

ZONA PROTEKSI AIRTANAH

Thomas Triadi Putranto *), Yoga Aribowo **)

Abstract

To keep groundwater as a water reserve for public demand, water resource must be protected from any activities that influence water quality. Groundwater Protection Zone (GPZ) can protect some contaminants and organisms that might be danger or undanger to human healthy when they influent to groundwater. GPZ divided into 3 zones. GPZ 1 presents 10 -15 m width from water resource. GPZ 2 is calculated by Random Walk Method. GPZ 3 is depend on catchment area of water resource.

Keywords : groundwater protection zone, contaminant, catchment area

Pendahuluan

Semakin pesatnya perkembangan dan kesejahteraan penduduk dan majunya teknologi, maka kebutuhan air yang berkualitas tinggi juga bertambah besar dari tahun ke tahun, sehingga terjadi persaingan untuk mendapatkan air. Airtanah yang dipandang sebagai salah satu sumber air bersih yang sangat potensial untuk dikembangkan menjadi sangat penting artinya bagi kehidupan manusia. Di lain pihak, terdapat kecenderungan terus menurunnya kualitas air karena meningkatnya pencemaran air oleh buangan pemukiman, industri, pertambangan, intensifikasi pertanian serta meningkatnya kegiatan pariwisata dan pelayaran.

Sebagai sumber air bersih yang utama, bukan berarti bahwa airtanah dapat dieksploitasi terus menerus namun dalam pemanfaatannya harus dilakukan secara optimal, dengan memperhatikan urutan pemakaian dan menjaga keseimbangan serta pelestariannya. Airtanah di kota-kota besar telah banyak tercemar oleh bahan organik, detergen dan nitrat. Pengambilan airtanah secara besar-besaran telah mengakibatkan penyusutan air asin seperti yang terjadi di Medan, Jakarta, Cilegon, pantai utara Jawa Barat, pantai utara Jawa Tengah, Semarang dan Denpasar (Soekardi, 1990).

Daerah industri, pemukiman dan pertanian mempengaruhi sifat hidrolika dan hidrokimia airtanah. Untuk menjaga kualitas airtanah agar tetap dapat digunakan sebagai sumber air bagi masyarakat, maka sumber air tersebut harus diproteksi atau dilindungi dari proses pencemaran. Pemberlakuan zona-zona proteksi airtanah merupakan langkah awal perlindungan terhadap kualitas sumber air minum dari kegiatan manusia itu sendiri.

Zona Proteksi Airtanah

Hampir semua kegiatan manusia mempengaruhi lingkungan di sekitarnya. Daerah industri, pemukiman maupun pertanian mempengaruhi sifat hidrolika dan hidrokimia airtanah. Untuk menjaga kualitas airtanah agar tetap dipergunakan sebagai sumber air dalam hal ini sumur untuk air minum bagi masyarakat, maka sumber air tersebut haruslah diproteksi atau dilindungi dari proses pencemaran (Hendrayana & Putra, 1998). Selain itu dalam DVGW 1995, disebutkan beberapa tujuan mengapa airtanah yang sangat berguna bagi pemenuhan kebutuhan masyarakat akan air dan jika dimungkinkan untuk meningkatkan kualitas airtanah harus diproteksi yakni :

1. mencegah kontaminasi oleh zat-zat dan organisme yang membahayakan kesehatan manusia
2. mencegah kontaminasi oleh zat-zat dan organisme yang tidak membahayakan kesehatan manusia tetapi mungkin memberikan dampak terhadap kualitas airtanah
3. dan untuk mencegah perubahan temperatur dari airtanah

Oleh sebab itu, pemberlakuan zona-zona proteksi airtanah merupakan langkah awal perlindungan terhadap sumber air minum dari kegiatan masyarakat itu sendiri. Selanjutnya dapat ditentukan tindakan-tindakan yang harus dilakukan terhadap tata guna lahan yang ada dalam zona proteksi untuk mewujudkan perlindungan terhadap sumber air minum tersebut (Hendrayana & Putra, 1998).

Dasar Teori Zone Proteksi Airtanah

Penentuan zona proteksi airtanah (ZPA) didasarkan pada faktor-faktor kesehatan dan biologi. Lossen, 1988, menyatakan di negara-negara Barat secara umum diberlakukan tiga ZPA, yaitu :

1. Zona Proteksi I :
mewakili area terdekat di sekitar sumur dengan radius 10–15 m dari sumur.
2. Zona Proteksi II :
merupakan zona proteksi yang ditujukan untuk melindungi sumur dari bahaya pencemaran bakteriologi. Umumnya bakteri coli tidak dapat hidup lebih dari 50 hari di dalam akuifer. Oleh karena itu periode 50 hari dapat menentukan luas atau radius zona proteksi II.
3. Zona Proteksi III :
ditentukan berdasarkan luas penyebaran *Catchment area* dari lokasi sumur tersebut berada.

Apabila diperlukan, ZP III dapat dibagi dalam dua zone yakni Zone III A dan III B. Untuk ZP III pada akuifer batuan yang *porous* dan batuan yang retak/*fissured rock* dengan karakteristik yang sama dengan karakteristik pada akuifer batuan *porous* dapat dibedakan dengan akuifer pada kars dan akuifer batuan yang retak/*fissured rock* yang memiliki karakteristik sama dengan akuifer kars karena mempunyai perbedaan karakteristik (dalam DVGW, 1995).

Untuk akuifer batuan yang *porous* dengan kecepatan aliran air 10 m/hari atau kurang, batas antara zona III A dan III B diletakkan kira-kira 2 km ke hulu dari sumur. Jika kecepatan air lebih tinggi, batas di antara zona III A dan III B diletakkan lebih jauh lagi dari sumur. Pada akuifer yang tidak terputus, permeabilitas kecil dan ketebalan 5-8 m dengan kecepatan aliran lebih dari 10 m/hari dapat diklasifikasikan dalam zone III B, tetapi jarak dari batas zone III B ke sumur harus kurang dari 1 km dan waktu yang dikehendaki untuk mengalirnya air dari zona B ke sumur tidak boleh kurang dari 50 hari.

Untuk akuifer kars maupun batuan yang banyak retakan/*fissured rock* dengan karakteristik yang sama dengan karakteristik akuifer kars, zone III tidak dapat dibagi apabila waktu yang dibutuhkan airtanah dari seluruh *catchment area* untuk mengalir menuju ke sumur kurang dari 50 hari karena area tersebut sudah masuk dalam klasifikasi ZPA II. Pembagian ZPA III dapat dilakukan apabila akuifer tertutup oleh batuan yang menerus / *continuous* (tidak ada struktur patahan), tebal dan tingkat permeabilitas yang rendah.

Lossen (1988) menyatakan penentuan ZP II dapat dihitung dengan menggunakan rumus kecepatan aliran airtanah pada suatu sumur :

$$V_a = k_f \times J / nsp$$

dengan :

V_a = kecepatan aliran airtanah semu (m/det)

k_f = permeabilitas (m/det)

J = kemiringan muka airtanah atau gradien hidrolika (-)

nsp = porositas efektif (-)

Penentuan jarak tempuh 50 hari dapat ditentukan dengan perhitungan di bawah ini :

$$X_{50} = V_a \times 50 \times 86400 \text{ (m)}$$

Pada jarak tempuh ini nilai permeabilitas, kemiringan muka airtanah dan porositas efektif dianggap konstan.

Cara lain yang lebih sederhana untuk menentukan batas jarak 50 hari adalah dengan "Formula Silinder", yaitu sebagai berikut :

$$R_{50} = Q_{50} \times (\pi \times M \times nsp)^{-0.5}$$

dengan :

R_{50} = jarak tempuh 50 hari (m)

Q_{50} = debit pemompaan airtanah untuk 50 hari (m³)

M = ketebalan akuifer (m)

nsp = porositas efektif (-)

Kedua perhitungan di atas hanya memperhatikan *transport convective* pada airtanah. Transport konveksi adalah suatu proses migrasi yang paling dominan yang disebabkan oleh gerakan *bulk* massa yang tertansportasi di dalam suatu sistem aliran di bawah permukaan tanah. Langguth dan Voight (1980) dalam Lossen 1988 mengusulkan nilai ganda dari kecepatan aliran airtanah semu untuk memperhitungkan efek dispersi pada proses transportasi massa dalam airtanah.

Di beberapa negara lain jarak tempuh batas zona proteksi airtanah II adalah

60 hari, bukan 50 hari seperti yang telah dijelaskan di atas. Perbedaan jarak tempuh untuk zona II ini disebabkan oleh kondisi akuifer setempat dan aspek-aspek yang menentukan harga retardasi/penghambatan pergerakan kontaminan dalam airtanah (Hendrayana & Putra, 1998). Faktor retardasi tergantung pada jenis *colloid* yang ada dalam kontaminan, kedalaman dan *Total Dissolved Solids* (TDS) (Harvey et al, 1993).

Sedangkan Lossen 1988 menyatakan zona proteksi III diwakili oleh *catchment area* airtanah yang dapat dihitung dengan rumus :

$$A_E = \frac{Q}{R}$$

dengan :

A_E = Luas area tangkapan air

Q = Rata - rata debit pemompaan air tanah

R = Rata-rata *recharge* airtanah

Metode Random Walk

Lossen (1988) menyatakan untuk menghitung jarak tempuh 50 hari yang merupakan batas zona proteksi II, diperlukan pemecahan masalah dengan metode numerik. Area penelitian dideskripsikan menjadi titik-titik nodal yang berbentuk kuadran. Pada gambar 1 dijelaskan struktur dari titik nodal dan kondisi batas setiap segmen akuifer.

Proses perhitungan jarak tempuh 50 hari dapat dibagi menjadi 3 tahapan :

1. Tahap perhitungan potensial air tanah pada setiap titik nodal muka airtanah harus diperhitungkan sehingga akan didapatkan n-titik nodal, n-perhitungan dengan n-nilai yang tidak diketahui.
2. Tahap perhitungan kecepatan air tanah dengan menggunakan hukum Darcy dan data muka airtanah serta permeabilitas, kecepatan

aliran airtanah semu dapat dihitung. Oleh karena itu area pengganti dari suatu titik nodal dibagi menjadi 4 kuadran (lihat gbr 2). Pada keempat kuadran tersebut kecepatan aliran airtanah dan permeabilitas konstan. Kecepatan Darcy dihitung dengan cara di bawah ini :

Kuadran I :

$$V_{ix} = kf \times (h_2-h_0)/x \quad V_{iy} = kf \times (h_1-h_0)/y$$

Kuadran II :

$$V_{ix} = kf \times (h_2-h_0)/x \quad V_{iy} = kf \times (h_3-h_0)/y$$

Kuadran III :

$$V_{ix} = kf \times (h_4-h_0)/x \quad V_{iy} = kf \times (h_3-h_0)/y$$

Kuadran IV :

$$V_{ix} = kf \times (h_4-h_0)/x \quad V_{iy} = kf \times (h_1-h_0)/y$$

kf = permeabilitas (m/s)

h_4-h_0 = perbedaan pucuk air di dua ujung material (*head loss*)

x,y = panjang lintasan

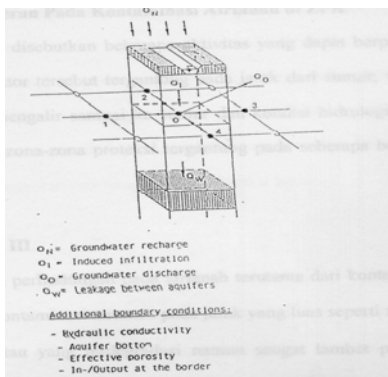
Kecepatan aliran airtanah semu dapat dihitung dengan :

$$V_a = Vf/nsp$$

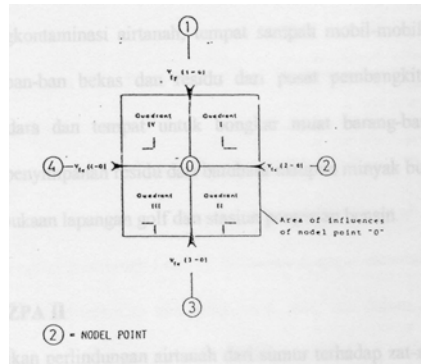
V_a = kecepatan aliran airtanah semu

Vf = kecepatan Darcy

nsp = porositas efektif



Gambar 1.
Kondisi batas pada model aliran airtanah (Lossen 1998)



Gambar 2.
Perhitungan kecepatan aliran airtanah semua pada suatu titik nodal (Lossen 1998)

3. Tahap perhitungan pengaruh Dispersi. Dispersi dimodelisasi dengan pergeseran partikel secara *convective* dengan pergerakan random yang memenuhi properti statistik dan berpengaruh terhadap properti dari proses dispersi. Efek dispersi pada proses transportasi massa dalam airtanah dihitung dengan menggunakan nilai ganda dari kecepatan aliran airtanah semu. Posisi partikel setelah mengalami transport pada suatu jarak tertentu dapat dihitung dengan :

$$2 V_a = 2 V_{ao} + (\Delta \cdot t)$$

$$2 V_a - 2 V_{ao} = (\Delta \cdot t)$$

$$X = 2 V_{ao} \cdot t + 0,5 ((\Delta \cdot t^2))$$

$$X = 2 V_{ao} \cdot t + 0,5 ((2 V_a - 2 V_{ao}) \cdot t)$$

X = posisi partikel pada waktu (t) tertentu

$2V_a$ = kecepatan aliran airtanah semu ganda pada t tertentu (m/hari)

$2V_{ao}$ = kecepatan aliran airtanah semu ganda awal

t = waktu (hari)

Δ = variabel perubahan kecepatan

Aktivitas Yang Berperan Pada Kontaminasi Airtanah di ZPA

Dalam DVGW 1995, disebutkan beberapa aktivitas yang dapat berperan dalam kontaminasi airtanah dan faktor tersebut tergantung pada jarak dari sumur, waktu yang dibutuhkan oleh air untuk mengalir sampai ke sumur dan kondisi hidrologi serta yang perlu untuk diasingkan dari zona-zona proteksi tergantung pada seberapa besar bahaya yang timbul.

Aktivitas Pada ZPA III

ZPA III memberikan perlindungan pada airtanah terutama dari kontaminasi oleh zat-zat yang mampu mengkontaminasi airtanah pada jarak yang luas seperti zat-zat kimia yang tidak terdegradasi atau yang terdegradasi namun sangat lambat pada kawasan industri yang memproduksi, menggunakan dan menyimpan zat-zat tersebut seperti tempat pengolahan gula, minyak, besi baja, pengolahan non logam, serta tempat-tempat yang menyimpan material-material radioaktif. Kemudian saluran pipa yang mengalirkan fluida yang dapat mengkontaminasi airtanah, tempat sampah mobil-mobil yang sama sekali rusak maupun ban-ban bekas dan residu dari pusat pembangkit listrik dan pembakaran, bandar udara dan tempat untuk bongkar muat barang-barang seperti pangkalan truk, tempat penyimpanan residu dari batubara maupun minyak bumi, tempat latihan militer & pembukaan lapangan golf dan stasiun pengisian bensin.

Aktivitas Pada ZPA II

ZPA II memberikan perlindungan air tanah dari sumur terhadap zat-zat patogenik seperti bakteri, virus, parasit dan telur cacing maupun dari zat-zat lain yang mengkontaminasi airtanah karena jarak yang dekat dengan sumur atau waktu yang singkat yang dibutuhkan oleh air untuk mengalir ke

sumur. Aktivitas yang berperan terhadap kontaminasi ZPA II adalah aktivitas pada ZPA III, penggunaan rabuk, pestisida dan nitrat yang berlebihan, infiltrasi air permukaan yang membawa zat pencemar, pembuangan kotoran manusia maupun deterjen ke dalam sungai, selokan maupun septic tank yang tidak layak dan pengembangan bangunan/ konstruksi baru.

Aktivitas Pada ZPA I

ZPA I memberikan perlindungan air tanah di sumur dari berbagai macam kontaminan dan bahaya lainnya yang dapat mempengaruhi kualitas airtanah. Beberapa aktivitas yang berbahaya dan yang dilarang pada zona I adalah aktivitas dan beberapa tempat/fasilitas yang ada pada zona II dan III serta adanya infiltrasi air dari saluran buangan/drainasi jalan, pemakaman pada kuburan serta kegiatan apapun yang dapat mempengaruhi kualitas airtanah.

Tahap-tahap penentuan ZPA adalah sebagai berikut :

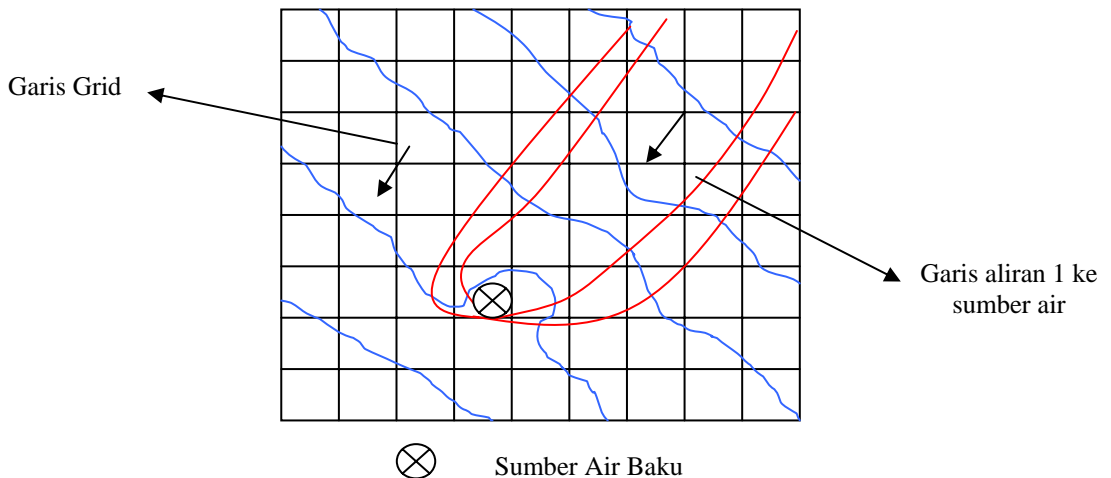
1. Tahap Lapangan
Merupakan pekerjaan dasar untuk menentukan batas-batas zona proteksi sumber air baku. Jika peta dasar area sumber air baku belum ada, langkah pertama tahap ini adalah pembuatan peta dasar area sekitar sumber air baku (SAB).
2. Observasi kondisi hidrogeologi area sumber air baku
Pengamatan secara langsung kondisi geologi dan hidrologi di lapangan yang terdiri dari dua aspek utama, yaitu :
 - A. Observasi kondisi hidrogeologi
Pengamatan dilakukan untuk menentukan parameter-parameter hidrogeologi seperti perubahan konduktivitas hidrolika, perubahan nilai po-

rositas efektif, dan batas-batas aliran airtanah. Pencarian data debit sumur, atau pengukuran debit mata air tergantung dari mana sumber air baku diambil.

- B. Pemetaan muka airtanah
Bertujuan untuk mendapatkan gambaran arah aliran airtanah di sekitar area sumber air baku yang berupa Peta Arah Aliran Airtanah. Pengukuran yang dilakukan berupa pengukuran muka airtanah pada sumur-sumur dangkal, pengukuran *drawdown* sumur bor (jika SAB adalah sumur dalam), pengukuran muka air sungai.
3. Pemetaan Tata Guna Lahan Area Sekitar Sumber Air Baku
Bertujuan untuk memetakan tata guna lahan di sekitar sumber air baku, untuk menentukan rekomendasi larangan dan tindakan yang berkaitan dengan fungsi lahan,

yang harus diambil demi perlindungan sumber air baku. Pemetaan sebaiknya dilakukan seluas-luasnya, ke arah *upstream*/hulu harus lebih luas dibanding dengan ke arah *downstream*/hilir.

4. Tahap Analisa
Tahapan ini dilakukan untuk menentukan luas zona proteksi sumber air baku. Tahapan ini lebih dcondongkan untuk menghitung luas zona proteksi II, karena pada dasarnya zona I dan zona III batasannya jelas yaitu radius 10 – 15 m dari SAB untuk zona I dan *Catchment Area* untuk zona III.
5. Diskretisasi Peta
Peta aliran airtanah, dibagi-bagi menurut luasan yang sama dengan grid yang seragam kemudian plotkan arah aliran airtanah dan garis aliran airtanah yang menuju SAB (Lihat gambar 3).



Gambar 3. Diskretisasi Peta

Kemudian pilih aliran airtanah yang menuju ke sumber air baku. Misal pilih garis aliran 1. Tentukan nilai muka airtanah untuk setiap

perpotongan antara garis grid dengan garis aliran airtanah.

6. Perhitungan kecepatan aliran airtanah

Menghitung nilai kecepatan aliran airtanah semu untuk setiap titik perpotongan tersebut dengan rumus :

$$V_a = k_f \times J / nsp$$

dengan :

V_a = kecepatan aliran airtanah semu (m/det)

k_f = permeabilitas (m/det)

J = kemiringan muka air tanah atau gradien hidrolika (-)

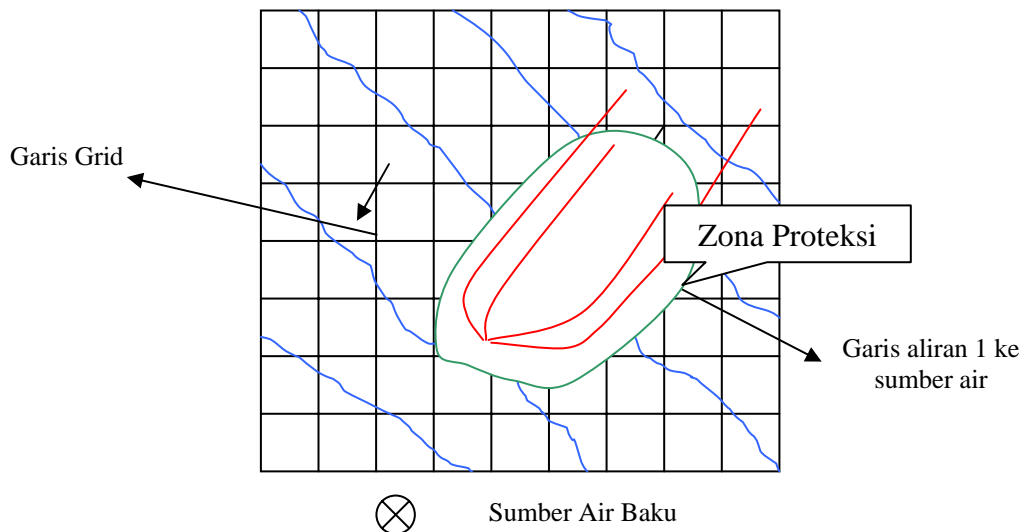
nsp = porositas efektif (-)

7. Perhitungan travel time aliran airtanah

Pengukuran jarak tempuh aliran airtanah (garis aliran 1) untuk

setiap perubahan kecepatan pada titik perpotongan. Travel time dihitung dengan membagi jarak tempuh dengan perubahan kecepatan

8. Untuk pembuatan Zonasi Travel Time aliran airtanah untuk $t = 50$ atau 60 hari dengan menghubungkan titik-titik travel time pada setiap garis aliran yang menunjukkan $t = 50$ atau 60 hari (lihat gambar 4). Pekerjaan zonasi ini dapat dilakukan melalui program komputer yang telah ada seperti flowpath, modflow, GMS 2.1 dan lain-lain.



Gambar 4. Zonasi Travel Time Aliran Airtanah

Kesimpulan

Dalam kehidupan sehari-hari, manusia tidak akan terlepas dari kebutuhan akan air, baik untuk pencukupan kebutuhan sehari-hari seperti mandi, mencuci dan minum maupun untuk upaya pengembangan lingkungan hidup. Namun dengan semakin pesatnya perkem-

angunan dan kesejahteraan penduduk dan majunya teknologi, maka kebutuhan air khususnya airtanah yang berkualitas tinggi juga bertambah besar dari tahun ke tahun.

Untuk menjaga supaya kualitas air tanah tetap dapat dimanfaatkan sebagai

sumber air baku, maka dibuat suatu upaya yang bertujuan untuk melindungi/memproteksi sumber air (sumur bor) tersebut dari berbagai macam proses pencemaran oleh zat-zat dan organisme yang membahayakan kesehatan manusia. Penentuan Zona Proteksi Airtanah (ZPA) didasarkan pada faktor-faktor kesehatan dan biologis yakni ZPA I terletak 10–15 m dari sumber air (sumur), ZPA II untuk melindungi sumber air dari bahaya pencemaran bakteriologi dan ZPA III didasarkan pada luas penyebaran *catchment* area dari lokasi sumur berada. Kemudian dibuat implementasi tindak lanjut yang harus dilakukan untuk mewujudkan perlindungan terhadap sumber air baku tersebut.

DAAD-PAU ITB-RWTH
Aachen, Bandung.

5. Soekardi, 1990, *Kualitas Lingkungan di Indonesia*, Kantor Menteri Negara Kependudukan & Lingkungan Hidup, Jakarta.

Daftar Pustaka

1. Anonim, 1995, *Protective Areas Part 1 : Protective Areas for Groundwater*: DVGW Regelwerk, Bonn.
2. Harvey et al, 1993, *Role of Physical Heterogeneity in the Interpretation of Small-Scale Laboratory and Field Observations of Bacteria, Microbial-Sized Microsphere, and Bromide Transport Through Aquifer Sediments* : Water Resources Research, vol.29 No. 8, pages 2713-2721, American Geophysical Union.
3. Hendrayana, H. & Putra, D.P.E., 1998, *Penentuan Zona Proteksi Airtanah Pada Sumur Bor Bimomartani Sleman Dengan Metoda Random Walk* : Prosiding PIT IAGI XXVII, Yogyakarta.
4. Lossen, H., 1988, *Component of Groundwater Pollutant Transport Particullary for Conservative Contamination* : Prosiding Seminar

6.