

PENCEMARAN AIR

M. Widyastuti

PENCEMARAN

Perubahan-perubahan sifat fisik, kimia dan biologi yang tidak dikehendaki pada udara, tanah dan air; yang dapat menimbulkan bahaya bagi kehidupan manusia atau spesies yang berguna, proses-proses industri, tempat tinggal, dan peninggalan-peninggalan kebudayaan atau dapat merusak sumber bahan mentah

PENCEMARAN AIR

- **Segala pengotoran atau penambahan organisme atau zat-zat lain ke dalam air sehingga mencapai tingkat yang mengganggu penggunaan atau pemanfaatan dan kelestarian perairan tersebut (Direktorat Pengendalian Masalah Air, 1975)**

Pencemaran air meliputi :

- **Pencemaran kimiawi, berupa bahan-bahan organik, mineral, zat-zat beracun**
- **Pencemaran biologis, disebabkan oleh berkembang biaknya ganggang, tumbuhan pengganggu air, mikro organisme yang berbahaya**
- **Terjadinya perubahan kualitas air secara alami atau oleh kegiatan manusia yang menyebabkan air tersebut tidak dapat dimanfaatkan atau membahayakan bagi peruntukannya, seperti kesehatan manusia, industri, pertanian, dan perikanan (Dix, 1981)**

SUMBER PENCEMARAN AIR TANAH

■ Berdasarkan Geometrinya

1. Sumber Pencemar Titik (*Point Source*)

Dapat diidentifikasi, sumber berskala kecil, misalnya : kebocoran bak penampung, kolam limbah, atau tempat penimbunan

2. Sumber Pencemar Bukan Titik (*Non Point Source*)

- Sumber pencemar garis
- Sumber pencemar bidang

Berskala besar, pencemaran menyebar berasal dari berbagai sumber pencemar yang lebih kecil dan tempatnya sulit diidentifikasi, contoh : herbisida atau pestisida yang digunakan dalam pertanian, nitrat yang berasal dari limbah rumah tangga, hujan asam

■ Berdasarkan Muatan Pencemar

1. Sumber Menerus (*Continous Source*)

2. Sumber Tidak Menerus (*One-Time Source*)

■ Berdasarkan Kegiatan dan Penyebabnya

1. Daerah Perkotaan

- Kebocoran saluran limbah
- Limbah cair (rumah tangga, industri atau limpasan air hujan)
- Limbah padat (TPA)

2. Daerah Industri

- Limbah cair (sisa proses industri)
- Kebocoran saluran pipa dan tanki (minyak dan bahan kimia)
- Aktivitas penambangan (batubara, phospat, uranium, besi, tembaga, seng dan timah) maupun tailing tambang)

3. Daerah Penghasil Minyak

- Pembuatan sumur bor baru atau sumur uji di sekitar lubang buangan (timbunan air asin : soda, kalsium, amoniak, boron, klorida, sulfat, logam terlarut, TDS tinggi)

4. Daerah Pertanian

- Pengembalian air irigasi (bersifat asin karena pengaruh sisa penyubur tanaman atau tanah dan konsentrasi garam sisa proses penguapan)
- Limbah peternakan (mengandung nitrat, nitrit, garam dan bakteri)
- Lindian penyubur tanaman dan tanah (nitrogen, posfor, potasium, gamping, gips, sulfur)
- Pestisida

5. Lainnya

- Intrusi air asin
- Septitank dan jamban

JENIS ZAT PENCEMAR AIR

1. Radioaktif

Zat radioaktif yang berasal dari industri nuklir merupakan penghasil utama sumber pencemaran radioaktif.

Tipe zat pencemar tergantung dari tipe reaktor dan bahan bakar yang digunakan selama prose berlangsung

2. Logam

Pencemaran yang ditimbulkan oleh logam pada tingkat tertentu dapat mengganggu perairan dan menurunkan kualitasnya.

Beberapa logam tersebut antara lain : aluminium, arsenic, boron, cadmium, chromium, cuprum, nikel, merkuri.

Logam-logam tersebut mempunyai sifat meracuni dan cenderung dapat diakumulasi oleh tubuh.

Secara umum sumber pencemar mencakup : pertambangan, limbah industri, runoff, limbah padat dan limbah cair dari daerah perkotaan, limbah pertanian, dan pupuk, bahan bakar fosil

3. Nutrien

Sumber pencemar potensial ini mencakup ion atau campuran organik termasuk nitrogen dan phospor

Sumber pencemar adalah : pertanian, peternakan, tanah terolah

4. Spesies Anorganik Lain

Yang termasuk kelompok ini antara lain : magnesium, natrium, karbonat, sulfat, klorida, dan fluorida.

Sumber potensial ion mayor : air payau yang diproduksi dengan minyak, lindi tailing tambang, penimbunan sampah, dan limbah cair industri

5. Organik

Kontaminan oleh bahan organik terlarut dalam air, secara ekstrim, bahan organik diolah dan digunakan

Termasuk dalam kelompok ini antara lain : hidrokarbon, aromatik yang mudah larut, benzene, toluene, ethylbenze, para-xylene, campuran lain sering ada pada lokasi buangan limbah.

6. Biologi

Pencemaran biologi yang penting adalah bakteri patologis, virus atau parasit

Sumber utama zat pencemar adalah : berasal dari manusia dan hewan atau limbah cair



PENCEMARAN AIR SUNGAI

HAL YANG PERLU DIPERHATIKAN

- Zat beracun yang menyebabkan rusaknya atau hilangnya aktivitas biologi di dalam air
- Material yang mempengaruhi kesetimbangan oksigen di dalam air :
 1. Zat yang mengkonsumsi oksigen terlarut (DO)
 - Degradasi zat organik
 - Reduksi zat anorganik
 2. Zat yang menghalangi reoksigenasi
 - Minyak dan detergent
 3. Aliran buangan panas (DO berkurang dengan naiknya temperatur)
- Konsentrasi tinggi dari zat tersuspensi atau zat terlarut

PROSES SELF PURIFICATION

1. Sedimentasi yang dibantu oleh flokulasi secara biologi maupun mekanik
2. Oksidasi kimiawi dari zat tereduksi
3. Matinya bakteri
4. Oksidasi biokimiawi (mempertahankan kondisi aerob)

KADAR OKSIGEN BERUBAH MENURUT JARAK

- 1. Zona Bersih (*Celan Zone*)**
Zona sebelum air sungai tercemar
- 2. Zona Dekomposisi (*Decomposition Zone*)**
Zona saat air sungai mulai mendapat pencemaran hingga kadar oksigen nol, DO turun, BOD naik
- 3. Zona Septik (*Septic Zone*)**
Zona dengan kadar oksigen nol, hampir tidak ada kehidupan kecuali organisme anaerobik
- 4. Zona Pemulihan (*Recovery Zone*)**
Zona ketika oksigen mulai naik hingga mencapai keadaan semula sebelum tercemar, DO naik, BOD turun
- 5. Zona Bersih (*Clean Zone*)**
Keadaan seperti sebelum tercemar, DO tinggi, BOD rendah

STATUS MUTU AIR

- **Mutu air** adalah kondisi kualitas air yang diukur dan atau diuji berdasarkan parameter-parameter tertentu dan metode tertentu berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku.
- **Status mutu air** adalah tingkat kondisi mutu air yang menunjukkan kondisi cemar atau kondisi baik pada suatu sumber air dalam waktu tertentu dengan membandingkan dengan baku mutu air yang ditetapkan.
- **Sumber air** adalah wadah air yang terdapat di atas dan di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini akuifer, mata air, sungai, rawa, danau, situ, waduk, dan muara.

METODE STORET

- Cara untuk menentukan status mutu air adalah dengan menggunakan sistem nilai dari “US-EPA (*Environmental Protection Agency*)” dengan mengklasifikasikan mutu air dalam empat kelas, yaitu :
 - (1) Kelas A : baik sekali, skor = 0 (memenuhi baku mutu)
 - (2) Kelas B : baik, skor = -1 s/d -10 (cemar ringan)
 - (3) Kelas C : sedang, skor = -11 s/d -30 (cemar sedang)
 - (4) Kelas D : buruk, skor \geq -31 (cemar berat)

PROSEDUR PENGGUNAAN

- Lakukan pengumpulan data kualitas air dan debit air secara periodik sehingga membentuk data dari waktu ke waktu (*time series data*).
- Bandingkan data hasil pengukuran dari masing-masing parameter air dengan nilai baku mutu yang sesuai dengan kelas air.
- Jika hasil pengukuran memenuhi nilai baku mutu air (hasil pengukuran $<$ baku mutu) maka diberi skor 0.
- Jika hasil pengukuran tidak memenuhi nilai baku mutu air (hasil pengukuran $>$ baku mutu), maka diberi skor :

Tabel 1.1. Penentuan sistem nilai untuk menentukan status mutu air

Jumlah Contoh 1)	Nilai	Parameter		
		Fisika	Kimia	Bilologi
< 10	Maksimum	-1	-2	-3
	Minimum	-1	-2	-3
	Rata-rata	-3	-6	-9
≥ 10	Maksimum	-2	-4	-6
	Minimum	-2	-4	-6
	Rata-rata	-6	-12	-18

Sumber : Canter (1977)

Catatan : 1) jumlah parameter yang digunakan untuk penentuan status mutu air

- Jumlah negatif dari seluruh parameter dihitung dan ditentukan status mutunya dari jumlah skor yang didapat dengan menggunakan sistem nilai

Contoh Perhitungan :

- Cara pemberian skor untuk tiap parameter adalah sebagai berikut (contoh, untuk Hg):
- Hg merupakan parameter kimia, maka gunakan skor untuk parameter kimia.
- Kadar Hg yang diharapkan untuk air golongan C adalah 0.002 mg/l.
- Kadar Hg maksimum hasil pengukuran adalah 0.0296 mg/l, ini berarti kadar Hg melebihi baku mutunya. Maka skor untuk nilai maksimum adalah -2.
- Kadar Hg minimum hasil pengukuran adalah 0.0006 mg/l, ini berarti kadar Hg sesuai dengan baku mutunya. Maka skornya adalah 0.
- Kadar Hg rata-rata hasil pengukuran adalah 0.0082 mg/l, ini berarti melebihi baku mutunya. Maka skornya adalah -6.
- Jumlahkan skor untuk nilai maksimum, minimum, dan rata-rata. Untuk Hg pada contoh ini skor Hg adalah -8.
- Lakukan hal yang sama untuk tiap parameter, apabila tidak ada baku mutunya untuk parameter tertentu, maka tidak perlu dilakukan perhitungan.
- Jumlahkan semua skor, ini menunjukkan status mutu air. Pada contoh ini skor total adalah -58, ini berarti sungai Ciliwung pada stasiun 1 mempunyai mutu yang buruk untuk peruntukan golongan C.

Tabel 1.2. Status Mutu Kualitas Air Menurut Sistem Nilai STORET di Stasiun 1 Sungai Ciliwung bagi peruntukan Golongan C (PP 20/1990)

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Pengukuran			Skor
				Maksimum	Minimum	Rerata	
	FISIKA						
1.	TDS	mg/l		289	179,4	224,2	
2.	Suhu Air	°C	Normal 3	24,15	20,5	22,06	0
3.	DHL	µmhos/cm		82,6	72	76,3	
4.	Kecerahan	M		0,46	0,35	0,41	
	KIMIA						
A.	Anorganik						
1.	Hs	mg/l	0,002	0,0296	0,0006	0,0082	-8
2.	As	mg/l	0,5	0,0014	tt	0,0004	0
3.	Ba	mg/l	1,5	17,401	11,230	15,3665	
4.	F	mg/l	0,01	0,51	0,28	0,4138	0
5.	Cd	mg/l	Nihil	tt	tt	tt	0
6.	Cr (VI)	mg/l		0,0036	tt	0,009	-8
7.	Mn	mg/l		0,033	tt	0,083	
8.	Na	mg/l		15,421	5,1672	11,0246	
9.	NO ₃ -N	mg/l		12,38	0,04	3,4675	
10.	NO ₂ -N	mg/l	0,06	1	0,0075	0,3996	-8
11.	NH ₃ -N	mg/l	0,02	1,53	tt	0,576	-8

METODE INDEKS PENCEMARAN

- **Indeks Pencemaran** (*Pollution Index*) yang digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kalitas air yang diizinkan (Nemerow, 1974)
- **Pengelolaan kualitas air** atas dasar Indeks Pencemaran (IP) ini dapat memberi masukan pada pengambil keputusan agar dapat menilai kualitas badan air untuk suatu peruntukan serta melakukan tindakan untuk memperbaiki kualitas jika terjadi penurunan kualitas akibat kehadiran senyawa pencemar
- **PI_j** adalah Indeks Pencemaran bagi peruntukan (j) yang merupakan fungsi dari C_i/L_{ij} : C_i = konsentrasi parameter kualitas air (i), L_{ij} = parameter kualitas air yang terdapat pada Baku Mutu Air

- $PI_j = f (C_1/L_{1j}, C_2/L_{2j}, \dots, C_i/L_{ij})$
- Setiap nilai C_i/L_{ij} menunjukkan pencemaran relatif yang diakibatkan oleh parameter kualitas air
- Nilai $C_i/L_{ij} = 1$ adalah nilai kritik karena nilai ini dapat diharapkan untuk dipenuhi bagi suatu baku mutu peruntukan air
- Jika $C_i/L_{ij} > 1$ untuk suatu parameter, maka konsentrasi parameter ini harus dikurangi atau disisihkan apabila badan air digunakan untuk peruntukan (j). Jika parameter ini adalah parameter yang bermakna bagi peruntukkan, maka pengolahan mutlak harus dilakukan bagi air ini.

- Pada model ini digunakan berbagai parameter kualitas air sehingga pada penggunaannya diperlukan rata-rata dan nilai maksimum dari keseluruhan nilai C_i/L_{ij}

$$PI_{ij} = f \{ (C_{ij}/L_{ij})_R, (C_i/L_{ij})_M \}$$

keterangan :

$(C_{ij}/L_{ij})_R$ = nilai C_i/L_{ij} rata-rata

$(C_i/L_{ij})_M$ = nilai C_i/L_{ij} maksimum

- $PI_{ij} = m \sqrt{(C_{ij}/L_{ij})_M^2 + (C_i/L_{ij})_R^2}$

Nilai m adalah faktor penyeimbang yang dievaluasi pada nilai kritik. Pada nilai kritik PI_{ij} , $(C_i/L_{ij})_R$, dan $(C_i/L_{ij})_M$ bernilai 1, maka m adalah bernilai $1/\sqrt{2}$

Dengan demikian maka :

$$PI_{ij} = \frac{\sqrt{(C_{ij}/L_{ij})_M^2 + (C_i/L_{ij})_R^2}}{2}$$

■ Evaluasi terhadap nilai Pij

$0 \leq P_{ij} \leq 1$, memenuhi baku mutu

$1 < P_{ij} \leq 5$, cemar ringan

$5 < P_{ij} \leq 10$, cemar sedang

$P_{ij} > 10$, cemar berat

■ Prosedur penggunaan

- Pengumpulan data konsentrasi parameter pencemar (C_i)
- Penentuan baku mutu (L_{ij})
- Penghitungan nilai C_i/L_{ij}
- Penghitungan nilai $(C_{ij}/L_{ij})_R$ dan $(C_i/L_{ij})_M$
- Penghitungan nilai P_{ij}

■ Kondisi khusus

- Pada umumnya konsentrasi parameter pencemaran yang meningkat menunjukkan tingkat pencemaran yang meningkat. Namun jika konsentrasi parameter pencemaran menurun justru menunjukkan tingkat pencemaran yang meningkat (misalnya DO), maka perlu dihitung nilai maksimum C_{im} . Untuk DO, nilai C_{im} adalah nilai DO jenuh

$$C_i/L_{ij} = \frac{C_{im} - C_{i,pengukuran}}{C_{im} - L_{ij}}$$

- Jika nilai baku mutu L_{ij} memiliki rentang, misalnya pH, maka :
Untuk $C_i \leq L_{ij}$ rata-rata :

$$C_i/L_{ij} = \frac{C_i - L_{ij,rata-rata}}{L_{ij, minimum} - L_{ij, rata-rata}}$$

Untuk $C_i > L_{ij}$ rata-rata :

$$C_i/L_{ij} = \frac{C_i - L_{ij, \text{rata-rata}}}{L_{ij, \text{maksimum}} - L_{ij, \text{rata-rata}}}$$

- Jika nilai C_i/L_{ij} , lebih dari 1, maka :
 $(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = 1 + P \log (C_i/L_{ij})$ hasil pengukuran

P adalah konstanta dan nilainya ditentukan dengan bebas dan disesuaikan dengan hasil pengamatan lingkungan dan atau persyaratan yang dikehendaki untuk suatu peruntukan (biasanya digunakan nilai 5).

Contoh perhitungan :

Parameter	Ci	Lij	Ci/Lij	Ci/Lij baru
TSS	100	50	2	2,5
DO	2	6	0,28	0,28
pH	8	6 - 9	0,5	0,5
Fecal Coliform	2000	1000	2	2,5
BOD	8	2	4,0	4,0
Se	0,07	0,02	7,0	5,2

DAYA TAMPUNG BEBAN PENCEMARAN AIR

- **Daya tampung beban pencemaran air** adalah kemampuan air pada suatu sumber air, untuk menerima masukan beban pencemaran tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi cemar;
- **Beban pencemaran** adalah jumlah suatu unsur pencemar yang terkandung dalam air atau air limbah;
- **Metoda Neraca Massa** adalah metoda penetapan daya tampung beban pencemaran air dengan menggunakan perhitungan neraca massa komponen-komponen sumber pencemaran;
- **Metoda Streeter-Phelps** adalah metoda penetapan daya tampung beban pencemaran air pada sumber air dengan menggunakan model matematik yang dikembangkan oleh Streeter-Phelps;

METODE NERACA MASSA

- Untuk menentukan konsentrasi rata-rata aliran hilir (*down stream*) yang berasal dari sumber pencemar *point sources* dan *non point sources*
- Perhitungan ini dapat pula dipakai untuk menentukan persentase perubahan laju alir atau beban polutan
- Hal yang perlu diperhatikan adalah :
 - sifat aliran sungai
 - sifat polutan
- Secara garis besar sifat polutan ada dua macam, yaitu konservatif (tidak mengalami reaksi kimia) dan non konservatif (mengalami reaksi kimia: misal *decay*)
- Polutan konservatif tidak mengalami reaksi kimia yang berarti, sehingga dalam perjalanannya di dalam badan air hanya mengalami pengenceran (*dillution*)

RUMUS

$$C_R = \frac{\sum C_i Q_i}{\sum Q_i} = \frac{\sum M_i}{\sum Q_i}$$

Keterangan :

C_R = Konsentrasi rata-rata unsur untuk aliran gabungan

C_i = Konsentrasi unsur pada aliran ke-i

Q_i = Laju aliran ke-i

M_i = Massa unsur pada aliran ke-i

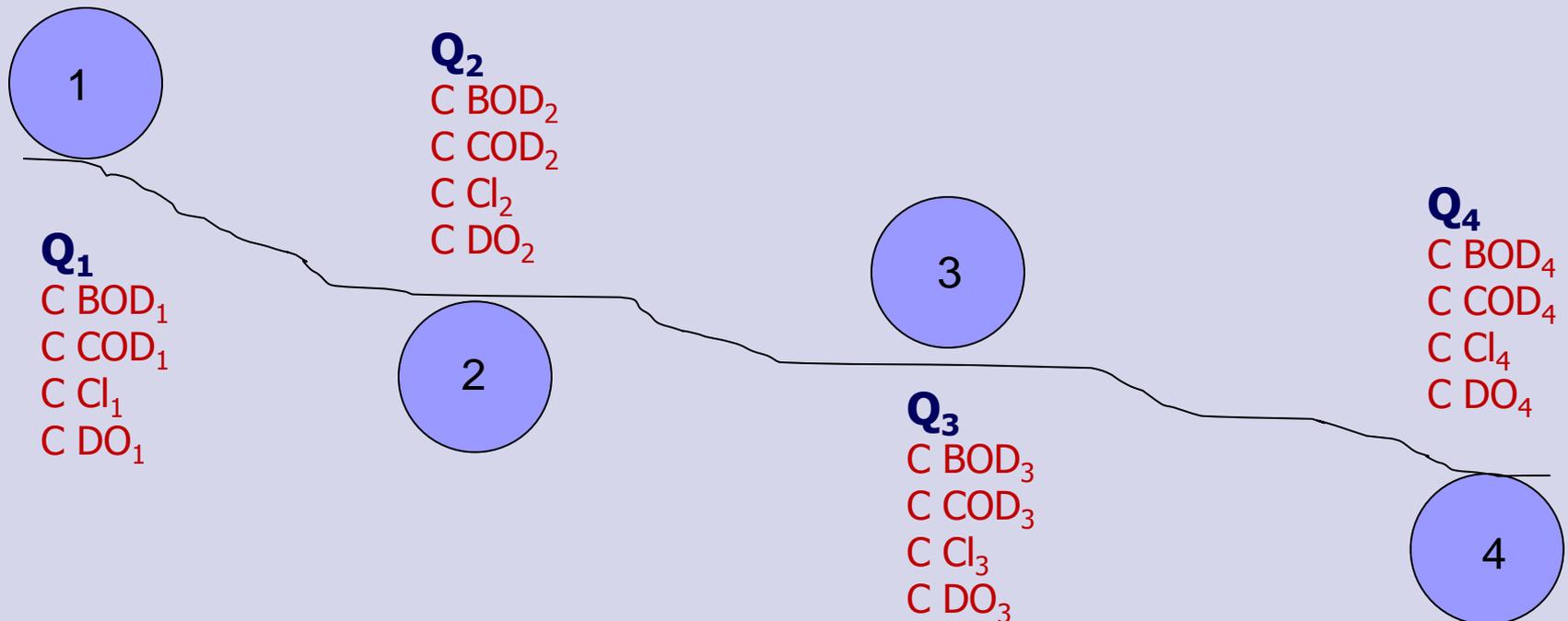
PROSEDUR PENGGUNAAN

- Ukur konsentrasi setiap konstituen dan laju alir pada aliran sungai sebelum bercampur dengan sumber pencemar;
- Ukur konsentrasi setiap konstituen dan laju alir pada setiap aliran sumber pencemar;
- Tentukan konsentrasi rata-rata pada aliran akhir setelah aliran bercampur dengan sumber pecemar dengan perhitungan :

$$C_R = \frac{\sum C_i Q_i}{\sum Q_i} = \frac{\sum M_i}{\sum Q_i}$$

CONTOH PERHITUNGAN

- Suatu aliran sungai mengalir dari titik 1 menuju titik 4. Diantara dua titik tersebut terdapat dua aliran lain yang masuk ke aliran sungai utama, masing-masing disebut sebagai aliran 2 dan 3. Apabila diketahui data-data pada aliran 1, 2 dan 3, maka ingin dihitung keadaan di aliran 4
- Profil aliran sungai :



■ **Keterangan :**

1. Aliran sungai sebelum bercampur dengan sumber-sumber pencemar
2. Aliran sumber pencemar A
3. Aliran sumber pencemar B
4. Aliran sungai setelah bercampur dengan sumber-sumber pencemar

- Data analisis dan debit pada aliran 1, 2 dan 3 diberikan pada tabel berikut :

Tabel 1.1 Data analisis dan debit

Aliran ke	Laju air (m/dtk)	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	Cl (mg/l)
1	2,01	5,7	20,5	9,8	0,16
2	0,59	3,8	16,5	7,4	0,08
3	0,73	3,4	16,6	7,5	0,04
4	3,33	4,86	18,94	8,87	0,12
BMX	-	4	25	3	600

BM X – Baku mutu perairan, untuk Golongan/Kelas X

- Apabila aliran pada titik 4 mempunyai baku mutu BM X, maka titik 4 tidak memenuhi baku mutu perairan untuk BOD, sehingga titik 4 tidak mempunyai daya tampung lagi untuk parameter BOD.
- Akan tetapi bila terdapat aliran lain (misalnya aliran 5) yang memasuki di antara titik 1 dan 4, dan aliran limbah masuk tersebut cukup tinggi mengandung C1- dan tidak mengandung BOD, maka aliran 5 masih dapat diperkenankan untuk masuk ke aliran termaksud.
- Hal tersebut tentu perlu dihitung kembali, sehingga dipastikan bahwa pada titik 4 kandungan C1 lebih rendah dari 600 mg/L.

TUGAS (Individual) : PENELUSURAN POLUTAN DI SUNGAI

- Hubungan antara konsentrasi polutan dengan debit air sungai
- Rumus-rumus : $C = aQ^b$

Keterangan :

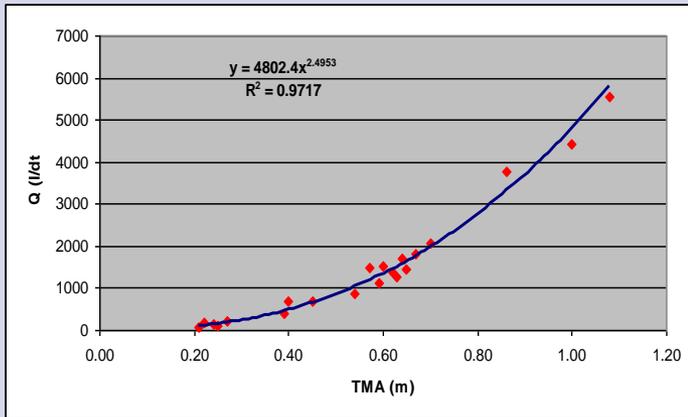
C = konsentrasi polutan

Q = debit aliran

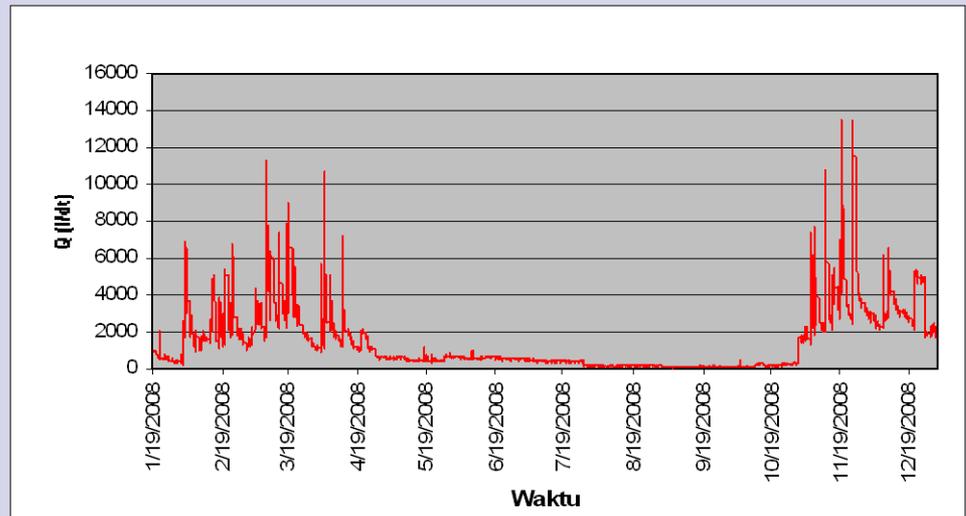
a,b = konstanta

- Konstanta dapat diperoleh melalui plotting data pada grafik (*double log*) hubungan antara konsentrasi dan debit, dengan rumus :

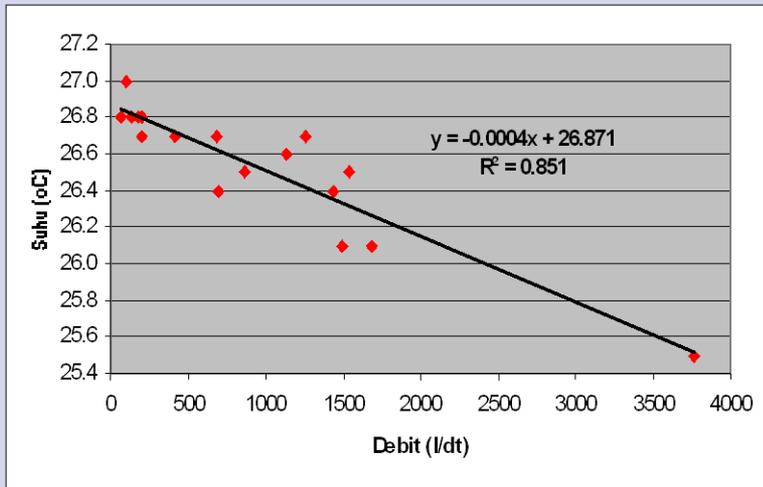
$$b = \frac{\ln (c1/c2)}{\ln (Q1/Q2)} \quad a = \frac{c1}{Q1^b}$$



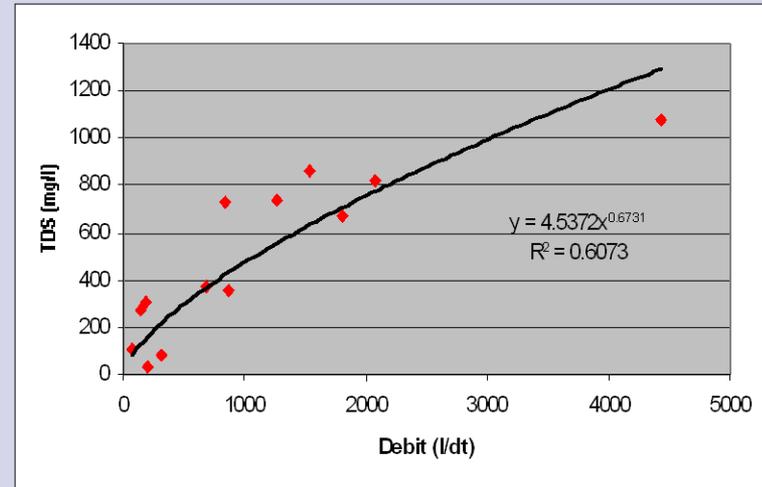
Rating Curve Mataair Beton



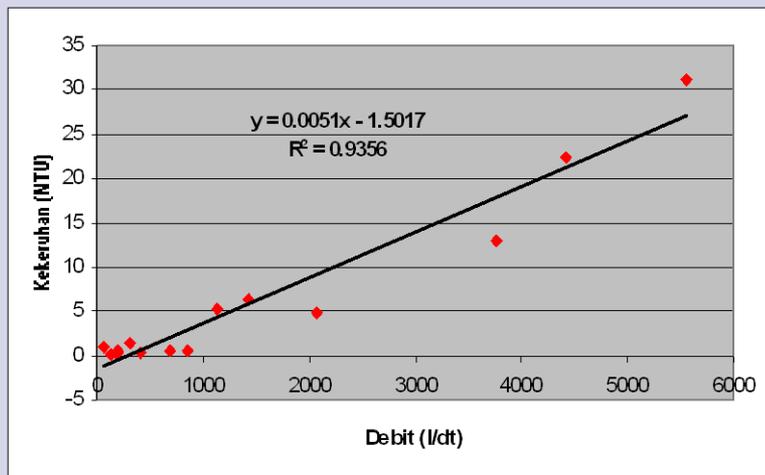
Hidrograf Aliran Mataair Beton 2008



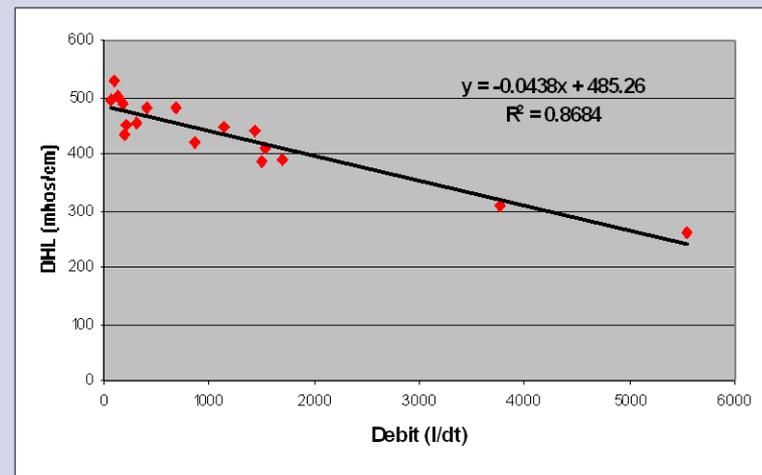
Hubungan Debit dan Suhu Mataair Beton



Hubungan Debit dan TDS Mataair Beton



Hubungan Debit dan Kekeruhan Mataair Beton



Hubungan Debit dan DHL Mataair Beton


$$W_t = (Q_t) (C_t) \dots\dots\dots (Thomann \& Mueller, 1987)$$

Keterangan :

W_t = input beban pencemar waktu t

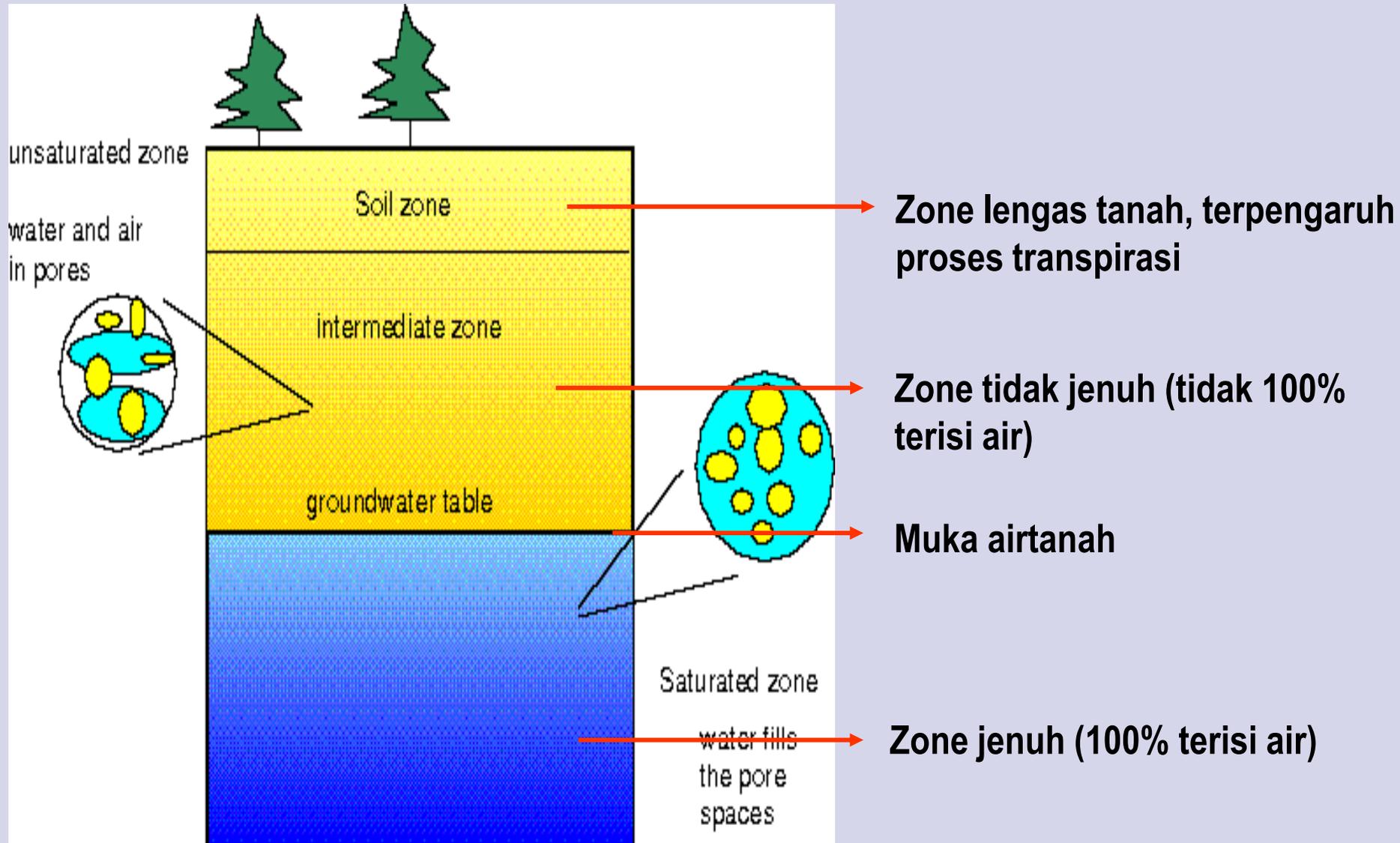
Q_t = debit aliran waktu t

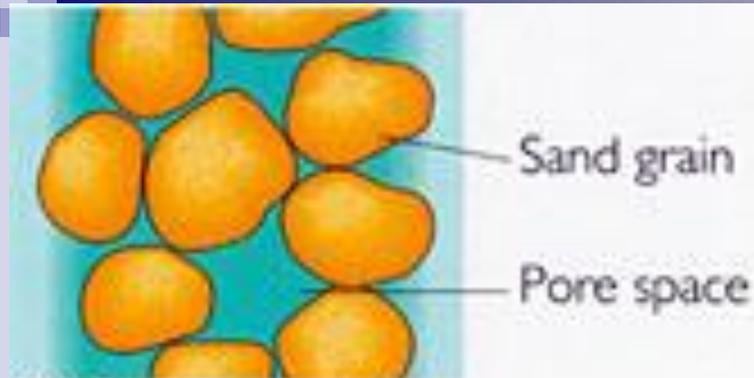
C_t = konsentrasi input waktu t (atau dalam literatur juga disebut s)



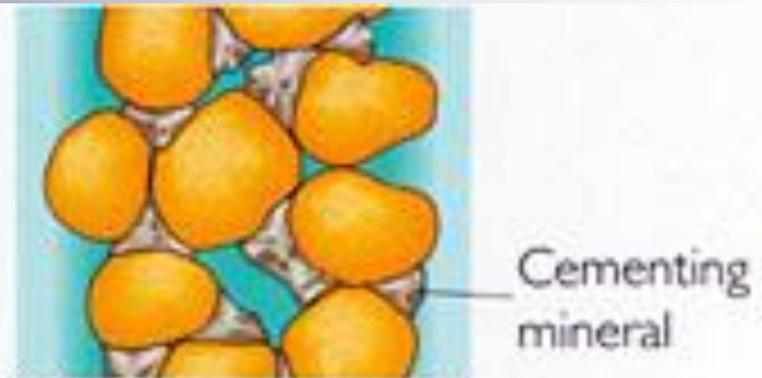
PENCEMARAN AIR TANAH

PENAMPANG VERTIKAL AIRTANAH

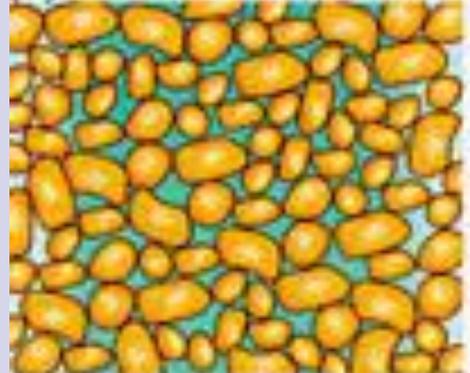




(a) Porous sandstone



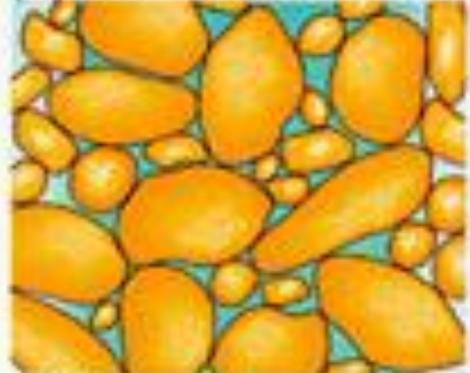
(b) Cemented sandstone



(c) Fine-grained sandstone



(e) Unfractured shale



(d) Sandstone with irregular shapes



(f) Fractured shale

Groundwater Pollution Problems

Extent of pollution

Source of pollution

Kind of pollutants

Point

Industry, mining, waste disposal sites
domestic and livestock effluents

Physical

Multipoint

Urban areas, rural settlements
military areas

Chemical

Diffuse

Agriculture

Biological

Line

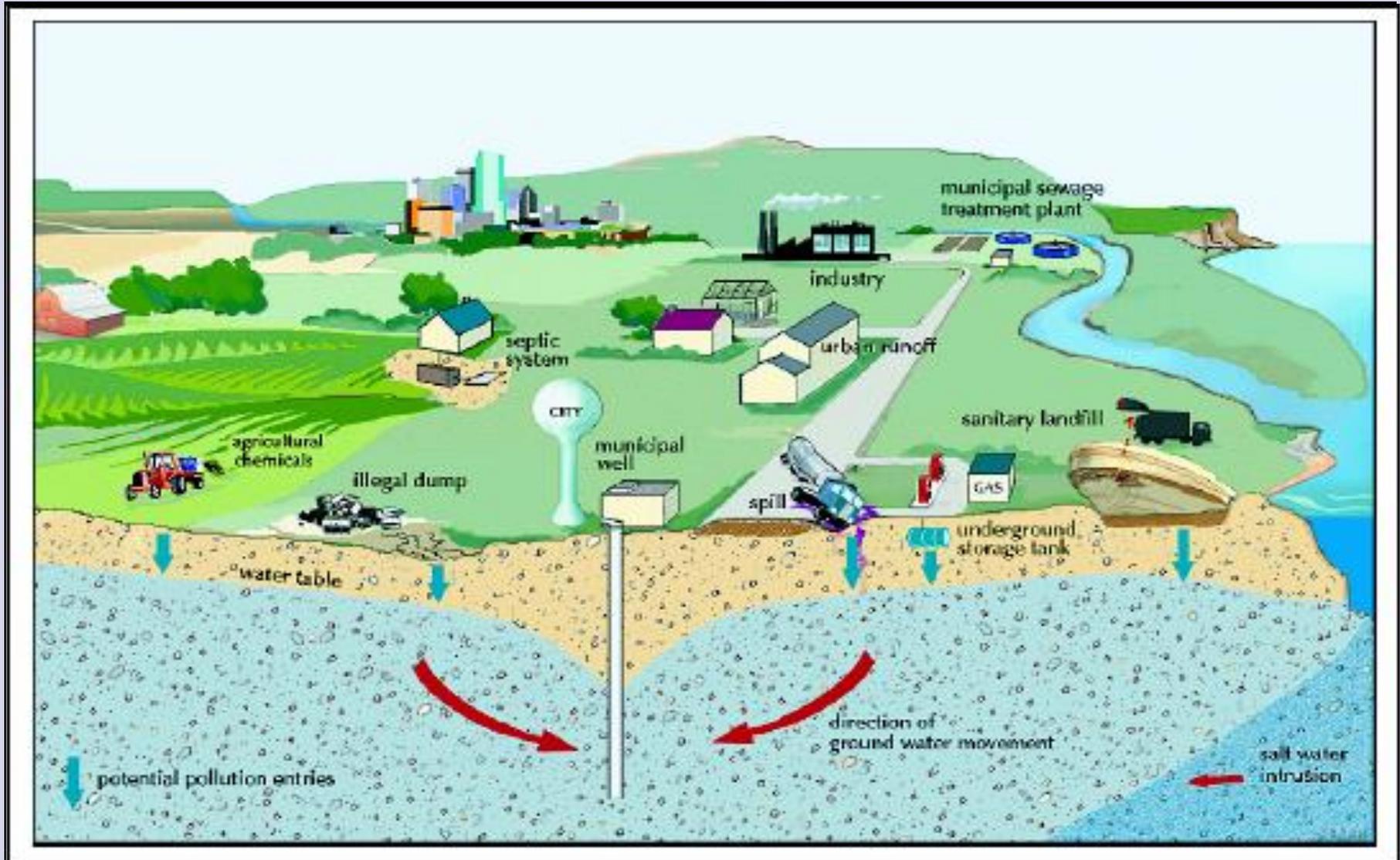
Roads, railways, oil pipelines,
sewerage systems, streams

Radiological

Regional

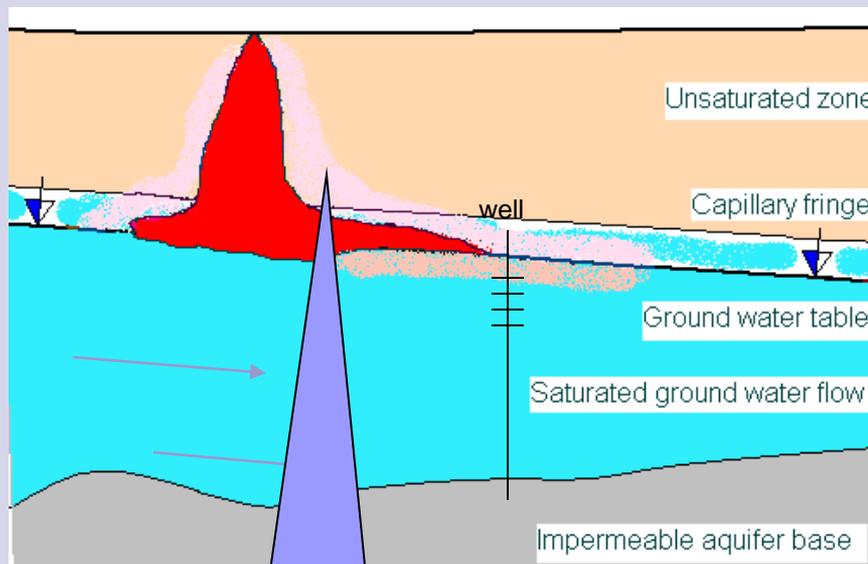
Acid deposition, salinisation

Pollutants can enter aquifers due to diverse human activities

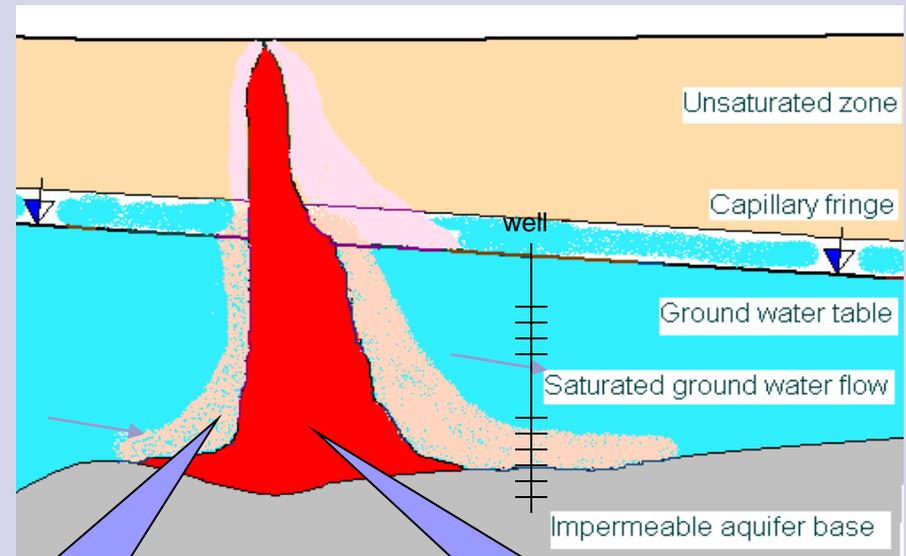


Movement of LNAPLs and DNAPLs into the Groundwater System

Light Nonaqueous Liquids (LNAPLs)



Dense Nonaqueous Liquids (DNAPLs)



**Gaseous
phase**

**Water miscible
phase**

**Water immiscible
phase**