (NAL) dan '*containment landfill*' (Bagchi, 1994). Jenis pertama ini dibina tanpa *liner* iaitu sistem penebat larut lesapan (leachates) di bahagian dasar tapak manakala jenis kedua adalah berciri moden dan berteknologi untuk mengelakkan kesan negatif ke atas persekitaran. Menurut Stegmann (1995), di kebanyakan negara, kawasan pembuangan sampah tidak ditutup atau dibiarkan secara terbuka (open dump).

Banyak kajian dan laporan menyatakan bahawa pencemaran air tanah disebabkan oleh larut lesapan terutamanya dari tapak pelupusan yang tidak mempunyai sistem penebat kemasukan air larut lesapan (leachate) ke dalam tanah dan telah lama beroperasi (Christensen *et al.*, 1992). Tanpa sistem tersebut, akan menyebabkan bahan mudah



larut seperti klorida, nitrat, sulfat dan bahan lain seperti logam meresap masuk dan mencemarkan air bawah tanah (Bagchi, 1994).

Larut lesapan ini mengandung pelbagai jenis bahan kompleks bergantung kepada jenis sisa bahan yang dibuang (Ahel *et al.*, 1998). Ia dibahagikan kepada 4 ciri kumpulan bahan pencemar sebagai larut lesapan: a) kompleks bahan organik, b) unsur inorganik (kalsium, magnesium, sodium, potasium, ammonium, ferum, mangan, klorida, sulfat, dan hidrogen karbonat), c) bahan-bahan pencemar organik spesifik dan d) logam toksik (kadmium, zink, plumbum, kuprum, merkuri, nikel, dan kromium) (Christensen *et al.*, 1992).

Menurut Baccini (1987), penghasilan gas-gas secara intensif menjadi ciri kepada tahap degradasi pertama (lebih kurang 10 tahun) di tempat pelupusan sampah manakala larut lesapan yang berlaku menggambarkan perubahan besar terhadap kandungan serta memberi kesan jangka panjang kepada kualiti air bawah tanah. Bagi melindungi pencemaran air bawah tanah, kebanyakan tanah pelupusan sisa buangan pada hari ini dilengkapi dengan sistem pencegah kebocoran air sampah (Bedient *et al.*, 1999).

Kepentingan air bawah tanah sebagai sumber alternatif bekalan air semakin mendapat perhatian semenjak berlakunya krisis air beberapa tahun lalu. Selain itu, permintaan bagi bekalan air bersih juga meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan



pembangunan aktiviti sosioekonomi dikebanyakan negara menyebabkan sumber air ini perlu dilindungi (JAS, 2001).

Sehubungan dengan itu, Jabatan Alam Sekitar Malaysia telah memulakan Program Pemonitoran Air Bawah Tanah Kebangsaan pada 1997 (JAS, 2001). Pemonitoran ini dilaksanakan sebagai satu program pengurusan alam sekitar yang mampan. Pemilihan kawasan pemonitoran dibuat berdasarkan jenis aktiviti atau penggunaan tanah. Terdapat tujuh kategori utama tanah yang ditetapkan sebagai kawasan pemonitoran kualiti air bawah tanah termasuklah kawasan tapak pelupusan sampah, tapak pelupusan bahan radioaktif, kawasan pertanian, perkuburan haiwan, penempatan, perbandaran dan kawasan perindustrian ( JAS, 1999).

Di Sabah, sebanyak 15 telaga pemonitoran telah dibina di beberapa lokasi di seluruh negeri dimana tujuh daripadanya dibina di kawasan bekas tapak pelupusan sampah Penampang. Pemonitoran dimulakan pada tahun 2003 setelah beberapa telaga pemonitoran siap dibina (Jadual 1.1).



**Jadual 1.1:** Lokasi Stesen Pengawasan Kualiti Air Bawah Tanah (JAS, 2003)

Daerah	Kawasan	Bilangan telaga
Penampang	Integrated Agriculture Training Center, Jabatan Pertanian Sabah, Kg. Ketiau.	7
Kudat	Kg. Tajau Laut	1
Beaufort	Limbawang Agricultural Stesen	1
Inanam	Sekolah Kebangsaan Inanam Laut	1
Sandakan	Sandakan Golf Club	2
Tawau	Yong's Farm, Stesen Hidro Bombalai, Bukit Tawau	1
Kota kinabalu	Pulau Manukan	1
Labuan	Asian Supply Base	1

## 1.2 Objektif Kajian

Tujuan utama kajian ini ialah untuk menghasilkan set data kualiti air bawah tanah dalam bentuk '*post maps*' atau peta post yang berbentuk peta 2D seterusnya membuat penilaian kualiti air bawah tanah berdasarkan post maps tersebut. Melalui peta post ini, maklumat dapat disampaikan dengan mudah dan cepat difahami secara menyeluruh. Bagi mencapai tujuan tersebut, beberapa objektif telah ditetapkan seperti berikut.

- (i) Mendapatkan data analisis kualiti air bawah tanah bagi parameter-parameter kimia fizikal, kepekatan logam berat terpilih dan kordinat telaga-telaga

pemantauan daripada Unit Pemantauan Kualiti Air Bawah Tanah di Jabatan Alam Sekitar Malaysia Cawangan Sabah.

- (ii) Menghasilkan peta post menggunakan perisian *Surfer 8* untuk setiap data parameter yang dipilih.
- (iii) Membuat penilaian tahap kualiti air bawah tanah berdasarkan output peta post yang diperolehi.

### 1.3 Skop Kajian

Di dalam kajian ini, parameter-parameter air yang dipilih adalah plumbum (Pb), kromium (Cr) dan zink (Zn) dan parameter *in-situ* yang merangkumi pH, DO, konduktiviti, suhu dan turbiditi. Pemilihan bahan pencemar logam berat ini dibuat kerana bahan-bahan tersebut terkandung dalam kebanyakan bahan buangan. Data yang digunakan hanya melibatkan hasil kajian kualiti air bawah tanah di IATC Penampang yang dijalankan pada bulan Ogos 2005 oleh Unit Pemantauan Kualiti Air Bawah Tanah, JAS Cawangan Sabah.

#### 1.4 Kepentingan Kajian

Memandangkan program pemantauan kualiti air bawah tanah di negeri Sabah baru sahaja dilaksanakan pada tahun 2003, adalah diharapkan hasil kajian ini dapat menjadi sebahagian daripada set data yang dapat memberikan maklumat sebenar tentang kualiti air bawah tanah khasnya bagi kawasan dikaji. Ini kerana hasil kajian yang diperolehi akan dapat menyampaikan gambaran menyeluruh dan maklumat yang lebih jelas tentang kualiti air bawah tanah kawasan dikaji seterusnya dapat dijadikan sebagai rujukan di masa hadapan.



## BAB 2

### ULASAN PERPUSTAKAAN

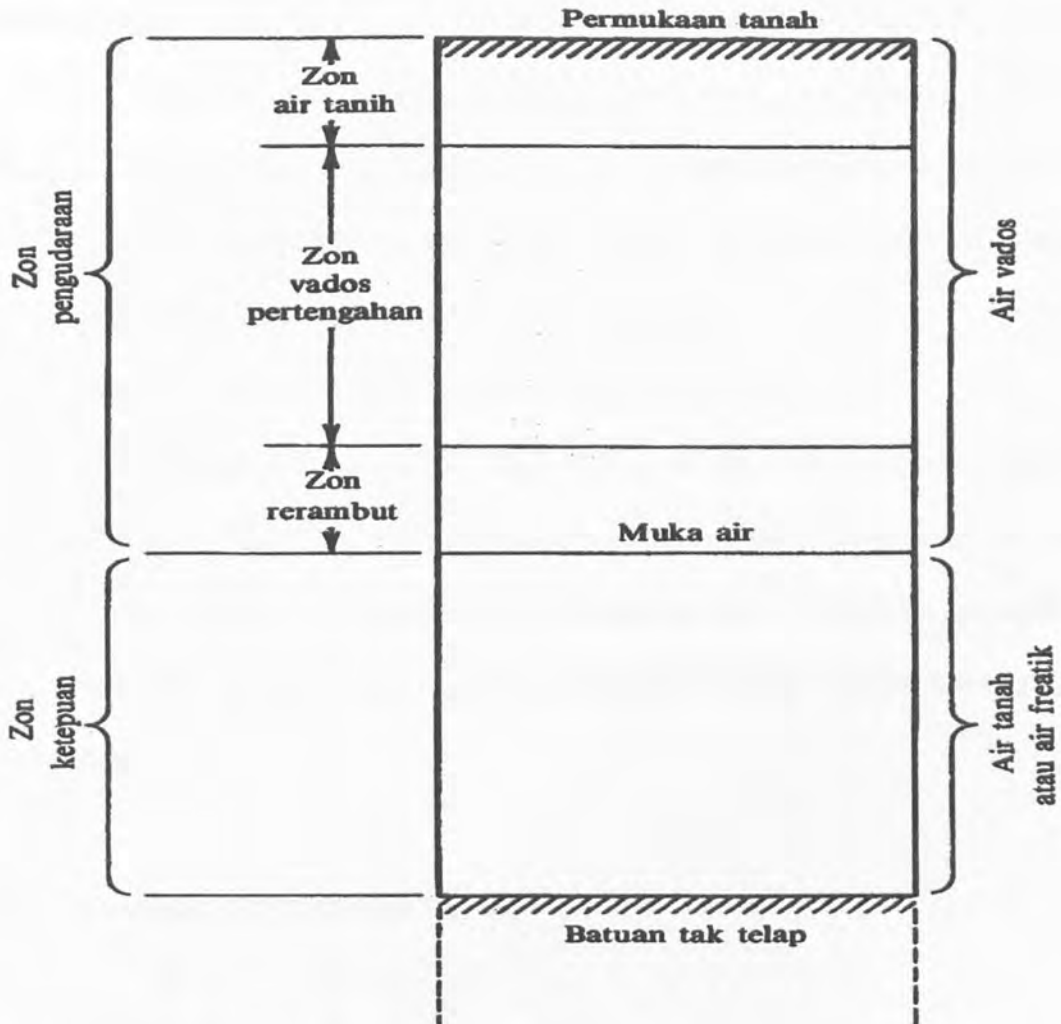
#### 2.1 Air Bawah Tanah

Terdapat dua sumber utama air iaitu air larian permukaan dan air bawah tanah. Air bawah tanah terbentuk apabila air hujan meresap ke bumi dan terperangkap diantara kawasan tepu dan tak tepu dan berasal daripada air permukaan (Todd, 1989 ; Price, 1996). Jasad air ini didapati terutamanya daripada penelusan dan takungan air di dalam batuan, batu batan atau lapisan yang menakung air sama ada dalam leliang atau butiran atau dalam retakan, kekar dan lohongan dikenali sebagai akuifer (Wan Ruslan, 1994).

Air bawah tanah yang wujud pada zon tak tepu atau zon pengudaraan adalah berhampiran dengan permukaan bumi. Zon ini dikenali sebagai air tanah kerana tersimpan dalam tanah oleh pengaruh tegangan. Manakala zon tepu ialah zon yang ruangnya dipenuhi air dibawah tekanan hidrostatik yang meluas ke bawah dari permukaan atas sehingga ke batuan tak telap air di dasarnya. Air dalam zon ini menyumbang kepada air telaga dan mata air (Todd, 1989). Dianggarkan terdapat 40 hingga 60 juta kilometer padu air bawah tanah yang terperangkap atau tersimpan di



bawah tanah (Canter *et al.*, 1987). Air ini penting untuk mengekalkan lembapan tanah, aliran sungai dan kawasan tanah lembab (Todd, 1989).



**Rajah 2.1:** Bahagian-bahagian air bawah-permukaan (Todd, 1989).

Sumber-sumber utama pengimbuhan semulajadi air bawah tanah termasuklah kerpasan, aliran sungai, tasik dan reservoir. Air di dalam tanah bergerak ke bawah



## RUJUKAN

- Ahel, M., Mikac, N., Cosovic, B., Prohic, E., And Soukup, V., 1998. The Impact Of Contamination From A Municipal Solid Waste Landfill (Zagreb, Croatia) On Underlying Soil. *Water Science Technology* **37**, 203-210.
- Alloway, B. J. & Ayres, D. C., 1993. *Chemical of Environmental Pollution*, Chapman & Hall, London.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association & Water Environment Federation, 1995. *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater*. 19<sup>th</sup> Edition, New York.
- Askenaizer, D. (ed.), 1999. *Encyclopedia Of Physical Science & Technology*, 3<sup>rd</sup> Edition, Volume 4, *Drinking Water Quality & Treatment*, Academic Press, California.
- Bagchi, A. 1994. *Design, Construction, And Monitoring of Landfills*, 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, New York.
- Bartram, J. & Ballance, R., 1996. *Water Quality Monitoring*. E & FN Spon, London.
- Basri, H., 1998. An Expert System For Planning Landfill Restoration, *Water Science Technology* **37**, 211-217.
- Bedient, P. B., Rifai, H. S., Newell, C. J., 1999. *Ground Water Contamination*. 2<sup>nd</sup> Edition. Prentice-Hall International, London.



- Berry, W.J., Boothman, W. S., Serbst, J. R., Edward, P. A., 2004. Predicting The Toxicity Of Chromium In Sediments. *Environmental Toxicology & Chemistry*: No 23: 2981-2992.
- Bishop, D.L., 2000. *Pollution Prevention: Fundamentals & Practices*, Boston, Mc Graw-Hill
- Canter, L.W., Know R.C., & Fairchild, D.M., 1987. *Groundwater Quality Protection*, Lewis Publisher, United State Of America.
- Chi Man Leung & Jiu Jimmy Jiao, 2006. Heavy Metal & Trace Element Distribution In Groundwater In Natural Slopes & Highly Urbanized Spaces In Mid-Levels Area, Hong Kong. *Water Research*: Vol 40: 753-767
- Christensen, T. H., Cossu, R., Stegmann, R. 1992. *Landfilling Of Waste : Leachate.*, Elsevier Applied Science, London
- Christensen, T.H., 1992. *Antenuation Of Leachate Pollution in Ground Water.* Department of Environmental Engineering, Technical University Of Denmark, Denmark.
- Elith, M and Garwood, S., 2001. *Investigation into the Levels of Heavy Metals within Manly Dam Catchment.* In: Freshwater Ecology Report 2001, Department of Environmental Sciences, University of Technology, Sydney, Australia.
- Heilig, A.(ed.), 2005. *The Encyclopedia Of Toxicity*, , Volume 2, 2<sup>nd</sup> Edition: Lead, Elsevier Academic Press. m/s 600-605.



- Ibrahim A. Mirsal., 2004. *Soil Pollution; Origin, Monitoring & remediation*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- Jabatan Alam Sekitar Negeri Sabah, *Laporan Tahunan 2003*.
- Jabatan Alam Sekitar Negeri Sabah, *Laporan Tahunan 2004*.
- Jabatan Alam Sekitar, Kementerian Sains & Teknologi & Alam Sekitar Malaysia, *Malaysia Environmental Quality Report*, 2001. hlm 48-50
- Jabatan Alam Sekitar, Kementerian Sains & Teknologi & Alam Sekitar Malaysia, *Malaysia Environmental Quality Report*, 2000. hlm 51-54
- Jabatan Alam Sekitar, Kementerian Sains & Teknologi & Alam Sekitar Malaysia, *Malaysia Environmental Quality Report*, 1999. hlm 49-54
- Jabatan Alam Sekitar, Kementerian Sains & Teknologi & Alam Sekitar Malaysia, *Malaysia Environmental Quality Report*, 1998. hlm 16-18
- Jabatan Tanah Dan Ukur Kota Kinabalu (tidak bertarikh). *Daerah Penampang (21) & Kota Kinabalu (01)*. R-675006 (67-1B). Skala 1:12500. Jabatan Tanah Dan Ukur Kota Kinabalu, Sabah.
- Joris, J. D., Johannes, C.L., Meeussen, & Rob, N. J. Comans, 2004. Leaching of Heavy Metals from Contaminated Soils: An Experimental and Modelling Study, *Environ. Sci. Technol.* **38**:4390-4395
- Keller, A.Z. & Wilson, H.C., 1992. *Hazards To Drinking Water Supplies*, Springer-Verlag, London.



- Kennish, M. J., 1994. *Practical Handbook of Marine Science*. 2<sup>nd</sup> Edition, Chapman & Hall, London.
- Kho Guan Yaw, 2004. *A Study On Groundwater Flow And Pollutant Transport At The Penampang Waste Disposal Site, Sabah*. School Of Engineering & Information Technology, UMS. Belum diterbitkan.
- Landis, W. G., Ming, H. Y., 1999. *Introduction To Environmental Toxicology; Impacts Of Chemicals Upon Ecological Systems*, 2<sup>nd</sup> Edition. Lewis Publishers, New York.
- Mikac, N., Cosovic, B., Ahel, M., Andreis, S., & Toncic, Z., 1998. Assessment Of Groundwater Contamination In The Vicinity Of A Municipal Solid Waste Landfill (Zegrab, Croatia. *Water Science Technology*. Vol 37: 37-44.
- Nash, H. And McCall, G. J. H. (ed.), 1995. *Ground Water Quality*, 17th Special Report. Chapman & Hall, London
- Pitt, R., Clark, S., Parmer, K., Field, R., 1996. *Groundwater Contamination From Stormwater Infiltration*. Ann Arbor Press, Inc, United States Of America.
- Price, M., 1996. *Introducing Groundwater*. Chapman & Hall, London
- Solomons, N. W. (ed.), 2001. *Encyclopedia Of Human Nutrition*, Volume 1, Zinc, Academic Press, London
- Salomons, W. & Stigliani, W.M., 1995. *Biogeodynamics of Pollutants In Soils and Sediments*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.



- Shayne, G. (ed.), 2005. *The Encyclopedia Of Toxicity*, Volume 2, 2<sup>nd</sup> Edition: Chromium, Elsevier Academic Press. m/s 705-709.
- Shayne, G. (ed.), 2005. *The Encyclopedia Of Toxicity*, Volume 4, 2<sup>nd</sup> Edition: Zinc, Elsevier Academic Press.
- Spengel, D. B., Dzombak, D. A., 1991. Treatment Of Landfill Leachate With Rotating Biological Contactors: Bench-Scale Experiment. *Research Jurnal WPCF*, Vol 36: No 7
- Tebbutt, T. H. Y., 1988. *Principles Of Water Quality Control*. Ruslan Hassan (ptrj.). Institut Teknologi Mara, Selangor Darul Ehsan
- Todd, D. K., 1989. *Groundwater Hydrology*. Mohd. Ali Hasan (ptrj.), Dewan Bahasa & Pustaka. Kuala Lumpur.
- Tomic, T., Nagj, M. & Raos, D., 1985. Determination Of Heavy Metals In Drinking Water By X-ray Spectroscopy. *International Jurnal Analytical Chemistry*. 23: 87-95
- Twort, A. C., Law, F. M., Crowley, F. W., 1994. *Water Supply*. 3<sup>rd</sup> Edition. Gurmeet Singh, Kamarulzaman Idris (ptrj.), Dewan Bahasa & Pustaka, Kuala Lumpur.
- Vesilind, P. A., Peirce, J. J., Weiner, R., 1994. *Environmental Engineering*. Noraini Jaafar (ptrj.), Unit Penerbitan Akademik, UTM, Johor.
- Viessman, Jr. W., Lewis, G. L. 1998. *Introduction To Hydrology*. Prentice Hall, London



Viessman, Jr. W. & Hammer, M. J., 1993. *Water Supply & Pollution Control*. 5<sup>th</sup> Edition, Harper Collins Collage, United States.

Waite, T. D., 1984. *Principle Of Water Quality*, Academic Press Inc., Orlando.

Wan Ruslan Ismail, 1994, *Pengantar Hidrologi*, Dewan Bahasa & Pustaka, Kuala Lumpur.

Wilson, F. & Barnes, D., 1983, *Chemical & Unit Operation In Water Treatment*. Applied Science Publishers, England.

World Health Organization, 1996. *Trace Metals Elements In Human Nutrition and Health*. Geneva: WHO catalogue in publication data.

Yi Su, Fengxiang, X. Han, B.B. Maruthi Sridhar & D.L. Monts, 2005, Phytotoxicity And Phytoaccumulation Of Trivalent & Hexavalent Chromium in Brake Fern. *Environmental Toxicology & Chemistry* **24**: 2019-2026

