

METODA PENURAPAN AIR TANAH YANG TERKONTAMINASI POLUTAN JENIS LNAPL*

JAGA DAN PERGUNAKAN AN KOLEK
INI DENGAN BENEK
SUATU SAAT ANDA BAKAL SANGAT MEMBUTUKANNYA

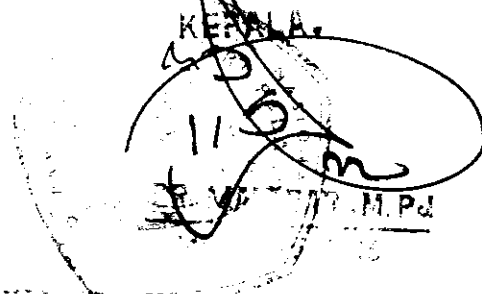
Makalah Desiminasi

PERPUSTAKAAN UNIV. NEGERI PADANG
TANAH TERDAFTAR

JUDUL: METODA PENURAPAN
AIR TANAH YANG TERKON...
PENYUSUN: DRS. MURAD, MT.
JENIS: MAKALAH
NO. DAFTAR: 148/7.4.12/PK/KI/2002
TANGGAL: 11 SEPTEMBER 2002

Oleh :

Drs. Murad, MT**



Handwritten notes and stamps in a library box:

- Handwritten: *Ha*
- Handwritten: *KI*
- Handwritten: *209/1/2002. m* (with a circled '21')
- Handwritten: *620.191.1742. m* (with a circled '2')

JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2000

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

METODA PENURAPAN AIRTANAH YANG TERKONTAMINASI POLUTAN JENIS LNAPL

A. PENDAHULUAN

Perkembangan pembangunan di segala bidang menuntut peningkatan akan kebutuhan airtanah, sehingga dimungkinkan dapat menurunkan kuantitas dan kualitas airtanah. Adanya perkembangan wilayah perkotaan mengakibatkan meningkatnya potensi polusi airtanah. Polusi airtanah ini dapat berasal dari limbah rumah tangga, sampah domestik, limbah industri, manufaktur dan pariwisata, serta limbah pertanian (pupuk dan pestisida). Hal ini mengakibatkan sulitnya mendapatkan air yang berkualitas baik. Untuk itu diperlukan teknik penurapan airtanah agar dapat diperoleh air dengan kuantitas dan kualitas yang dikehendaki.

Pemilihan metoda penurapan airtanah disuatu daerah, didasarkan atas beberapa hal, yaitu :

1. Kondisi geohidrologi
2. Kuantitas dan kualitas airtanah yang diperlukan
3. Peralatan dan tenaga yang tersedia
4. Biaya yang tersedia

Atas dasar hal tersebut di atas, maka metoda penurapan airtanah dapat dibedakan menjadi :

1. Penurapan secara mendatar, dapat berupa :
 - a. Liang pengumpul
 - b. Parit pengumpul
 - c. Terowongan pengumpul
 - d. Sumur pengumpul
2. Penurapan secara tegak, dapat berupa :
 - a. Sumur gali/ sumur penduduk
 - b. Sumur bor

^{*)} Makalah disampaikan dihadapan dewan dosen Jurusan Teknik Sipil UNP

^{**)} Dosen jurusan Teknik Sipil UNP

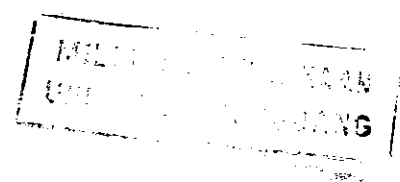
Pada tulisan ini dikhususkan metoda penurapan secara tegak pada sumur bor dan akan diuraikan mengenai penurapan airtanah dalam yang tercemar polutan jenis LNAPL (Light Non Aqueous Phase Liquid). Dengan tujuan untuk mendapatkan airtanah dengan kualitas dan kuantitas yang diinginkan serta untuk mengetahui teknik penurapan airtanah dalam yang tercemar oleh polutan LNAPL.

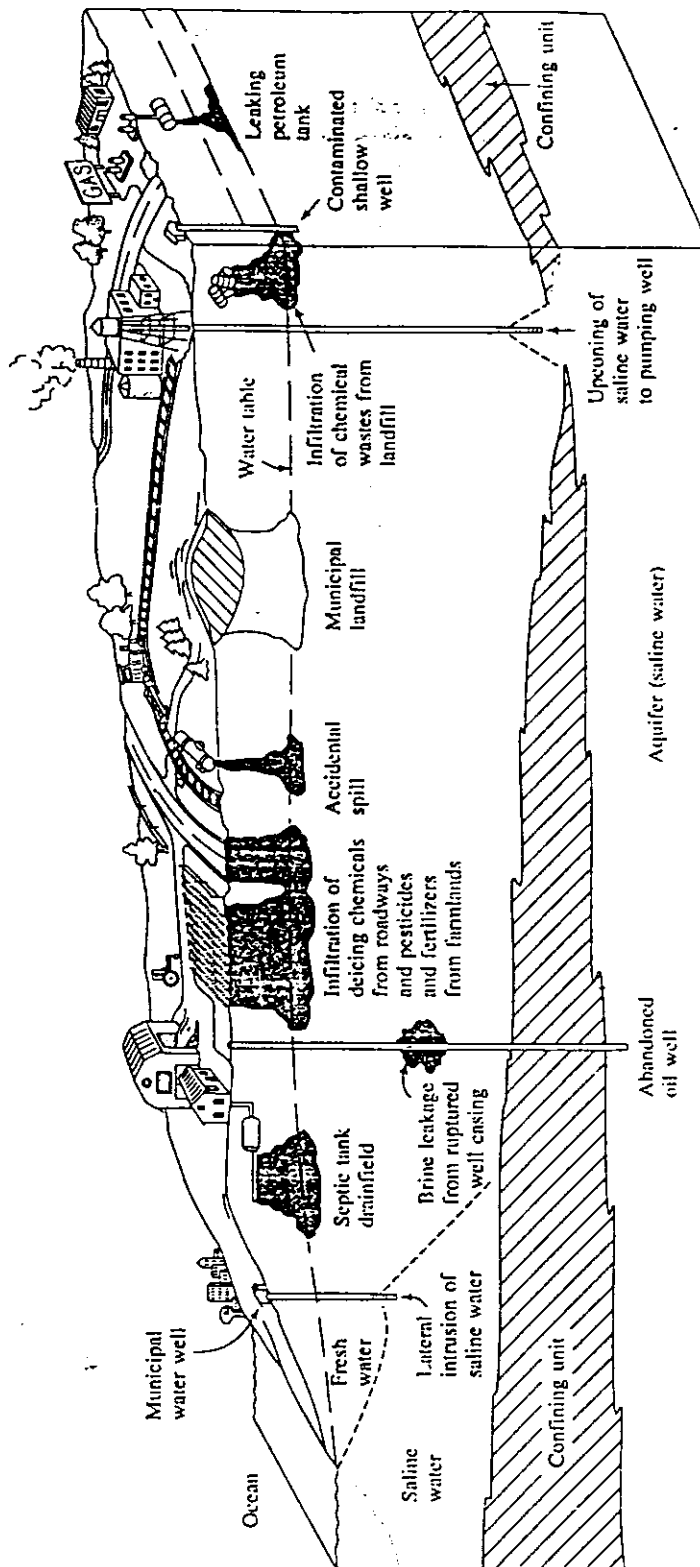
B. DASAR PEMIKIRAN

Airtanah merupakan bagian integral dari siklus hidrologi dan termasuk salah satu sumber daya alam yang sangat penting dalam menunjang aktifitas manusia. Sudah menjadi kodrat Yang Maha Kuasa bahwa diciptakannya manusia di muka bumi ini adalah sebagai penguasa atas segala sumber daya alam yang ada, tetapi seringkali manusia menyebabkan adanya perusakan sumber daya alam termasuk salah satunya adalah pencemaran (polusi) airtanah. Pencemaran airtanah merupakan konsekuensi akibat dari adanya pemanfaatan sumber daya alam yang melampaui batas tanpa memperhatikan keseimbangannya dan aktifitas manusia disegala bidang seperti ditunjukkan pada gambar 1.

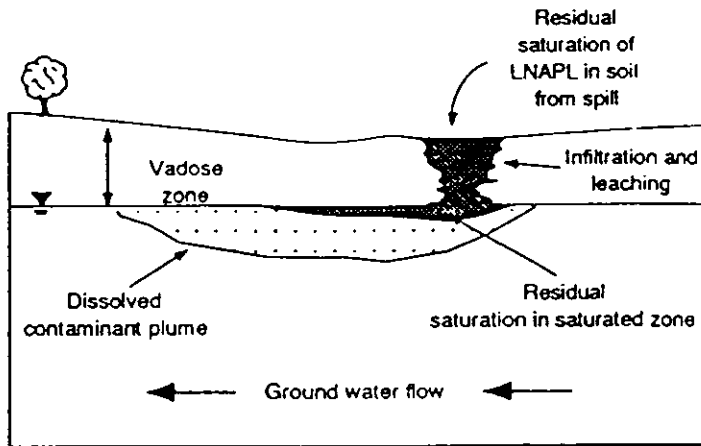
Menurut P.A. Dominiko (1990) dalam Physical and Chemical Hydrogeology dijelaskan bahwa ada tiga permasalahan mengenai polusi airtanah (polutan), yaitu :

1. Polutan yang bersifat larut dalam airtanah.
2. Polutan yang tidak larut dalam air, tetapi berada di atas permukaan airtanah (Light Nonaqueous Phase Liquids/ LNAPL, gambar 2). Menurut Bedient (1994), polusi airtanah seperti ini biasanya berupa zat cair yang mempunyai berat jenis lebih rendah dari air tawar, misalnya benzene, ethyl benzene, toluene, wylenes dan naphthalene.
3. Polutan yang tidak larut dalam air, tetapi berada di dasar airtanah (Dense Nonaqueous Phase Liquids/ DNAPL, gambar 3). Menurut polusi airtanah seperti ini biasanya berupa halogenated volatiles, halogenated semivolatiles, nonhalogenated semivolatiles dan miscellaneous yang biasanya mempunyai berat jenis lebih besar dari air tawar. Adapun jenis kimia yang termasuk polutan DNAPL ditunjukkan pada tabel 1.

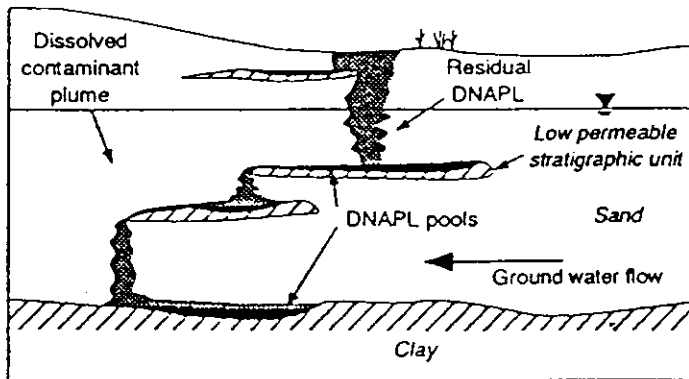




Gambar 1. Mekanisme terjadinya polusi airtanah (Fetter, 1993)



Gambar 2. Ilustrasi polutan light nonaqueous phase liquids (LNAPL). Bedient, 1994.



Gambar 3. Ilustrasi polutan dense nonaqueous phase liquids (LNAPL).
Waterloo Centre for Groundwater Research dalam Bedient, 1994.

C. PERSAMAAN TRANSPORTASI ZAT PENCEMAR LNAPL PADA VADOSE ZONE

Transportasi zat pencemar LNAPL biasanya melalui zone tidak jenuh air (vadose zone) baru kemudian sampai pada zona yang berada pada kedalaman tertentu dimana pada zona tersebut benar-benar jenuh air, biasanya dicirikan oleh muka airtanah).

Karakteristik agregat tanah merupakan kumpulan dari partikel-partikel tanah dan propertisnya (antara lain udara dan air), sehingga reaksi yang terjadi antara tanah dengan zat pencemar akan menjadi sangat kompleks. Untuk itu dalam melakukan pemodelan transportasi zat pencemar LNAPL pada vadose zone ditentukan berdasarkan persamaan matematik yang menunjukkan kuantitas hasil reaksi dengan menggunakan beberapa asumsi. Asumsi yang digunakan dalam pemodelan ini adalah aliran dalam pori tanah dianggap kontinyu dan perbedaan densitas antara larutan yang mengandung zat pencemar dengan airtanah dapat diabaikan (Bear, 1979).

Barrow dan Shaw (1979) memberikan rumus matematis mengenai reaksi kinetis antara zat pencemar terlarut dengan tanah sebagai berikut :

$$S = k \cdot c^n \cdot t^m$$

dimana :

S = jumlah zat pencemar yang terserap oleh tanah (mg/l)

k = konstanta yang menunjukkan kapasitas serap dari permukaan partikel tanah

c = konsentrasi zat pencemar dalam larutan (mg/l)

t = waktu observasi (hari)

m dan n = konstanta tak berdimensi

Selanjutnya Mansell dan Selim (1981) memberikan persamaan mengenai gerakan zat pencemar pada media berbutir sebagai berikut :

$$\frac{\partial \theta c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left[D_v \theta \cdot \frac{\partial c}{\partial z} - \partial \theta \cdot \frac{c}{\partial z} - \rho \cdot \frac{\partial S}{\partial t} \right] \dots \dots \dots (2)$$

setelah dideferensi persamaannya menjadi :

$$\frac{\partial \theta S}{\partial t} + \frac{\theta \partial c}{\partial t} + \frac{c \partial \theta}{\partial t} = D_v \frac{\partial c}{\partial z} \frac{\partial \theta}{\partial z} + \theta \frac{\partial c}{\partial z} \frac{\partial D_v}{\partial z} + D_v \frac{\theta \partial^2 c}{\partial z^2} - \frac{c \cdot \partial q}{\partial z} - \frac{q \cdot \partial c}{\partial z} \dots \dots \dots (3)$$

Persamaan (3) dapat disederhanakan menjadi :

$$\frac{\rho}{\theta} \frac{\partial \theta S}{\partial t} + \frac{\partial c}{\partial t} = Dv \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - A \frac{\partial c}{\partial z} \dots\dots\dots (4)$$

$$A = \frac{1}{\theta} \left[q - Dv \frac{\partial \theta}{\partial z} - \theta \frac{\partial Dv}{\partial z} \right]$$

$\delta S/\delta t$ pada ruas kiri merupakan reaksi antara tanah dengan zat pencemar. Apabila reaksi tersebut dianggap mengikuti persamaan (1), maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\partial S}{\partial t} = k \cdot c^n \cdot t^{m-1} + k \cdot t^m \cdot n \cdot c^{n-1} \frac{\partial c}{\partial t} \dots\dots\dots (5)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (5) ke persamaan (4) dan disederhanakan menjadi :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{Dv}{R} \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - \frac{A}{R} \frac{\partial c}{\partial z} - \frac{K}{R} c^n \cdot m \cdot t^{m-1} \dots\dots\dots (6)$$

dimana :

q = kadar air (cm^3/cm^3)

c = konsentrasi zat pencemar ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)

z = jarak (cm) dengan arah positif ke bawah

Dv = koefisien dispersi hydrodinamic (cm^2/hari) yang merupakan fungsi dari kecepatan rata-rata aliran persatuan luas (cm/hari)

S = jumlah zat pencemar yang terserap oleh tanah (mg/g)

t = waktu observasi (hari)

Untuk mencari θ dapat digunakan persamaan di bawah ini :

$$K(\theta) = D\theta (\delta h/\delta l) \dots\dots\dots (7)$$

dimana :

$K(\theta)$ = adalah konduktivitas hidrolik (cm/hari)

$D\theta$ = difusivitas air dalam tanah yang merupakan fungsi dari kadar air (cm^2/hari)

$(\delta h/\delta l)$ = karakteristik kadar lengas tanah

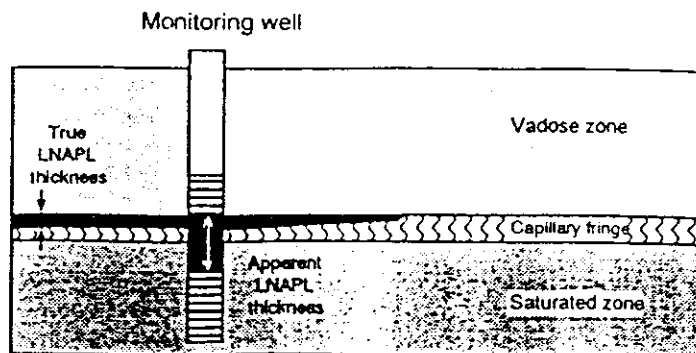
D. PEMECAHAN MASALAH

Pada pembahasan berikut, akan dijelaskan mengenai dua hal penting dalam rangka penurapan airtanah yang sudah tercemar dengan LNAPL agar diperoleh air yang baik kualitasnya.

1. Identifikasi polutan LNAPL

Identifikasi terhadap pencemaran airtanah oleh LNAPL dapat dilakukan dengan :

- Pengamatan tidak langsung, yang terdiri dari: soil-gas characterization dan geophysics (resistivity dan electromagnet conductivity)
- Pengamatan langsung pada sumur pengamat terhadap ketebalan lapisan LNAPL yang mengambang di atas permukaan airtanah. Ketebalan lapisan LNAPL yang terukur di dalam sumur pengamat merupakan ketebalan semu. Besarnya ketebalan semu yang terukur di dalam sumur biasanya mencapai 2 sampai 10 kali lebih besar daripada ketebalan aktual LNAPL pada formasi (Mencer dan Cohen, 1990 dalam Bedient, 1994). Ilustrasi perbedaan ketebalan semu yang terukur di dalam sumur bor dan ketebalan aktual pada formasi ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi perbedaan ketebalan semu yang terukur di dalam sumur bor dan ketebalan aktual pada formasi

Hubungan antara besarnya ketebalan semu yang terukur di dalam sumur dan ketebalan aktual pada formasi sangat sulit untuk diprediksi. Hal ini merupakan tantangan bagi para ilmuwan, diantaranya (Hampton dan Miller, 1988 dalam Bedient, 1994) yang mengusulkan mengenai rumus pendekatan hubungan antara ketebalan semu dan aktual LNAPL seperti ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$h_f \approx \frac{h_w (\rho_w - \rho_{LNAPL})}{\rho_{LNAPL}}$$

dimana :

h_f = ketebalan aktual LNAPL pada formasi (m)

h_w = ketebalan semu yang terukur di dalam sumur pengamat (m)

ρ_w = densitas air (gr/cm^3)

ρ_{LNAPL} = densitas polutan LNAPL (gr/cm^3)

Identifikasi polutan LNAPL ini bertujuan untuk mengetahui posisi kedalaman dan ketebalan polutan pada formasi.

2. Teknik penurapan airtanah pada daerah polutan LNAPL

Teknik penurapan airtanah pada daerah polutan LNAPL, pada prinsipnya terdiri dari dua hal yaitu : design sumur dan pengontrolan penurunan muka airtanah dinamis/ dynamic water level (DWL).

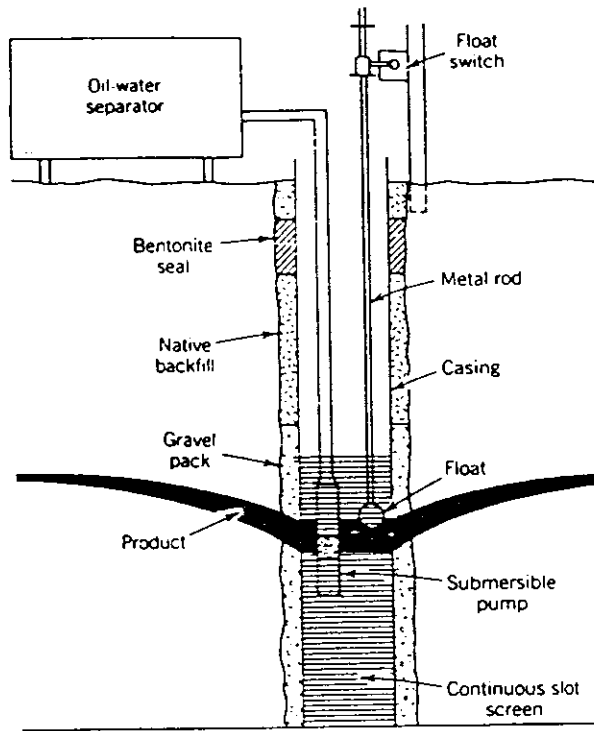
a. Design sumur

Para ahli telah menemukan beberapa teknik design dalam upaya menunjang penurapan airtanah pada daerah polutan LNAPL agar pada saat melakukan pemompaan dapat diperoleh air yang baik. Adapun teknik design tersebut meliputi :

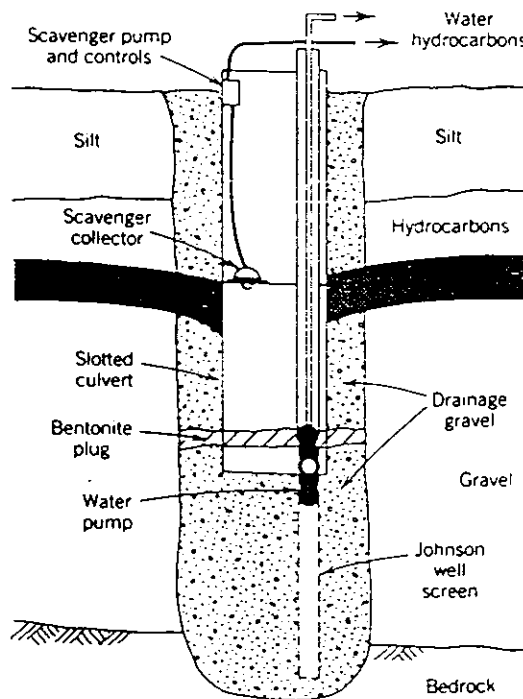
- 1) Satu sumur bor dengan satu pompa yang dilengkapi dengan alat pemisah antara oli dan air seperti dijelaskan pada gambar 5 (Blake dan Freyberger, 1983). Prinsip kerja dari design ini

yaitu pada saat pemompaan berlangsung, maka terjadi penurunan muka airtanah DWL sehingga sampai pada kedalaman tertentu polutan bisa masuk melalui pompa. Akibatnya air yang diperoleh bercampur dengan polutan, untuk itu harus ada alat tambahan berupa pemisah antara oli dan air sehingga diperoleh air bersih dan oli secara terpisah. Adanya kontrol float switch memungkinkan untuk mematikan pompa secara otomatis setelah penurunan DWL mencapai pada kedalaman yang dikehendaki, hal ini untuk mencegah masuknya polutan ke dalam pompa. Pemompaan dapat dilakukan kembali setelah recovery. Disarankan untuk tidak menggunakan jenis pompa yang dapat mengakibatkan aliran turbulen dan mempunyai efek pencampuran yang besar. Jenis pompa yang digunakan disini antara lain pompa torak dan pompa vacum, bukan pompa turbin dan submersible.

- 2) Satu buah sumur bor yang dilengkapi dengan slotted culvert, bentonite plug dan scavenger collector lengkap dengan pompa seperti terlihat pada gambar 6 (O'Connor dkk, 1984). Prinsip kerja dari design, yaitu : pompa diletakkan di bawah bentonit plug sehingga dapat menghasilkan airtanah yang bersih dari polutan, bentonite plug ini berfungsi sebagai penyekat akuifer. Scavenger collector berfungsi untuk mengumpulkan polutan kemudian dipompa keluar oleh scavenger pump.
- 3) Dua sumur bor dengan dua buah pompa seperti dijelaskan pada gambar 7 (Blake dan Lewis, 1982). Prinsip design sistem ini, yaitu pembuatan dua buah sumur (satu sumur dalam dan satu sumur lainnya dangkal). Sumur bor dalam digunakan untuk penurapan air yang bebas dari polutan, pada sumur ini dilengkapi dengan probe deteksi yang memungkinkan otomatisasi pompa (mematikan pompa) pada saat muka airtanah DWL mencapai kedalaman yang diinginkan. Sumur bor dangkal digunakan untuk mengangkat polutan, pada sumur ini dilengkapi juga dengan probe deteksi yang memungkinkan untuk otomatisasi pompa. Disarankan pemasangan pompa sumur dangkal tidak menggunakan jenis pompa yang dapat mengakibatkan aliran turbulen dan mempunyai efek pencampuran yang besar. Jenis pompa yang dikehendaki disini antara lain pompa torak dan pompa vacum bukan pompa turbin dan submersible.

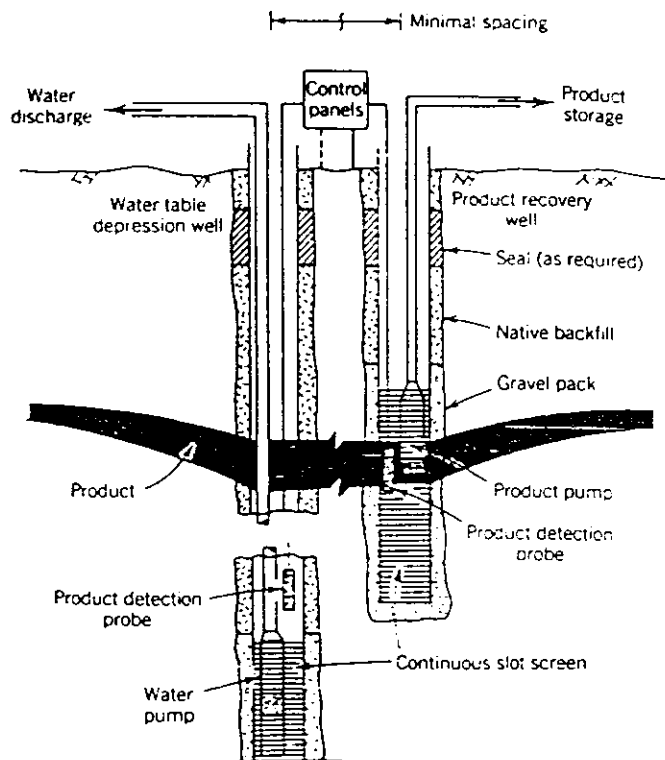


Gambar 5. Design satu sumur bor dengan satu pompa yang dilengkapi alat pemisah antara oli dan air (Blake dan Freyberger, 1983)

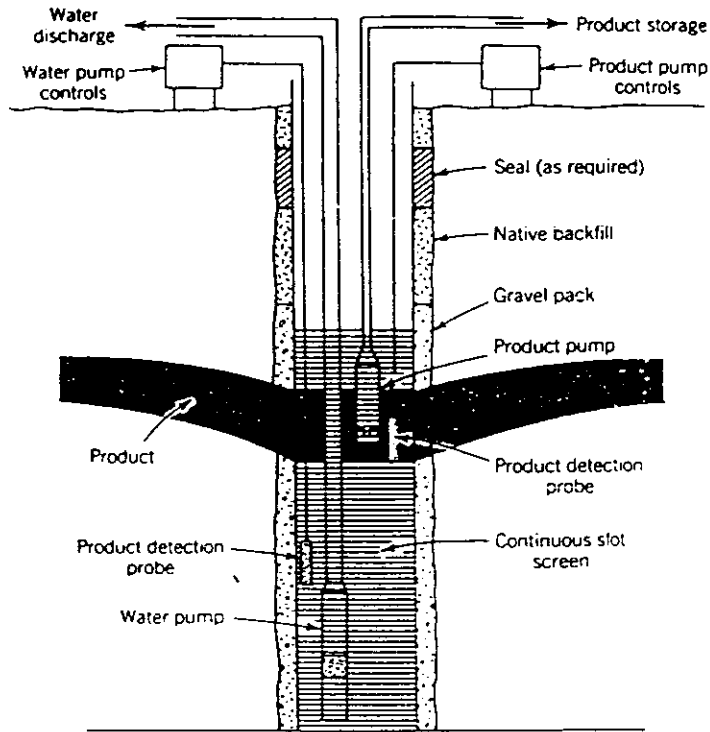


Gambar 6. Design satu buah sumur bor yang dilengkapi dengan slotted culvert, bentonite plug dan scavenger collector lengkap dengan pompa (O'Connor dkk, 1984).

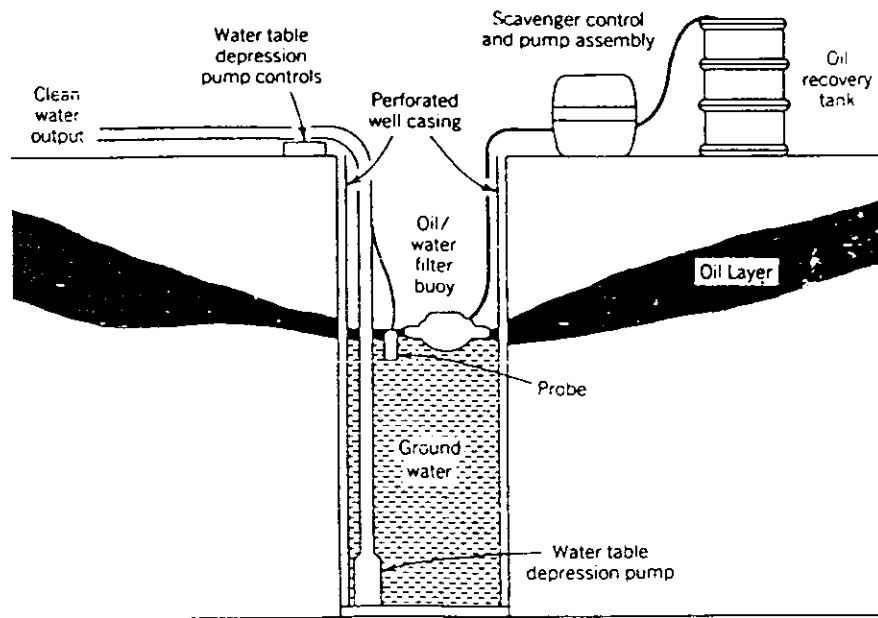
- 4) Satu buah sumur dengan dua pompa seperti dijelaskan pada gambar 8 (Blake dan Lewis, 1982). Prinsip kerja dari design ini yaitu dengan memasang dua buah pompa dan dua buah probe deteksi. Sebuah pompa berfungsi sebagai penghasil air bersih (pompa produksi) yang diletakkan pada posisi yang lebih dalam daripada pompa yang lainnya, pompa produksi ini dilengkapi dengan probe deteksi yang memungkinkan otomatisasi penghentian pemompaan. Selanjutnya pompa yang lainnya dipasang pada kedalaman yang lebih dangkal, pompa ini berfungsi sebagai penghisap polutan, dilengkapi dengan probe deteksi yang memungkinkan otomatisasi penghentian pemompaan.
- 5) Satu buah sumur diameter besar dimana pompa dipasang pada dasar sumur seperti pada gambar 9 (Yaniga dan Mulry, 1984). Prinsip kerja dari design ini, yaitu : pemompaan dilakukan untuk menghasilkan airtanah yang bersih dari polutan, dimana scavenger control dan scavenger pump berfungsi untuk mengumpulkan polutan kemudian memompanya keluar dari sumur dan selanjutnya dikumpulkan ke tangki penampung.



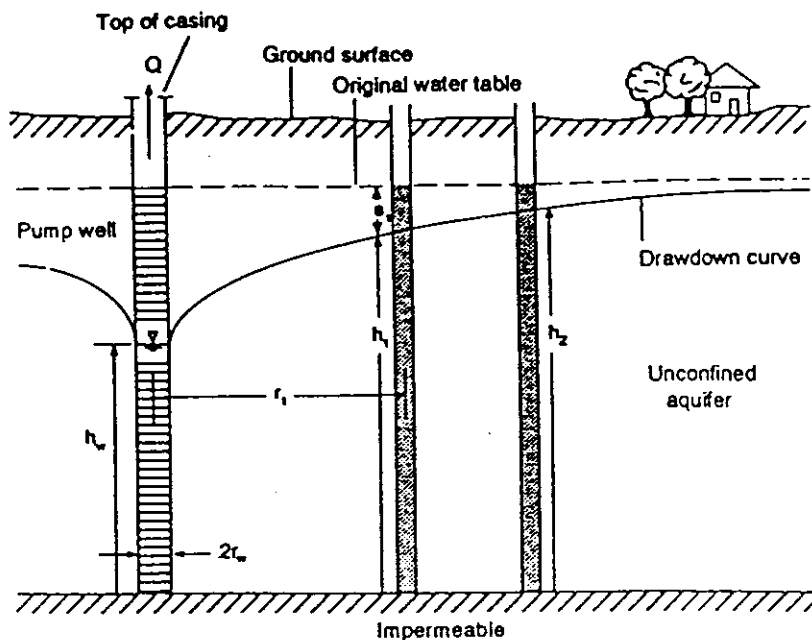
Gambar 7. Design dua sumur bor dengan dua buah pompa (Blake dan Lewis, 1982).



Gambar 8. Design satu buah sumur dengan dua pompa.
(Blake dan Lewis, 1982)



Gambar 9. Design satu buah sumur diameter besar dimana pompa dipasang pada dasar sumur (Yaniga dan Mulry, 1984)



Gambar 10. Ilustrasi hidrolika sumur pada saat dilakukan pemompaan (Bedient, 1994)

b. Pembatasan Penurunan Muka Airtanah pada saat Pemompaan

Pada saat sumur bor dipompa, maka akan terjadi penurunan muka airtanah membentuk kerucut, hal ini biasa disebut dengan teori hidrolika sumur seperti pada gambar 10. Akibat yang ditimbulkan oleh pemompaan dengan debit Q menyebabkan penurunan muka airtanah di dalam sumur, sehingga dimungkinkan masuknya polutan LNAPL. Untuk itu diperlukan teknik penurapan airtanah agar diperoleh airtanah sesuai dengan kualitas dan kuantitas yang diharapkan.

Contoh kasus teoritis dalam buku "Physical and Chemical Hidrogeology (P. A. Dominico, 1990)". Diketahui : $b = 10$ m; $K = 10^{-4}$ m/det; $S = 3 \cdot 10^{-3}$; $I = 0,002$; $n = 0,2$; dimana drawdown yang diperbolehkan adalah 7 m, berapa sumurkah yang harus dibuat agar drawdown < 7 m?

STAMPAAN
KEMENTERIAN
PERTANAHAN
KEMENTERIAN
PERTANAHAN

Penyelesaian :

$$U = K.I = 10^{-4} \text{ m/det. } 0,002 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m/det}$$

Untuk design 1 sumur :

$$Q = B.U.TVC$$

TVC diperoleh dari plotting kurva standar = 2.500 m

$$Q = 10 \text{ m} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \text{ m/det} \cdot 2.500 \text{ m}$$

$$Q = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$$

mencari penurunan digunakan rumus Cooper-Jacob (1946) dengan asumsi jari-jari pengaruh penurunan muka airtanah 0,2 m dan waktu (t) 1 tahun atau setara dengan $3,15 \times 10^7$ det.

$$SW = \frac{2,3 Q}{4\pi T} \log \frac{2,25 Tt}{r^2 s}$$

$$SW = \frac{2,3 \times 5 \cdot 10^{-3}}{4\pi \times 10^3} \log \frac{2,25 \times 10^{-3} \times 3,1536 \cdot 10^7}{0,2^2 \times 3,10^{-5}}$$

$$SW = 9,86 \text{ m.}$$

jadi untuk satu sumur dengan debit $5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$ mengalami penurunan 9,86 m artinya penurunan tersebut melebihi yang disarankan.

Design 2 sumur :

$$TVC = 1.200 \text{ m}$$

$$Q = B.U.TVC$$

$$= 10 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot 1200$$

$$= 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{det}$$

$$r \text{ optimum} = 1.200 / 3,14 = 382,16 \text{ m}$$

$$SW = \frac{2,3 Q}{4\pi T} \left[\log \frac{2,25 Tt}{r_w^2 S} + \log \frac{2,25 Tt}{r^2 S} \right]$$

$$SW = \frac{2,3 \times 2,4 \cdot 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-3}} \left[\log \frac{2,25 \times 10^{-3} \times 3,1536 \cdot 10^7}{0,2^2 \times 3 \cdot 10^{-5}} + \log \frac{2,25 \cdot 10^{-3} \times 3,1536 \cdot 10^7}{382,16^2 \times 3 \cdot 10^{-5}} \right]$$

$$SW = 6,58 \text{ m}$$

Jadi dari penyelesaian contoh kasus di atas untuk dua sumur dengan debit $2,4 \cdot 10^{-3}$ mempunyai penurunan 6,58 m, artinya penurunan tersebut < 7 m, sehingga aman terhadap kontaminan.

DAFTAR PUSTAKA

- Fetter., *Applied Hydrogeology*. Third Edition, Printice Hall, 1993.
- P.A. Dominico., *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Willy end Sons, New York, 1990.
- P.B. Bedient., Groundwater Contaminant Transport and Remediation, PTR Prentice Hall, Englewood Cloffs, New Jersey, 1994.
- Suprianto. N., *Pemodelan Transportasi Zat Pencemar Dengan Reaksi Kinetik Dalam Tanah dan Airtanah Untuk Kondisi Aliran Tak Jenuh dan Transient*, Proceeding Seminar Nasional.

Tabel 1. Jenis kimia yang termasuk polutan DNAPL (Bedient, 1994).

Halogenated Volatiles	Nonhalogenated Semivolatiles
Chlorobenzene	2-Methyl naphthalene
1,2-Dichloropropane	<i>o</i> -Cresol
1,1-Dichloroethane	<i>p</i> -Cresol
1,1-Dichloroethylene	2,4-Dimethylphenol
1,2-Dichloroethane	<i>m</i> -Cresol
<i>trans</i> -1,2-Dichloroethylene	Phenol
<i>cis</i> -1,2-Dichloroethylene	Naphthalene
1,1,1-Trichloroethane	Benzo[<i>a</i>]anthracene
Methylene chloride	Fluorene
1,1,2-Trichloroethane	Acenaphthene
Trichloroethylene	Anthracene
Chloroform	Dibenzo[<i>a,h</i>]anthracene
Carbon tetrachloride	Fluoranthene
1,1,2,2-Tetrachloroethane	Pyrene
Tetrachloroethylene	Chrysene
Ethylene dibromide	2,4-Dinitrophenol
	Miscellaneous
Halogenated Semivolatiles	Coal tar
1,4-Dichlorobenzene	Creosote
1,2-Dichlorobenzene	
Aroclor 1242, 1254, 1260	
Chlordane	
Dieldrin	
2,3,4,6-Tetrachlorophenol	
Pentachlorophenol	