

ZONA KERENTANAN AIRTANAH TERHADAP KONTAMINAN DENGAN METODE DRASTIC

Putranto T.T *, Benny Kuswoyo **)

Abstract

Almost all groundwater resources are vulnerable to various degrees. Vulnerability of groundwater is a relative, dimensionless property that is not directly measurable. It is assessed by using the DRASTIC technique. The accuracy of its assessment depends, above all, on the amount and quality of representative and reliable data available. The required data is often not available and thus scale of mapping is often limited to broad scale catchment maps. The DRASTIC vulnerability mapping technique can generally be referred to as a composite description of all the major geologic and hydrogeologic factors that affect and control groundwater movement, into, through and out of an area. DRASTIC is an acronym for the most important mappable features within the hydrogeologic setting which control groundwater pollution. These features are: D (Depth to watertable), R (Net) Recharge, A (Aquifer media), S (Soil media), T (Topography/slope), I (Impact of vadoze zone) and C (hydraulic Conductivity of aquifer).

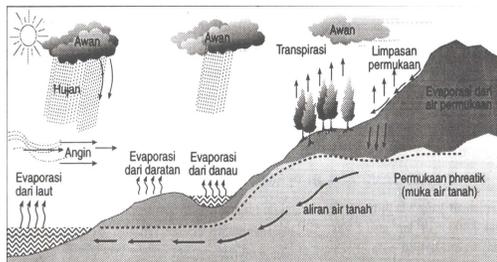
Keywords: Groundwater vulnerability, contaminant, DRASTIC technique

Pendahuluan

1. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan konsep dasar tentang keseimbangan air secara global dan juga menunjukkan semua hal yang berhubungan dengan air. Bila kita melihat keseimbangan air secara keseluruhan maka hidrogeologi dapat dipandang sebagai satu bagian (subsistem) dari beberapa aspek yang menjadikan siklus hidrologi menjadi seimbang (Soemarto, 1999).

Daur atau siklus hidrologi adalah gerakan air laut ke udara, kemudian jatuh ke permukaan tanah, dan akhirnya mengalir ke laut kembali.



Gambar I.1 Siklus hidrologi (Soemarto, 1999)

2. Sifat Batuan Terhadap Airtanah

Berdasarkan perlakuan terhadap airtanah (Suharyadi, 1984), terutama tergantung dari sifat fisik tekstur, batuan dapat dibedakan menjadi 4 (empat) jenis, yaitu:

- **Akuifer**
Akuifer adalah suatu lapisan atau formasi geologi dimana formasi tersebut mengandung air dan didalam kondisi yang umum

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Geologi
Fakultas Teknik Undip

**) Mahasiswa Jurusan Teknik Geologi Fakultas
Teknik Undip

ditemui di lapangan memungkinkan air melalui formasi tersebut.

Contoh : pasir, kerikil, batupasir, batugamping yang berlubang-lubang dan lava yang retak-retak.

- **Akuiklud**
Akuiklud adalah suatu lapisan atau formasi geologi yang tidak dapat dilalui air dalam jumlah yang berarti, walaupun formasi tersebut mengandung air.
Contoh : lempung, serpih, tuf halus, lanau dan berbagai batuan yang berukuran lempung.
- **Akuifug**
Akuifug adalah suatu lapisan atau formasi geologi yang kedap air dan tidak mengandung air.
Contoh : granit, batuan-batuan yang kompak, keras dan padat.
- **Akuitar**
Akuitar adalah suatu lapisan atau formasi geologi yang kurang kedap air bila dibandingkan dengan akuiklud, tetapi masih dapat mentransmisikan atau meluluskan air walaupun dalam jumlah yang sedikit.

Kerentanan Airtanah Dan Kontaminan

1. Kerentanan Airtanah

Kerentanan airtanah adalah batas atau tingkat ketahanan suatu airtanah terhadap kontaminan yang berasal dari permukaan maupun bawah permukaan. Kerentanan airtanah merupakan ukuran sejauh mana airtanah mampu bertahan terhadap polusi atau kontaminan pada permukaan tanah hingga mencapai muka airtanah atau lapisan akuifer (Harter, 2001).

Kerentanan airtanah tinggi jika faktor-faktor alam memberikan sedikit perlindungan sebagai perisai airtanah dari aktivitas kontaminasi pada permukaan tanah. Kerentanan airtanah rendah jika faktor-faktor alam memberikan perlindungan yang relatif baik sebagai perisai airtanah dari aktivitas kontaminasi.

Kerentanan airtanah merupakan penilaian dari segi kualitas secara numerik dari beberapa parameter yang digunakan untuk menentukan tingkat kerentanan suatu airtanah. Suatu akuifer memiliki kondisi hidrogeologi yang berbeda. Oleh karena itu, tingkat kerentanan suatu wilayah tentu akan berbeda dengan wilayah yang lain. Kondisi hidrogeologi yang digunakan sebagai parameter biasanya merupakan sifat fisik namun ada juga sifat kimia yang digunakan sebagai parameter.

2. Kontaminan

Zat pencemar dapat didefinisikan sebagai zat kimia (cair, padat maupun gas), baik yang berasal dari alam yang dipicu kehadirannya oleh manusia (tidak langsung) ataupun dari kegiatan manusia (*anthropogenic origin*) yang telah diidentifikasi mengakibatkan efek yang buruk bagi manusia atau lingkungannya. Semua itu dipicu oleh aktivitas manusia. Sedangkan kontaminan, sama seperti zat pencemar, hanya saja efek negatif atau dampaknya secara nyata terhadap manusia dan lingkungannya belum teridentifikasi secara jelas (Notodarmojo, 2004).

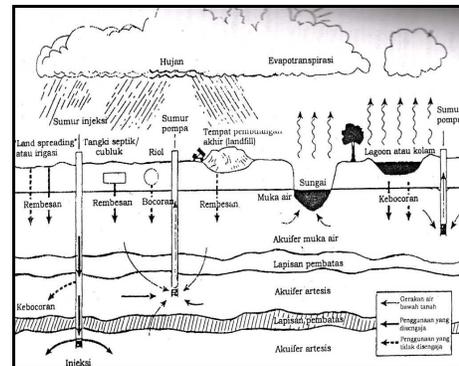
Sejauh mana kontaminan menjadi bahaya bagi manusia, merupakan salah satu bahasan penting dalam pencemaran airtanah. Jalan masuk kontaminan kedalam tubuh manusia yang paling utama adalah melalui mulut, dimana kontaminan yang terlarut dalam air akan masuk kedalam tubuh melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi airtanah. Sejauh mana kontaminan mempengaruhi kesehatan atau berdampak buruk bagi manusia selain tergantung dari jenis dan konsentrasi, juga tergantung intensitas paparan (*exposure*).

Kontaminan yang mempunyai potensi untuk mencemari airtanah berasal dari berbagai sumber. OTA (*Office of Technology Assessment, USA*), membagi sumber kontaminan menjadi 6 kategori (Notodarmojo, 2004), yaitu:

- Sumber yang berasal dari tempat atau kegiatan yang dirancang untuk membuang dan mengalirkan zat atau substansi, contoh tangki septik, kakus dan sumur injeksi.
- Sumber yang berasal dari tempat atau kegiatan yang dirancang untuk mengolah atau membuang (*dispose*) zat atau substansi, contoh landfill (TPA), tempat pembuangan

limbah pertambangan, kolam penampungan (*impoundment*) dan tempat penyimpanan atau pembuangan limbah berbahaya dan material radioaktif.

- Sumber yang berasal dari tempat atau kegiatan transportasi zat atau substansi, contoh saluran riol (*sewer*) atau saluran limbah dan jaringan pipa gas atau minyak.
- Sumber yang berasal dari konsekuensi suatu kegiatan yang terencana, contoh pemupukan dan penyemprotan pestisida serta kotoran dari peternakan.
- Sumber yang berasal dari suatu kegiatan yang menyebabkan adanya jalan masuk bagi air terkontaminasi masuk dalam akuifer, contoh sumur bor untuk produksi atau eksplorasi minyak dan gas serta panas bumi dan ekskavasi atau pengerukan tanah dalam jumlah besar.
- Sumber kontaminan yang bersifat alamiah atau terjadi secara alamiah, tetapi terjadinya pengaliran atau penyebarannya disebabkan oleh aktivitas manusia, contoh hujan asam yang disebabkan penggunaan bahan bakar minyak dan batubara.



Gambar 2.1 Mekanisme kontaminasi airtanah dari berbagai sumber (Notodarmojo, 2004)

3. Macam-macam Kontaminan

Zat pencemar atau kontaminan dapat dikelompokkan dalam beberapa kategori. Zat pencemar atau kontaminan yang ditinjau disini adalah zat pencemar yang berbentuk cair atau dapat larut dalam air, yang dapat dibagi menjadi kontaminan anorganik, kontaminan organik, mikroorganisme dan material radioaktif. Sifat dan potensi pencemaran tergantung dari bentuk atau status mereka dalam tanah atau airtanah (Notodarmojo, 2004).

Tahapan Pemodelan Kerentanan Airtanah

1. Pemahaman Sistem Hidrogeologi

Pergerakan airtanah merupakan bagian dari siklus hidrologi. Pergerakan airtanah, dimana umumnya bergerak dengan aliran lambat atau dalam keadaan laminar. Jika dilihat dari kondisi kadar airnya, maka aliran airtanah dapat dibagi menjadi dua, yaitu aliran airtanah dalam kondisi airtanah jenuh (*saturated*) dan tidak jenuh (*unsaturated*) (Notodarmojo, 2004).

Perbedaan utama dari aliran dalam kondisi jenuh dan tidak jenuh adalah nilai permeabilitasnya. Pada tanah homogen, nilai permeabilitas atau dalam hal ini konduktivitas hidrolik, dianggap konstan. Hal ini tidak terjadi pada aliran tidak jenuh, dimana konduktivitas hidrolik tergantung dari kadar air. Selain itu, pada aliran tidak jenuh, difusivitas air yang ikut berperan dalam pergerakan air juga merupakan fungsi dari kadar air.

Aliran airtanah secara laminar dapat dibedakan menjadi aliran tetap (*steady flow*) dan aliran tidak tetap (*unsteady flow*). Aliran tetap adalah aliran yang tidak berubah karena waktu sedangkan aliran tidak tetap adalah aliran yang berubah karena waktu.

Aliran dalam kondisi tidak jenuh yang terjadi pada zona aerasi menjadi penting, karena dalam zona tersebut terjadi reaksi intensif antara kontaminan atau pencemar dengan partikel tanah. Tanah pada zona permukaan umumnya lebih reaktif. Selain itu, proses biologi juga secara intensif terjadi pada zona itu, terutama proses-proses aerobik, walau tidak berarti dalam daerah jenuh air tidak terjadi proses biologis yang intensif.

Zona tidak jenuh air (*unsaturated zone*) adalah zona dimana rongga-rongga sebagian terisi oleh air dan sebagian lainnya terisi oleh udara. Air pada zona ini dapat dibagi menjadi tiga, yaitu *soil water zone*, *intermediate vadose zone* dan *capillary zone* (Suharyadi, 1984).

Air pada *soil water zone* kurang jenuh, kecuali ada air hujan atau irigasi yang meresap. Zona airtanah ini terletak mulai permukaan tanah sampai zona akar tumbuh-tumbuhan. Ketebalannya bervariasi tergantung jenis tanah dan tumbuh-tumbuhannya. Pada zona ini sangat penting artinya bagi ahli-ahli pertanian ataupun ahli-ahli tanah. Di bawah *soil water zone* disebut *intermediate vadose zone*, ketebalannya bervariasi mulai 0 pada daerah yang mempunyai muka airtanah sangat dangkal sampai lebih dari 100 meter pada daerah yang muka airtanahnya sangat dalam. Air disini bergerak vertikal turun. Pada

zona ini terdapat 2 macam air yang disebut *pellicular water* dan *gravitational water*. Air pada *pellicular water* tidak bergerak sebab tertahan oleh gaya higroskopis dan daya kapiler. Sedangkan *gravitational water*, air bergerak vertikal turun karena adanya gaya berat. Zona paling bawah adalah zona kapiler yang mempunyai ketebalan dari muka airtanah ke atas sampai batas kenaikan air.

Sebagian informasi atau data dari airtanah yang akan digunakan untuk mengukur kemampuan digunakan untuk menetapkan kerentanan dari sistem airtanah terhadap kontaminan. Informasi atau data tersebut dapat disusun untuk mengetahui hubungan langsung dari airtanah terhadap sistem kerentanan. Data tersebut nantinya dapat menjadi faktor yang mengontrol pergerakan air tanah (Reilly et al., 2002).

2. Pemahaman Sistem Geokimia Airtanah

Penggabungan dari informasi tentang kontaminan untuk penilaian dari kerentanan intrinsik, dibutuhkan untuk tujuan pengembangan penilaian kerentanan airtanah terhadap kontaminan. Penilaian dari aktivitas manusia dan alam serta karakteristik fisik dari sumber daya airtanah dimaksudkan untuk mengetahui dampak yang tidak diinginkan untuk kesehatan atau hal yang lain (Reilly et al., 2002).

Jenis sumber kontaminasi berdasar ruang dan waktu merupakan faktor penting dalam menentukan hasil dari distribusi dari konsentrasi kontaminan pada airtanah. Dalam beberapa kasus, dampak keseluruhan dari sumber kontaminan bila dilihat berdasarkan ruang maupun waktu mempunyai kecenderungan karakteristik yang sama.

Kontaminan dapat berubah oleh proses mikrobiologi maupun geokimia saat tertransport melewati berbagai jenis dan macam lingkungan dari sistem airtanah. Beberapa perubahan kimia dapat membuat kontaminan menjadi lebih berbahaya atau tidak bagi lingkungan atau kesehatan manusia tergantung pada aktivitas atau perkembangan manusia yang menghasilkan kontaminan.

Kerentanan dari airtanah terhadap beberapa kontaminan tergantung pada tingkat kelarutan dan mobilitas dari kontaminan sebagai pengaruh oleh kondisi mineralogi dan geokimia sumur maupun akuifer. Sifat kimia dari kontaminan merupakan hal paling berpengaruh pada zona tak jenuh air. Hal ini terlihat dari kemampuan zona tak jenuh air terhadap kontaminasi. Kontaminan akan terus bergerak untuk mencapai muka

airtanah, baik itu pada zona jenuh maupun tidak jenuh air. Sebelum mencapai muka air, kontaminan harus melewati tanah (soil) dari masing-masing zona. Kemampuan itu akan menurun seiring dengan perubahan kimiawi dari kontaminan.

Kontaminan yang berada dalam tanah selalu dalam kondisi dinamis, yaitu berinteraksi dengan partikel tanah atau mengalami transformasi sampai terjadi keseimbangan. Selain itu, larutan tanah atau airtanah dapat bergerak sesuai dengan energi yang dimilikinya, kearah dimana energinya lebih rendah. Dengan adanya pergerakan massa air tersebut, maka kontaminan yang berada dalam air akan ikut bergerak. Dalam upaya memahami proses transport kontaminan dalam airtanah, hal yang perlu diperhatikan yaitu proses atau fenomena yang terjadi pada saat berlangsungnya proses tersebut. Fenomena penting dalam proses transport (Notodarmojo, 2004) antara lain:

a. Adveksi

Proses transport kontaminan terlarut (miscible) yang diakibatkan oleh perpindahan medium dimana solute atau kontaminan berada disebut transport akibat adveksi. Kecepatan perpindahan massa solute akibat adveksi sama dengan kecepatan aliran airtanah.

b. Difusi

Difusi terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi dalam larutan. Ion atau molekul yang larut dalam air mempunyai kecenderungan untuk menyamakan konsentrasi dalam sistem, sehingga akan bergerak dari daerah yang berkonsentrasi tinggi menuju daerah dengan konsentrasi rendah. Proses perpindahan ion atau molekul itu disebut difusi molekuler atau difusi.

c. Dispersi hidrodinamik

Dispersi hidrodinamik merupakan gabungan antara proses difusi dan dispersi mekanik. Dispersi mekanik merupakan pergerakan airtanah dengan kecepatan yang tidak seragam. Ada tiga fenomena yang menyebabkan terjadinya dispersi mekanik, yaitu variasi ukuran butir, lintasan yang berliku-liku dan variasi distribusi kecepatan di dalam pori.

d. Retardasi

Fenomena ini terjadi karena ketidakteraturan alur atau lintasan air melalui pori. Retardasi merupakan fenomena yang menunjukkan perubahan jumlah dari kontaminan selama terjadi proses transport akibat reaksi antara kontaminan dengan media tanah, yang memberikan efek seolah-olah gerakan kontaminan menjadi terhambat (*retarded*).

Zona Kerentanan Airtanah Terhadap Kontaminan Dengan Metode Drastic.

Metode DRASTIC

Tingkat kerentanan airtanah terhadap kontaminan pada suatu area dapat dinilai dengan model DRASTIC, yang menggabungkan faktor hidrogeologi terpenting yang mempengaruhi potensi kontaminasi airtanah, antara lain kedalaman muka airtanah, jumlah recharge, media akuifer, media tanah, topografi, pengaruh media vadose zone dan konduktivitas hidrolis (Aller et al., 1987 dalam Jong dan Yeong, 1999).

Asumsi-asumsi dari model DRASTIC (Jong dan Yeong, 1999), yaitu:

- Adanya kontaminan pada permukaan tanah
- Kontaminan menembus kedalam air bawah tanah karena pengaruh hujan
- Kontaminan telah mengalami mobilitas dalam air
- Area penelitian lebih dari 0,4 km²

Sistem evaluasi DRASTIC didasarkan pada tiga komponen (angka beban, cakupan, dan rating) yang dinyatakan dalam angka (Aller dkk., 1987 dalam Jong dan Yeong, 1999). Sebuah angka beban diberikan pada masing-masing komponen DRASTIC berdasarkan tingkat kepentingan relatifnya dan bersifat konstanta.

Parameter atau faktor hidrogeologi yang mempengaruhi potensi kerentanan kontaminasi airtanah (Piscopo, 2001) adalah :

1. Kedalaman Muka Airtanah

Faktor ini merupakan faktor yang penting karena sebelum mencapai muka airtanah, kontaminan harus melewati tebal lapisan di atas muka airtanah. Semakin dalam muka airtanah maka potensi kontaminasi airtanah akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya bila muka airtanah semakin dangkal maka potensi kontaminasi airtanah akan semakin besar. Hal ini terbukti dengan semakin dalam muka airtanah maka waktu kontaminan mencapai muka airtanah akan semakin lama sehingga potensi kontaminasi juga akan semakin kecil.

2. Jumlah Recharge

Jumlah recharge menggambarkan jumlah dari air yang meresap kedalam tanah dan mencapai muka airtanah. Recharge air mampu membantu transport kontaminan secara vertikal menuju muka airtanah dan secara horisontal di dalam akuifer. Hal tersebut mengontrol volume air yang mengandung kontaminan tertransport pada daerah atau jenuh maupun tak jenuh air. Secara umum, bila jumlah recharge air semakin besar maka potensi kontaminasi airtanah akan semakin besar, begitu juga sebaliknya jika jumlah

- recharge* air semakin sedikit maka potensi kontaminasi airtanah akan semakin kecil.
3. Media Akuifer
Media akuifer juga mempengaruhi jumlah dari material permukaan yang terkontaminasi dalam menembus lapisan akuifer.
Rute dimana kontaminan akan mengalir tergantung dari sifat fisik dari media akuifer, yaitu retakan, porositas atau permeabilitas. Semakin besar kemampuan akuifer untuk menahan kontaminan maka waktu tempuh pergerakan kontaminan akan semakin lama sehingga potensi kontaminasi airtanah akan semakin kecil.
 4. Media Tanah
Tanah mempunyai dampak yang langsung dan sangat signifikan dari jumlah *recharge* air yang meresap kedalam tanah hingga mencapai muka airtanah dan juga mempengaruhi pergerakan kontaminan. Kemampuan dari material tanah dengan tekstur yang halus, seperti lanau dan lempung, dapat menambah permeabilitas tanah sehingga akan membatasi pergerakan kontaminan. Ketebalan tanah juga mempengaruhi waktu tempuh kontaminasi, baik itu melalui proses filtrasi, biodegradasi, sorpsi dan volatilisasi secara signifikan. Semakin tebal maka waktu tempuh juga akan semakin lama.
 5. Topografi
Topografi tergantung pada kelerengan. Setiap permukaan tanah mempunyai kelerengan yang bervariasi. Topografi membantu dalam mengontrol kontaminan mengalir atau ditahan di permukaan. Kelerengan yang mempunyai potensi besar bagi kontaminan untuk meresap akan berasosiasi dengan potensi pencemaran airtanah yang lebih besar. Semakin curam kelerengan maka jumlah *runoff* akan semakin besar sehingga air terkontaminasi yang meresap kedalam tanah dan mencapai muka airtanah atau lapisan akuifer juga akan berkurang. Suatu daerah dengan kelerengan yang landai akan menyebabkan air tertahan di permukaan sehingga air terkontaminasi akan lebih berpotensi untuk meresap dan mencemari airtanah.
 6. Pengaruh Media Pada Zona Tak Jenuh Air
Jenis dari zona tidak jenuh air ditentukan berdasarkan karakteristik dari material, termasuk jenis dan batas tanah serta batuan dibawah muka airtanah. Material tersebut nantinya akan menjadi media. Media akan mengontrol arah maupun panjang lintasan yang menyebabkan waktu dapat berkurang dan kuantitas dari material juga akan semakin kecil. Arah lintasan sangat tergantung dari banyaknya retakan yang ada, selain itu juga adanya pengaruh dari faktor permeabilitas tanah dan juga kedalaman dari muka airtanah.

7. Konduktivitas Hidrolis

Konduktivitas hidrolis merupakan kemampuan dari material akuifer untuk mengalirkan air dan mengontrol kecepatan rata-rata aliran airtanah dimana akan mengalir di bawah pengaruh gradien hidrolis. Kecepatan airtanah mengalir juga mengontrol kecepatan kontaminan dalam akuifer. Konduktivitas hidrolis dikontrol oleh jumlah dan hubungan dari ruang atau pori pada akuifer, yaitu porositas antar butir dan retakan atau bidang perlapisan. Konduktivitas hidrolis berhubungan dengan media tanah. Semakin besar konduktivitas hidrolis maka potensi untuk kontaminasi airtanah akan semakin besar.

Dalam penilaian kerentanan airtanah terhadap kontaminan, dilakukan perhitungan atau pembobotan dari tiap parameter atau unsur hidrogeologi yang digunakan. Tiap faktor parameter mempunyai bobot berdasarkan besarnya pengaruh terhadap kontaminasi airtanah. Selain bobot, tiap faktor parameter penilaian juga mempunyai rentang kelas atau *rating* (Jong dan Yeong, 1999).

Angka beban mulai dari 5 (paling penting) hingga 1 (paling tidak penting), seperti ditunjukkan pada tabel 4.1. Sebagai contoh, kedalaman muka airtanah dan pengaruh media *vadose-zone* masing-masing memiliki angka beban 5, karena keduanya dianggap parameter terpenting (Tabel 4.1).

Cakupan masing-masing komponen DRASTIC dibagi menjadi beberapa kelas, atau tingkat kepentingan tipe media, yang mungkin mempengaruhi potensi pencemaran. *Rating* diberikan pada masing-masing kelas, dimulai dari 1 (potensi pencemaran terendah) hingga 10 (potensi pencemaran tertinggi). *Rating* diperlihatkan pada Tabel 4.2 – 4.8.

Tabel 4.1 Penilaian Beban Dan *Rating* Model DRASTIC (Jong dan Yeong, 1999)

Faktor	Beban	Kelas / <i>rating</i>
Kedalaman muka airtanah	5	1 – 10
Jumlah <i>recharge</i>	4	1, 2, 4 dan 5
Media akuifer	3	3 – 9
Media tanah	2	4 – 10
Kelerengan topografi	1	1 – 5
Media <i>vadose zone</i>	5	1 – 5
Konduktivitas hidrolis	3	4 – 8

(Sumber : Aller et al., 1987)

Tabel 4.2 Rentang Dan Kelas Untuk Kedalaman Airtanah (Jong dan Yeong, 1999)

Kedalaman Airtanah (feet)	
Rentang	Rating
0 – 5	10
5 – 15	9
15 – 30	7
30 – 50	5
50 – 75	3
75 – 100	2
> 100	1

(Sumber : Aller et al., 1987)

Tabel 4.3 Rentang Dan Kelas Untuk Jumlah Recharge (Jong dan Yeong, 1999)

Recharge (inci)	
Rentang	Rating
0 – 2	1
2 – 4	3
4 – 7	6
7 – 10	8
> 10	9

(Sumber : Aller et al., 1987)

Tabel 4.4 Rentang Dan Kelas Untuk Kelerengan Topografi (Jong dan Yeong, 1999)

Topografi (persen lereng)	
Rentang	Rating
0 – 2	10
2 – 6	9
6 – 12	5
12 – 18	3
> 18	1

(Sumber : Aller et al., 1987)

Tabel 4.5 Rentang Dan Kelas Untuk Media Tanah (Jong dan Yeong, 1999)

Media Tanah	
Media akuifer	Rating
Kerikil	10
Pasir	9
Agregat Lempung	7
Lempung pasiran	6
Lempung	5
Lempung lanauan	4
Lempung non agregat	1

(Sumber : Aller et al., 1987)

Tabel 4.6 Rentang Dan Kelas Untuk Media Akuifer (Jong dan Yeong, 1999)

Media Akuifer		
Media akuifer	Rentang	Rating
Shale masif	1 – 3	2
Metamorf/beku	2 – 5	3
Lapukan metamorf/beku	3 – 5	4
Batupasir, batugamping dan shale	5 – 9	6
Batupasir masif	4 – 9	6
Batugamping masif	4 – 9	6
Pasir dan kerikil	6 – 9	8
Basal	2 – 10	9
Batugamping kars	9 – 10	10

(Sumber : Aller et al., 1987)

Tabel 4.7 Rentang Dan Kelas Untuk Pengaruh Media Zona Tak Jenuh (Jong dan Yeong, 1999)

Media Vadose Zone		
Media	Rentang	Rating
Lempung lanauan	1 -2	1
Shale	2 – 5	3
Batugamping	2 – 7	6
Batupasir	4 – 8	6
Perlapisan batugamping, batu pasir dan shale	4 – 8	6
Pasir dan kerikil dengan kandungan lanau dan lempung	4 – 8	6
Metamorf/beku	2 – 8	4
Pasir dan kerikil	6 – 9	8
Basal	2 – 10	9
Batugamping kars	8 - 10	10

(Sumber : Aller et al., 1987)

Tabel 4.8 Rentang Dan Kelas Untuk Konduktivitas Hidrolis (Jong dan Yeong, 1999)

Konduktivitas Hidrolis	
Rentang	Rating
1 – 100	1
100 – 300	2
300 – 700	4
700 – 1000	6
1000 – 2000	8
> 2000	10

(Sumber : Aller et al., 1987)

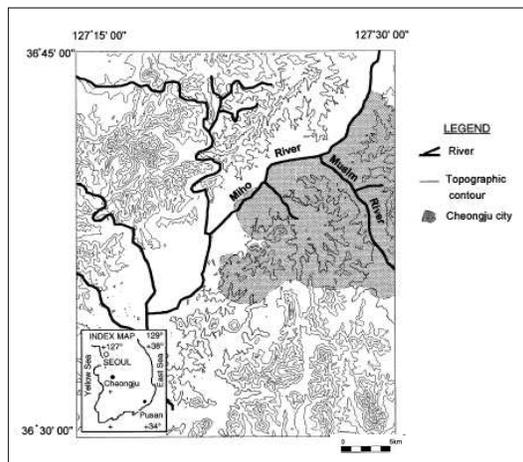
Dari tabel-tabel pengkelasan di atas dapat dihitung atau dinilai indeks DRASTIC, yaitu dengan persamaan :

$$DI = D_R \cdot D_W + R_R \cdot R_W + A_R \cdot A_W + S_R \cdot S_W + T_R \cdot T_W + I_R \cdot I_W + C_R \cdot C_W$$

Dengan koefisien R adalah rating dan W adalah angka beban, D adalah kedalaman muka airtanah, R adalah jumlah recharge, A adalah media akuifer, S adalah media tanah, T adalah kemiringan topografi, I adalah pengaruh media vadose-zone, dan C adalah daya konduktivitas hidrolis. Semakin tinggi angka indeks DRASTIC, semakin tinggi pula potensi kontaminasi airtanah (Jong dan Yeong, 1999).

Studi Kasus Zona Kerentanan Airtanah Dengan Metode DRASTIC Pada Daerah Cheongju, Korea Selatan.

Kota Cheongju merupakan salah satu pusat industri di Korea Selatan yang terletak di tengah-tengah daerah selatan dari Korea Selatan. Kota Cheongju terletak pada garis bujur 127° 15' BT– 127° 30' BT dan terletak pada garis lintang 36° 30' LU – 36° 45' LU. Kota Cheongju mempunyai luas sebesar 570 km². Pada kota ini mengalir Sungai Miho dimana sungai tersebut mengalir kearah baratdaya di sepanjang bagian tengah area penelitian. Sungai Musim, anak Sungai Miho, mengalir ke arah barat laut melalui Kota Cheongju di bagian timur area penelitian. Lokasi diperlihatkan pada gambar 4.1 (Jong dan Yeong, 1999).



Gambar 4.1 Peta lokasi penelitian zona kerentanan airtanah (Jong dan Yeong, 1999)

Menurut badan meteorologi Korea Selatan, rata-rata curah hujan tahunan selama 1986-1992 adalah 1224 mm, dimana 70% jatuh sepanjang musim hujan, dari Juni hingga September. Rata-rata temperatur tahunan selama 1986-1992 adalah 12,60 C dengan temperatur terendah -2,850 C pada bulan Januari dan tertinggi 25,40 C di bulan Agustus. Pengukuran runoff telah dibuat oleh Water Resources Corporation Korea.

Faktor hidrogeologi di area penelitian diperoleh dari penelitian lapangan dan laboratorium, peta hidrogeologi Provinsi Chungcheong-puk-Do (*Agricultural Development Corporation*, 1983-1991 dalam Yeong

dan Jong, 1999), dan peta geologi Cheongju (Kwon dan Jin, 1974 dalam Jong dan Yeong, 1999).

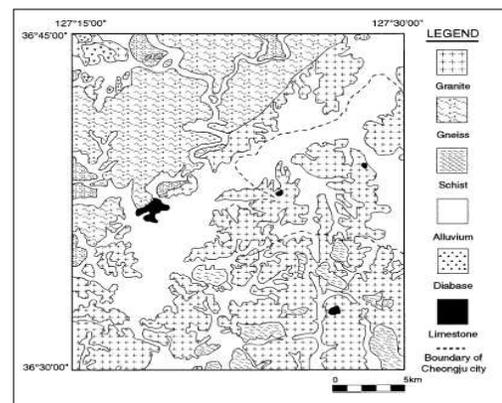
Data dan Pengkelasan

1. Tataran Hidrogeologi

Akuifer utama pada area antara lain granit (biotit, granit dan granit porfiritik), schist, gneiss (terutama gneiss biotit), dan alluvium. Kondisi geologi ditunjukkan pada gambar 4.2. Granit membentuk akuifer utama bagian tengah dan bagian tenggara area penelitian, gneiss di bagian barat laut, schist di bagian barat laut dan tenggara, dan alluvium di lembah Sungai Miho.

Daya konduktivitas hidrolis, yang bergantung pada tipe batuan dan tingkat kerusakan, antara 4,6 x 10⁻⁵ hingga 3,2 x 10⁻⁴ m/s pada granit, 1 x 10⁻⁴ sampai 4,6 x 10⁻⁴ m/s pada gneiss dan schist, serta sekitar 1 x 10⁻³ m/s pada alluvium. Berdasarkan data pengeboran dan inventori sumur, kedalaman airtanah berkisar antara 10-20 meter namun kedalaman setempat hanya 2,5 meter.

Uraian tentang media vadose-zone dan nilai-nilai dari daya konduktivitas hidrolis diperoleh dari 414 data log sumur di peta hidrogeologi Provinsi Chungcheong-Puk-Do (*Agricultural Development Corporation*, 1983–1991 dalam Jong dan Yeong, 1999). Nilai atribut data sumur dicatat pada peta dengan koordinat *Transverse Mercator* (TM). *Rating* daya konduktivitas hidrolis pada area penelitian berkisar antara 4–8 (Tabel 4.8), kedalaman airtanah pada 0–1,5 meter diberikan *rating* 10, sedangkan kedalaman lebih dari 30 meter diberikan *rating* 1 (Tabel 4.2). *Rating* media akuifer pada area penelitian berkisar antara 3–8 (Tabel 4.4). *Rating* alluvium adalah 8, dan berkurang untuk *gneiss*, *schist*, dan granit. *Rating* media *vadose-zone* di area penelitian berkisar antara 1–5 (Tabel 4.7).



Gambar 4.2 Peta geologi daerah penelitian (Kwon dan Jin, 1974 dalam Jong dan Yeong, 1999)

2. Media Tanah

Berdasarkan peta tanah (Jong dan Yeong, 1999), material tanah di daerah Cheongju dibagi menjadi 5 macam, yaitu:

- Kerikil dan campuran antara pasir-kerikil (GP).
- Pasir dan kerikil berpasir (SP).
- Pasir kelanauan dan campuran antara pasir dan lanau (SM).
- Pasir kelepungan dan campuran pasir-tanah liat (SC).
- Lanau anorganik dan pasir yang sangat bagus, dan pasir kelanauan atau kelepungan dengan sedikit kekenyalan (ML).

Rating tertinggi adalah tipe GP, dan berkurang untuk tipe yang lain (Tabel 4.5). Untuk tipe SM dan SC yang terbentuk dari granit dan *gneiss* adalah tipe paling dominan. Alluvium ada di tipe GP. *Rating* untuk faktor media tanah pada area penelitian berkisar antara 9 – 10 (Tabel 4.5).

3. Kemiringan Topografi

Kemiringan topografi dihitung dari pengukuran DEM (*Digital Elevation Model*) pada peta berskala 1: 25.000. *Rating* untuk faktor kemiringan topografi di area penelitian berkisar antara 1 – 5 (Tabel 4.6). Semakin curam kemiringan topografi, semakin sulit kontaminasi masuk, oleh karena itu topografi diberikan *rating* rendah.

4. Jumlah recharge (*net recharge*)

Jumlah *recharge* adalah infiltrasi efektif airtanah kedalam aquifer, dan perbedaan antara total endapan dan jumlah pengikisan oleh aliran langsung dan evapotranspirasi efektif. Nilai *net recharge* ditentukan dengan metode *Soil Conservation Service* (SCS) (Morel-Seytoux dan Verdin, 1981 dalam Jong dan Yeong, 1999) dan data hidrologi (evapotranspirasi dan aliran). Evapotranspirasi efektif sebesar 568 mm dihitung dengan rumus Turc (Viessman et al., 1989 dalam Jong dan Yeong, 1999).

Tabel 4.9 *Rating net recharge* untuk tataguna lahan area Cheongju, berdasarkan Rasio Potensial *Runoff* (Jong dan Yeong, 1999)

RPR (%)	<i>Runoff</i>	Area (%)	Tataguna lahan	<i>Rating</i>
0 – 15	Rendah	62,5	Hutan dan lahan pertanian	5
15 – 25	Menengah	28,2	Alluvium dan lahan gundul	4
25 – 30	Tinggi	3,2	<i>Channel deposit</i>	2
> 30	Sangat tinggi	6,3	Badan air	1

Total *actual runoff* dihitung 148,3 mm, sama dengan 14,9 % dari jumlah curah hujan tahunan (990,1 mm) pada 1992. Dengan evapotranspirasi efektif (*ETR*) di daerah penelitian selama 1992 (568 mm), presipitasi tahunan (*P*) (990,1 mm), dan jumlah *actual runoff* (*Q*) (148,3 mm), nilai *net recharge* dihitung sebesar 274 mm. Namun nilai ini tidak digunakan untuk menentukan *rating net-recharge* kategori penggunaan lahan, karena nilai ini merupakan nilai untuk keseluruhan daerah penelitian. Tabel 4.9 menunjukkan *rating net recharge* berdasarkan nilai *RPR*. Pada tabel 4.9, hutan dan lahan pertanian diberikan *rating* 5, dan badan air diberikan *rating* 1.

Hasil

Nilai Indeks DRASTIC (DI) untuk mengevaluasi kerentanan pencemaran di daerah Cheongju dihitung dengan persamaan 4.1, kemudian ditempatkan pada *layer* GIS faktor DRASTIC (Tabel 4.1) pada Sistem Informasi Geologi Lingkungan (*Environmental Geologic Information System/EGIS*).

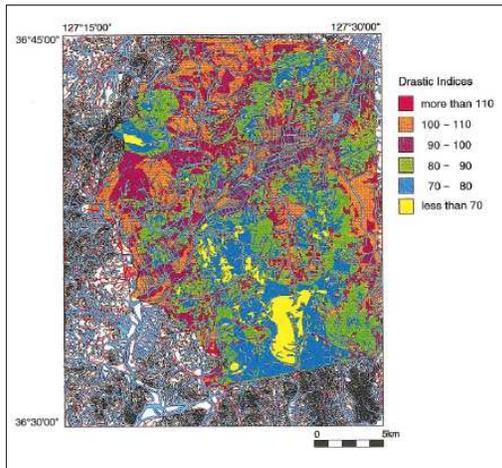
Nilai DI berkisar antara 45–123 dan dikelompokkan menjadi enam yang menggambarkan kisaran nilai kerentanan pencemaran airtanah. Hasil terangkum pada tabel 4.10. Data pada enam kategori kemudian dimasukkan pada peta daerah, seperti ditunjukkan pada gambar 4.3. Semakin tinggi nilai DI, semakin rentan kontaminasi airtanah.

Peta kerentanan airtanah menunjukkan bahwa daerah *recharge* utama di bagian selatan daerah penelitian kurang rentan kontaminasi airtanah bila dibandingkan dengan daerah *discharge* di sekitar Kota Cheongju, yang berpotensi kontaminasi tinggi.

Daerah di sekitar Sungai Miho dan Musim memiliki nilai DI tinggi dikarenakan kedangkalan air, rata-rata *net recharge* yang tinggi, dan daya konduktivitas hidrolis material tanah yang tinggi. Sebaliknya, bagian selatan daerah penelitian memiliki nilai DI rendah, karena kedalaman air, rendahnya daya konduksi hidrolis akuifer tepi, dan tingkat kecuraman yang tinggi. Ketujuh kategori penggunaan lahan (lahan kosong, perairan, hutan, lahan pertanian, alluvium, *channel deposit*, dan daerah pemukiman) memiliki potensi pencemaran airtanah yang beragam. Nilai *net recharge* perairan, *channel deposit*, dan daerah pemukiman lebih rendah dari hutan, lahan pertanian, lahan kosong, dan alluvium. Meskipun daerah pemukiman memiliki *rating net recharge* rendah, namun daerah tersebut rentan kontaminasi airtanah karena banyaknya sumber pencemaran yang ada.

Tabel 4.10 Zona Kerentanan Airtanah Terhadap Kontaminasi Pada Daerah Cheongju, Korea Selatan Berdasarkan Nilai Indeks DRASTIC (Jong dan Yeong, 1999)

Indeks DRASTIC	Tingkat kerentanan	Area (%)	Rentang
> 110	Tinggi	2	Maks : 123 Min : 45
100 – 110		22	
90 – 100	Menengah	29	
80 – 90		27	
70 – 80	Rendah	17	
< 70		3	
Total		100	



Gambar 4.3 Peta zona kerentanan airtanah terhadap kontaminasi, Kota Cheongju, Korea Selatan (Jong dan Yeong, 1999)

Pembahasan

Kerentanan airtanah terhadap kontaminasi airtanah tepi dangkal lebih besar bila dibandingkan dengan airtanah tepi dalam. Banyak komunitas perkotaan di Korea Selatan terletak pada alluvium dan lapisan tanah yang menyediakan jumlah airtanah yang banyak untuk kepentingan industri dan rumah tangga.

Peningkatan pencemaran, penurunan kualitas dan kuantitas airtanah menjadi masalah terbesar di Korea Selatan. Oleh karena itu, sangatlah penting menentukan tingkat kerentanan kontaminasi berdasarkan faktor hidrogeologi. Kerentanan kontaminasi airtanah di Kota Cheongju sangat tinggi seiring dengan tingginya populasi dan banyaknya pabrik. Kebanyakan sumur produksi di kota berada di lapisan alluvium dan zona kerusakan batuan kristal (granit, gneiss, dan schist) yang rentan terhadap kontaminan.

Model DRASTIC digunakan untuk menilai potensi pencemaran airtanah di daerah Cheongju, Korea Selatan. Potensi kontaminasi diperlihatkan dengan

tingginya nilai DI, yaitu di sepanjang Sungai Miho dan Musim, karena kedangkalan air, tingginya nilai *net recharge*, dan kekasaran material permukaan dan bawah permukaan. Sebagai perbandingan, kebanyakan daerah bagian selatan daerah penelitian yang memiliki lapisan batuan kristal (granit), ditunjukkan dengan rendahnya nilai DI, karena kurangnya sumber pencemaran, kedalaman air, dan rendahnya daya konduktivitas hidrolis akuifer tepi.

Model DRASTIC dapat menjadi alat yang berguna untuk mengenali daerah yang rentan terhadap pencemaran, meskipun tidak dapat menunjukkan karakteristik masing-masing zat pencemar. Model ini juga tidak sepenuhnya seimbang, karena perbedaan kerapatan data masukan dari daerah perkotaan dan pedesaan. Peta kerentanan harus membantu perencanaan pembangunan untuk menunjukkan daerah berpotensi pencemaran tinggi sebagai langkah awal perencanaan perlindungan airtanah untuk persediaan air dan pembangunan ekonomi di masa yang akan datang. Teknik DRASTIC dapat menyediakan data penting bagi konservasi dan pengelolaan sumber air dalam mengembangkan kebijakan lingkungan di Korea Selatan.

Kesimpulan

1. Siklus hidrologi merupakan proses dimana airtanah terkontaminasi oleh zat pencemar atau limbah dimana prosesnya yaitu air hujan menjadi air permukaan kemudian mengalami kontaminasi kemudian air yang terkontaminasi mengalami infiltrasi atau meresap kedalam tanah kemudian mencemari airtanah.
2. Kerentanan airtanah merupakan suatu keadaan atau tingkat ketahanan airtanah terhadap berbagai macam dan sumber kontaminan atau pencemar dimana dipengaruhi oleh keadaan hidrogeologi yang ada.
3. Dasar atau pengetahuan yang diperlukan dalam pemodelan kerentanan airtanah adalah pemahaman tentang sistem hidrogeologi yang ada, yaitu system serta faktor pengontrol aliran airtanah serta pemahaman tentang sistem geokimia airtanah, baik karakteristik kontaminan kimia kontaminan maupun pergerakannya dalam air tanah.
4. Aliran dalam kondisi tidak jenuh yang terjadi pada zona aerasi menjadi penting, karena dalam zona tersebut terjadi reaksi intensif antara kontaminan atau pencemar dengan partikel tanah.
5. Metode DRASTIC merupakan salah satu metode zonasi atau pemetaan kerentanan airtanah terhadap kontaminan, dimana parameter hidrogeologi yang digunakan dalam penilaian adalah kedalaman muka airtanah, jumlah *recharge*, media akuifer, media tanah, topografi, media pada zona

tak jenuh air, serta nilai konduktivitas hidro-
lisnya.

6. Parameter hidrologi dari metode DRASTIC dilakukan penilaian, yaitu pembobotan dan pengkelasan, kemudian dilakukan perhitungan indeks DRASTIC dari parameter tersebut.
7. Pada daerah Cheongju, Korea Selatan mempunyai indeks DRASTIC dari 43 – 123, dengan pembagian tingkat kerentanan, yaitu rentan tinggi (>100), rentan menengah (70 – 100) dan rentan rendah (<70).

Daftar Pustaka

1. Harter, T., 2001, *Assessing Vulnerability of Groundwater*, California. [online akses 7 November 2007]. URL: http://groundwater.ucdavis.edu/Publications/HarterUCD_DHS_14_Vulnerability_Assessment_draft.pdf
2. Jong, Y.K. & Yeong S.H., 1999, *Assessment of The Potential for Groundwater Contamination Using the DRASTIC/EGIS Technique, Cheongju Area, South Korea, Hydrogeology Journal (1999)*. [online akses 7 November 2007]. URL : http://pubs.usgs.gov/circ/2002/circ1224/pdf/circ1224_ver1.01.pdf
3. Notodarmojo, S., 2004, *Pencemaran Tanah dan Airtanah*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
4. Piscopo, G., 2001, *Groundwater Vulnerability Map Explanatory Notes*. [online akses 7 November 2007]. URL: http://www.waterwise.nsw.gov.au/water/pdf/lachlan_map_notes.pdf
5. Reilly, T.E. et al., 2002, *Assessing Groundwater Vulnerability to Contamination: Providing Scientifically Defensible Information for Decision Maker*. [online akses 7 November 2007]. URL: http://pubs.usgs.gov/circ/2002/circ1224/pdf/frtMF2_120602.pdf
6. Soemarto, C.D., 1999, *Hidrologi Teknik Edisi 2*, Erlangga, Jakarta.
7. Suharyadi, 1984, *Geohidrologi*, Jurusan Teknik Geologi FT Universitas Gajah Mada, Yogyakarta

