



# *Open Dumping* dan **Sistem Air Tanah**

M. Fauzi Arifin



# ***Open Dumping*** **dan Sistem Air Tanah**

## UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

### **Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4**

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

### **Pembatasan Pelindungan Pasal 26**

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

### **Sanksi Pelanggaran Pasal 113**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

# ***Open Dumping* dan Sistem Air Tanah**

M. Fauzi Arifin



*Cerdas, Bahagia, Mulia, Lintas Generasi.*

## OPEN DUMPING DAN SISTEM AIR TANAH

**M. Fauzi Arifin**

Editor :

**Muh. Rofie Rahman**

Desain Cover :

**Farhan. Muhammad**

Sumber :

Link

Tata Letak :

**Rizky Ananda Idsam**

Ukuran :

**x, 80 hlm, Uk: 15.5x23 cm**

ISBN :

**978-623-02-5656-1**

Cetakan Pertama :

**Desember 2022**

Hak Cipta 2022, Pada Penulis

---

Isi diluar tanggung jawab percetakan

---

**Copyright © 2022 by Deepublish Publisher**

All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau  
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini  
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

**PENERBIT DEEPUBLISH**  
**(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)**

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman

Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581

Telp/Faks: (0274) 4533427

Website: [www.deepublish.co.id](http://www.deepublish.co.id)

[www.penerbitdeepublish.com](http://www.penerbitdeepublish.com)

E-mail: [cs@deepublish.co.id](mailto:cs@deepublish.co.id)

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim.* Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Swt., atas rahmat, hidayah serta ilmu-Nya yang tiada terbatas, sehingga buku *Open Dumping dan Sistem Air Tanah*, dapat diselesaikan.

Dasar pertimbangan penyusunan buku ini adalah melihat pengelolaan sampah di setiap lokasi TPA sampah yang tidak memperhatikan kesehatan lingkungan. Sehubungan dengan hal pengelolaan sampah yang terkadang tanpa mempertimbangkan masalah lingkungan terutama pencemaran air tanah. Dari buku ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan acuan dalam pengelolaan sampah secara terpadu yang berwawasan lingkungan.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menghaturkan terima kasih dan apresiasi untuk keluarga kami, yaitu Murni Ningsih (Istri), Putri (anak), serta rekan-rekan dosen yang banyak membantu dalam penyempurnaan buku ini.

Makassar, November 2022

M. Fauzi Arifin

# DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB I INTRODUKSI .....</b>	<b>1</b>
1.1.    Sistem Tempat Pembuangan Akhir Sampah .....	1
1.2.    Jenis Lokasi Lahan Urug .....	3
1.3.    Sampah .....	6
1.3.1.    Sumber sampah.....	6
1.3.2.    Beberapa hal yang mempengaruhi produksi sampah .....	7
1.4.    Sampah Dan Kesehatan Lingkungan.....	8
1.4.1.    Pengaruh sampah terhadap Kesehatan.....	8
1.4.2.    Sampah sebagai sarana penyakit.....	8
1.4.3.    Sampah sebagai faktor penyakit .....	9
1.5.    Sistem Tempat Pembuangan Akhir Sampah .....	10
1.5.1.    Pengertian .....	10
1.5.2.    Tahapan pengolahan sampah.....	10
<b>BAB II AIR TANAH DAN AKUIFER .....</b>	<b>12</b>
2.1.    Air Tanah.....	12
2.1.1.    Prose Terbentuknya .....	13
2.1.2.    Kandungan Air Tanah .....	14
2.1.3.    Sifat Batuan Pembentuk .....	15
2.2.    Akuifer.....	16
2.2.1.    Macam Akuifer.....	17
2.2.2.    Tipe Akuifer Menurut Undang Undang.....	18
2.2.3.    Jenis Air Tanah .....	19
2.2.4.    Kualitas Air Tanah.....	19
2.2.5.    Manfaat Air Tanah.....	21
2.3.    Porositas dan Permeabilitas .....	22
2.3.1.    Porositas.....	22
2.3.2.    Permeabilitas.....	24
2.4.    Sifat Kelistikan Batuan .....	25

2.5.	Geolistrik.....	26
2.5.1.	Konfigurasi.....	27
2.5.2.	Konfigurasi Wenner .....	28
2.5.3.	Konfigurasi Schlumberger.....	29
2.5.4.	Konfigurasi dipol-dipol .....	29
2.5.5.	Pengukuran Geolistrik.....	30
<b>BAB III PENCEMARAN AIR TANAH.....</b>		<b>31</b>
3.1.	Sifat Air Tercemar.....	31
3.2.	Penyebab Pencemaran Air Tanah.....	31
3.2.1.	Sampah anorganik .....	32
3.2.2.	Sampah organik.....	32
3.2.3.	Limbah cair.....	32
3.2.4.	Air lindi .....	33
3.3.	Dampak Pencemaran Air Tanah.....	33
3.4.	Dampak Pencemaran Tanah.....	35
3.4.1.	Kesehatan .....	35
3.4.2.	Lingkungan.....	35
3.5.	Pengelolaan Pencemaran Tanah.....	36
3.5.1.	Menghindari Aktivitas Pertanian yang Berlebihan .....	36
3.5.2.	Mengurangi “ <i>Waste Footprint</i> ” Manusia .....	36
3.5.3.	Pencucian Tanah.....	36
3.5.4.	Bioremediasi.....	36
<b>BAB IV OPEN DUMPING DAN SISTEM AIR TANAH.....</b>		<b>38</b>
4.1.	Open Dumping .....	38
4.2.	TPA Sampah dan Air Tanah .....	41
4.3.	Parameter Fisika.....	45
4.4.	Parameter Kimia.....	47
4.5.	Jenis Kontaminan Dalam Air .....	51
4.5.1.	Kontaminan Fisik .....	51
4.5.2.	Kontaminan Kimia .....	52
4.5.3.	Kontaminan Biologi .....	52
4.5.4.	Kontaminan Radiologis.....	52
4.6.	Kontaminasi Air Tanah ( <i>Groundwater</i> ) dan Bahayanya .....	52
4.6.1.	Potensi Sumber Kontaminasi Air Tanah .....	54

4.6.2.	Aplikasi Model .....	55
4.6.3.	Analisis Sampel Lindi.....	56
4.6.4.	Analisis Sampel Air Tanah .....	56
4.6.5.	Analisis Sampel Tanah .....	57
4.6.6.	Arah dan Kecepatan AirTanah .....	57
4.7.	Analisis Resistivitas Batuan Dengan <i>Dar</i> <i>Zarrouk</i> Dan Anisotropi .....	57
4.7.1.	Sifat Kelistrikan Batuan.....	58
4.7.2.	Potensial Listrik oleh Sumber Arus Tunggal pada Permukaan .....	60
4.7.3.	Potensial Listrik oleh Sumber Arus Ganda pada Permukaan .....	61
4.8.	Cara Analisis Data .....	62
4.9.	Model Arah Pergerakan Lindi TPA Sampah.....	68
4.9.1.	Konsep Model.....	68
4.9.2.	Pemodelan Pergerakan Lindi Dalam Air tanah.....	71
4.10.	Fenomena Empirik .....	72
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>73</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Sistem Pembuangan Terbuka, (Damanhuri, 1990).	1
Gambar 2.	Sistem Lahan Urug Saniter, (Damanhuri, 1990).	2
Gambar 3.	Model Metode area, merupakan TPA dengan tanah datar (Damanhuri, 1995).	3
Gambar 4.	Metode Parit / <i>Trench</i> , (Damanhuri, 1995).	4
Gambar 5.	Metoda Pit/ <i>Canyon/Quarry</i> , (Damanhuri, 1995).	5
Gambar 6.	Susunan lapisan batuan pembawa air	15
Gambar 7.	Bentuk butiran poraositas batuan.	23
Gambar 8.	Bentuk ukuran butir Permeabilitas.	24
Gambar 9.	Jenis jenis kontaminan air	51
Gambar 10.	Siklus Air Bawah Tanah	53
Gambar 11.	Jangkauan harga resistivitas batuan	59
Gambar 12.	Konsep anisotropi pada lapisan batuan.	60
Gambar 13.	Titik sumber arus pada media homogen	61
Gambar 14.	Garis ekuipotensial arus antara elektroda pada media homogen.	62
Gambar 15.	Korelasi bor dengan VES	64
Gambar 16.	Zonasi lapisan batuan berdasarkan nilai resistitas	66
Gambar 17.	Peta distribusi resistivitas pada line 8	67
Gambar 18.	Peta distribusi resistivitas pada line 20	67
Gambar 19.	Model aliran airtanah dalam bentuk 3 dimensi.	70



# BAB I

## INTRODUKSI

### 1.1. Sistem Tempat Pembuangan Akhir Sampah

Sistem tempat pembuangan akhir (TPA) sampah yang lazim digunakan di Indonesia ada tiga cara (Damanhuri, 1990), yaitu :

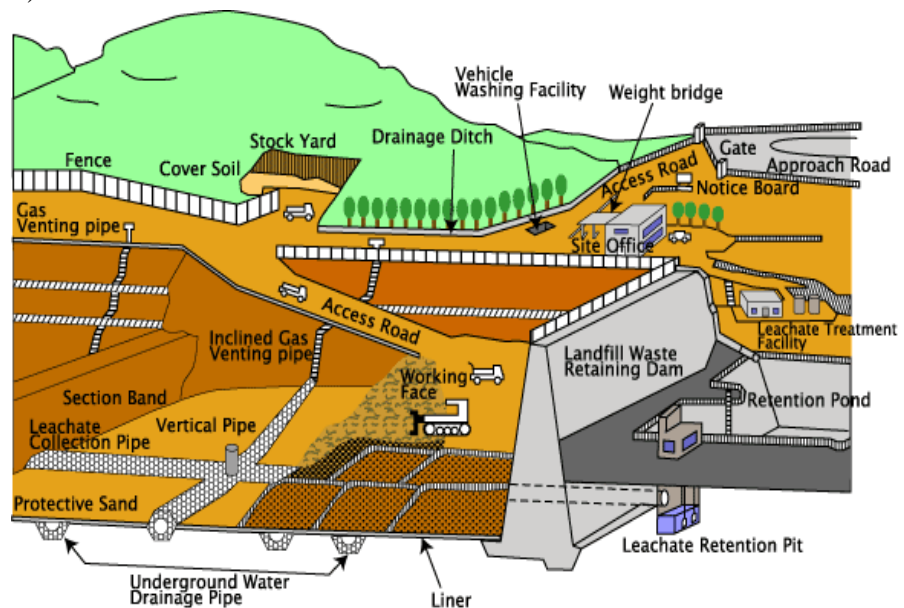
- a. TPA dengan sistem pembuangan terbuka (*open dumping*)
- b. TPA dengan sistem lahan urug saniter (*sanitary landfill*)
- c. TPA dengan sistem lahan urug *landfill* (*controlled landfill*)

**Sistem pembuangan terbuka** merupakan cara pembuangan sampah yang paling banyak ditemukan di Indonesia. Sistem ini memanfaatkan lahan yang tersedia baik merupakan cekungan (lembah) atau bekas tambang atau daratan yang digunakan untuk menimbun sampah secara terbuka tanpa pengelolaan lain. Sistem ini adalah sistem paling murah dan termurah, tetapi merupakan sistem yang berbahaya terhadap kelestarian lingkungan, (Gambar 1).



Gambar 1. Sistem Pembuangan Terbuka, (Damanhuri, 1990).

**Sistem lahan urug saniter** merupakan metode baru cara pembuangan sampah yang sedang di uji di Indonesia. Sistem ini adalah cara pembuangan sampah pada suatu daerah tertentu dengan memadatkan sampah dan ditutup dengan tanah setiap harinya sedemikian rupa, sehingga tidak membahayakan lingkungan. Sistem ini biasanya dilengkapi pula dengan fasilitas pengolahan lindi untuk mencegah pencemaran lingkungan oleh lindi. Sistem ini belum banyak digunakan di negara-negara berkembang karena biaya konstruksi dan oprsinya sangat mahal (Damanhuri, 1990), (Gambar 2).



Gambar 2. Sistem Lahan Urug Saniter, (Damanhuri, 1990).

Karena mahalnnya sistem lahan urug saniter maka dikembangkan sistem yang lebih sederhana, tetapi masih aman terhadap pencemaran lingkungan dan biaya kostruksi dan oprasinya dapat dijangkau.

Sistem yang dikembangkan ini disebut dengan **sistem lahan urug terkendali**.

## 1.2. Jenis Lokasi Lahan Urug

Berdasarkan kondisi lapangan yang ada, dalam literatur Amerika Serikat membagi *landfilling* menjadi 4 (empat) (Damanhuri, 1995), yaitu :

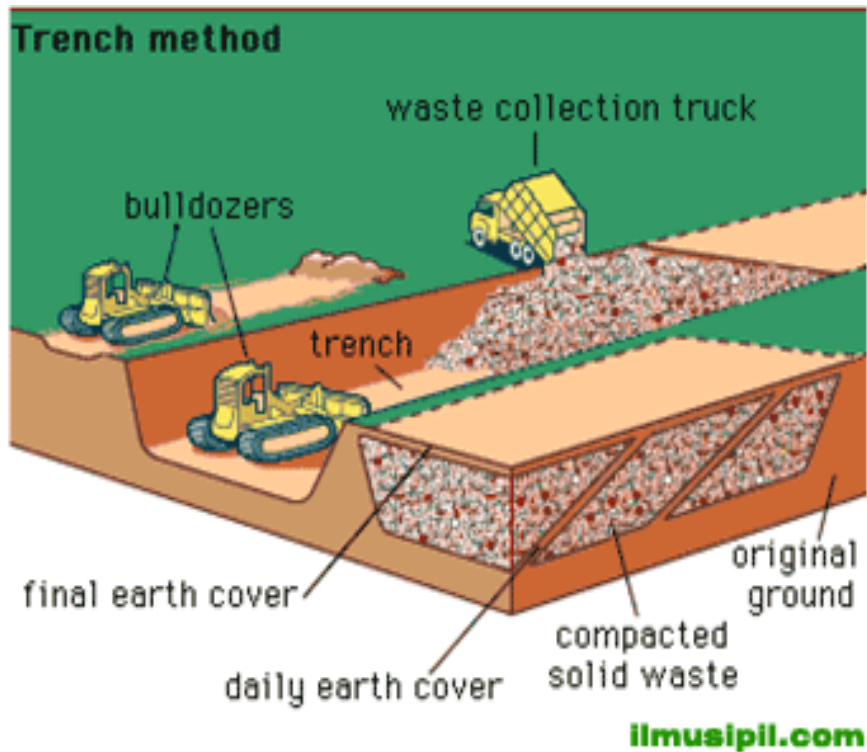
- a. Metoda area
- b. Metoda *ramp* atau *slope*
- c. Metoda parit (*trench*)
- d. Metoda pit / *canyon* / *quarry*.

**Metoda area**, dapat di tempatkan pada suatu lapangan yang relatif datar, dimana sampah yang membentuk sel-sel sampah saling dibatasi oleh tanah penutup. Setelah pelaksanaan pengurungan akan membentuk slope, maka penyebaran dan pemadatan sampah yang berlawanan dengan kemiringan, (Gambar 3).



Gambar 3. Model Metode area, merupakan TPA dengan tanah datar (Damanhuri, 1995).

**Metoda parit (*trench*)**, lokasi yang telah disiapkan digali menyerupai parit, sampah ditebarkan sepanjang galian selanjutnya ditutup setiap hari. Metoda ini dapat dipakai jika air tanah cukup dangkal, sehingga zona non-aerasi di bawah landfill cukup tinggi ( $\geq 1,5$  meter), (Gambar 5).



Gambar 4. Metode Parit /*Trench*, (Damanhuri, 1995).

**Metoda pit/ *canyon/ quarry***, memanfaatkan cekungan tanah yang ada (misalnya bekas tambang). Pengurangan sampah dimulai dari dasar, kemudian sampah tersebut disebar dan dipadatkan seperti metoda area, (Gambar 6).



Gambar 5. Metoda Pit/*Canyon/Quarry*, (Damanhuri, 1995).

Namun kenyataan dilapangan, cara-cara tersebut di atas di beberapa tempat dilakukan tidak sesuai lagi, namun beberapa tempat lainnya cara di atas dapat dikembangkan lebih jauh sesuai dengan kondisi yang ada.

Dilihat dari sudut penanganan sampah baik sebelum diurug maupun setelah diurug, maka di Perancis dikenal beberapa jenis aplikasi lahan urug (Tchobanoglus, 1977), yaitu :

- a. Berdasarkan prapengolahan sampah sebelum diurug, maka dapat dibagi :
  - Sampah dengan pemotongan  
Biasanya sampah dipotong antara 50-80 mm, sampah menjadi homogeny, lebih padat, dapat ditimbun lebih tebal (> 1,5 meter). Dapat digunakan sebagai pengomposan in-situ = : sel-sel dengan ketinggian 50 cm. densitas dapat mencapai 0,8–1,0 ton/m<sup>3</sup>.
  - Sampah dibuat dalam balok-balok sampah (balling)  
Sampah dipadatkan dengan mesin pemadat menjadi ukuran tertentu (misalnya bervolume 1m<sup>3</sup>) dengan kepadatan mencapai 1,0 ton/m<sup>3</sup>. Transportasi murah karena sampah

lebih padat, dan berbentuk praktis, pengurangan dilapangan lebih mudah cukup dengan fork-lift.

Pengurangan sel lebih mudah dan sistematis, misalnya setiap ketinggian 3 meter diaplikasikan tanah penutup 10 cm. Namun butuh investasi alat/mesin dan biaya menjadi sangat mahal.

b. Dilihat dari sudut penanganan sampah di area pengurangan:

➤ Secara tradisional

Sampah diletakkan lapis berlapis (0,5-0,6 m) sampai ketinggian 1,2 – 1,5 meter. Urungan sampah membentuk sel-sel dan membutuhkan ketelitian operasi alat berat agar teratur.

### **1.3. Sampah**

Beberapa ahli mengatakan tentang arti lain dari sampah tetapi umumnya umumnya mengandung prinsip yang sama yaitu ;

1. Adanya suatu benda atau zat padat atau bahan
2. Adanya hubungan langsung maupun tidak langsung dengan aktivitas manusia
3. Benda atau barang tersebut tidak terpakai lagi, tidak disenangi
4. Benda yang dibuang dalam arti pembuangannya dengan cara – cara yang diterima oleh umum (perlu pengolahan yang baik)

#### **1.3.1. Sumber sampah**

Menurut Depkes RI, 1987, sumber sampah dibedakan dalam beberapa kategori antara lain;

1. Sampah yang berasal dari pemukiman (*domestic waste*)  
Sampah ini berupa sampah hasil kegiatan rumah tangga seperti sampah hasil pengolahan makanan, dan lain sebagainya.
2. Sampah yang berasal dari tempat umum dan daerah perdagangan tempat umum dan menghasilkan jenis sampah lain.

3. Sampah industri (*industry waste*)  
Sampah yang berasal dari industry termasuk sampah yang pembangunan Gedung sampah produksi industry tersebut, contoh sampah bahan makan dan lain lain.
4. Sampah yang berasal perkebunan (*agriculture waste*) berupa sampah dari hasil daerah perkebunan berupa Jerami, sayur mayur, batang jagung dan lainnya.
5. Sampah yang berasal dari pusat air buangan, berupa sampah yang tersangkut air. Misalnya sampah berupa plastic, kayu dan lain lain.
6. Sampah dari daerah peternakan dan perikanan  
Berupa sampah kotoran ternak dan bangkai binatang missal bangkai ikan, sisa makanan ikan dan lumpur.
7. Sampah dari daerah kehutanan  
Sampah penebangan kayu ataupun kegiatan reboisasi hutan Sebagian besar dari sampah daun dan ranting.
8. Sampah yang berasal dari daerah pertambangan  
Menghasilkan sampah dari sejumlah mineral yang diperoses maupun tidak dan mengandung zat zat kontaminan yang dapat mencemari sumber air.

### **1.3.2. Beberapa hal yang mempengaruhi produksi sampah**

Adapun produksi sampah dipengaruhi oleh antara lain :

1. Banyaknya kegiatan dan aktifitas, akan berpengaruh pada jumlah sampah
2. Pola dan tingkat sosial ekonomi sedikitnya barang yang dikonsumsi oleh manusia, juga berpengaruh pada jumlah sampah
3. Letak geografi, Daerah pegunungan, daerah pertanian akan menentukan jumlah – jumlah sampah.
4. Pembungkus plastik, daun, kemasan makanan, obat mempengaruhi jumlah sampah.

## **1.4. Sampah Dan Kesehatan Lingkungan**

### **1.4.1. Pengaruh sampah terhadap Kesehatan**

Pengaruh sampah terhadap Kesehatan dapat di kelompokkan menjadidi efek dan tidak langsung, efek yang tidak langsung disebabkan karena kontak yang langsung dengan sampah tersebut. Pengaruh tidak langsung dirasakan masyarakat akibat proses pembusukan, pembakaran dan pembuangan sampah (Soermiat, 2002)

Kesehatan seseorang maupun masyarakat merupakan masalah sosial yang selalu berkaitan antara komponen komponen yang ada didalam masyarakat. Sampah sendiri bila diamankan tidak menjadi potensi berpengaruh terhadap lingkungan. Sampah yang kurang diperhatikan tersebut dapat berfungsi sebagai tempat berkembangnya penyakit (Depkes RI, 1987)

### **1.4.2. Sampah sebagai sarana penyakit**

Menurut Depkes RI sampah dapat menjadi tempat berkembang dan sarang dari bermacam macam vector penularan penyakit. Vector yang dimaksud antara lain lalat, kecoak tikus dan lain lain.

#### **a. Lalat**

Menurut Depkes RI, 1992. Lalat dapat mengganggu manusia karena lalat merupakan salah satu vector penyebaran penyakit. Penyakit yang dapat ditimbulkan oleh lalat salah satunya adalah diare. Disamoing menimbulkan penyakit, lalat menimbulkan gangguan pada manusia berupa gigitan dan myasis. Lalat juga mengganggu estetika karena suatu tempat jika ada lalat maka tempat itu merupakan tempat yang jorok.

Peranan lalat dalam menularkan penyakit berifat mekanis. Yang dimaksud mekanis disini adalah tercemarnya bahan makanan oleh bibit penyakit yang kebetulan menempel pada bulu, kaki ataupun bulu lalat yang hinggap ke makanan.

Menurut Aswar 1955, lalat adalah salah satu insekta yang termasuk orde dipetra, yakni insekta yang mempunyai sepasang sayap membentuk membran.

**b. Kecoak**

Kecoak adalah salah satu dari insekta yang masuk orde orthopetra yang ditandai dengan terdapatnya dua pasang sayap, sayap yang didepan menutupi sayap yang dibelakang dan melipat seperti kipas. Binatang ini dapat menimbulkan penyakit pada manusia, yang umumnya terjadi secara mekanis, kebiasaan kecoak antara lain senang tinggal di tempat lembap, bai dan keadaan gelap.

**c. Tikus**

Tikus umumnya bersarang pada tempat yang banyak makanan. Di mana tempat yang lembap dan celah yang celap sebagai tempat persembunyiannya. Dari sekian banyak macam tikus rodentia yang dikenal, maka yang terpenting dari sudut Kesehatan lingkungan ialah tikus karena binatang ini senang bersarang dengan membuat terowongan dibawah permukiman manusia.

**1.4.3. Sampah sebagai faktor penyakit**

Didalam tumpukan sampah basah banyak mengandung telur cacing maupun penyebab penyakit lainnya seperti jamur. Penyebab penyakit saluran pencernaan dimungkinkan karena sampah bercampur dengan feses atau muntahan penderita penyakit pencernaan. Bahan lain mengandung nitrit yang terdapat dalam sampah dengan cara kontak langsung dapat menimbulkan alergi dan iritasi.

## **1.5. Sistem Tempat Pembuangan Akhir Sampah**

### **1.5.1. Pengertian**

Menurut Depkes RI, pengolahan, pemrosesan dan pembuangan sampah dengan suatu cara sesuai prinsip terbaik dari Kesehatan masyarakat.

Menurut Depkes RI 1987, dalam Teknik operasi, Teknik Teknik tersebut adalah :

1. Pemadatan volume sampah agar umur TPA lebih panjang.
2. Pembakaran sampah dapat mengurangi volume serta merupakan pemanfaatan sumber energi
3. Reduksi volume secara mekanik (pemotongan), pengurangan volume dengan memotong kecil kecil dan menunjukkan hasil pemotongan yang lebih kecil dari semula.
4. Pemisahan komponen, pemisahan komponen dilakukan untuk mendapatkan bagian bagian yang masih bisa dimanfaatkan.

### **1.5.2. Tahapan pengolahan sampah**

1. Tahap penimbunan  
Tahapan ini berupa pembuangan barang yang berguna baik yang dilempar yang dikumpulkan terlebih dahulu (Depkes RI, 1987)
2. Tahap penyimpanan  
Penyimpanan sampah sementara dekat sumber sampah yang sangat penting sebab melibatkan keindahan, Kesehatan masyarakat. Faktor – faktor penyimpanan yang harus diperhatikan dalam penyimpanan setempat adalah ;
  - A. Jenis penampungan yang digunakan
  - B. Letak penampungan
  - C. Memperhatikan kesehatan masyarakat
  - D. Cara pengumpulan

3. Tahap pengumpulan sampah  
Pengumpulan dan penampungan sampah pada sumber, lalu diangkut dengan alat angkut.
4. Pemanfaatan pembuangan akhir  
Suatu pembuangan sampah belum dikatakan berhasil dengan baik, tanpa menyelesaikan persoalannya mengatasi permasalahan hingga sampai tahap disposalnya dengan baik. Dan memanfaatkan sampah berupa pembuatan kompos, sebagai makanan ternak dan gas nio (Depkes RI, 1987)

**Ada 2 mekanisme pembuangan sampah :**

- a. Cara tidak memuaskan
  1. Pembuangan sampah terbuka (*open dumping*)
  2. Pembuangan sampah dalam air (*dumping in water*)
  3. Pembuangan sampah untuk makanan hewan (*babi hogfeeding*)
  4. Pembakaran sampah di rumah-rumah (*burning on premises*)
- b. Cara memuaskan
  - 1) Pembuatan kompos (*composting*)
  - 2) Pembakaran sampah (*incinerator*)
  - 3) Sanitari (*sanitary landfill*)

## **BAB II**

### **AIR TANAH DAN AKUIFER**

#### **2.1. Air Tanah**

Beberapa ahli menefinisikan air tanah sebagai berikut :

- Menurut Bouwer, 1978; Freeze dan Cherry, 1979; Kodoatie, 1996 – Air Tanah adalah sejumlah air dibawah permukaan bumi yang dapat dikumpulkan dengan sumur-sumur, terowongan atau sistem drainase atau dengan pemompaan. Dapat pula disebut aliran alami yang mengalir ke permukaan tanah melalui pancaran atau rembesan.
- Menurut Soemarto, 1989 – Air tanah adalah air yang menempati rongga-rongga dalam lapisan geologi. Lapisan tanah yang berada dibawah permukaan tanah dinamakan lajur jenuh (*saturated zone*) dan lajur yang tidak jenuh terletak diatas lajur sampai ke permukaan tanah yang rongga-rongganya berisi air dan udara.
- Menurut Fetter, 1994 – Air tanah adalah air yang tersimpan pada lajur jenuh kemudian bergerak sebagai aliran melalui batuan dan lapisan-lapisan tanah yang ada di bumi hingga air tersebut keluar sebagai mata air, terkumpul ke kolam, danau, sungai, dan laut. Batas atas lajur jenuh air disebut dengan muka air tanah (*water table*)
- Menurut Asdak, 2002 – Air tanah adalah segala bentuk aliran air hujan yang mengalir dibawah permukaan tanah sebagai akibat struktur perlapisan geologi, perbedaan potensi kelembapan tanah, dan gaya gravitasi bumi.

### 2.1.1. Prose Terbentuknya

Air tanah yang berada dekat dengan permukaan tanah akan diserap oleh tanaman melalui *evapotranspiration* dan kembali menguap ke atmosfer. Selain itu, penguapan atau evaporasi secara langsung juga dapat terjadi pada tubuh air yang terbuka.

Air memiliki manfaat penting bagi seluruh aspek kehidupan, baik untuk air minum, kegiatan rumah tangga, serta kepentingan industri. Ketergantungan manusia akan air bersih saat ini telah mencapai 70% dan kemungkinan akan meningkat jika musim kemarau melanda. Apabila pasokan atau cadangan air menipis, maka akan terjadi ancaman bencana kekeringan.

Air tanah dapat berada dibawah permukaan tanah dalam bentuk kumpulan air, seperti pada gua bawah tanah atau sungai bawah tanah. Keberadaan air bawah tanah dapat mencapai kedalaman puluhan bahkan ratusan meter dibawah permukaan bumi.

Semakin kedalam akan ditemukan lapisan-lapisan batuan yang lolos air dan tidak lolos air. Lapisan *permeable* atau lapisan lolos air adalah lapisan batuan yang terdiri dari kerikil, pasir, batu apung, dan batuan yang retak.

Sedangkan, lapisan *impermeable* atau lapisan tidak lolos air adalah lapisan batuan yang kedap air dan terdiri dari napal, tanah liat, dan tanah lempung. Meski tanah lempung dapat menyerap air, akan tetapi memiliki sifat jenuh air sehingga daya serapnya terbatas.

Air hujan yang turun ke bumi akan meresap secara *infiltrate* ke zona tak jenuh (*zone of aeration*). Setelah itu akan masuk lebih dalam secara *percolate* hingga mencapai zona jenuh air dan menjadi air tanah.

Air tanah dapat berada dibawah permukaan tanah dalam bentuk kumpulan air, seperti pada gua bawah tanah atau sungai bawah tanah. Keberadaan air bawah tanah dapat mencapai

kedalaman puluhan bahkan ratusan meter dibawah permukaan bumi.

Semakin kedalam akan ditemukan lapisan-lapisan batuan yang lolos air dan tidak lolos air. Lapisan *permeable* atau lapisan lolos air adalah lapisan batuan yang terdiri dari kerikil, pasir, batu apung, dan batuan yang retak.

Sedangkan, lapisan *impermeable* atau lapisan tidak lolos air adalah lapisan batuan yang kedap air dan terdiri dari napal, tanah liat, dan tanah lempung. Meski tanah lempung dapat menyerap air, akan tetapi memiliki sifat jenuh air sehingga daya serapnya terbatas.

Air hujan yang turun ke bumi akan meresap secara *infiltrate* ke zona tak jenuh (*zone of aeration*). Setelah itu akan masuk lebih dalam secara *percolate* hingga mencapai zona jenuh air dan menjadi air tanah.

### **2.1.2. Kandungan Air Tanah**

Air tanah memiliki kandungan yang dibagi dalam 4 kelompok. Kandungan tersebut berasal dari unsur air hujan yang ketika meresap ke dalam tanah akan membawa unsur-unsur lainnya, antara lain:

1. Unsur utama air tanah (*major constituents*) memiliki kandungan 1,0 – 1000 mg/l, yaitu kalsium, natrium, magnesium, sulfat, klorida, silika, dan bikarbonat
2. Unsur sekunder air tanah (*secondary constituents*) memiliki kandungan 0,01-10 mg/l, yaitu besi, strontium, kalium, kabornat, nitrat, boron, dan florida
3. Unsur minor air tanah (*minor constituents*) memiliki kandungan kandungan 0,0001-0,1 mg/l, yaitu aluminium, atimon, arsen, barium, cadmium, krom, brom, kobalt, tembaga, germanium, jodium, timbal, litium, molibdiunum, nikel, mangan, fosfat, rubidium, selenium, uranium, titanium, vanadium, dan seng

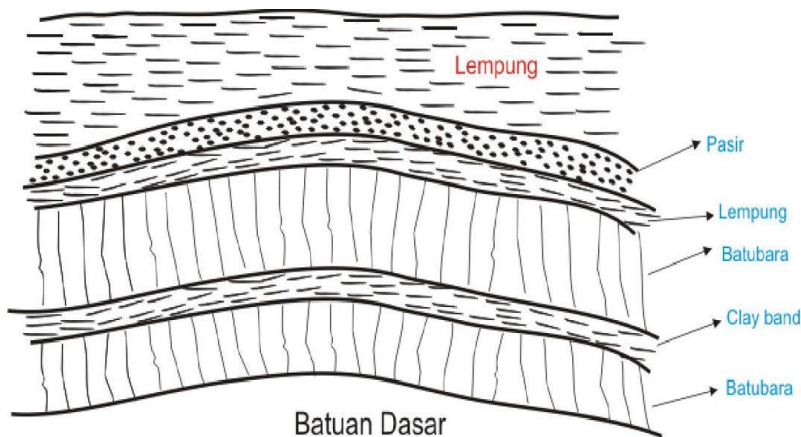
4. Unsur langka air tanah (*trace constituents*) memiliki kandungan kurang dari 0,001 mg/l, yaitu berilium, bismut, cerium, cesium, galium, emas, indium, lanthanum, niobium, platina, radium, ruthenium, scandium, perak, thalium, tharium, timah, tungsten, yttrium, zirkon

Menurut Kodatie (2012), air mengandung unsur kimia sesuai dengan sistem aliran air tanahnya. Sistem aliran air tanah ini dibagi menjadi tiga, yakni sistem lokal, sistem antara dan sistem regional.

Unsur kimia yang mendominasi sistem lokal adalah  $\text{HCO}_3$ , Ca, dan Mg. Kemudian pada sistem antara sebagian besar terdiri dari  $\text{HCO}_3$ , Ca, dan Mg. Sedangkan air tanah sistem regional mengandung Na, Cl, serta hilangnya unsur  $\text{CO}_2$  dan  $\text{O}_2$ .

### 2.1.3. Sifat Batuan Pembentuk

Menurut Danaryanto, dkk, 2005 – Terbentuknya air tanah merupakan proses yang melewati beberapa lapisan batuan dibawah permukaan tanah yang memiliki keterdapatan, penyebaran dan pergerakan air ranah dengan penekanan pada hubungan terhadap kondisi geologi suatu daerah.



Gambar 6. Susunan lapisan batuan pembawa air

Berdasarkan sikap batuan terhadap air, maka terdapat beberapa karakteristik batuan yang dibagi menjadi Akuifer (*aquifer*), Akuiklude (*aquiclude*), Akuitar (*aquitard*), Akuifug (*aquifuge*).

- Akuifer (*aquifer*) adalah lapisan pembawa air. Berupa lapisan batuan yang memiliki susunan tertentu yang mampu menyimpan air dan mengalirkan air dalam jumlah cukup pada kondisi lapang. Sifat dari batuan akuifer adalah permeabel, terdiri dari pasir, keriki, batuan retak dan batu gamping yang berlubang
- Akuiklude (*aquiclude*) adalah lapisan batuan yang mampu menyimpan air, tapi tidak dapat mengalirkan air dalam jumlah yang cukup. Batuan ini terdiri dari lempung, shale, tuf halus dan silt
- Akuitar (*aquitard*) adalah lapisan batuan yang memiliki formasi tertentu dan mampu menyimpan air serta hanya dapat mengalirkan air dalam jumlah tertentu
- Akuifug (*aquifuge*) adalah lapisan batuan yang memiliki formasi tertentu. Pada lapisan ini air tidak dapat disimpan dan dialirkan. Batuan ini terdiri dari granit dan batuan padat

## 2.2. Akuifer

Akuifer merupakan lapisan batuan dibawah permukaan tanah yg mengandung air dan bisa dirembesi air. Akuifer merupakan perpaduan geologi atau gerombolan gugusan yg mengandung air dan secara signifikan bisa mengalirkan air melalui kondisi alaminya. Batasan lain yg digunakan adalah reservoir air tanah, lapisan pembawa air. Todd (1955) menyatakan bahwa akuifer dari Bahasa Latin yaitu *aqui* berasal *aqua* yang berarti air dan *ferre* yg berarti membawa, jadi akuifer adalah lapisan pembawa air.

Suatu akuifer mempunyai 2 fungsi penting, yaitu menjadi penyimpan laksana sebuah waduk serta menjadi penyalur air seperti jaringan pipa. ke 2 fungsi itu diimbun oleh pori-pori atau rongga di pada batuan akuifer itu. 2 sifat yg berafiliasi dengan kegunaannya sebagai penyimpan adalah porositas (porosity) dan akibat jenis (specific yield).

### **2.2.1. Macam Akuifer**

Krussman serta Ridder (1970) dalam Utaya (1990) bahwa macam-macam akifer menjadi berikut:

- a. Akuifer Bebas (Unconfined Aquifer) yaitu lapisan lolos air yang hanya sebagian terisi oleh air dan berada di atas lapisan kedap air. bagian atas tanah di aquifer ini dianggap dengan water table (preatik level), yaitu permukaan air yang memiliki tekanan hidrostatik sama dengan atmosfer.
- b. Akuifer stress (Confined Aquifer) yaitu aquifer yg seluruh jumlahnya air yg dibatasi sang lapisan rapat air, baik yang di atas juga pada bawah, serta memiliki tekanan jenuh lebih akbar asal pada tekanan atmosfer.
- c. Akuifer Semi tertekan (Semi Confined Aquifer) yaitu aquifer yg seluruhnya jenuh air, dimana bagian atasnya dibatasi oleh lapisan semi lolos air dibagian bawahnya merupakan lapisan kedap air.
- d. Akuifer Semi Bebas (Semi Unconfined Aquifer) yaitu aquifer yang bagian bawahnya yg adalah lapisan kedap air, sedangkan bagian atasnya merupakan material berbutir halus, sehingga pada lapisan penutupnya masih memungkinkan adanya gerakan air. dengan demikian aquifer ini merupakan peralihan antara aquifer bebas menggunakan aquifer semi stress.

### 2.2.2. Tipe Akuifer Menurut Undang Undang

Berdasarkan pengertian dan karakteristiknya, lapisan batuan akuifer merupakan lapisan yang paling baik dalam menyimpan air tanah. Menurut Undang-undang Nomor 11 Tahun 1974 tentang Pengairan, Cekungan Air Tanah (CAT) adalah suatu wilayah yang dibatasi oleh batas hidrogeologis, tempat semua kejadian hidrogeologis seperti proses pengimbuhan, pengaliran, dan pelepasan air tanah berlangsung.

Berdasarkan PP No. 43 Tahun 2008, ada tiga kriteria CAT yaitu:

1. Memiliki batas hidrogeologis yang selalu terkontrol oleh hidraulik air
2. Pada satu sistem pembentukan air tanah memiliki daerah imbuhan dan pelepasan air tanah
3. Mempunyai satu kesatuan sistem akuifer

Tidak semua kawasan mempunyai sumber daya air melimpah, oleh sebab itu lokasi tersebut disebut daerah non CAT. Artinya, pada kawasan tersebut tidak terdapat sumber mata air melimpah, tidak memiliki batas hidrogeologis, tidak punya imbuhan dan pelepasan air, serta tidak memiliki kesatuan sistem akuifer.

Tipe akuifer dibagi menjadi tiga, yaitu akuifer bebas (*unconfined aquifer*), akuifer tertekan (*confined aquifer*), dan akuifer semi tertekan (*leaky aquifer*).

1. *Akuifer bebas (unconfined aquifer)* adalah akuifer jenuh air dengan lapisan pembatas pada bagian bawah dan tidak ada pembatas di lapisan atas atau langsung berbatasan dengan permukaan tanah
2. *Akuifer tertekan (confined aquifer)* adalah akuifer dengan batas lapisan atas dan lapisan bawah berupa formasi tidak tembus air, muka air akan muncul diatas formasi tertekan bawah. Akuifer ini terisi penuh oleh air tanah, sehingga jika dilakukan pengeboran akan menyebabkan naiknya muka air tanah pada sumur bor yang melebihi kondisi semula

3. *Akuifer semi tertekan (leaky aquifer)* adalah akuifer jenuh air dengan batasan lapisan atas berupa akuitard dan lapisan bawah berupa akuiklud. Akuifer semi-tertekan atau akuifer bocor adalah akuifer jenuh yang sempurna, pada bagian atas dibatasi lapisan semi-lulus air dan bagian bawah adalah lapisan lulus air ataupun semi-lulus air

### **2.2.3. Jenis Air Tanah**

Air tanah digolongkan menjadi 2 jenis, yaitu berdasarkan letak di permukaan tanah dan berdasarkan asalnya. Air tanah berdasarkan letaknya dibagi kembali menjadi 2 jenis, yaitu Air Tanah Freatik dan Air Tanah Dalam (Artesis).

1. Air Tanah Freatik adalah air tanah dangkal yang terletak tidak jauh dari permukaan tanah dan berada diatas lapisan impemeable atau kedap air, contohnya adalah air sumur.
2. Air Tanah Dalam (Artesis) adalah air tanah yang terletak di antara lapisan akuifer dan batuan kedap air, contohnya adalah sumur artesis.

Sedangkan, air tanah berdasarkan asalnya kembali dibagi menjadi 3 jenis, yaitu Air Tanah Meteorit (*Vados*), Air Tanah Baru (*Juvenil*), dan Air Konat.

1. Air Tanah Meteorit (*Vados*) adalah air tanah yang berasal dari proses presipitasi (hujan) dari awan yang mengalami kondensasi dan tercampur dengan debu meteorit.
2. Air Tanah Baru (*Juvenil*) adalah air tanah yang berasal dari dalam bumi karena tekanan intrusi magma, contohnya adalah geysir atau sumber air panas.
3. Air Konat adalah air tanah yang terkurung pada lapisan batuan purba.

### **2.2.4. Kualitas Air Tanah**

Kualitas air tanah ditentukan oleh sifat fisik dan sifat kimia yang terkandung. Berdasarkan sifat fisik, kualitas air dapat

diketahui dari warna, bau, rasa, kekeruhan, kekentalan dan suhu air.

Rasa air tanah dipengaruhi oleh unsur-unsur garam yang terlarut atau tersuspensi dalam air. Kekentalan air disebabkan oleh partikel yang terkandung dalam air, dimana semakin banyak kandungan yang ada maka akan semakin kental. Selain itu, suhu air yang tinggi akan semakin encer.

Kekeruhan air dipengaruhi oleh zat yang tidak larut oleh air. Misalnya partikel lempung, lanau, zat organik dan mikroorganisme. Suhu air dipengaruhi oleh suhu lingkungan, seperti cuaca, musim, siang dan malam serta lokasi air tanah.

Zat kimia yang terdapat dalam air tanah juga berpengaruh terhadap kualitas air, antara lain Kesadahan, Zat Padat Terlarut (*Total Dissolve Solid / TDS*), Daya Hantar Listrik (DHL), Keasaman dan Kandungan Ion.

1. Kesadahan Air adalah tingkat kekerasan air yang pada umumnya disebabkan oleh unsur Ca dan Mg. Air tanah memiliki beberapa kandungan metal terlarut, seperti Na, Mg, Ca, dan Fe. Jika air tanah mengandung komponen logam dalam jumlah tinggi maka akan menyebabkan air sadah.
2. Zat Padat Terlarut adalah total zat padat yang terlarut dalam air tanah atau semua zat yang tertinggal setelah air diuapkan pada suhu 103 derajat hingga 105 derajat Celcius. Zat-zat terlarut tersebut seperti garam anorganik, dan zat organik lain dalam jumlah kecil, serta gas. Air baku yang digunakan untuk air minum dan kebutuhan rumah tangga, batas maksimal kandungannya adalah 1.000 mg/l atau disebut baku mutu air kelas I.
3. Daya Hantar Listrik merupakan kemampuan air untuk menghantarkan listrik. Daya hantar ini dipengaruhi oleh unsur garam yang terkandung dalam air. Sebab semakin tinggi unsur garam maka semakin tinggi pula daya hantar

listriknnya. Konduktivitas air dipengaruhi oleh ion klorida, suhu air dan zat pada terlarut.

4. Keasaman Air yang dinyatakan dalam pH memiliki skala ukur 1 sampai 14. Air dengan kualitas baik adalah air yang memiliki pH netral (pH 7), jika pH air kurang dari 7 maka akan bersifat asam dan jika lebih dari 7 maka akan bersifat basa.
5. Kandungan Ion baik kation dan anion yang terkandung pada air diukur dalam satuan part per million (ppm) atau mg/l. Ion-ion yang terkandung dalam air antara lain Na, K, Ca, Mg, Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Cl, SO<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, KMnO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, boron, ion-ion logam yang biasanya jarang dan bersifat racun antara lain As, Pb, Sn, Cr, Cd, Hg, Co

#### **2.2.5. Manfaat Air Tanah**

Secara umum air memiliki manfaat penting bagi kehidupan, tidak hanya bermanfaat bagi manusia, air juga dibutuhkan oleh tumbuhan serta hewan. Sebab itu, ketiadaan air dapat menyebabkan kekeringan, bencana kelaparan, dan kepunahan spesies.

Menurut Kodoatie (2012), air yang berasal dari dalam tanah bermanfaat untuk sumber air bagi flora, fauna, dan manusia. Selain itu, air merupakan bagian utama dari siklus hidrologi.

Air dimanfaatkan oleh manusia untuk keperluan sehari-hari, seperti minum, mandi, mencuci, dan lainnya. Seluruh hewan juga membutuhkan air untuk minum, terlebih hewan-hewan akuatik yang hidup pada habitat air, seperti sungai, danau, dan lautan. Tumbuhan memanfaatkan air tanah yang diserap melalui akar untuk memperoleh unsur hara guna mendukung proses fotosintesis.

1. Keperluan rumah tangga, seperti mandi, mencuci, memasak, dan minum
2. Irigasi pertanian, sawah petani yang jauh dari sumber air seperti sungai umumnya akan membuat sumur bor untuk mencukupi kebutuhan air tanaman pertanian
3. Kebutuhan industri memerlukan air untuk mendukung proses produksi, misalnya, pabrik tekstil memerlukan air untuk pencelupan, industri kulit untuk membersihkan kulit, dan lain-lain
4. Air tanah merupakan bagian dari siklus hidrologi atau daur air yang terus berjalan berulang
5. Sebagai sumber pembangkit listrik, contohnya adalah sungai bawah tanah di daerah karst Gombong Selatan yang memanfaatkan aliran air bawah tanah untuk listrik mandiri
6. Air tanah dalam wujud sungai bawah tanah dapat menjadi lokasi penelitian alami mengenai biota, sistem hidrologi, dan lainnya.
7. Air tanah dalam bentuk gua-gua bawah tanah dapat dikembangkan menjadi obyek wisata

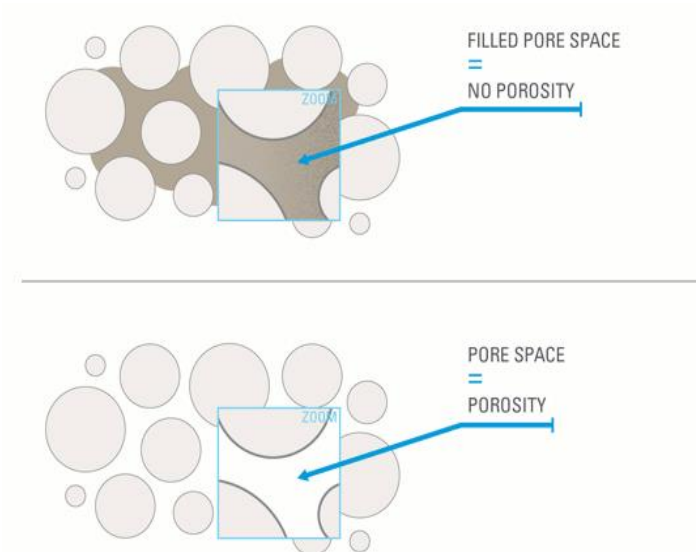
### **2.3. Porositas dan Permeabilitas**

#### **2.3.1. Porositas**

Porositas merupakan salah satu karakteristik dasar yang dimiliki setiap tipe batuan. Karakteristik ini menjelaskan seberapa banyak ruang kosong yang ada pada suatu materi. Batuan terdiri atas butiran-butiran yang saling menyatu. Bentuk, susunan, dan ukuran dari butiran-butiran pembentuk batuan ini yang menentukan karakteristik porositasnya.

Selain bentuk, susunan, dan ukuran butiran-butirannya, faktor lain yang juga mempengaruhi porositas batuan adalah karakteristik material yang mengisi celah di antara butiran-

butiran pembentuknya. Struktur batuan yang diantara partikel-partikel butirannya diisi oleh banyak materi pastinya akan memiliki porositas yang rendah.



Gambar 7. Bentuk butiran poraositas batuan

Batuan dengan porositas tinggi dapat menampung banyak volume air tanah. Porositas batuan diukur sebagai persentase dari volume ruang kosong dibandingkan volume total.

Jumlah air yang dapat ditampung suatu batuan berhubungan langsung dengan porositas karena air akan mengisi ruang kosong dalam susunan batuan. Jika sebuah batuan memiliki banyak celah antar butirannya, maka dikatakan memiliki porositas yang baik dan banyak air dapat masuk di antara butiran tersebut.

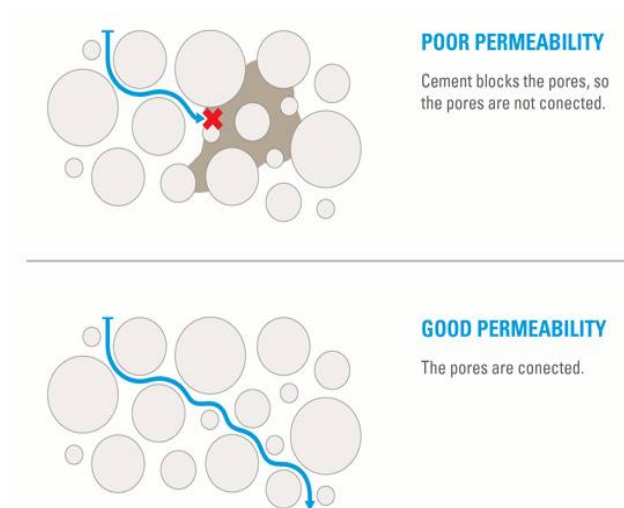
Porositas dapat dibagi menjadi porositas primer dan porositas sekunder. Porositas primer merupakan jumlah ruang

kosong yang terbentuk akibat pembentukan batuan itu sendiri. Sebaliknya, porositas sekunder merupakan porositas yang terbentuk setelah pembentukan batuanya. Misalnya, rekahan yang terbentuk akibat aktivitas tektonik, dan rongga yang terbentuk akibat solusi batuan karbonat pada susunan karst.

### 2.3.2. Permeabilitas

Porositas dan permeabilitas saling berkaitan dengan satu sama lain. Namun, porositas tinggi tidak berarti permeabilitasnya juga tinggi. Permeabilitas dari batuan diukur dari seberapa terhubung pori-pori atau ruang-ruang kosong yang ada pada batuan. Karakteristik permeabilitas merupakan ukuran dari kemampuan suatu materi (termasuk batuan) dalam meloloskan gas dan cairan.

Batuan dengan permeabilitas tinggi memiliki arti susunan batuan tersebut memiliki banyak ruang pori yang terhubung satu sama lain, memungkinkan cairan dan gas mengalir di dalam susunan batuan.



Gambar 8. Bentuk ukuran butir Permeabilitas

Sedangkan batuan dengan permeabilitas rendah maka ruang pori tersebut terpisah antara satu sama lain sehingga gas dan cairan terperangkap di dalamnya. Misalnya, dalam kerikil semua pori-pori terhubung dengan baik satu sama lain sehingga memungkinkan air mengalir melewatinya. Berbeda halnya dengan tanah liat dimana sebagian besar ruang pori saling terisolasi, yang berarti air tidak dapat mengalir melewatinya dengan mudah.

#### **2.4. Sifat Kelistikan Batuan**

Dalam ilmu geofisika pengetahuan dasar tentang sifat kelistrikan suatu batuan menjadi penting. Hal ini menjadi penting karena berkaitan dengan metode pengukuran bawah permukaan untuk mengetahui sifat kelistrikan suatu formasi atau anomali bawah permukaan. Metode ini dikenal dengan nama geolistrik atau kelistrikan bumi. Sehingga dapat kita ketahui bersama bahwa aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik, dan konduksi secara dielektrik.

Batuan merupakan suatu jenis materi yang memiliki sejumlah elektron di dalamnya, sehingga batuan memiliki sifat kelistrikan. Sifat kelistrikan dalam batuan dapat digunakan untuk mendapatkan gambaran lapisan bawah permukaan bumi. Sifat kelistrikan tersebut dapat diketahui dengan melakukan eksplorasi. Beberapa metode eksplorasi yang dapat digunakan adalah metode Tahanan Jenis (Resistivity), Polarisasi Induksi (Induced Polarization), dan Self Potential (SP). Sifat kelistrikan batuan dapat menjadi parameter atau ukuran kemampuan suatu batuan dalam menghantarkan arus listrik. Aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral dapat digolongkan ke dalam 3 macam, yaitu:

1. Konduksi secara elektronik Konduksi ini terjadi apabila batuan atau mineral memiliki banyak elektron bebas. Sehingga arus listrik dapat mengalir dalam batuan atau mineral karena adanya elektron-elektron bebas tersebut.
2. Konduksi secara elektrolitik Konduksi elektrolitik terjadi karena batuan biasanya bersifat porous dan memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida, terutama air. Sehingga terjadi konduksi arus listrik yang dibawa oleh ion-ion elektrolitik dalam air.
3. Konduksi secara dielektrik Konduksi ini terjadi jika batuan atau mineral bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik, artinya batuan atau mineral tersebut mempunyai elektron bebas sedikit, bahkan tidak sama sekali.

Elektron dalam batuan berpindah dan berkumpul terpisah dalam inti karena adanya pengaruh medan listrik di luar, sehingga terjadi poliarisasi. Peristiwa ini tergantung pada konduksi dielektrik batuan yang bersangkutan.

## **2.5. Geolistrik**

**Geolistrik** merupakan salah satu metode geofisika yang bertujuan mengetahui sifat-sifat kelistrikan lapisan batuan di bawah permukaan tanah dengan cara menginjeksikan arus listrik ke dalam tanah. Geolistrik merupakan salah satu metode geofisika aktif, karena arus listrik berasal dari luar sistem. Tujuan utama dari metode geolistrik ini sebenarnya adalah mencari resistivitas atau tahanan jenis dari batuan. Resistivitas atau tahanan jenis adalah besaran atau parameter yang menunjukkan tingkat hambatan listriknya terhadap arus listrik. Batuan yang memiliki resistivitas makin besar, menunjukkan bahwa batuan tersebut sulit untuk dialiri oleh arus listrik. Selain resistivitas batuan, metode geolistrik juga dapat dipakai untuk menentukan

sifat-sifat kelistrikan lain seperti potensial listrik dan medan induksi.

Resistivitas batuan dapat diukur dengan memasukkan arus listrik ke dalam tanah melalui 2 titik elektrode di permukaan tanah dan 2 titik lain untuk mengukur beda potensial di permukaan yang sama. Hasil pengukuran geolistrik dapat berupa peta sebaran tahanan jenis baik dengan jenis pemetaan atau horisontal maupun *sounding* atau kedalaman. Hasil pengukuran geolistrik pemetaan maupun *sounding* disesuaikan dengan kebutuhan diadakannya akuisisi data serta jenis konfigurasi yang digunakan.

### **2.5.1. Konfigurasi**

Di dalam metode geolistrik aktif diperlukan konfigurasi elektrode karena adanya proses injeksi arus listrik ke permukaan Bumi. Pada titik ukur dibutuhkan faktor koreksi tertentu dalam pengumpulan informasi dengan konfigurasi elektrode. Tujuan dari konfigurasi elektrode adalah mengetahui nilai resistivitas listrik di dalam tanah dengan ketelitian pengukuran yang mendekati nilai sebenarnya. Pada konfigurasi elektrode terdapat dua jenis elektrode yaitu elektrode arus dan elektrode tegangan. Tiap metode geolistrik memerlukan sepasang elektrode arus dan elektrode tegangan. Bentuk konfigurasi untuk pengukuran adalah pengaturan tata letak elektrode arus dan elektrode tegangan di dalam permukaan Bumi. Susunan elektrode membentuk lintasan lurus yang simetris untuk membentuk hubungan geometri dalam faktor koreksi.

Pemilihan jenis konfigurasi elektrode pada metode geolistrik disesuaikan dengan data dan pengamatan lingkungan pengukuran. Pertimbangan utama dalam pemilihan jenis konfigurasi elektrode adalah luas lahan yang menjadi tempat pengukuran. Penanaman elektrode arus di dalam permukaan

tanah bertujuan untuk mewakili keakuratan nilai hasil pengukuran. Sedangkan elektrode tegangan mewakili ketelitian pengukuran. Kedalaman penanaman disesuaikan dengan keperluan dan kemampuan amperemeter dan voltmeter yang digunakan.

Pengukuran geolistrik berhubungan dengan geometri susunan elektrode arus dan potensial yang digunakan saat akuisisi. Metode geolistrik terdiri dari beberapa konfigurasi, misalnya yang ke 4 buah elektrodanya terletak dalam satu garis lurus dengan posisi elektrode AB dan MN yang simetris terhadap titik pusat pada kedua sisi yaitu konfigurasi Wenner dan Schlumberger. Setiap konfigurasi mempunyai metode perhitungan tersendiri untuk mengetahui nilai ketebalan dan tahanan jenis batuan di bawah permukaan.<sup>[butuh rujukan]</sup> Beberapa jenis konfigurasi yang biasa digunakan untuk pengukuran geolistrik adalah konfigurasi Schlumberger, konfigurasi Wenner, konfigurasi dipol-dipol dan variasinya

### **2.5.2. Konfigurasi Wenner**

Pengukuran ini dilakukan dengan cara meletakkan titik titik elektrode dengan beda jarak satu sama lain yang sama. Elektrode yang bersebelahan akan berjarak sama ( $AM = MN = NB = a$ ). Konfigurasi ini memiliki kelebihan dalam ketelitian pembacaan karena memiliki nilai eksentrisitas yang tidak terlalu besar atau bernilai sebesar 1/3. metode ini juga salah satu metode dengan sinyal yang bagus. Kelemahan dari metode ini adalah tidak bisa mendeteksi homogenitas batuan di dekat permukaan yang bisa berpengaruh terhadap hasil perhitungan. selain itu, metode ini membutuhkan biaya yang lebih mahal jika dibandingkan dengan konfigurasi yang lain karena setiap berpindah, maka kabel harus diganti dengan yang lebih panjang.

### **2.5.3. Konfigurasi Schlumberger**

Pengukuran ini dilakukan dengan cara yang sama dengan Wenner, namun jarak elektrode arus dapat diubah tidak sama dengan jarak elektrode potensial. Nilai eksentrisitas dari konfigurasi ini dapat berkisar antara  $1/3$  atau  $1/5$ . Apabila elektrode arus yang dipindah sudah melewati batas eksentrisitas, perlu dilakukan shifting pada elektrode potensial agar nilai yang didapatkan masih bisa terbaca.

Konfigurasi schlumberger biasanya digunakan untuk *sounding*, yaitu pengambilan data yang difokuskan secara vertikal. Kelebihan dari konfigurasi ini adalah dapat mendeteksi adanya non-homogenitas lapisan batuan pada permukaan dengan cara membandingkan nilai resistivitas semu ketika shifting. Sedangkan kelemahannya adalah pembacaan pada elektrode MN kecil ketika AB berada sangat jauh, hampir melewati batas eksentrisitasnya

### **2.5.4. Konfigurasi dipol-dipol**

Pengukuran ini dilakukan dengan cara yang sangat berbeda dengan dua konfigurasi diatas. Elektrode potensial diletakkan berjauhan dengan jarak  $na$  dari elektrode arus. Kelebihan dari konfigurasi ini adalah biaya yang dikeluarkan tidaklah mahal jika dibandingkan dengan wenner dan schlumberger. konfigurasi ini juga dapat digunakan untuk pemetaan, yaitu pengukuran yang memfokuskan hasil secara lateral. untuk kekurangannya adalah konfigurasi ini memiliki kualitas sinyal yang jelek jika dibandingkan wenner dan schlumberger. Selain dipole-dipole kita dapat melakukan pengurangan elektrode sehingga konfigurasi tersebut menjadi pole-dipole (pengurangan 1 elektrode) atau pole-pole (2 elektrode).

### **2.5.5. Pengukuran Geolistrik**

Hasil data pengukuran geolistrik berupa tahanan jenis dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan.

1. Geologi rekayasa untuk mengetahui tebal lapisan lapuk, jenis batuan, struktur geologi serta porositas dan permeabilitas batuan untuk penentuan konstruksi.
2. Pertambangan, untuk mengetahui persebaran mineral di dalam lapisan tanah.
3. Minyak bumi untuk mengetahui ketebalan lapisan lapuk dalam penentuan pemasangan bor, struktur lapisan serta jenis batuan.
4. Arkeologi untuk mengetahui situs-situs peninggalan sejarah yang terpendam dalam tanah.
5. Geologi regional suatu wilayah baik struktur geologi maupun stratigrafinya.
6. Hidrologi, untuk mencari akuifer atau sumber air tanah atau mengetahui intrusi air laut.

## **BAB III**

### **PENCEMARAN AIR TANAH**

#### **3.1. Sifat Air Tercemar**

Pencemaran air tanah merupakan sebuah kondisi yang mana tanah sebagai tempat berkumpulnya air tercemar oleh polutan (zat pencemar) sehingga air yang berada di dalamnya juga ikut tercemar. Jenis polutan air tanah (Polusi Air) bermacam- macam wujudnya, ada yang berwujud padat, cair maupun gas. Polutan- polutan tersebut menyebabkan perubahan pada air tanah baik perubahan fisis, kimia maupun biologi. Perubahan sifat- sifat air itu bisa dijadikan penanda atau ciri- ciri pencemaran air tanah yang meliputi :

1. *Perubahan fisis*, Terjadinya perubahan pada air yang bisa kita lihat dan rasakan langsung menggunakan panca indera, seperti berubahnya tingkat kejernihan air, berubahnya suhu air tanah, serta berubahnya warna & rasa air tanah.
2. *Perubahan kimia*, Berubahnya pH (tingkat keasaman) dan susunan zat kimia yang terkandung di dalam air tanah.
3. *Perubahan biologi*, Munculnya bakteri- bakteri berbahaya di dala air tanah.

#### **3.2. Penyebab Pencemaran Air Tanah**

Seperti yang telah dijabarkan sebelumnya bahwa pencemaran air tanah disebabkan oleh adanya polutan. Tapi bagaimana contoh nyata dari polutan- polutan yang mencemari air tanah? Berikut adalah uraian dari contoh- contoh polutan penyebab pencemaran air tanah.

### **3.2.1. Sampah anorganik**

Penyebab pertama dari pencemaran air tanah adalah sampah anorganik. Sampah anorganik ini bisa berwujud sampah plastik, kaleng dan sterofoam yang menumpuk di atas tanah atau tertimbun di dalam tanah. Ketika turun hujan, air hujan akan meresap ke dalam tanah. Resapan air hujan tersebut membawa serta zat- zat pencemar yang berasal dari sampah organik dan pada akhirnya menyebabkan pencemaran air tanah.

### **3.2.2. Sampah organik**

Sampah organik bukannya tidak bisa menjadi penyebab pencemaran air tanah. Secara logika, sampah organik mudah terurai dan dapat menjadi kompos alami bagi tanah. Akan tetapi bagaimana jika sampah organik seperti sayuran dan bahan makanan busuk lainnya tertimbun di dekat sumber air tanah dan butuh waktu lama untuk terurai karena kondisi tanah lembab diguyur hujan. Sampah- sampah organik itu akan semakin membusuk, mengeluarkan bau tak sedap dan mengandung banyak bakteri. Bakteri- bakteri yang ada pada sampah organik itulah yang bisa menyebabkan terjadinya pencemaran air tanah.

### **3.2.3. Limbah cair**

Limbah cair beracun dapat berwujud air bekas mencuci pakaian, air sisa pestisida, cairan berminyak atau bahkan cairan limbah industri yang mengandung zat kimia beracun. Limbah industri seharusnya dikelola dengan baik. Jika pihak pengelola lalai, misalnya tidak melapisi penampungan limbah cair dengan bahan kedap air, maka limbah cair industri zat mengandung racun bisa merembes ke dalam tanah. Jika rembesan limbah cair terbawa oleh air hujan kemudian bermuara di sumber air tanah, maka kandungan beracun dari limbah cair tersebut bisa menjadi penyebab pencemaran air tanah yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia.

### **3.2.4. Air lindi**

Penyebab selanjutnya dari pencemaran air tanah adalah air lindi. Diantara kita mungkin ada yang belum pernah mendengar tentang air lindi. Air lindi merupakan salah satu jenis air yang berada di dalam lapisan tanah dengan kedalaman berkisar 2 meter dari permukaan tanah. Mengapa jenis air ini berbahaya? Air lindi biasa digunakan sebagai open dumping di tempat pembuangan akhir (TPA) sampah, sehingga sumber air tanah di sekitar TPA bisa tercemar oleh amoniak, nitrit dan zat lain yang terkandung dalam air lindi. Air tanah yang tercemar air lindi akan mengalami peningkatan suhu sehingga terjadi percepatan reaksi kimia di dalam air. Tidak hanya perubahan suhu, air lindi juga menyebabkan terjadinya perubahan warna dan bau air tanah.

### **3.3. Dampak Pencemaran Air Tanah**

Pencemaran air tanah membawa dampak buruk bagi kehidupan manusia. Diantara dampak buruk tersebut yaitu :

1. Berkurangnya persediaan air bersih karena air tanah sebagai sumber air bersih sudah tercemar. Jika ketersediaan air tidak mencukupi kebutuhan sehari-hari seperti minum, mandi, mencuci dan kakus, maka akan terjadi kelangkaan air bersih yang berdampak pada berkurangnya produktivitas manusia.
2. Naiknya populasi bakteri- bakteri berbahaya. Bakteri yang bersifat pathogen akan berkembangbiak dengan cepat di dalam air yang tercemar. Tingginya populasi bakteri pathogen juga akan mengurangi tingkat oksigen di dalam air.
3. Turunnya tingkat kesehatan. Mengonsumsi dan menggunakan air tanah yang tercemar dapat menimbulkan berbagai macam penyakit seperti diare, muntaber, disentri, gatal- gatal dan penyakit-penyakit lainnya. Jika air tanah yang dikonsumsi ternyata tercemar oleh limbah yang mengandung logam maka berpotensi menimbulkan kanker dan penyakit yang menyerang darah.

Dampak dari pencemaran air tanah sangatlah mengancam kelangsungan hidup manusia. Untuk meminimalisir dan menghindari dampak- dampak tersebut, ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk menanggulangi pencemaran air tanah. Berikut adalah penjelasannya.

### **1. Remediasi**

Cara pertama untuk menanggulangi pencemaran air tanah adalah remediasi. Kegiatan yang perlu dilakukan dalam sistem remediasi ini adalah memulihkan kembali permukaan tanah yang telah mengalami pencemaran. Pemulihan ini dilakukan dengan cara membersihkan permukaan tanah dari polutan. Remediasi dapat dibagi menjadi 3 jenis yakni remiadiasi in situ dan ex situ.

Remediasi ex situ dilakukan dengan cara menggali tanah yang telah tercemar lalu diangkut menuju tempat lain yang lebih aman. Di tempat tersebut, tanah galian yang tercemar dimasukkan ke dalam tangki yang kedap air lalu ditambahkan zat pembersih. Setelah disimpan untuk beberapa waktu, zat pembersih tersebut dikeluarkan lagi dari tangki dan diolah ditempat pengolahan limbah cair. Sementara itu, remediasi in situ lebih mudah dilakukan dari pada remediasi ex situ. Kegiatan yang dilakukan hanya membersihkan tanah dan bioremediasi.

### **2. Bioremediasi**

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bioremediasi ini termasuk dalam remediasi in situ. Pembersihan tanah dengan teknik bioremediasi ini dilakukan dengan cara menambahkan mikroorganisme pengurai seperti jamur vesikular arbuskular mikoriza dan bakteri pengurai ke dalam tanah. Mikroorganisme pengurai tersebut akan memecah polutan menjadi gas karbon dioksida dan air sehingga tidak berbahaya lagi untuk tanah.

### 3.4. Dampak Pencemaran Tanah

Pencemaran tanah memiliki dampak yang berbahaya bagi makhluk hidup, mulai dari segi kesehatan hingga lingkungan. Toksin yang dilepaskan oleh polutan di tanah dapat berinteraksi dengan ekosistem, baik secara langsung maupun tidak langsung. Contohnya polutan tanah yang mencemari air kemudian memengaruhi ekosistem perairan. Berikut ini adalah beberapa dampak pencemaran tanah dari segi kesehatan dan lingkungan. *Kuy*, disimak!

#### 3.4.1. Kesehatan

Pencemaran tanah menimbulkan berbagai macam masalah kesehatan pada manusia, di antaranya:

1. **Kanker** – Kebanyakan polutan tanah mengandung zat **karsinogenik** yang dapat menyebabkan kanker, seperti logam berat.
2. **Kerusakan Organ** – Hal ini juga disebabkan oleh zat polutan tanah yang berbahaya. Salah satu contohnya seperti kerusakan ginjal yang disebabkan oleh merkuri.
3. **Bioakumulasi** – Bioakumulasi dapat terjadi apabila manusia memakan daging/sayur yang telah terpapar polutan tanah. Kita harus mewaspadaikan hal ini karena berujung pada penyakit kronis laten (tidak disadari).

#### 3.4.2. Lingkungan

Efek pencemaran tanah terhadap lingkungan dapat mengakibatkan kerusakan ekosistem. Beberapa dampak lingkungan yang disebabkan oleh pencemaran tanah ialah;

1. **Hilangnya Keanekaragaman Hayati** – Paparan polutan yang berbahaya dapat mematikan sejumlah jenis tanaman atau hewan sehingga terjadi kelangkaan spesies.
2. **Menurunkan Kesuburan Tanah** – Hilangnya biota-biota atau mikroflora tanah dapat menyebabkan tanah menjadi tidak subur seperti sedia kala.

3. **Perubahan Struktur Tanah** – Struktur tanah dapat mengalami perubahan apabila terdapat polutan yang memataikan komponen penting dalam tanah.

### 3.5. **Pengelolaan Pencemaran Tanah**

Pencemaran tanah dapat ditanggulangi dengan berbagai macam cara, yaitu;

#### 3.5.1. **Menghindari Aktivitas Pertanian yang Berlebihan**

Aktivitas pertanian seperti menanam dan pencabutan rumput yang berlebihan dapat mengakibatkan banjir dan erosi tanah.

#### 3.5.2. **Mengurangi “*Waste Footprint*” Manusia**

“*Waste Footprint*” yang kita hasilkan dapat berupa **sampah plastik**, materi yang sulit terurai, kotoran, dsb. Materi-materi tersebut dapat terakumulasi di tanah dan menjadi polutan yang berbahaya. Kita dapat mengurangi “*Waste Footprint*” dengan cara melakukan 3R yaitu *Reuse*, *Reduce*, dan *Recycle*.

#### 3.5.3. **Pencucian Tanah**

Pencucian tanah bertujuan untuk menghilangkan kontaminan yang ada di dalam tanah. Cara pengelolaan ini menggunakan air untuk membersihkan tanah dan memisahkan tanah yang terkontaminasi. Metode ini memungkinkan manusia untuk mengurangi pencemaran tanpa harus melakukan penggalian tanah.

#### 3.5.4. **Bioremediasi**

Metode pengelolaan ini menggunakan **mikroorganisme** untuk mengurangi kontaminan dan mengembalikan kesuburan

tanah. Cara ini merupakan pengelolaan pencemaran tanah yang terjadi secara alami. Namun, bioremediasi juga tetap membutuhkan temperatur yang sesuai, nutrisi, dan oksigen di dalam tanah.

Aktivitas manusia memang tidak pernah lepas dari adanya pencemaran lingkungan. Tetapi kita bisa mengurangi pencemaran dengan menerapkan gaya hidup yang ramah lingkungan. *Yuk*, jaga bumi kita mulai dari sekarang ya,

## **BAB IV**

### **OPEN DUMPING DAN SISTEM AIR TANAH**

#### **4.1. Open Dumping**

Open dumping adalah suatu metode pembuangan sampah dimana sampah itu dibuang begitu saja secara terbuka diatas suatu tanah lapang yang kurang dimanfaatkan (Depkes RI, 1987)

Menurut suprihatin dkk 1999, masalah open dumping di tempat dimana tidak ada sarana tempat pembuangan akhir memadai masyarakat kebanyakan akan membuang sampahnya di jalan, tanah kosong, disamping bangunan atau ke sungai dan selokan dimana hal ini akan menyebabkan plusi tidak terkontrol.

Masalah yang dapat timbul akibat open dumping yang tidak terkontrol adalah sebagai berikut;

1. Lahan yang luas akan tertutup oleh sampah dan tidak dapat digunakan untuk tujuan lain.
2. Cairan yang dihasilkan akibat proses penguraian (leachate) dapat mencemari sumber air.
3. Sungai dan pipa air minum mungkin akan teracuni akrena bereaksi dengan zat zat atau polutan sampah.
4. Penyumbatan badan air
5. Merupakan tempat menarik bagi binatang seperti kecoak, tikus dan lain lain.
6. Merupakan sumber dan tempat perkembangbiakan organisme penyebar penyakit
7. Gas yang dihasilkan dalam proses penguraian akan terperangkap di dalam tumpukan sampah dapat menimbulkan ledakan jika mencapai kadar dan tekanan tertentu.

Beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam penyebarannya agar bisa mengurangi gangguan yang bisa ditimbulkan antara lain (Depkes RI, 1987) ;

1. Open dumping harus dilakukan jauh dari tempat kediaman masyarakat.
2. Diluar jarak terbang lalat
3. Tidak dekat dengan jalan besar

Menurut bahar 1986, pengolahan sampah terbuka (open dumping) mempunyai sifat yang merugikan antara lain ;

1. Sifat yang menguntungkan
  - a. Biaya relative murah
  - b. Dapat menampung berbagai jenis sampah
  - c. Memanfaatkan lahan lain yang tidak digunakan
  - d. Dalam waktu lama dapat menyuburkan tanah
2. Sifat yang merugikan
  - a. Mencemari air
  - b. Penurunan nilai estetika lingkungan
  - c. Tempat berkembang biak vector (lalat, tikus dan mikroorganisme lain)

Keuntungan pengolahan sampah terbuka (open dumping) adalah biaya relative murah, dapat menampung berbagai jenis sampah, memanfaatkan lahan yang tidak digunakan dan dalam waktu lama dapat menyuburkan tanah dan kerugiannya adalah mencemari air, tanah, penurunan nilai estetika lingkungan, tempat berkembangbiak lalat, tikus dan mikroorganisme lain.

Pengolahan sampah terbuka mempengaruhi environment. Didalamnya terdapat lingkungan biologi yang menyebabkan diare pada balita selain lalat juga terdapat faktor lain yang menyebabkan berbagai penyakit terhadap manusia seperti kecoak, tikus dan nyamuk.

Selain faktor biologi, kejadian diare juga dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu host (manusia) yang meliputi ; pengetahuan ibu, status gizi anak dan imunitas, agent (penyebab penyakit) yang meliputi ; virus, protozoa dan bakteri dan environment.

1. Variable yang tidak teliti meliputi ;
  - a. Faktor fisik/kimia yaitu udara, air, tanah getaran, radiasi, B3 dalam air dan logam berat dalam air.
  - b. Faktor sosbud yaitu pola hidup masyarakat, pekerjaan masyarakat dan cara mengolah makanan
  - c. Host (manusia) yaitu status gizi dan imunitas
  - d. Agent (penyakit) yaitu protozoa, bakteri dan virus

Mengingat luasnya permasalahan pengolahan sampah terbuka (Open dumping) di TPA terhadap kejadian diare pada balita dengan bermacam faktor yang mempengaruhi maka peneliti hanya mempergunakan salah satu faktor yang berperan penting dalam kejadian diare yaitu faktor biologi (vector yang menyebabkan diare itu lalat)

Walaupun didesain dengan sistem *Sanitary Lanfill*, operasionalnya tetap menggunakan sistem *Open damping* . Lindi mencemari air tanah maupun air sungai. Ketika Lindi mencapai sumber air, maka dapat menyebabkan pencemaran pada sumber air tersebut. Kontaminan terbawa oleh pergerakan air melalui tanah, mengkontaminasi tanah, air tanah, dan air sungai (Kassenga dan Mbuligwe, 2009). Dearah sekitar TPA Air Dingin di Kota Padang mulai di padati oleh pemukiman penduduk. Berdasarkan SNI 19-2454-2002, kriteria jarak TPA ke perumahan terdekat lebih besar dari 500 m. Namun pada kenyataanya terdapat perumahan pada radius 200 m dari TPA yang menjadikan air sumur dangkal sebagai sumber air utama.

Dekatnya jarak TPA dengan perumahan, berkemungkinan akan mempengaruhi kualitas air sumur tersebut. Pencemaran lindi terhadap air tanah disebabkan adanya rembesan lindi yang

kemudian menyebar mengikuti aliran air tanah. Pada lingkungan tanah dan air tanah, proses transport yang utama adalah adveksi, difusi, disperse, adsorpsi (Bedient *et l.*, 1999). Saat ini, model matematika untuk masalah kualitas air di sungai merupakan alat yang efisien dalam manajemen sumber daya air (Benedini, 2011). Model matematika bermanfaat untuk pemanfaatan sumber daya air, mereduksi pembuangan dari sumber tertentu, estimasi dampak perubahan teknologi terhadap lingkungan, pengembangan metode dan fasilitas pemantauan, dan manajemen pengelolaan kualitas lingkungan. Permodelan dengan menggunakan solusi persamaan *Domenico and Swartz*. Parameter yang menjadi fokus adalah *Chemical Oxygen Demand* (COD), Timbal (Pb) dan Besi (Fe).

Untuk mengetahui pengaruh air lindi TPA terhadap air tanah dangkal disekitarnya, perlu dilakkan samplin pada beberapa titik yaitu air lindi TPA, sumur uji TPA, sumur tanah dangkal dan sumur kontrol.

#### **4.2. TPA Sampah dan Air Tanah**

1. Air adalah bahan kimia yang sangat penting untuk semua makhluk hidup terutama bagi manusia. Untuk kelangsungan hidup dan manfaatnya untuk kehidupan tidak dapat digantikan dengan senyawa lain. (Udhayakumar, Manivannan, Raghu, Vaideki, 2016). Air di perkotaan dapat mengalami pencemaran dikarenakan berbagai limbah seperti air limbah, limbah rumah tangga, limbah gas, dan limbah panas (Bahagia, Yunita, I., Ruslin, 2018). ). Air tanah saat ini masih jadi sumber air untuk keperluan berbagai kegiatan rumah tangga. Air tanah rentan terhadap pencemaran yang berasal dari penggunaan pestisida, pupuk dan sampah (Ignatius, Thara, & Dheenadayalan, 2018).

Air tanah yang berdekatan dengan tempat pembuangan akhir (TPA) sampah dihadapkan dengan berbagai masalah. Permasalahan tersebut meliputi tingginya laju timbunan sampah dan menurunnya kualitas lingkungan (Indah, Zulkifli, Faisal, 2006). Sampah yang menggunung akan menghasilkan lindi cair yang merupakan hasil dekomposisi sampah dan pengaruh luar (Yudhyarto, Utomo, & Sulastro, 2015). Pengaruh lindi yang mencemari air tanah dan sumber air lainnya menjadi perhatian karena dampaknya yang luar biasa terhadap penurunan kualitas air. Lindi yang berpindah dari tempat pembuangan akhir sampah melepaskan zat pencemar yang sangat berbahaya bagi kesehatan (Ikem, Osibanju, Sidhan, & Sobande, 2002).

2. Lindi yang berasal dari pembuangan sampah mengandung dua bahan yaitu bahan organik dan anorganik terlarut yang menjadi zat pencemar seperti amonium, kalsium, sodium, potasium, besi, sulfat, klorida dan logam berat seperti Cd, Cr, Co, Pb, Zn dan Ni (Aboyeji & Egbkhan, 2016). Logam berat yang mencemari air tanah dapat mengganggu kesehatan apabila terkonsumsi karena sifatnya yang dapat terakumulasi dalam tubuh dan menjadi pemicu kanker (Chwodhury, Mazumder, Al Attas, & Husain, 2016).

Menurut penelitian hubungan yang sangat kuat antara jarak timbunan sampah dan air lindi terhadap kualitas air untuk parameter total coliform, Chemical oxygen Demand (COD), Total Suspended Solid (TSS) dan Demand Oxygen (DO). Menurut Arbain, Mardana, Sudana, (2012), air lindi berpengaruh pada kualitas air tanah dangkal penduduk yang berdekatan dengan TPA. Menurut Biswas *et al* (2010) menyatakan air lindi yang tercemar akan meningkatkan pencemaran logam berat pada air tanah.

Lindi adalah sumber pencemaran air yang dapat berupa material organik dan material anorganik yang berasal dari

pembusukan sampah di sebuah tempat pembuangan akhir (TPA) sampah. Zat polutan tersebut dapat menurunkan kualitas air baik dari kualitas fisika, kimia dan biologi (Ali, 2011). Lindi juga menjadi sumber pencemaran logam berat dalam air tanah sehingga diperlukan penilaian kualitas air tanah di RT 68 yang berbatasan langsung dengan TPA Sukawinatan. Kualitas air tanah yang diteliti berupa kualitas fisika dan kimia.

Dalam beberapa metode pengambilan sampel berupa sampel air tanah di Rumah Tangga (RT) 68 dilakukan secara langsung menggunakan metode *grab sampling* yaitu metode pengambilan sampel air warga sesaat yang telah menunjukkan karakteristik air hanya pada saat pengambilan sampel menggunakan alat pengambil sampel air berupa *water sampler* sesuai dengan SNI 6989.59:2008. Sebelum dianalisa di laboratorium analisa air dilakukan perlakuan pre analitik sampel berupa pengawetan yang bertujuan agartidak terjadi perubahan kimia dan fisika pada sampel air. Parameter yang dianalisis dari sampel air meliputi parameter fisika dan kimia Menurut survey pendahuluan, jumlah sampel sumur di RT 68 berjumlah 12 sumur dan layak untuk diambil air nya terdiri dari 5 sumur.

Beberapa metode pemeriksaan fisika dan kimia yang digunakan antara lain untuk Kekeruhan dilakukan dengan metode SNI 06-6989.25-2005. Untuk pengujian suhu air di lapangan menggunakan metode SNI 06- 6989.23.23-2005. Kelima sampel diuji dengan metode SNI 06-6989.29-2004 untuk analisa flourida.

Analisis data yang digunakan adalah analisis menggunakan *Water Quality Index* yang memiliki lima tingkatan kualitas yaitu sangat baik, baik, buruk, sangat buruk dan air tidak cocok untuk dikonsumsi. *Water Quality Index* dihitung berdasarkan standar dari *World Health Organization* (Brown, Clelland,

Dininger & Tozer, 1970) secara aritmatika sesuai rumusan dibawah ini,

$$Q_n = 100 [(V_n - V_i) / (S_n - V_i)] \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

$Q_n$  = *Water Quality Rating* tiap parameter

$V_n$  = Nilai Hasil pemeriksaan

$S_n$  = Batas maksimal kadar yang diizinkan tiap parameter

$V_i$  = Nilai ideal tiap parameter

Perhitungan berat tiap unit ( $W_n$ )

Dimana :

$$W_n = K / S_n \dots\dots (2)$$

Dimana :

$W_n$  = Unit berat tiap parameter

$S_n$  = Batas maksimal kadar yang diizinkan tiap parameter

$K$  = Konstanta proporsional

Konstanta proporsional dihitung menggunakan rumus

$$K = 1 / \sum (1/S_n) \dots\dots\dots (3)$$

Perhitungan *Water Quality Indeks*(WQI) dihitung menggunakan rumus

$$WQI = \sum Q_n \cdot W_n / \sum W_n \dots\dots\dots (4)$$

### 4.3. Parameter Fisika

Berdasarkan hasil penelitian air sumur di RT 68 dapat dilihat bahwa 5 sampel air sumur yang diperiksa karakteristik bau memenuhi syarat, 5 sampel air sumur yang diperiksa karakteristik rasa memenuhi syarat, 4 sampel air sumur yang diperiksa karakteristik jumlah padatan terlarut memenuhi syarat, 3 sampel air sumur yang diperiksa karakteristik kekeruhan memenuhi syarat, dan 5 sampel air sumur yang diperiksa karakteristik suhu dan warna memenuhi syarat. Hasil lengkap pemeriksaan parameter fisika yang diujikan di Balai Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BTKLPP).

Air yang sesuai persyaratan kualitas fisik adalah air yang tidak berbau, berwarna, berasa, tidak keruh dan memiliki suhu air dibawah suhu udara sekitarnya. Pengujian bau dan rasa dilakukan menggunakan metode Organoleptik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua sampel air yang digunakan dalam penelitian ini tidak berasa dan tidak berbau sehingga sesuai dengan persyaratan maksimum yang diperbolehkan sesuai dengan Permenkes No 492/Menkes/Per/IV/2010 mengenai persyaratan mutu air minum dan air bersih.

Air sumur yang berbau umumnya disebabkan adanya materi organik yang mengalami pembusukan (Trisnawulan, Budiarsa & Sundra, 2007). Air yang bau dan berasa biasanya terjadi bersamaan dandiakibatkan oleh adanya proses pembusukan dan dekomposisi

bahan-bahan organik, beberapa organisme mikroskopik serta persenyawaan kimia seperti phenol. Menurut Slamet (2005), bau dalam air yang digunakan berasal dari adanya mikroorganisme dalam air seperti alga serta adanya gas lain seperti asam sulfida (H<sub>2</sub>S) yang terbentuk dibawah system anaerobik dan adanya senyawa-senyawa organik lainnya.

Untuk kekeruhan dari kelima sampel, terdapat dua sampel yang memiliki nilai kekeruhan diatas ambang batas yaitu sebesar 41.50 NTU dan 20,31 NTU serta kadar terendah sebesar 2.95 NTU. Rata-rata hasil pengukuran kekeruhan sebesar 14.5 NTU.

Kekeruhan pada air disebabkan oleh adanya bahan padat tersuspensi, baik organik maupun anorganik. Berbagai buangan limbah domestik, pertanian dan industri merupakan sumber kekeruhan (Gofur, Kartini & Rhaman, 2016). Menurut penelitian Parera, Wenny & Jimmy (2012), sumur gali warga memiliki lapisan tanah yang berdekatan dengan tanah permukaan sehingga lebih rentan terhadap kontaminasi yang berasal dari limbah oleh kegiatan manusia dan kegiatan industry yang masuk melalui rembesan permukaan.

Dari tabel di atas, ditunjukkan bahwa temperatur air sumur tertinggi yaitu  $25.9^{\circ}$  C dan terendah  $25.9^{\circ}$  C. Temperatur air sumur adalah salah satu parameter penting yang erat hubungannya dengan pengolahan yang bertujuan untuk eliminasi bahan pencemar dan tujuan penggunaan air (Suripin, 2001). Temperatur air yang diinginkan adalah  $\pm 30^{\circ}$  C suhu udara di sekitarnya. Temperatur air mempengaruhi langsung kualitas air lainnya seperti toksisitas berupa tingginya bahan kimia pencemar, pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme dan virus (Suryana, 2013). Tinggi rendahnya temperatur air dalam suatu sistem penampungan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti proses fisik dalam air dan keadaan atmosfer sekitarnya (Marwati, 2008).

#### 4.4. Parameter Kimia

Parameter kimia yang diujikan terhadap 5 sampel air sumur berupa pengujian kadar Besi (Fe), Flourida (F),

Kadmium (Cd), Kesadahan ( $\text{CaCO}_3$ ), Mangan (Mn), Nitrat sebagai N ( $\text{NO}_3$ ), Nitrit sebagai N ( $\text{NO}_2$ ), pH, Seng (Zn), Sianida (CN), Sulfat ( $\text{SO}_4$ ) dan logam timbal (Pb). Hasil pengujian lengkap lima sampel yang diujikan di laboratorium Balai Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit (BTKLPP).

Besi merupakan unsur kimia yang ditemukan pada hampir semua tempat di bumi dan menjadi salah satu logam berat berbahaya jika konsentrasinya melewati ambang batas (Soemirat, 2009). Dari hasil penelitian, kelima sumur yang dijadikan sampel penelitian menunjukkan tidak ada sampel yang melebihi ambang batas kadar besi dalam air bersih dengan nilai tertinggi 0,14 mg/L dan terendah 0,06 mg/L. Menurut Soemirat (2009), besi dapat larut pada pH rendah. Kadarnya dalam air bersih tidak boleh melebihi 0,3 mg/L karena menyebabkan dan meningkatkan bau, rasa serta mengakibatkan air sumur akan berwarna dan meningkatkan potensi meninggalkan noda pada pakaian jika digunakan dan menyebabkan iritasi mata dan kulit

Pada pemeriksaan parameter kimia salah satunya adalah pemeriksaan kadar flourida/*flouride* dalam air bersih. Kelima sampel yang diuji menunjukkan bahwa semua sampel memenuhi syarat kadar flourida. Menurut Widana *et al* (2014), adanya flourida berasal dari dekomposisi persenyawaan flourida yang secara alami sudah terdapat dalam tanah.

Derajat keasaman adalah parameter yang menunjukkan sifat keasaman dan kebasaan dalam suatu sampel. Perubahan derajat keasaman dalam suatu sistem penampungan air dan perairan akan mempengaruhi berbagai proses fisika, kimia dan biologi mikroorganisme yang terdapat dalam sistem perairan

tersebut. Derajat keasaman juga dapat mempengaruhi toksisitas bahan pencemaran dalam air dan kelarutan gas serta menentukan bentuk zat (Wardhana, 2004). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kelima sampel air sumur di RT 68 tidak memenuhi syarat untuk parameter pH air bersih

Air yang memiliki keasaman yang tinggi diakibatkan meningkatnya kadar nitrit dan nitrat yang larut dan masuk kedalam air tanah seperti air sumur dimana nitrat dan nitrat ini berubah menjadi polutan bagi air sumur (Nayyef and Amal, 2012; Ugya *et al*, 2015). Jika pH air dibawah 6,5 artinya air tersebut bersifat asam sehingga air ini kurang baik bagi tubuh kita jika dikonsumsi karena jika pH asam akan mempengaruhi sistem pencernaan, mudah lelah, mengakibatkan rasa sakit persendian (Narsi, Wahyuni&Susanti 2017). pH air yang asam dapat merusak kondisi kulit dan menyebabkan iritasi (Roger, 2010), korosi pada metal (pipa air) yang melarutkan logam berat seperti timbal (Pb), tembaga (Cu) dan cadmium (Cd) (Sudadi, 2003).

Hasil pemeriksaan Nitrit sebagai N (NO<sub>2</sub>) dan nitrat sebagai N (NO<sub>3</sub>) menunjukkan kelima sampel memenuhi syarat kualitas kadar nitrit dan nitrat sesuai Permenkes No 492/Menkes/Per/IV/2010 tentang kualitas air bersih. Namun jika mengacu Permenkes no 32 tahun 2017 tentang persyaratan baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan kesehatan air yang digunakan untuk keperluan *higiene* sanitasi terdapat 3 sampel air sumur warga RT 68 yang tidak sesuai baku mutu kadar nitrat yaitu sampel C, D dan E. Tingginya kadar Nitrit dan Nitrat dalam air disebabkan oleh adanya penggunaan pupuk yang berlebihan dimana pupuk merupakan sumber utama Nitrogen yang dikonversi dari nitrit dan nitrat (Nas, 2009; Eddy dan Ekop, 2007). Tingginya senyawa nitrat dalam iar yang akan dikonsumsi dapat menyebabkan kondisi *methamoglobinemia* yaitu kondisi berubahnya *Hemoglobin* dalam darah menjadi methamoglobin

yang akan menyebabkan kandungan oksigen darah menjadi rendah dan dikenal dengan penyakit “*babie blues*” (Soemirat, 2009)

Logam berat dalam air bersih dan air minum yang menjadi racun bagi tubuh manusia adalah Timbal (Pb), Besi (Fe), Kadmium (Cd), Seng (Zn) dan Mangan (Mn). Hasil penelitian menunjukkan kelima logam dalam lima sampel air sumur yang digunakan dalam penelitian ini tidak ada yang melebihi ambang batas maksimal logam dalam air bersih. Untuk batas maksimal logam besi dalam air adalah 0,3 mg/Liter. Logam yang toksik bagi manusia biasanya didapatkan dari kegiatan industri, limbah domestik dan tumpukan sampah dapat menjadi berbahaya bagi manusia dan lingkungan biotik. Logam berat yang diukur dalam penelitian ini adalah logam timbal (Pb), Cadmium (Cd), Seng (Zn) dan Mangan (Mn). Kandungan logam besi tertinggi dalam sampel adalah 0,14 mg/L dengan batas tertinggi dalam air sebesar 0,3 mg/L. Untuk logam kadmium (Cd) kandungan tertinggi < 0,0015 mg/L dengan batas maksimal 0,003 mg/L. Kandungan logam Mangan tertinggi sebesar 0,04 mg/L dengan batas maksimal yang diizinkan sebesar 0,4 mg/L. Kandungan tertinggi logam seng (Zn) dan Timbal (Pb) tertinggi berturut-turut 0,13 mg/L dan 0,01 mg/L dengan batas maksimal yang diizinkan sebesar 3 mg/L untuk logam seng dan 0,05 mg/L untuk logam timbal.

Kandungan logam berat dalam air ini relatif sangat kecil, akan tetapi hal ini tetap harus diwaspadai mengingat efek toksikologi bagi tubuh dan dalam tubuh. Logam kadmium dalam tubuh selang waktu yang lama dapat mengakibatkan kerusakan ginjal. Logam timbal dapat menyebabkan gangguan sistem saraf, menyebabkan pendarahan, karsinogen dan kerusakan otak (Ehi- Eromosele, 2012). Air sadah ( $\text{CaCO}_3$ ) dapat menyebabkan penyakit kardiovaskuler bagi manusia (Hussain *et al*, 2012). Logam seng (Zn) adalah logam esensial bagi tubuh akan tetapi

kelebihan logam ini akan sangat berbahaya dan bersifat toksik. Tingginya kadar  $Mn^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Na^{+}$ ,  $Cl^{-}$  dan  $SO_4^{-2}$  disebabkan oleh limbah yang berasal dari kegiatan domestic rumah tangga (Meybeck & Halmer, 1996). Kelebihan ion  $Fe^{+2}$  dan  $Mn^{+2}$  dapat menyebabkan gangguan neurologis (Standard Organization of Nigeria, 2007).

*Water Quality Index* dihitung berdasarkan standar dari World health organization (Brown, Clelland, Dininger & Tozer, 1970) secara aritmatika sesuai rumusan dibawah ini :

$$WQI = \frac{\sum Q_n \cdot W_n}{\sum W_n}$$

Dimana

WQI = *Water Quality Index*

$Q_n$  = *Water Quality Rating* tiap parameter

$W_n$  = unit berat tiap parameter

Hasil perhitungan *Water Quality Index* dari kelima sampel sumur dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini ;

Tabel 3. Hasil WQI

Sampel	WQI	Kesimpulan
Sumur A	45,66811	excellent
Sumur B	45,42535	excellent
Sumur C	45,84581	excellent
Sumur D	46,34022	excellent
Sumur E	45,59327	excellent

## 4.5. Jenis Kontaminan Dalam Air



Gambar 9. Jenis jenis kontaminan air

Kontaminan tertentu menyebabkan pencemaran dalam air. Sehingga kualitas dari air menurun atau bahkan bisa juga menjadi membahayakan. Kami telah merangkum setidaknya ada 4 jenis kontaminan yang biasanya terjadi pada air, di antaranya adalah :

### 4.5.1. Kontaminan Fisik

Secara fisik air dengan kualitas baik adalah air yang jernih, tidak berwarna dan tidak berbau. Beberapa contoh kontaminan yang dapat merusak kualitas air adalah suspensi bahan organik atau sedimen yang membuat air menjadi keruh ataupun bahan organik terlarut sehingga air menjadi berwarna dan berbau

#### **4.5.2. Kontaminan Kimia**

Kadar bahan kimia dalam air juga merupakan salah satu penting yang perlu diperhatikan. Kontaminan kimia ini dapat terjadi secara alami atau buatan manusia. Contohnya saja adalah garam, pestisida, logam, organik sintesis, racun yang diproduksi oleh bakteri dan obat-obatan manusia atau hewan

#### **4.5.3. Kontaminan Biologi**

Kontaminan biologi adalah organisme biologi dalam air. Mereka juga disebut sebagai mikroba atau kontaminan mikrobiologis. Contohnya bakteri, virus, protozoa dan parasit.

#### **4.5.4. Kontaminan Radiologis**

Kontaminan adalah unsur kimia dengan jumlah proton dan neutron yang tidak seimbang sehingga menghasilkan atom yang tidak stabil yang dapat memancarkan radiasi pengion. Contoh kontaminan radiologis termasuk Sesium, Plutonium, dan Uranium

### **4.6. Kontaminasi Air Tanah (*Groundwater*) dan Bahayanya**

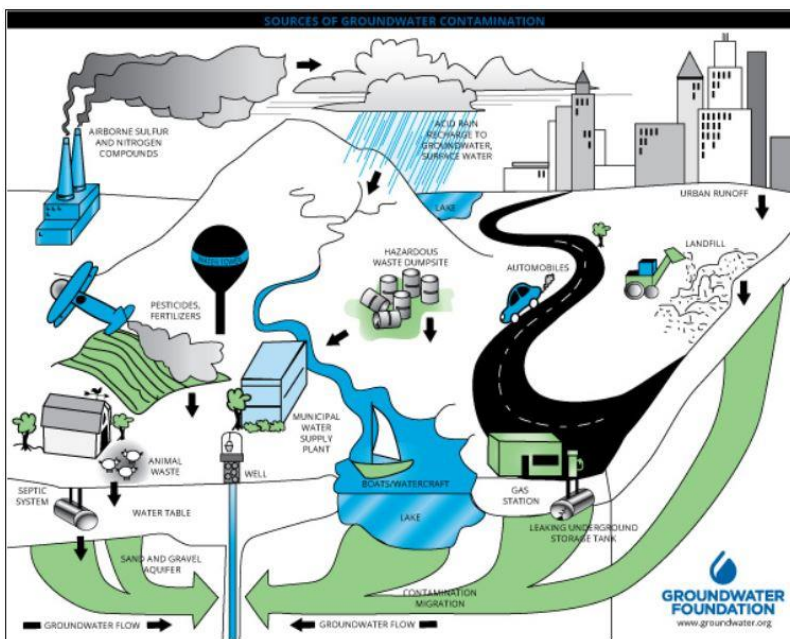
Lebih dari 50% penduduk Amerika Serikat bergantung pada air tanah untuk air minum. Air tanah juga merupakan salah satu sumber air terpenting untuk irigasi. Sayangnya, air tanah rentan terhadap polutan.

Pencemaran air tanah terjadi ketika produk buatan manusia seperti bensin, minyak, garam jalan (*road salt*) dan bahan kimia masuk ke air tanah dan menyebabkannya menjadi tidak aman dan tidak layak untuk digunakan manusia.

Bahan atau material-material dari permukaan tanah dapat bergerak melalui tanah dan berakhir di air tanah. Misalnya, pestisida dan pupuk dapat menembus lapisan tanah mencari jalan ke pasokan air tanah dari waktu ke waktu. Garam jalan (*road*

salt), zat beracun dari lokasi penambangan, dan oli motor bekas juga dapat meresap ke dalam air tanah. Selain itu, mungkin juga limbah yang tidak diolah dari tangki septik dan bahan kimia beracun dari tangki penyimpanan di bawah tanah dan tempat pembuangan bocor sehingga mencemari air tanah.

Minum air tanah yang terkontaminasi dapat memiliki efek kesehatan yang serius. Penyakit seperti hepatitis dan disentri dapat disebabkan oleh kontaminasi dari limbah tangki septik. Keracunan bisa disebabkan oleh racun yang sudah tercecer ke air sumur. Satwa liar juga bisa terkena oleh air tanah yang terkontaminasi. Efek jangka panjang lainnya seperti jenis kanker tertentu juga dapat terjadi akibat terpapar air yang tercemar.



Gambar 10. Siklus Air Bawah Tanah

#### **4.6.1. Potensi Sumber Kontaminasi Air Tanah**

##### ➤ **Tangki penyimpanan (*Storage Tanks*)**

Dapat mengandung bensin, minyak, bahan kimia, atau jenis cairan lainnya dan dapat berada di atas atau di bawah tanah. Diperkirakan ada lebih dari 10 juta tangki penyimpanan yang terkubur di Amerika Serikat dan seiring waktu, tank-tank itu bisa menimbulkan korosi, retak, dan mengembungkan kebocoran. Jika kontaminan bocor dan masuk ke air tanah, kontaminasi serius bisa terjadi.

##### ➤ **Sistem Septic**

Sistem pembuangan air limbah di lokasi yang digunakan oleh rumah, kantor atau bangunan lain yang tidak terhubung ke sistem saluran pembuangan kota. Sistem septik dirancang untuk perlahan-lahan mengurangi kotoran manusia di bawah tanah pada tingkat yang lambat dan tidak berbahaya. Sistem septik yang dirancang, diletakkan, dibangun, atau dipelihara dengan tidak benar dapat menyebabkan kebocoran bakteri, virus, bahan kimia rumah tangga, dan kontaminan lainnya ke dalam air tanah yang menyebabkan masalah serius.

##### ➤ **Limbah B3 yang Tidak Terkontrol**

Di AS hari ini, diperkirakan ada lebih dari 20.000 situs limbah berbahaya dan terlantar yang tidak terkontrol dan jumlahnya bertambah setiap tahun. Tempat-tempat limbah berbahaya dapat menyebabkan kontaminasi air tanah jika ada barel atau wadah lain yang tergeletak di sekitarnya yang penuh dengan bahan berbahaya. Jika ada kebocoran, kontaminan ini akhirnya bisa turun melalui tanah dan masuk ke air tanah.

##### ➤ **Tempat pembuangan sampah**

Tempat pembuangan sampah adalah tempat sampah kita diambil untuk dikubur. TPA harus memiliki lapisan bawah pelindung untuk mencegah kontaminan masuk ke air. Namun, jika tidak ada lapisan atau retak, kontaminan dari landfill (asam

baterai mobil, cat, pembersih rumah tangga, dll.) Dapat masuk ke dalam air tanah.

➤ **Bahan Kimia dan Garam Jalan**

Penggunaan bahan kimia dan garam jalan yang meluas merupakan sumber lain dari kontaminasi air tanah yang potensial. Bahan-bahan kimia termasuk produk yang digunakan di padang rumput dan ladang pertanian untuk membunuh gulma dan serangga dan menyuburkan tanaman, dan produk lain yang digunakan di rumah dan bisnis. Saat hujan, bahan kimia ini bisa meresap ke tanah dan akhirnya masuk ke air. Garam jalan digunakan di musim dingin untuk melelehkan es di jalan agar mobil tidak tergelincir. Ketika es mencair, garam dibersihkan dari jalan dan akhirnya berakhir di air.

➤ **Kontaminan Atmosfer**

Karena air tanah merupakan bagian dari siklus hidrologi, kontaminan di bagian lain dari siklus, seperti atmosfer atau badan air permukaan, pada akhirnya dapat ditransfer ke pasokan air tanah kita.

#### 4.6.2. Aplikasi Model

Rancangan model analitik menggunakan solusi analitis Domenico and Schwartz (1990), model ini dikembangkan berdasarkan persamaan adveksi, dispersi dan reaksi sebagai berikut:

$$C_{(x,y,z,t)} = \left(\frac{C_0}{8}\right) \exp\left\{\left(\frac{x}{2\alpha_x}\right) \left[1 - \left(1 + \frac{4\lambda\alpha_x}{v}\right)^{\frac{1}{2}}\right]\right\}$$

$$\operatorname{erfc}\left[\frac{Rx - vt\left(1 + \frac{4\lambda\alpha_x}{v}\right)^{\frac{1}{2}}}{2(R\alpha_x vt)^{\frac{1}{2}}}\right] \left\{ \operatorname{erf}\left[\frac{\left(y + \frac{Y}{2}\right)}{2(\alpha_y x)^{\frac{1}{2}}}\right] - \operatorname{erf}\left[\frac{\left(y - \frac{Y}{2}\right)}{2(\alpha_y x)^{\frac{1}{2}}}\right] \right\}$$

$$\left\{ \operatorname{erf}\left[\frac{\left(z + \frac{Z}{2}\right)}{2(\alpha_z x)^{\frac{1}{2}}}\right] - \operatorname{erf}\left[\frac{\left(z - \frac{Z}{2}\right)}{2(\alpha_z x)^{\frac{1}{2}}}\right] \right\}$$

Dimana C adalah konsentrasi kontaminan pada titik x dan waktu t; C<sub>0</sub> merupakan konsentrasi kontaminan pada titik sumber yang di dapat kan dari pengukuran di lapangan; R<sub>f</sub> faktor retardasi; V adalah kecepatan air tanah / kecepatan kontaminan yang sudah dikoreksi dengan faktor laju orde satu ( $1/T = (\ln 2)/(t1/2)$ ), waktu (t); Y lebar sumber pencemar; Z kedalaman dispersivitas vertical; x jarak horizontal dari sumber dalam arah aliran air tanah; y jarak dari titik tengah sumber pencemar tegak lurus arah aliran; z jarak vertikal dari top akuifer.

#### **4.6.3. Analisis Sampel Lindi**

Parameter fisik yang terukur adalah suhu 33°C, DO 4,9 mg/l, pH 8,06, DHL 5,5 mS/cm. Nilai pH 8,06 hal ini menunjukkan lindi bersifat basa dan masih memenuhi baku mutu Kep. No.51/MENLH/I0/1995. Suhu pada lindi cukup tinggi (33 oC) akan mempengaruhi aktivitas mikroorganisme dalam penguraian bahanbahan organik. Hal diatas umum terjadi disetiap TPA yang diuji.

#### **4.6.4. Analisis Sampel Air Tanah**

Analisis sampel air tanah dilakukan di laboratorium untuk menentukan parameter Fe, Pb, dan COD yang terkandung pada sumur air tanah dangkal.

Batas maksimum COD menurut Keputusan Menteri Kesehatan No 907 tahun 2002 yaitu sebesar 10 mg/L, sedangkan rentang konsentrasi yang terdeteksi di sumur warga adalah  $48 \pm 75$  mg/L. Konsentrasi COD tertinggi terdapat pada sumur yang berjarak 300 m dari TPA. Konsentrasi Pb yang melewati baku mutu terdeteksi pada sumur warga dengan jarak 300, 600 dan 900 m dari TPA. Baku mutu Pb menurut Menteri Kesehatan No 907 tahun 2002 adalah 0,01 mg/L.

#### **4.6.5. Analisis Sampel Tanah**

Analisis karakteristik tanah dilakukan untuk menentukan parameter fisik tanah dan pergerakan kontaminan dalam tanah. Sampel tanah di ambil pada kedalaman  $\pm 1$  m, sehingga di dapatkan tanah yang belum terkontaminasi oleh lindi TPA. Selanjutnya sampel tanah di analisis di Laboratorium. Jenis sampel tanah yang diambil merupakan *Silt Loam*. Nilai konduktivitas hidrolis yang di dapat yaitu sebesar 0,11 m/hari.

#### **4.6.6. Arah dan Kecepatan Air Tanah**

Pengukuran muka air tanah beretujuan untuk penentuan gradien hidrolis. Gradien hidrolis menunjukkan perubahan tekanan dalam aquifer yang menghasilkan aliran air tanah, dilakukan pengukuran ketinggian muka air tanah pada 3 buah sumur yang berjarak 300, 600 dan 900 m dari TPA

Dengan nilai koefisien konduktivitas hidrolis (K) dan porositas diperoleh dari hasil uji karakteristik fisik tanah dengan nilai masing-masing sebesar 0,11 m/hari dan 0,52. Penentuan kecepatan air tanah menggunakan metode yang diperkenalkan oleh Pinder *et al.*, (1981), maka kecepatan aliran air tanah diperoleh sebesar 0,053 m/hari.

#### **4.7. Analisis Resistivitas Batuan Dengan *Dar Zarrouk* Dan Anisotropi**

Batuan memiliki karakteristik sendiri termasuk sifat kelistrikan yang ada dalam batuan itu sendiri. Perbedaan sifat kelistrikan pada masing-masing batuan memberikan respon berbeda terhadap arus yang diberikan melalui *metode vertical electrical sounding*. Perbedaan respon ini nantinya dapat dipakai sebagai data rujukan untuk menentukan lapisan yang ada di bawah permukaan dan pendekatan kondisi bawah permukaan

melalui harga resistivitas yang didapatkan. Dilakukan pendekatan secara anisotropis pada data VES dengan menggunakan parameter *Dar Zarrouk* pada pengolahan data. Penelitian dilakukan pada lapangan FINAL# daerah Jawa Tengah. Data yang digunakan adalah dua data VES dan satu data log resistivitas pada sumur P01. Adapun tujuan dari disusunnya penelitian ini adalah menghitung nilai resistivitas media berdasarkan konsep anisotropi dan parameter *Dar Zarrouk*, mengkorelasikan log VES dengan log sumur, memetakan distribusi resistivitas pada lapangan, dan mengidentifikasi lapisan batuan.

#### 4.7.1. Sifat Kelistrikan Batuan

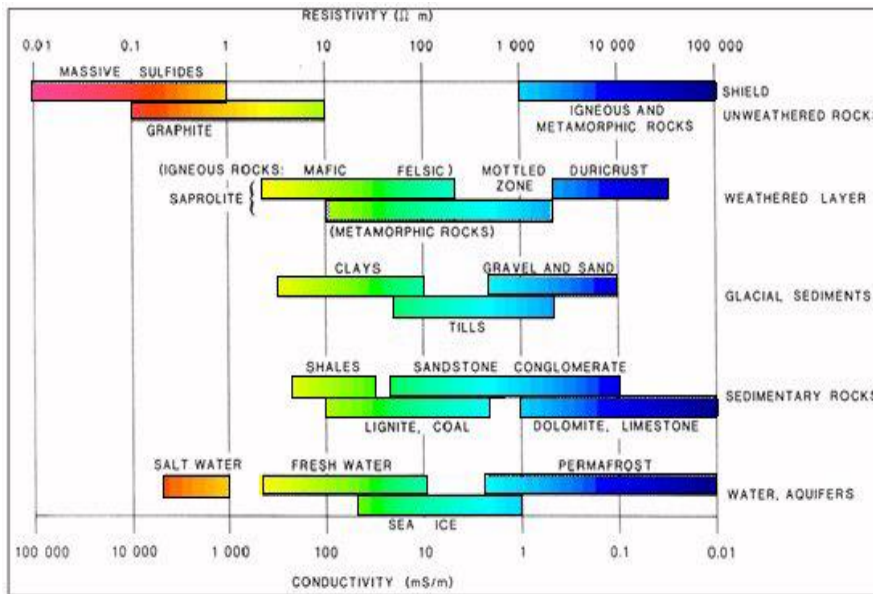
Setiap batuan memiliki karakteristik tersendiri tak terkecuali dalam hal sifat kelistrikan. Salah satu sifat batuan tersebut adalah resistivitas (tahanan jenis) yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik, begitu pula sebaliknya [1]. Berdasarkan harga resistivitasnya, batuan digolongkan dalam 3 kategori yakni : Konduktor baik :  $10^{-6} < \rho < 1 \Omega\text{m}$

Konduktor sedang :  $1 < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$

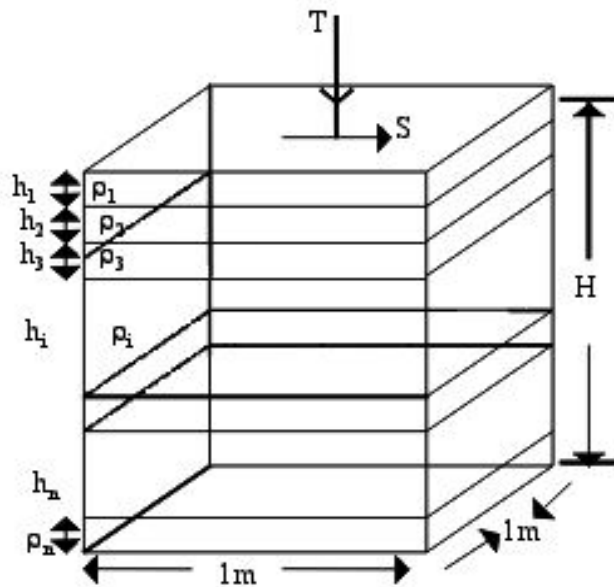
Isolator :  $\rho > 10^7 \Omega\text{m}$

Terdapat jangkauan nilai kelistrikan dari setiap batuan yang ada dan hal ini akan membantu dalam penentuan jenis batuan berdasarkan harga resistivitasnya atau sebaliknya. Gambar 1 menunjukkan nilai jangkauan tersebut berdasarkan setiap jenis batuan. Sebagai contohnya, untuk *clays* memiliki nilai 5 – 100  $\Omega\text{m}$ . Nilai ini tidak hanya bergantung pada jenis batuan saja tetapi bergantung pula pada pori yang ada pada batuan tersebut dan kandungan fluida pada pori tersebut.

Sifat kelistrikan dari batuan dipengaruhi oleh dua parameter utama yakni resistivitas lapisan dan tebal lapisan itu sendiri. Sedangkan parameter turunan lainnya adalah konduktansi longitudinal, resistansi transversal, resistivitas transversal, dan resistivitas longitudinal. Parameter tersebut dijabarkan lebih jelas pada parameter *Dar Zarrouk*. Untuk lapisan tertentu :  
 Konduktansi longitudinal



Gambar 11. Jangkauan harga resistivitas batuan



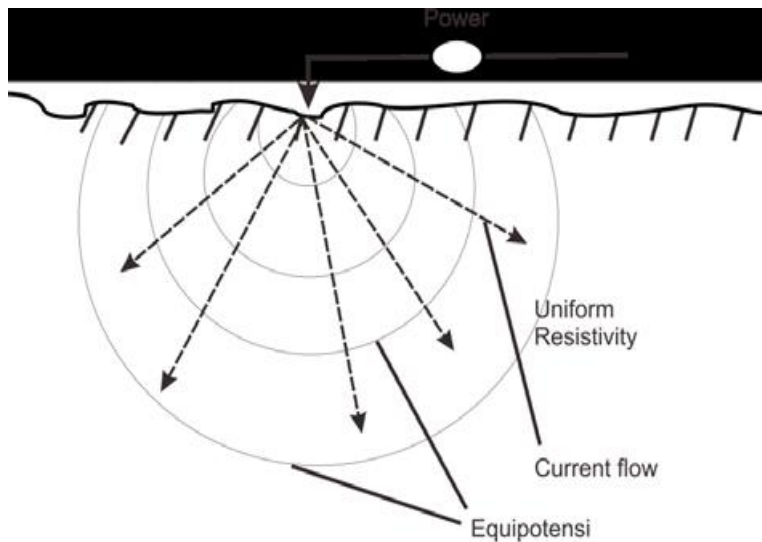
Gambar 12. Konsep anisotropi pada lapisan batuan

Pada Gambar 12 menjelaskan bagaimana suatu model bumi berlapis dengan nilai  $\rho$  dan  $h$  masing-masing pada tiap lapisan. Nilai tersebut nantinya akan digunakan sebagai data perhitungan untuk mendapatkan resistivitas transversal dan longitudinal untuk kemudian dapat menentukan resistivitas media. Inilah pendekatan nilai resistivitas dengan menggunakan parameter *Dar Zarrowk*.  $\rho$  merupakan harga resistivitas semu yang didapat pada saat akuisisi lapangan dalam satuan  $\Omega\text{m}$ ,  $h$  merupakan ketebalan lapisan dalam satuan meter

#### 4.7.2. Potensial Listrik oleh Sumber Arus Tunggal pada Permukaan

Apabila arus tunggal  $I$  diinjeksikan ke dalam permukaan bumi yang homogen dan isotropis dengan nilai konduktivitas  $\sigma$  yang besarnya berbanding terbalik dengan nilai tahanan jenisnya

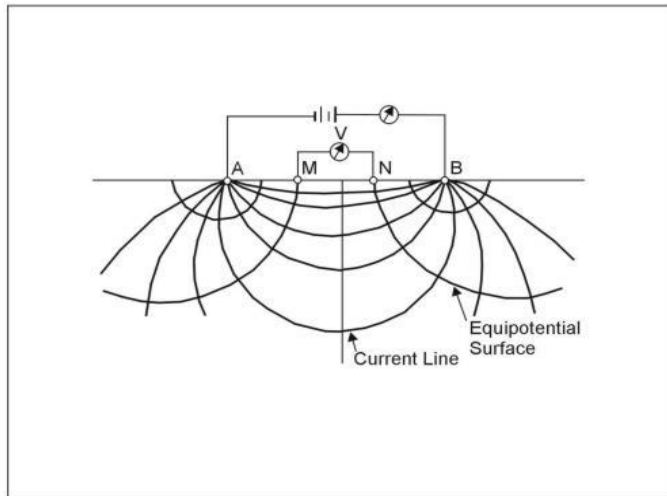
dengan permukaan yang dialiri arus  $I$  adalah luas setengah bola ( $2\pi r^2$ ). Gambar 13 menjelaskan bagaimana suatu garis ekuipotensial membentuk setengah bola di bawah permukaan bumi dengan aliran arus yang berbentuk radial, maka:



Gambar 13. Titik sumber arus pada media homogen

#### 4.7.3. Potensial Listrik oleh Sumber Arus Ganda pada Permukaan

Konsep arus tunggal dapat diperluas untuk menganalisa arus yang diinjeksikan melalui dua elektroda sebagai sumber di permukaan. Ilustrasi garis ekuipotensial yang terjadi akibat injeksi dua sumber arus ditunjukkan dalam Gambar 4, dimana  $K$  merupakan faktor koreksi geometri dari konfigurasi elektrode potensial dan elektrode arus.



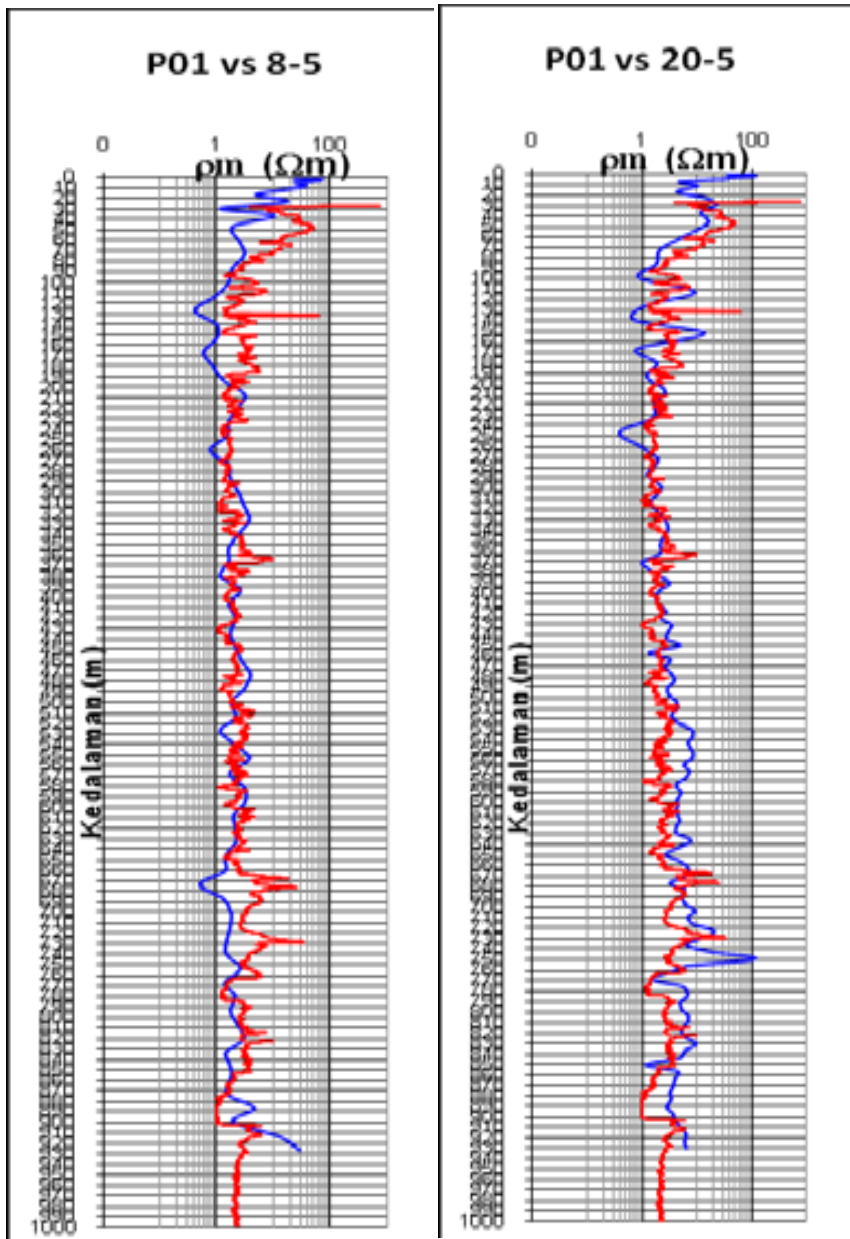
Gambar 14. Garis ekuipotensial arus antara elektroda pada media homogen

#### 4.8. Cara Analisis Data

Data awal yang digunakan adalah dua data VES saling tegak lurus dan satu data log resistivitas sumur P01 pada lapangan final.

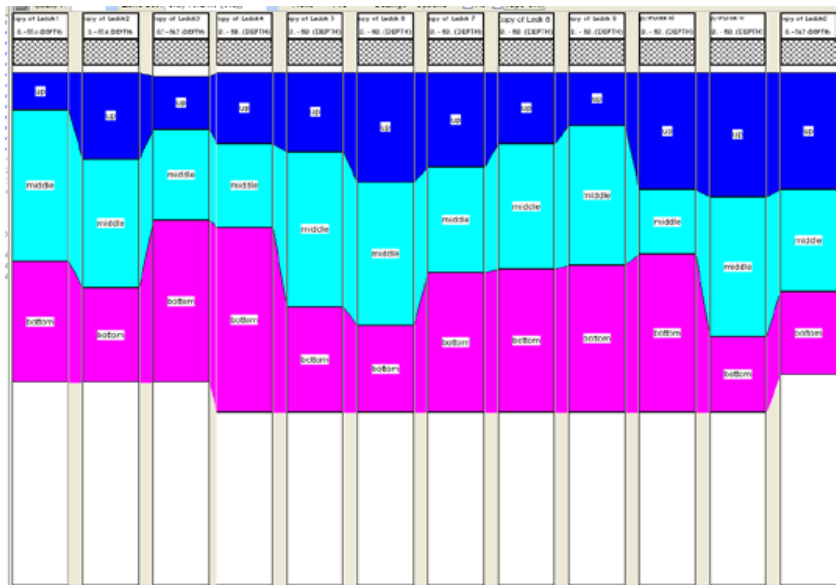
Gambar 15 menampilkan kurva Log line 8-5 dan line 20-5 yang masing-masing dikorelasikan dengan Log sumur P01. Hal ini untuk mengetahui bagaimana data eksitu yang diolah menggunakan konsep anisotropi dan parameter *Dar Zarrouk* memiliki trend yang sama dengan data insitu log sumur P01. Korelasi ini juga didasarkan bahwa kedua data line 8-5 maupun 20-5 memiliki letak yang paling dekat dengan log bor P01 sehingga dapat diestimasi bahwa data yang didapat harusnya memiliki nilai yang sama. Kurva berwarna biru merupakan kurva data VES sedangkan kurva merah merupakan kurva log P01. Pada korelasi antara data log P01 dengan VES 8-5 nampak bahwa hasil perhitungan VES menggunakan konsep anisotropi memiliki kecenderungan yang sama. Kedua log menunjukkan range nilai resistivitas antara 1-10  $\Omega\text{m}$ . Hanya saja data bor mampu

memberikan perubahan nilai resistivitas dengan lebih detail. Hal ini disebabkan oleh pengambilan data yang dilakukan tiap 0.1524. Sedangkan untuk data VES sendiri tidak diambil pada spasi yang konstan. Spasi elektroda yang bertambah rangnya jauh lebih besar dari 0.1524 m. Oleh karena itu, pada data sumur harga resistivitas tergambar dengan lebih detail dibandingkan dengan data VES. Perbedaan trend yang terjadi pada beberapa titik kedalaman diindikasikan bahwa terdapat kesalahan dalam pengambilan data di lapangan. Pada saat dipindahkannya elektroda ke posisi berikutnya ada beberapa operator lapangan yang tidak melakukan tugasnya dengan baik sehingga hal ini menyebabkan nilai resistivitas yang didapat bukanlah nilai pada titik tersebut melainkan pada titik lain yang sesuai dengan spasi pada saat pengambilan data berlangsung. Sedangkan pada proses perhitungan, data kedalaman diperoleh dari spasi model yang seharusnya. Oleh karena itu, terjadi perbedaan trend seperti tampak pada 660 – 740 m. Kurva yang ditunjukkan log sumur P01 bergerak ke kanan yang berarti nilai resistivitas semakin tinggi sedangkan kurva yang ditunjukkan oleh data VES justru bergerak ke kiri yang menunjukkan nilai resistivitasnya semakin kecil.



Gambar 15. Korelasi bor dengan VES

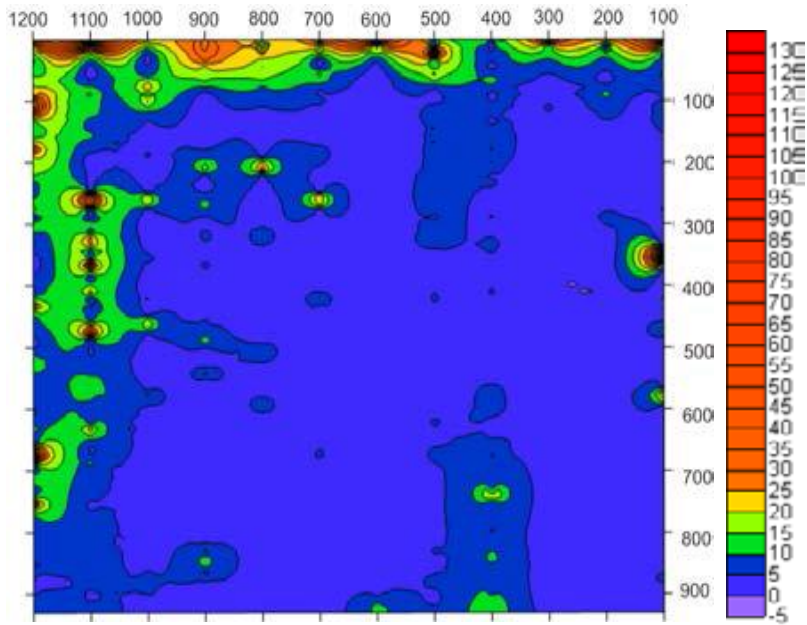
Log resistivitas yang dibuat dari pengolahan data menggunakan parameter Dar Zarrouk dan konsep anisotropi memberikan trend tertentu untuk digunakan pada tahap penentuan nilai resistivitas dari suatu lapisan tertentu. Zonasi lapisan dengan analisa batuan yang terkandung di dalamnya dapat dilakukan dengan mengetahui trend yang ada pada log. Perubahan yang signifikan dari kurva log dapat diindikasikan sebagai bidang batas antar lapisan. Analisa ini dilakukan pada semua log yang ada untuk kemudian disatukan kembali menjadi zonasi lapisan utuh dari lapangan penelitian. Zonasi lapisan berdasarkan log yang ada serta interpolasi untuk daerah yang tidak diketahui nilai resistivitasnya. Interpolasi merupakan proses menebak nilai pada suatu titik tertentu dimana titik tersebut berada diantara titik-titik yang nilainya telah diketahui dengan pasti. Pada gambar 16 disajikan zonasi tersebut dengan lebih jelas. Dari gambar 16, terlihat bahwa lapangan penelitian dibagi menjadi 3 lapisan. Lapisan pertama diidentifikasi sebagai *weathering zone* dimana zona ini memiliki nilai resistivitas yang tergolong tinggi. Tetapi hal ini juga tidak dapat diinterpretasikan *weathering zone* secara utuh karena pada zona ini nilai topografi masih berpengaruh terhadap nilai resistivitas sehingga error masih banyak ditemukan. Sedangkan lapisan kedua diinterpretasikan sebagai shale yang memiliki nilai resistivitas berkisar pada angka 10  $\Omega\text{m}$ . Perbedaan signifikan dari nilai resistivitas ditemukan pada zona bawah dengan interpretasi bahwa lapisan ini merupakan karbonat berpori yang terisi oleh fluida berupa hidrokarbon.



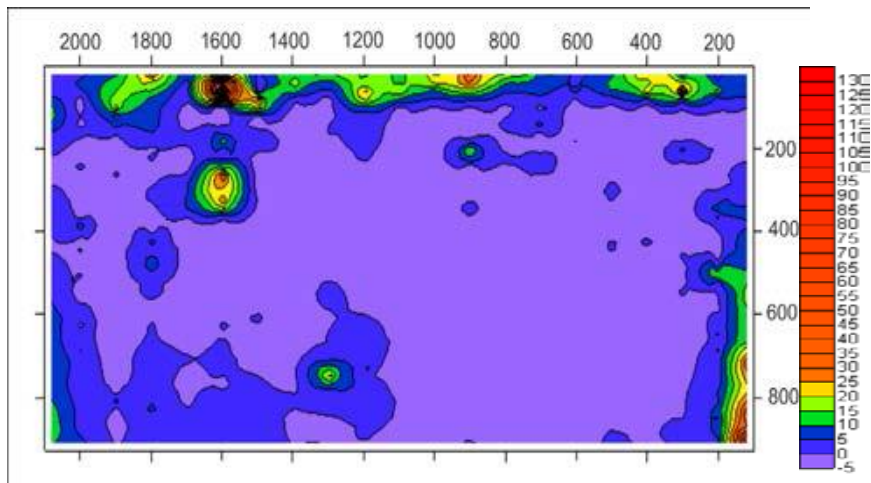
Gambar 16. Zonasi lapisan batuan berdasarkan nilai resistitas

Pada gambar 13 dan 14 disajikan peta distribusi resistivitas lapangan FINAL#. Peta disajikan terhadap kedalaman pada lapangan. Peta ini didapatkan melalui proses gridding pada software surfer 9. Daerah dengan warna biru memiliki nilai resistivitas yang paling rendah pada lapangan ini. Sedangkan untuk daerah dengan warna jingga memiliki nilai resistivitas yang paling tinggi dengan nilai resistivitas diatas 30  $\Omega$ m. Nilai resistivitas yang tinggi pada daerah kedalaman diatas 100 m dapat diinterpretasikan sebagai weathering zone dengan pengaruh error topografi didalamnya. Sedangkan untuk daerah warna jingga yang dikelilingi oleh hijau merupakan daerah dengan dugaan hidrokarbon didalamnya.

Interpretasi ini berdasarkan bahwa adanya oil water contact pada daerah tersebut dan nilai resistivitas hidrokarbon yang lebih besar dibandingkan nilai resistivitas air. Terdapat beberapa data yang tidak terbaca pada surfer sehingga menampilkan nilai resistivitas 0 ataupun negatif.



Gambar 17. Peta distribusi resistivitas pada line 8



Gambar 18. Peta distribusi resistivitas pada line 20

## 4.9. Model Arah Pergerakan Lindi TPA Sampah

### 4.9.1. Konsep Model

Konseptual model merupakan gambaran ideal dari kondisi daerah yang akan dimodelkan dan memperlihatkan gambaran sistem akuifer dan sistem aliran air tanah di suatu daerah. Konseptual model merupakan hal penting dari gambaran ideal dari kondisi daerah yang akan dimodelkan disajikan dalam diagram blok atau penampang hidrogeologi. Tujuan pembuatan konseptual adalah untuk penyederhanaan permasalahan lapangan yang kompleks dan pengorganisasian data lapangan, sehingga sistem hidrogeologi yang kompleks di daerah model dapat dianalisis. Anderson and Woessner (1992) menyatakan bahwa untuk membangun sebuah konseptual model ada tiga hal yang perlu dilakukan, yaitu:

- menentukan unit hidrostratigrafi
- menentukan faktor masukan/*input* dan keluaran/*output* aliran air tanah
- menentukan sistem aliran

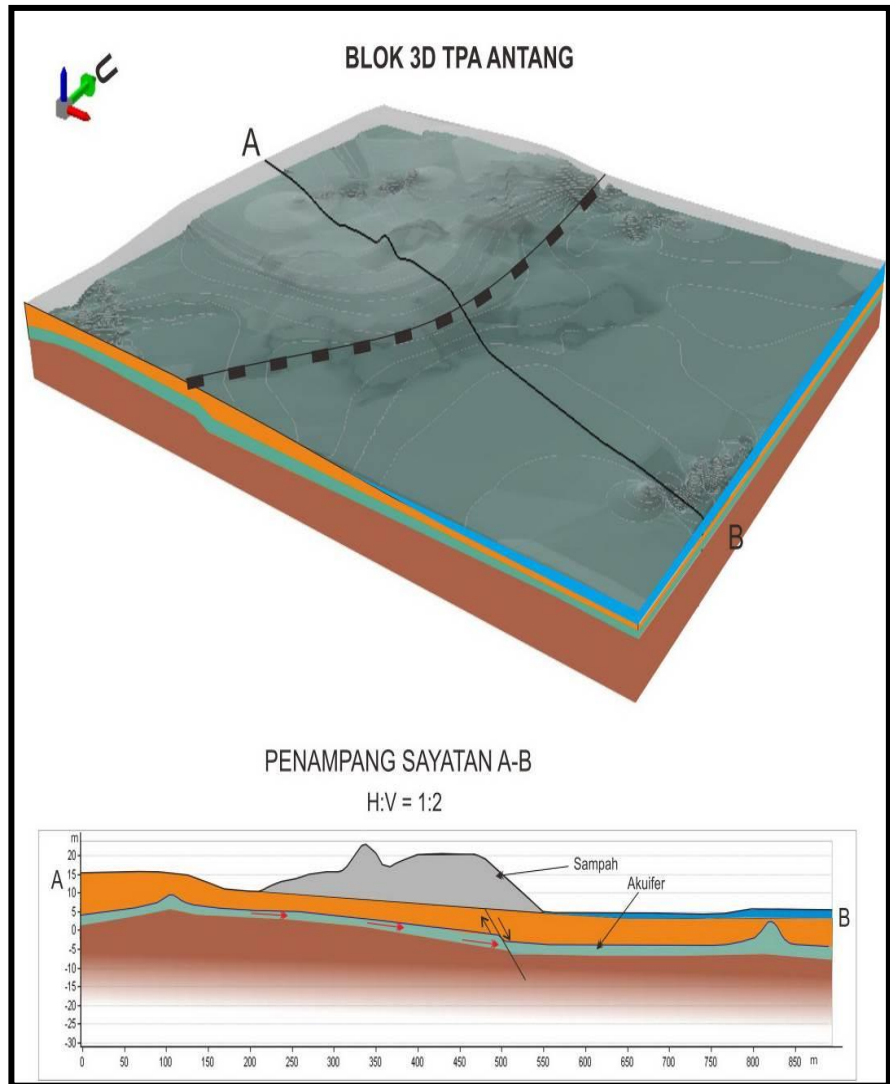
Konseptual model aliran air tanah TPA Sampah dapat disajikan dalam bentuk blok diagram dan penampang konseptual model seperti terlihat pada Gambar 46.

Dari gambar blok diagram konseptual model dan profil penampang konseptual model, daerah penelitian dibagi berdasarkan porositas batumannya menjadi 2 (dua) unit hidrostratigrafi yakni unit hidrostratigrafi akuifer dan akuiklud. Akuifer tersusun oleh tufa halus dan tufa kasar yang berfungsi sebagai lapisan akuifer dangkal (*shallow aquifer*) dan membentuk 1 (satu) sistem akuifer bebas yang melalui lubang antar butir.

Air tanah akan mengalir dari daerah yang memiliki topografi yang lebih tinggi yakni di bagian barat laut ke arah topografi yang lebih rendah yakni ke arah tenggara. Batuan penyusun daerah ini

adalah tufa pasiran dengan permeabilitas (K)  $2,4 \times 10^{-5}$ , dengan kemiringan lapisan batuan ke arah tenggara (N48°E/10°). Aspek lapisan batuan sangat berperan penting dalam penentuan arah pergerakan air tanah. Aliran air tanah akan relatif mengalir searah dengan lapisan batuan dan tentunya hal ini ditunjang pula oleh topografi suatu daerah (Benfetta, 2009).

Batas bawah lapisan akuifer bebas ini merupakan akuiklud yang berfungsi sebagai lapisan *impermeabel* atau kedap air yang tersusun oleh breksi vulkanik. Presipitasi selain akan memberikan imbuhan air tanah juga ada yang mengalir di permukaan sebagai aliran air permukaan/*run off* menuju ke daerah yang lebih rendah. Sedangkan bagian utara terdapat batas aliran yang konstan karena dikontrol oleh sesar naik dan *constant head* (aliran air tanah yang tetap) yang berasal dari muka air tanah.



Gambar 19. Model aliran airtanah dalam bentuk 3 dimensi.

#### 4.9.2. Pemodelan Pergerakan Lindi Dalam Air tanah

Model pergerakan lindi dalam sistem air tanah di daerah TPA Sampah menggunakan hasil pemodelan aliran air tanah pada uji sumur dan data geolistrik lindi yang bergerak dengan arah aliran sesuai kemiringan lereng (topografi) dan kemiringan lapisan batuan. Parameter uji yang digunakan dalam pembuatan model adalah :

Parameter uji litologi dengan melakukan pengamatan petrografi pada sampel diketahui bahwa komposisi mineral plagioklas jenis andesin (0–6%), piroksin jenis augite 0–12%, mineral opak (0–5%) dan gelas vulkanik (0 - 80%), sehingga dapat ditentukan bahwa batuan penyusun adalah berupa tufa pasir, dengan porositas yang baik, permeabilitas ( $K$ )  $2,4 \times 10^{-5}$ , struktur batuan berlapis ( $N48^\circ E/10^\circ$ ) yang berarti arah lapisan batuan dari arah barat laut ke tenggara. Struktur geologi yang terdapat di daerah ini berupa struktur sesar normal/patahan yang berarah baratdaya - timurlaut.

Parameter uji tekanan air tanah dengan metode geolistrik diperoleh hasil pengolahan data di setiap lintasan memperlihatkan variasi nilai resistivitas dari  $0.348 \Omega.m$  hingga  $2538 \Omega.m$ . Batuan penyusun memiliki porositas yang baik, hal ini memperlihatkan dengan adanya akumulasi air. Adapun kedalaman akumulasi sebaran air tercemar/lindi diperoleh sangat variatif dari kedalaman 2,5 meter hingga 24,9 meter sama dengan kedalaman air tanah.

Selanjutnya ditentukan parameter model dan parameter spesies untuk pemodelan pergerakan lindi. Lindi chlorida digunakan sebagai model lindi karena sifatnya yang tidak mengalami reaksi fisika, kimia dan biologi serta tidak terserap oleh material akuifer, maka klasifikasi untuk parameter model tergolong pada simulasi tanpa penyerapan (*no sorption simulation*) dan parameter spesiesnya tergolong pada tidak ada reaksi kinetik (*no kinetic reaction*). Dalam perhitungan resistivitas diinversi dengan program *Res2Dinv* untuk pemodelan pergerakan lindi (*mass transport model*) tidak terdapat

fasilitas untuk memasukkan parameter viskositas fluida, sehingga yang digunakan hanya besarnya konsentrasi lindi.

#### **4.10. Fenomena Empirik**

Berdasarkan uji coba yang telah dilakukan, maka ditemukan beberapa hal :

1. Arah penyebaran air lindi adalah relatif ke arah Tenggara, hal ini sesuai dengan arah kemiringan topografi dan arah kemiringan perlapisan batuan tufa ( $N48^{\circ} E/10^{\circ}$ ).
2. Keberadaan patahan atau sesar normal pada suatu daerah TPA Sampah memberi pengaruh terhadap sebaran lindi yang ada di bawah permukaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allen, J.R.L.**, 1984, *Sedimentary Structure : Their Character And Physical Basics*. Development In Sedimentology Elsevier Publishing, Amsterdam.
- Amir, T.**, 2009, *Optimization of Coagulation Process for Landfill Leachate Pre-Treatment Using Response Surface Methodology (RSM)*. Journal Of Sustainable Development., Vol 2, No. 2
- Anderson, M.P and Woessner, W.W.**, 1992, *Applied Groundwater Modeling Simulation of Flow and Advective Transport*, Academic Press, Inc, California.
- Alexander, P.**, 2008, *Evaluation of ground water quality of Mubi town in Adamawa State, Nigeria*. African Journal of biotechnology Vol. 7 (11), pp. 1712-1715. <http://www.academicjournals.org/ajb/PDF/pdf2008/3Jun/Alexander.pdf>. Diakses pada 10 September 2013.
- Arifin, F.M.**, 2001, *Tinjauan Geohidrologi Sebagai Salah Satu Pertimbangan Dalam Pemilihan Lokasi TPA Sampah*. Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Arifin, F.M.**, 2010, *Analisis Lingkungan Pengendapan Batuan Sedimen Daerah Dunungan Kabupaten Barru, Provinsi Sulawesi Selatan*. Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Auguste, K. K.**, 2010, *Conceptual Model of Ivorian Sedimentary Costal Basin: Case of Abidjan Continental Terminal Aquife*. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.44 No.3. [http://www.eurojournals.com/ejsr\\_44\\_3\\_03.pdf](http://www.eurojournals.com/ejsr_44_3_03.pdf). Diakses pada 10 Juni 2013.

- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah**, 1999, *Laporan Tahunan Revisi Umum Tata Ruang Wilayah Kota Makassar*, Pemerintahan Kota Makassar, Makassar.
- Bakosurtanal**, 1991, *Peta Rupa Bumi Lembar Lalebata nomor 2011-34*, Cibinong, Bogor.
- Beka, N.C.**, 2009, *Chemical Quality of Groundwater from Hand-Dug Wells in Jos Metropolis and Environs, North-Central Nigeria*. The Pacific Journal of Science and Technology. [http://www.akamaiuniversity.us/PJST10\\_2\\_626.pdf](http://www.akamaiuniversity.us/PJST10_2_626.pdf). Diakses pada 03 September 2013.
- Benfetta, H.**, 2009, *Study of the Fluctuations of Subsoil Waters of the Plain of Ghriss Mascara –Algeria*. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.34 No.2. [http://www.eurojournals.com/ejsr\\_34\\_2\\_04.pdf](http://www.eurojournals.com/ejsr_34_2_04.pdf), diakses 21 april 2013.
- Chay A. C.**, 1995, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Chiemchaisri, W.**, 2005, *Effects of Leachate Irrigation on Landfill vegetation and Cover Soil Qualities*. As. J. Energy Env.
- Child, E.C., George, C.N.**, 1950. *The Permeability of Porous Materials Proceedings of the Royal Society*, pp. 392-405.
- Chow, V. T.**, 1988. *Applied Hydrology*. McGraw Hill, New York.
- Damanhuri, E.**, 1990. *Penelitian Pemilihan Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Tepat Guna*. Bandung.
- Damanhuri, E.**, 1995. *Teknik Pembuangan Akhir (TPA) Sampah*, ITB Bandung.
- Davis, G. H.**, 1984. *Structural Geology Of Rocks And Region*. Printed In United State Of America.
- Djidjel, M.**, 2010, *The Minerality Impact of Deep Groundwater, in Desert Regions, on Human and the Environment. Southeast Algeria*. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.45 No.4.

- [http://www.eurojournals.com/ejsr\\_45\\_4\\_03.pdf](http://www.eurojournals.com/ejsr_45_4_03.pdf). Diakses pada 10 Agustus 2013.
- Dune, T & Leopold, L.B.**, 1978, *Water and Environment Planning*. W.H. Freeman ND Co, San Farnsisco, U.S.A.
- Eagleson, P.S.**, 1970, *Dynamic Hydrology*. McGraw-Hill. New York.
- Fetter, C.W.**, 1994, *Applied Hydrology*. New York, Macmillan College Publishing.
- Fred, L.G.**, 1990, *Sanitary Landfill Leachate Recycle "Bio-Cycle"*. Journal Watercycling. Bandung.
- Fredlund, D.G., and Morgenstern, N.R.**, 1976, *Constitutive Relations for Volume Change in Unsaturated Soils*. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 13,pp 261-276.
- Fredlund, D.G., and Morgenstern, N.R.**, 1977, *Stress State Variables for Unsaturated Soils*. ASCE, Vol. 103,pp 447-464.
- Hailong Li.**, 2008, *Tide-induced seawater-groundwater circulationin shallow beach aquifers*. Journal of Hydrology.
- Hariyanto, D.**, 2009, *Menggunakan Seleksi Warna Model HSI Pada Citra 2D*, TELKOMNIKA Vol. 7, No1. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Hendrajaya, L. dan Arif.**, 1990, *Geolistrik Tahanan Jenis*, Monograf : Metode Eksplorasi Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika, Institut Tehnologi Bandung.
- Hexagon, K.**, 1987, *Geotechnical Evaluation of Sanitary Landfill Sites*. BUDP. Bandung.
- Imran, A.M.**, 2005, *Perkembangan Polutan Dalam Air Tanah Pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Antang, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan*.
- Imran, A.M.**, 2010, *Studi Hidrogeologi Cekungan Air tanah Kota Makassar Propinsi Sulawesi Selatan"*.

- Irham. M.**, 2006, *Pemetaan Sebaran Air Tanah Asin Pada Akuifer Dalam di Wilayah Semarang Bawah*. <http://eprints.undip.ac.id /2139/1/.pdf>. Diakses pada 15 Mei 2013
- James Mayer.**, 2007, *Spatial and Temporal Variation of Groundwater Chemistry In Pettyjohns Cave, Notrhwest Georgia, USA*. Journal of Cave and Karst Studies. <http://www.caves.org/pub/journal /PDF/V61/v61n3-Mayer.pdf>. Diakses pada 15 Mei 2013
- Jeong, C.Ho.**, 2001, *Mineral-water interaction and hydrogeochemistry in the Samkwang mine area, Korea*. Department of Geological Engineering, The University of Taejon, Yongun-dong, Tong-gu, Taejon 300-716, Korea. Geochemical Journal, Vol. 35, pp. 1 to 12, 2001.
- Jin-Yong Lee.**, 2007. *Groundwater chemistry and ionic ratios in a western coastal aquifer of Buan, Korea: implication for seawater intrusion*. Geosciences Journal Vol. 11, No. 3, p. 259 – 270
- Juli, S. S.**, 1996. *Kesehatan Lingkungan*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Kanade S. B. and Gaikwad V. B.**, 2011, *A Multivariate Statistical Analysis of Bore Well Chemistry Data - Nashik and Niphad Taluka of Maharashtra, India*. Universal Journal of Environmental Research and Technology All Rights Reserved Euresian Publications. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/resourcesquality/en/gr oundwater14.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/en/gr oundwater14.pdf). Diakses pada 10 April 2013.
- Khodapanah, L.**, 2009, *Groundwater Quality Assessment for Different Purposes in Eshtehard District, Tehran, Iran*. [http://www.eurojournals.com/ ejsr 38\\_4\\_02.pdf](http://www.eurojournals.com/ ejsr 38_4_02.pdf). Diakses pada 10 Agustus 2013.

- Kouamé, K. J.**, 2009, *Implication of Hydrogeologic Modeling in the Estimate of Pollutants Transfer Time Towards Groundwater of Abidjan District: Case of Toxic Waste*. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.32 No.1.
- Larona. S.**, 1987. *Desain of Sanitary Landfill For The Cities of Surabaya and Jakarta*. Dirgen of Cipta Karya. Jakarta.
- Lateef, K.H.**, 2011, *Evaluation of Groundwater Quality for Drinking Purpose for Tikrit and Samarra Cities using Water Quality Index*. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.58 No.4. [http://www.eurojournals.com/EJSR\\_58\\_4\\_04.pdf](http://www.eurojournals.com/EJSR_58_4_04.pdf). Diakses pada 13 April 2013
- Le Grand A.**, 1980, *Standardized System for Evaluation Waste Disposal Site*, Limited, London.
- Lee, A.H., Nikraz, H., Hung, Y.T.**, 2010, *Influence of Waste Age on Landfill Leachate Quality*. International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 1, No. 4, October 2010
- Linsley.**, 1982. *Applied Hydrology*. McGraw Hill Publ. Co. Ltd, New Delhi.
- Madera, C.**, 2009. *Landfill leachate treatment: one of the bigger and underestimated problems of the urban water management in developing countries*. Author manuscript, published in "9th World Wide Workshop for Young Environmental Scientists WWW-YES-Brazil.
- Mahmud. K, Hossain. M.D Ahmed. S.**, 2011, *Advanced landfill leachate treatment with least sludge production using modified Fenton process*. International Journal Of Environmental Sciences Volume 2, No 1
- Mohamed, A.F.**, 2009, *Groundwater and Soil Vulnerability in the Langat Basin Malaysia*, Institute for Environment and Development (LESTARI) Universiti Kebangsaan Malaysia.

- [http://www.Eurojournals.com/ejsr\\_27\\_4\\_15.pdf](http://www.Eurojournals.com/ejsr_27_4_15.pdf). Diakses 23 April 2013
- Mouti, Katsifarakis, K.L.M.**, 2009, *Optimization of groundwater resources management in polluted aquifers*. Global NEST Journal, Printed in Greece. [http://www.eurojournals.com/EJSR\\_58\\_4\\_04.pdf](http://www.eurojournals.com/EJSR_58_4_04.pdf). Diakses pada 20 Juni 2013
- Mualimin, dan Irham Nurwidyanto, M.** 2004. *Inversi Impedansi Akustik Seismik 3D Untuk Estimasi Porositas Batuan*. Laboratorium Geofisika FMIPA Universitas Diponegoro. Semarang. ([http://merdeka-okey.blogspot.com/2008/07/Inversi\\_Impedansi\\_akustik\\_Seismik\\_3D\\_untuk\\_Estimasi\\_Porositas\\_Batuan\\_\(Studi\\_Kasus\\_Lapangan\\_X\\_Cirebon\).pdf](http://merdeka-okey.blogspot.com/2008/07/Inversi_Impedansi_akustik_Seismik_3D_untuk_Estimasi_Porositas_Batuan_(Studi_Kasus_Lapangan_X_Cirebon).pdf). Diakses 20 Oktober 2013).
- Normah, M.A.**, 2012, *Study on the Effect of Leachates from Old Dumping Site on Water Quality of Sungai Batu in Taman Wahyu II, Selayang, Selangor*. Global Journal of Environmental Research 6 (1): 22-29.
- Nwankwoala H.O. and Udom G.J.**, 2011, *Hydrochemical Facies and Ionic Ratios of Groundwater in Port Harcourt, Southern Nigeria*. Research Journal of Chemical Sciences Vol. 1(3). <http://www.isca.in/rjcs/Archives/vol1/I3/12.pdf>. Diakses pada 20 Agustus 2013
- Oseji, Julius, Otutu**, 2009, *Investigation of groundwater resources in part of Ukwuani local government area of Delta State, Nigeria*. Department of Physics, Delta State University, Abraka, Delta State, Nigeria. <http://www.eurojournals.com/EJSR%2013%201.pdf>. Diakses pada 15 September 2013.

- Putranto, T.T., Hendrayana H & Putra, DPE**, 2008, Penentuan Arah Pergerakan Kontaminan Di TPA Jatibarang Kota Semarang, Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Prosiding, Jakarta.
- Reddy, K. R.**, 2008. *Physical and Chemical Groundwater Remediation Technologies*. Department of Civil and Materials Engineering, University of Illinois at Chicago, 842 West Taylor Street, Chicago, IL 60607, U.S.A. <http://www.uic.edu/classes/cemm/cemmlab/NATO-Chapter12.pdf>. Diakses pada 11 Juni 2013.
- Richards, L.A.**, 1931, *Capillary Conduction of Liquids Through Porous Mediums*. Physics, Vol.1.
- Rizwan, R and Singh, G.**, 2009, *Physico-Chemical Analysis of Ground Water in Angul-Talcher Region of Orissa, India*. Journal of American Science ;5(5):53-58. [http://www.jofamericanscience.org/journals/am-sci/0505/07\\_0872\\_ASSESSMENT\\_am0505.pdf](http://www.jofamericanscience.org/journals/am-sci/0505/07_0872_ASSESSMENT_am0505.pdf). Diakses pada 20 September 2013.
- Ruslan H.P.**, 1988, Ekologi Lingkungan Pencemaran. Satya Wacana., Semarang.
- Soemarwoto, O.**, 1996, *Analisis Mengenai Dampak Lingkungan*. Gadjah Mada University Press., Yogyakarta.
- Spitz, K. and Moreno, J.**, 1996, *A Practical Guide To Groundwater and Solute Transport Modeling*, John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Srikandi, F.**, 1992. *Polusi Air dan Udara*. IPB, Bogor.
- S.Karnchanawong and P. Yongpialpop.**, 2009, *Leachate Generation from Landfill Lysimeter using Different Types of Soil Cover*. International Journal of Civil and Environmental Engineering 1:3
- Sugiyono**, 2012, *Metode Penelitian Pendidikan*, Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R & D, Penerbit Alfabeta, Bandung.

- Surya T.D., 1992**, *Kualitas Lingkungan Hidup Indonesia*. Kantor Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup., Jakarta.
- Syamsu and Ramadhoni.** 2011, *Estimasi Aliran Air Lindi TPA Bantar Gebang Bekasi Menggunakan Metoda SP.*, Jurnal Fisika Vol. 1 No. 2.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, D.A.** 1990. *Applied Geophysics\_Second Edition*, Cambridge University Press., Australia.
- Tchobanoglous., 1977**, *Solid Waste*. McGraw-Hill. Kogakhusa Ltd, Tokyo
- Todd., .Keith,D., 1976**, “*Groundwater Hydrology*”.2<sup>nd</sup> Edition. New York: Jhon Wiley & Sons).
- Tri, C,S.,1998.** *Penilaian Secara Cepat Sumber-Sumber Pencemaran Air tanah dan Udara*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Van Zuidam, R.A., 1985**, *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. Netherlands: Smith Publisher – The Hague, Enschede.
- Verhoef, P.N.W., 1989**, *Geologi untuk Teknik Sipil*. Erlangga, Jakarta.
- Weikun Song, W., and Jianbing L., 2011**, *Prediction of Landfill Leachate Treatment using Artificial Neural Network Model*. International Conference on Biology. Environment and Chemistry IPCBEE vol.1.
- Zhang, W., 2011**, *Bacterial community composition and abundance in leachate of semi-aerobic and anaerobic landfills*. Journal of Environmental Sciences. 23(11) 1770–1777.



# Open Dumping dan Sistem Air Tanah

Open dumping merupakan pembuangan sampah dengan sistem terbuka, tanpa menggunakan tanah lapisan penutup. Hal ini yang mempengaruhi lingkungan terutama terhadap sistem air tanah. Lindi yang merupakan limbah cair yang berasal dari sampah akan masuk ke dalam sistem air tanah.

Dengan masuknya lindi ke dalam sistem air tanah menyebabkan kualitas air tanah akan mengalami pencemaran dan dapat mengakibatkan berbagai masalah kesehatan. TPA Sampah yang dekat dengan pemukiman akan berdampak sangat signifikan dan akan berlangsung untuk seterusnya.

Di dalam buku ini membahas tentang betapa bahayanya pengelolaan sampah terbuka (open dumping) terhadap lingkungan terutama TPA sampah yang berdekatan dengan daerah pemukiman. Selain dari pada itu pencemaran lingkungan berupa pencemaran air tanah akan sangat berbahaya dalam sistem air tanah.

**Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)**

Jl. Kaliurang Km 9,3 Yogyakarta 55581

Telp/Fax : (0274) 4533427

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

✉ cs@deepublish.co.id

📖 Penerbit Deepublish

📧 @penerbitbuku\_deepublish

🌐 www.penerbitdeepublish.com



Kategori : Ilmu Tanah

ISBN 978-623-02-5656-1



9

786230

256561