

KERENTANAN SISTEM AIR TANAH TERHADAP KONTAMINASI DAN APLIKASI ISOTOP ALAM NITROGEN-15 DAN SULFUR-34

E. Ristin Pujiindiyati

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi – Badan Tenaga Nuklir Nasional

Email: ristinpi@batan.go.id

ABSTRACT

The trend of decreasing groundwater quality recently becomes obvious due to increasing population, urbanization, industrialization and uses of chemicals in agricultural region that influences to a decrease in human health. Most studies of groundwater pollution solely concern to contaminant itself applying chemical parameters, while natural isotope tools is rarely applied. However, isotope methods can be utilized as an addition of chemical parameters to get more comprehensive information such as to define a source of among contaminant sources, geochemical reaction and microbial processes occurring in subsurface. The assessments of groundwater susceptibility toward contamination suffered in surface water can also be conducted through isotope approaches. It is necessary when developing, managing, exploiting and protecting these groundwater reservoir. Isotope of ^{15}N , for example, can distinguish the source of nitrate contamination in groundwater if it comes from manure, soil or NH_4NO_3 synthetic fertilizers. Denitrification process can also be recognized by combination of ^{15}N and ^{18}O isotopes in remaining nitrates. Isotopes of ^{34}S and ^{18}O in sulfates dissolved in groundwater can be used for tracing sea water intrusion, terrestrial evaporate dissolution, atmospheric contribution inherited from fossil fuels, leachate infiltration and sediment sulfide mixture.

Keywords: *groundwater, susceptibility, contamination, natural isotopes*

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan pokok bagi setiap kehidupan terutama adalah untuk kelangsungan hidup manusia. Ketika air telah tidak dapat lagi berfungsi sebagai air minum atau untuk memproses makanan lalu dengan apa lagi manusia meneruskan kehidupan. Semua berharap bahwa air yang tersedia di bumi dapat terus terjaga kualitasnya baik untuk kebutuhan sehari-hari manusia maupun untuk ketersediaan bahan pangan. Akan tetapi kecenderungan penurunan kualitas air, terutama air tanah, telah terjadi di

berbagai daerah yang diakibatkan oleh meningkatnya populasi manusia, urbanisasi, industrialisasi dan pemakaian bahan kimia di pertanian. Faktor-faktor ini menimbulkan peningkatan jumlah air yang dikonsumsi, kontaminasi air keluaran, kekurangan sumber daya air, penurunan muka air tanah dan pelepasan polutan. Pada akhirnya, kerusakan sistem air tanah ini akan mempengaruhi kualitas hidup manusia yang ditandai dengan menurunnya tingkat kesehatan seperti timbulnya penyakit kolera, desentri, penyakit kulit, muntaber dan lain-lain.

Air sangat penting untuk peningkatan pembangunan yang berkelanjutan karena air mendukung kehidupan manusia, menjaga kelangsungan ekosistem dan memastikan perkembangan ekonomi. Untuk itulah setiap negara berkomitmen dalam menyediakan air bersih bagi warganya seperti yang tertuang dalam Tujuan Pembangunan Milenium (Millennium Development Goal's MDG's). Salah satu butir dari delapan butir yang menjadi target pencapaian kesejahteraan masyarakat adalah mengurangi hingga separuh jumlah orang yang tidak memiliki akses air bersih pada akhir tahun 2015 [1]. Dalam skala global, saat ini sekitar 748 juta orang di dunia belum mempunyai akses terhadap sumber air minum yang layak. Kebutuhan air untuk industri manufaktur diperkirakan meningkat 400 persen antara tahun 2000 sampai 2050 secara global seperti yang dikatakan oleh Irina Bokova, Direktur Jenderal UNESCO [2]. Menurut laporan United Nations Environment Programme (UNEP), saat ini 450 juta manusia di 29 negara menderita kekurangan air dan, 2,4 juta orang tidak mempunyai akses pada fasilitas sanitari yang layak [3].

Dari laporan WHO (World Health Organization), korban manusia terutama anak-anak akibat penyakit yang berkaitan dengan kualitas air yang buruk adalah sekitar 2,2 juta orang setiap tahunnya. Ketersediaan air bersih akan terus mengalami penurunan apabila pengelolaan sumber daya air tidak dilakukan secara komprehensif. Pada 20 tahun mendatang, setiap orang di dunia diperkirakan akan mendapatkan 2/3 dari jumlah air yang diperoleh saat ini [1]. Pada saat ini kebutuhan minimal akan air bersih setiap orang rata-rata di Indonesia adalah 60 liter/hari atau 0.06 m³/hari [4]. Aquifer air tanah terutama air tanah dalam (*deep aquifer*) merupakan penyedia air bersih dan aman yang harus dijaga kelangsungannya. Akan tetapi, adanya kontaminasi pada air sungai, air permukaan dan air tanah dangkal menimbulkan kekhawatiran akan ikut tercemarnya sistem air tanah dalam. Di daerah perkotaan dengan industri dan tingkat populasi yang tinggi maka ikut

tercemarnya air tanah oleh pembuangan limbah adalah kejadian yang dimungkinkan. Pada kondisi hidrogeologi tertentu, air sungai atau air permukaan dapat menjadi media *input* polutan ke dalam sistem akuifer air tanah. Sekali polutan mencemari sistem akuifer air tanah maka akan sangat sulit bahkan mustahil untuk menghilangkannya. Saat ini diperkirakan sebanyak 2 juta ton limbah yang dibuang ke sungai setiap harinya yang berpotensi mencemari air tanah [5]. Kondisi ini mungkin dapat diwakili oleh Jakarta dimana pada tahun 2014, dari 13 sungai hanya ada 1 persen saja yang indeks pencemarannya masuk kategori baik. Sebanyak 99 persen sisanya termasuk dalam kategori tercemar ringan hingga berat [6].

Terjadinya krisis air bersih saat ini adalah bukan karena menyusutnya jumlah air, akan tetapi lebih disebabkan oleh kurang serius para pemegang otoritas dalam mengelola sumber daya air. Hal ini terlihat dari banyaknya pengguna sumur dalam (*deep well*) yang tidak terdaftar (ilegal). Di Jakarta jumlah sumur dalam hingga tahun 2010 mencapai 4.011 sumur dengan jumlah penyedotan air tanah sebesar 20 juta m³ per tahun [7]. Jumlah penyedotan air tanah di Jakarta terus mengalami peningkatan demikian juga jumlah sumur yang ilegal. Data Dinas Tata Air DKI Jakarta sepanjang Juli 2016, dari 4.432 sumur air tanah yang terdaftar, hanya 2.666 sumur yang pemakaian tanahnya tercatat [8].

Mekanisme penurunan kualitas air tanah yang disebabkan oleh kejadian alam ataupun karena kagiatan manusia (antropogenik) sangatlah penting diketahui. Ini untuk merumuskan strategi penanganannya, yakni umumnya pada pemahaman darimana sumber kontaminan dan bagaimana cara meminimalkannya. Dalam studi hidrologi, isotop alam dapat diterapkan dalam pengelolaan dan penilaian sumber daya air, juga dalam pemecahan masalah polusi air tanah. Informasi dari isotop alam juga dapat memberikan penilaian kepekaan atau kerentanan air tanah terhadap pencemaran yang terjadi pada air permukaan. Dalam penanganan masalah polusi air tanah, isotop alam juga dapat memberikan informasi asal atau sumber pencemar yang tidak dapat dijawab oleh parameter konvensional. Meskipun begitu, aplikasi isotop alam atau buatan bersama dengan studi hidrogeologi konvensional, hidrokimia dan model matematika dapat memberikan pemahaman yang lebih baik dalam pengembangan sumber daya air tanah.

RESERVOIR AIR TANAH DAN TANGGAPANNYA TERHADAP PENCEMARAN

Reservoir terbesar di bumi adalah berupa air tanah, lautan dan atmosfer. Umumnya, atmosfer dan air tanah merupakan tempat sementara bagi polutan sedangkan tempat akhir polutan adalah lautan. Air tanah merupakan sumber daya alam yang digunakan untuk irigasi, industri manufaktur dan pertanian, penghasil energi dan untuk kebutuhan domestik. Di daerah kering dan semi kering dengan karakteristik cekungan yang luas dan di daerah dengan kapasitas infiltrasi lebih tinggi daripada penghasil limpasan maka air tanah merupakan daya alam yang sangat berharga. Rata-rata distribusi air segar yang tersedia di bumi seperti terlihat pada Tabel 1, dimana air tanah adalah sumber air segar yang jumlahnya paling besar. Dengan membandingkan jumlah air tanah dengan rata-rata tahunan terlepasnya air dari benua (Tabel 1) dan mengasumsikan bahwa air yang terlepas (*discharge*) menyumbang kembali ke pengisian air tanah (*recharge*) maka minimum waktu penggantian air tanah adalah sekitar 180 tahun [9]. Perkiraan ini juga dengan asumsi bahwa semua air tanah berpartisipasi aktif dalam siklus air permukaan. Apabila kecepatan *recharge* air tanah lebih kecil, maka waktu penggantian air tanah akan menjadi lebih lama.

Tabel 1. Perkiraan jumlah air segar di bumi

Bentuk air segar	Persentase (%)	Jumlah (km ³)
Air tanah	96,3	8.000.000
Air danau	2,7	226.000
Kelembaban tanah	0,8	62.000
Kelembaban udara	0,2	15.000
Air sungai	0,01	1.000
Rata-rata tahunan terlepas dari benua		45.000

Dengan asumsi bahwa reservoir air tanah mempunyai kapasitas pengenceran yang luar biasa besar maka pengaruh polutan sejak dimulainya era industri tidak akan terlihat secara signifikan. Hal ini bisa benar untuk daerah-daerah tertentu akan tetapi umumnya asumsi tersebut tidak benar. Kenyataannya, air tanah menanggapi secara berbeda terhadap dampak polusi. Tanggapan itu bisa terlihat pada jangka pendek maupun jangka panjang setelah terjadinya pelepasan polutan. Penyebab perbedaan tanggapan tersebut tergantung pada:

1. Sifat hidrodinamik dan dilusi aquifer
2. Mekanisme transpor yang lebih disukai partikel
3. Intensitas sumber polusi
4. Aktifitas mikroba di dalam tanah
5. Tingkah laku kimia dan fisika polutan pada antarmuka padat-cair
6. Kecepatan aliran di atas tanah, antar aliran dan pengisian air tanah
7. Intensitas interkoneksi antara aquifer yang berbeda kedalaman

Semua parameter tersebut dan pengaruhnya pada polusi air tanah baik jangka pendek maupun jangka panjang harus menjadi pertimbangan untuk membuat strategi dalam pengelolaan air tanah. Air tanah dengan waktu tanggap yang pendek, umumnya mengikuti kejadian meteorik, sangatlah peka terhadap pencemaran yang terjadi pada permukaan tanah atau air permukaan. Proses peresapan air yang cepat akan meminimalkan waktu tinggal pencemar dalam tanah. Demikian juga, proses biodegradasi akan mengurangi kadar polutan dalam air tanah. Kepekaan yang kuat pada air tanah terhadap kejadian meteorik menandakan adanya suatu kondisi dengan sedikit atau bahkan tanpa perlindungan dari *aquitard* (formasi geologi yang permeabel dengan konduktivitas kecil).

PERANAN AIR TANAH DI SEKTOR MANUSIA DAN EKOSISTEM

Pentingnya air tanah dalam kehidupan manusia terlihat nyata seperti ditunjukkan pada Tabel.2 yang merinci rata-rata kebutuhan air tanah di setiap benua. Pada tabel tersebut memperlihatkan bahwa kebutuhan air tanah di negara berkembang adalah utamanya untuk irigasi. Porsi yang berbeda untuk negara industri, dimana kebutuhan akan air tanah yang terbesar adalah untuk produksi energi dan industri. Baik di negara berkembang maupun di negara industri, kebutuhan air untuk konsumsi manusia menempati urutan yang terendah.

Kebutuhan total air pada tahun 1980 mencapai 3000 km³ dengan kebutuhan untuk air minum hanya 0.5% dari rata-rata tahunan jumlah air yang diambil dari kontinen. Data statistik tahun 1996 menunjukkan peningkatan kebutuhan air global mencapai 5500 km³, mengacu pada total kebutuhan air per kapita mencapai 1000 m³/tahun. Sebagai perbandingan dengan angka ini, kebutuhan air individu untuk rumah tangga adalah sekitar 55 m³/tahun sedangkan untuk air minum dan pemrosesan makanan sekitar 5m³/tahun. Tentu saja data ini tidak memasukkan distribusi air yang tak umum yakni air yang diperbaharui seperti pada daerah dengan geologi dan

iklim yang ekstrem. Juga, mengimpor air dalam skala yang besar untuk daerah yang kekurangan air atau memproduksi air segar secara berlebihan dengan desalinisasi air laut.

Tabel 2. Statistik kebutuhan air di berbagai benua dalam km³

Benua	Irigasi	Energi	Industri	Rumah tangga	Σ
Asia	1400	68	31	98	1597
Afrika	61	11	4	12	88
Australia	13	8	6	2	29
Amerika Selatan	35	6	4	11	56
Amerika Utara	205	232	77	38	552
Eropa	116	176	184	40	516
Σ (1980)	1830	501	306	201	2838
Σ (1996)					5500

Disamping masalah kuantitas air, masalah kualitas air juga menjadi perhatian. Kualitas air utamanya tergantung pada faktor geogenik dan antropogenik. Saat ini, ada standar internasional yang diberlakukan pada kualitas air untuk irigasi, air minum dan air permukaan dengan tujuan untuk menjaga kelangsungan [10]:

1. Kesuburan tanah, pertumbuhan tanaman dan biodiversitas tanah
2. Kesehatan manusia
3. Kebersihan air permukaan dan air bawah tanah

Standar ini juga berkontribusi untuk melindungi atmosfer dan lautan dari kontaminan yang dilepaskan dari air tanah. Tingkatan kualitas air tanah yang tertinggi diberlakukan untuk standar air minum dan untuk pemrosesan makanan. Beberapa faktor antropogenik yang paling berhubungan dengan kualitas air tanah adalah:

1. Air yang telah digunakan tidak dapat diolah (misal: setelah untuk irigasi) atau sering tidak diolah lagi (misal: air limbah industri dan rumah tangga) atau bahan berbahaya memasuki siklus air.
2. Air berkualitas buruk yang disebabkan oleh eksploitasi berlebihan
3. Pemakaian bahan kimia yang berlebihan untuk aktifitas pertanian

Faktor-faktor tersebut mengarah ke penurunan kualitas air terutama di daerah pantai, daerah pertanian dan perkotaan. Di beberapa tempat, kebutuhan air yang tinggi pada penggunaan non domestik (industri) tidak diimbangi dengan perhatian yang besar untuk mempertahankan kualitas air

tanahnya. Hal ini mengakibatkan adanya ketidakseimbangan kompetisi antara penggunaan air untuk tujuan produksi, konsumsi dan pemeliharaan ekologi alam dan untuk fungsinya sendiri sebagai pencuci.

Di alam, air tanah yang berada di dekat permukaan tanah mempunyai kandungan nutrisi dan unsur jarang yang rendah. Karena dampak antropogenik, air tanah ini semakin mengalami penurunan kualitas. Umumnya, proses ini berlangsung perlahan di bawah tanah dan sekali dimulai maka perlu waktu sangat lama agar kontaminan berangsur hilang. Industri besar yang umumnya berorientasi pada penggunaan sumber daya air dan kurang dalam pengelolaan air limbah, telah menurunkan secara signifikan ketersediaan air untuk sektor swasta dan untuk pemrosesan makanan. Oleh karena itu, evaluasi kerentanan sumber daya air menjadi sangat penting ketika sumber daya air tanah dieksploitasi, diproteksi, dikembangkan dan dikelola.

Untuk mendukung pengembangan dan perbaikan dalam pengelolaan sumber daya air, maka beberapa *issue* yang menjadi perhatian adalah kecepatan pengisian (*recharge*) air tanah yang berkurang, efek pelapukan air tanah, kerentanan akuifer air tanah terhadap polutan, interaksi air permukaan-air tanah dan dampaknya pada transport polutan, identifikasi sumber polutan dan intrusi air laut.

AKTIFITAS MIKROBA DALAM AQUIFER

Aktifitas mikroba dalam akuifer dan zona tak jenuh umumnya rendah. Akan tetapi, zona tanah dengan materi organik berlimpah mempunyai potensi mikroba yang sangat tinggi. Di dalam tanah, polutan mempunyai waktu tinggal yang terbatas karena adanya aliran air dari tanah ke air tanah maupun ke air permukaan. Proses pembersihan di bawah zona tanah ini berlangsung sangat lambat sehingga proses mencerna polutan dalam sistem bawah permukaan tanah juga menjadi berkurang. Penelitian menunjukkan bahwa 92% dari semua mikroba tinggal di bawah permukaan tanah dan 8% mikroba tinggal di permukaan kontinen dan lautan [9].

Zona tak jenuh dibawah tanah dan di atas tepian kapiler mempunyai kapasitas penyaringan untuk mikroba dengan ukuran antara 0,5 dan 0,5 μm . Oleh karena itu zona ini miskin aktifitas mikroba terutama zona dengan kandungan air yang rendah [11]. Aktifitas mikroba yang signifikan berada di dalam tepian kapiler dari zona tak jenuh dan di dalam akuifer dengan aliran air tanah yang lambat. Di dalam akuifer berpori heterogen seperti karst, batu

pasir, kapur dan aquifer batuan juga mempunyai aktifitas mikroba yang tinggi [12].

Umumnya aquifer mempunyai sedikit populasi mikroba asal, akan tetapi populasi ini dapat meningkat dengan adanya sumber nitrien (N,C dan P) dan energi. Keduanya dapat diperoleh melalui masukan polutan organik dan anorganik. Proses peluruhan setelah masa inkubasi tertentu juga dapat meningkatkan populasi mikroba. Mikroorganisme utamanya telah ada pada permukaan tanah (sebesar 90%) dan menjadi aktif di lingkungan yang reduktif dari biofilm (lapisan dengan ketebalan beberapa puluh mikrometer dan umumnya mempunyai kenampakan yang diskontinyu). Proses reduksi yang berlangsung ini sering tidak dapat diketahui melalui pengukuran secara kimia. Penggunaan isotop stabil seperti ^{34}S , ^{15}N dan ^{18}O dalam senyawa SO_4^{2-} dan NO_3^- dapat mengetahui proses disintegrasi pada biofilm. Proses ini dinyatakan dengan adanya peningkatan konsentrasi isotop pada fasa energi yang rendah dan penurunan konsentrasi isotop pada fasa energi yang tinggi [9].

Aktifitas mikroba dapat meningkatkan elastisitas atau ketahanan sistem bawah tanah, tingkat elastisitas tersebut tergantung pada:

1. Intensitas penggunaan lahan
2. Tingkat pelepasan sumber polutan
3. Laju peningkatan konsentrasi polutan, elastisitas menurun jika peningkatan polutan terlalu cepat.

SUMBER KONTAMINANASI

Sumber kontaminasi pada air tanah umumnya adalah:

1. Daerah urban
2. Aktifitas industri dan pertanian
3. Air limbah yang dibuang ke sungai atau selokan
4. Buangan sampah
5. Air yang terpolusi air asin atau geogenik yang diakibatkan oleh eksploitasi yang berlebihan (*over exploitation*)

Aktifitas tertentu di daerah urban dan di lahan pertanian sulit untuk dikontrol, bahaya yang terjadi dapat berasal dari:

1. Kecelakaan tumpahan/aliran bahan berbahaya
2. Sistem transport yang disukai partikel
3. Kebocoran yang tidak terdeteksi atau tidak dapat dilokalisir
4. Kondisi udara yang tak dapat diprediksi setelah kecelakaan atau terpapar

Di air tanah, kejadian tersebut secara langsung dapat dideteksi dengan pengamatan kimia. Akan tetapi, penerapan isotop yang dikombinasikan dengan investigasi hidrogeologi dan hidrokimia akan memberikan informasi yang lebih komprehensif. Pemantauan secara kimia biasanya mengacu pada kontaminan itu sendiri atau metabolismenya sehingga hanya terbatas pada kontaminasi. Pemantauan kimia tidak bisa memberi informasi tentang proses perubahan sistem hidrodinamika. Pengetahuan tentang sistem hidrodinamika bagaimanapun juga sangat penting. Sebagai contoh kelemahan pengamatan secara kimia, pada polutan organik, hingga saat ini bahan metabolit yang telah diketahui hanya kurang dari 15% [9]. Selain itu, banyak metabolit dengan ukuran molekul lebih kecil yang mungkin lebih toksik dan lebih mudah *mobile* daripada bahan induknya, belum diketahui. Ini menunjukkan bahwa pemantauan secara kimia memberikan hasil/wawasan yang tidak menyeluruh.

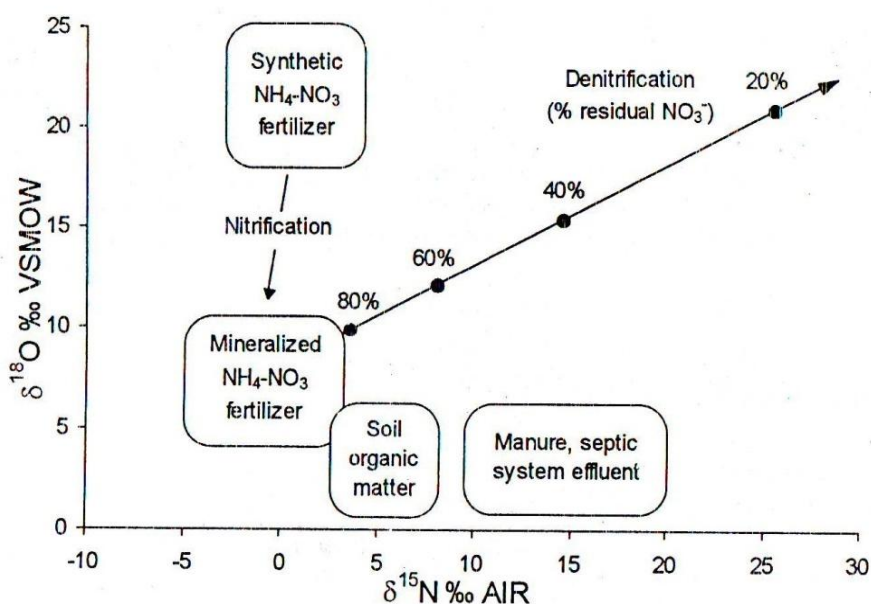
Sebaliknya, metode isotop merupakan *spesies* yang independen dan menyediakan *tool* baik secara langsung (^{15}N , ^{34}S , ^{13}C , ^{18}O dalam SO_4^{2-} dan NO_3^-) atau tidak langsung (^{39}Ar , ^{18}O , ^2H dan ^3H) untuk menentukan potensi dan juga dampak kontaminan pada air tanah. Dalam prakteknya, sering digunakan kombinasi isotop dengan perunut kimia non reaktif seperti Cl^- , SO_4^{2-} dan NO_3^- . Secara umum, metode isotop menawarkan suatu interpretasi yang menyeluruh dan memperlengkapi studi polusi yang sering mengarah ke interpretasi secara sektoral saja dan tidak komplit. Studi polusi air tanah seharusnya memperhitungkan faktor mikroba karena aktifitas mikroba di bawah permukaan tanah, tergantung pada perubahan pemanfaatan lahan, mungkin menutupi pengujian kontaminasi yang sebenarnya. Metode isotop dapat memberikan informasi mengenai sumber dan asal polutan sekaligus proses yang dilakukan mikroba di bawah permukaan tanah. Hasil analisa dari penerapan isotop alam dalam sistem air tanah kemudian dapat *diinputkan* ke model matematika untuk bahan pertimbangan dalam pembuatan aturan pengelolaan air tanah dan sebagai sistem peringatan dini akan kerentanan akuifer air tanah terhadap polusi.

ISOTOP ^{15}N DAN ^{34}S DALAM STUDI POLUSI AIR TANAH

ISOTOP ^{15}N

Nitrogen merupakan unsur aktif secara biologi dan berperan dalam reaksi penting dalam kehidupan sehingga keberadaannya dapat mempengaruhi kualitas air tanah. Peluruhan biomassa melepaskan nitrogen

kemudian teroksidasi menjadi nitrat (NO_3^-) yang dapat mengkontaminasi air minum. Sebagai amonium (NH_4) adalah bersifat toksik pada kehidupan akuatik dan mempengaruhi kadar kebutuhan oksigen dalam air. Adanya siklus nitrogen, baik kinetik maupun proses fraksinasi termodinamik, dimungkinkan untuk merunut sumber nitrogen yakni dengan isotop ^{15}N . Fraksinasi isotop dalam senyawa yang mengandung N menyediakan data dasar ^{15}N sebagai *tool* dalam studi hidrogeologi. Penggunaan isotop alam ^{15}N untuk merunut reaksi nitrogen dalam studi hidrologi mendapatkan perhatian yang tinggi setelah isotop ^{18}O dalam nitrat dapat diukur. Kombinasi ^{15}N dan ^{18}O dalam nitrat dapat digunakan, diantaranya: untuk membedakan sumber senyawa nitrat, mengenali adanya proses denitrifikasi dan menentukan *N-budget* dalam sistem air-tanah. Komposisi isotop ^{15}N dan ^{18}O dalam senyawa nitrat dari berbagai sumber nitrat diperlihatkan pada Gambar 1 [13].



Gambar 1. Variasi komposisi isotop ^{15}N dan ^{18}O dalam NO_3^- dari berbagai sumber nitrat

Reaksi perpindahan nitrogen menimbulkan distribusi isotop yang bisa diamati dalam senyawa nitrat dan ammonium di air tanah. Distribusi isotop $\delta^{15}\text{N}$ dimulai dari reservoir N_2 dari atmosfer yang digunakan sebagai standar ($\delta^{15}\text{N} = 0 \text{ ‰}$). Produksi pupuk urea dari pabrik yang menggunakan N_2 atmosfer menunjukkan sedikit fraksinasi isotop $\delta^{15}\text{N}$, nilainya masih mendekati ^{15}N atmosfer. Reaksi katabolis (metabolisme destruktif) asam

amino dalam tanah dan dalam tubuh binatang menghasilkan NH_4^+ , yang akan memberikan nilai $\delta^{15}\text{N}$ (dalam NH_4^+) lebih termiskinkan (*depleted*). Sebaliknya, dalam senyawa nitrat (NO_3^-) nilai $\delta^{15}\text{N}$ lebih terkayakan (*enriched*) yang ditunjukkan pada kotoran padat binatang (*manure*). Tingkat pengkayaan ^{15}N (NO_3^-) dalam *manure* lebih tinggi yakni antara 10 ‰ – 20‰ dari pada dalam tanah. Adanya proses denitrifikasi menghasilkan pengkayaan nilai $\delta^{15}\text{N}$ dan ^{18}O dalam senyawa NO_3^- yang tersisa, ditunjukkan dengan persentase. Nilai $\delta^{18}\text{O}$ (NO_3^-) ini berubah-ubah tergantung pada nilai $\delta^{18}\text{O}$ dalam air (H_2O) tanah lokal. Karena sumber oksigen yang berbeda antara pupuk sintetik (O_2 berasal dari atmosfer) dan pupuk alam (O_2 berasal dari air) maka nitrat yang terbentuk mempunyai nilai $\delta^{18}\text{O}$ yang berbeda. Nilai $\delta^{18}\text{O}$ bersama dengan nilai $\delta^{15}\text{N}$ dalam nitrat dapat mendemonstrasikan proses denitrifikasi dalam air tanah.

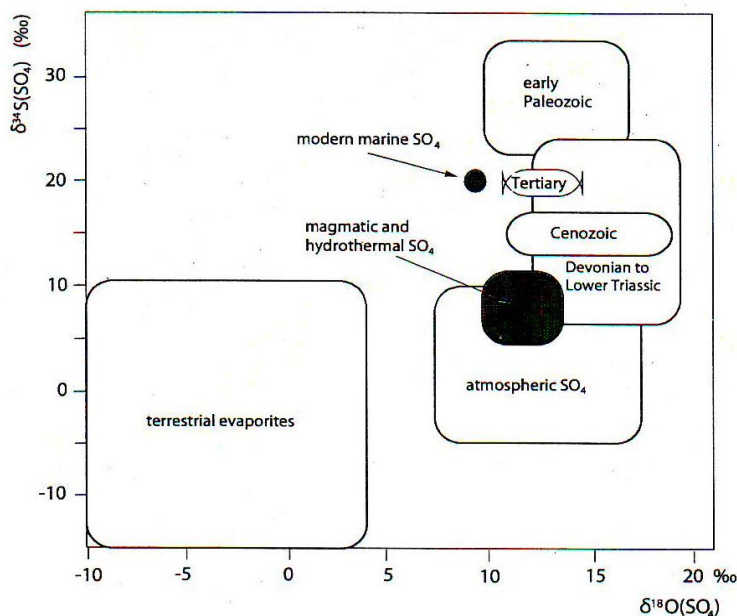
Variasi nilai $\delta^{15}\text{N}$ dan nilai $\delta^{18}\text{O}$ dalam senyawa nitrat pada Gambar 2 dapat diterapkan di daerah pertanian, dalam kasus pencemaran air tanah oleh nitrat. Jika kandungan nitrat dalam air tanah telah melewati 3 kali atau 4 kali lipat batas aman maka perlu dilakukan studi sumber/asal-usul kontaminan. Sumber regional nitrat yang utama yaitu NH_4NO_3 pupuk, manure dan N organik dalam tanah. Dengan memplotkan nilai $\delta^{15}\text{N}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ dalam senyawa nitrat pada air tanah terhadap Gambar 2 maka dapat diketahui sumber nitrat yang dominan mencemari air tanah di daerah pertanian.

Isotop ^{34}S

Sulfur merupakan unsur mayor dalam air laut dan sedimen laut. Keberadaannya berupa mineral sulfat dan sulfida, SO_4^{2-} , HS^- dan H_2S . Semua senyawa itu dapat berpartisipasi dalam evolusi geokimia air tanah dan salinisasi air tanah. Beberapa aplikasi isotop sulfur dalam geokimia meliputi siklus sulfur di daerah aliran air, asal usul salinitas di akuifer pantai, kontaminasi air tanah oleh aliran air lindi dan adanya aliran air dari penambangan asam. Ada tiga reservoir sulfur utama di alam dengan nilai $\delta^{34}\text{S}$ yang berbeda yaitu:

1. Sulfat batuan evaporit dengan nilai $\delta^{34}\text{S}$ antara +10‰ (jaman Permian) hingga +30‰ (jaman Cambrian), rata-rata +17‰
2. Sulfat terlarut dalam air laut dengan nilai $\delta^{34}\text{S}$ +21‰
3. Sulfida sedimen dengan nilai $\delta^{34}\text{S}$ -12‰

Dalam sistem vulkanik purba dan saat ini, sumber sulfur adalah magmatik volatil. Sulfur organik tidak begitu berperan dalam evolusi air tanah. Variasi komposisi isotop ^{34}S dari berbagai sumber sulfur utama diperlihatkan pada Gambar 2 [14].



Gambar 2. Variasi komposisi isotop ^{34}S dan ^{18}O dalam sulfat dari berbagai sumber sulfat terlarut dalam air tanah

Sumber sulfur utama dalam air tanah adalah sumbangan dari atmosfer, kontribusi mineral atau batuan, sumber air laut dan danau, sumber vulkanik. Kontribusi atmosfer meliputi presipitasi basah (H_2SO_4), deposit kering (SO_2) dan aerosol atau semburan air laut. Kontribusi mineral sulfur yakni berupa batuan sulfat evaporit saat ini (modern) dan purba (contoh: gypsum dan anhidrit), barit dalam lapisan dan patahan pengisi dalam batuan, pirit dan sulfida mineral lainnya. Dengan perbandingan antara komposisi isotop $\delta^{34}\text{S}$ (SO_4^{2-}) dan $\delta^{18}\text{O}$ (SO_4^{2-}) dalam air tanah dan periode geologi pembentukan batuan evaporit maka dapat ditentukan salah satu sumber geogenik yang dominan mempengaruhi salinitas sulfat dalam air tanah.

Komposisi isotop ^{34}S dalam sulfat dari atmosfer saat ini lebih ditentukan berasal dari semburan air laut di daerah pantai dan komposisi sulfur dari bahan bakar fosil. Sumbangan nilai $\delta^{34}\text{S}$ dari minyak, batubara,

gas alam bervariasi antara -5‰ hingga +10‰ sedangkan sumbangan sulfat dari air laut mempunyai nilai $\delta^{34}\text{S}$ yang seragam yakni +21‰. Komposisi isotop oksigen dalam sulfat atmosferik merupakan percampuran antara $\delta^{18}\text{O}$ (O_2) atmosfer (+23‰) dan $\delta^{18}\text{O}$ (H_2O) yang bernilai negatif (tergantung pada air meteorik) sedangkan nilai $\delta^{18}\text{O}$ dalam sulfat air laut adalah +9,5‰. Senyawa sulfur dalam atmosfer dari bermacam sumber sulfur tersebut kemudian terlarut bersama hujan dan ikut aliran air tanah. Dari perbedaan nilai $\delta^{34}\text{S}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ dari kedua sumber sulfur tersebut, ini maka dapat ditentukan sumber senyawa sulfat yang dominan dalam air tanah.

SIMPULAN

Air tanah merupakan sumber air segar yang jumlahnya paling besar dan sebagai penyedia sumber air minum yang bersih dan aman. Akan tetapi, dengan meningkatnya populasi manusia, industri dan urbanisasi maka terjadi peningkatan jumlah air yang dikonsumsi, kontaminasi air keluaran, kekurangan sumber daya air, penurunan muka air tanah dan pelepasan polutan. Kebutuhan air tanah di negara berkembang adalah utamanya untuk irigasi sedangkan di negara maju penggunaan air tanah paling besar adalah untuk energi dan industri. Kontaminasi air tanah tersebut dapat berasal dari faktor geogenik dan antropogenik. Aktifitas mikroba di bawah permukaan tanah dapat meningkatkan ketahanan sistem bawah tanah dari kontaminan karena kemampuannya untuk mencerna kontaminan. Untuk mengetahui proses yang dilakukan mikroba di bawah permukaan tanah dan sumber kontaminasi air tanah maka diperlukan metode isotop. Isotop ^{15}N bersama dengan ^{18}O dalam senyawa nitrat dalam air tanah dapat membedakan sumber kontaminasi nitrat apakah berasal dari kotoran manusia/binatang, tanah atau pupuk NH_4NO_3 sintesis. Proses denitrifikasi juga dapat diketahui dengan penerapan isotop nitrat. Isotop ^{34}S dan ^{18}O dalam senyawa sulfat terlarut dalam air tanah dapat digunakan untuk merunut salinitas sulfat apakah berasal dari air laut, pelarutan batuan evaporit terestrial, kontribusi atmosfer dari bahan bakar fosil, perembesan air lindi atau dari sulfida sedimen. Pemahaman sumber/asal kontaminan yang mencemari air tanah adalah sangat penting untuk merumuskan strategi dalam pengelolaan air tanah.

DAFTAR PUSTAKA

1. UNESCO.org, 2002, World Water Assesment Programme, “Water for People, Water for Life:”, United NationsWorld Water Development Report
2. <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>, 2015, The United Nations World Water Development Report, Water for Sustainable World.
3. <https://www.amazon.com/Vital-Water-Graphics-Overview-Worlds/dp/9280722360>, 2008, Vital Water Graphic- An Overview of the States of World’s Fresh and Marine Water, 2nd edition
4. <http://birohukum.pu.go.id/uploads/DPU/2010/Lamp2-PermenPU14-2010-pdf>
5. UNEP.org., Global Environmental Outlook,2003
6. <http://palyja.co.id/id/list-berita-terbaru/bersinergi-bersama-demi-air-jakarta/>
7. <http://sains.kompas.com/read/2011/01/16/03154433/Air.Tanah.Jakarta.yan.g.Semakin.Asin>
8. <http://geotek.lipi.go.id/?p=3810>, Hilangnya air bawah tanah Jakarta
9. International Atomic Energy Agency and United Nations Educational, Science, Cultural Organization, 2000, Environmental Isotopes in The Hydrological Cycle, Principles and Applications, Vol.5
10. World Health Organization, 1997, Guidelines for Drinking Water Quality, Health Criteria and Other Supporting Information, Vol.2, WHO, Geneva
11. Schaefer, A., Usthal, P., Harms, H., Staufer, F., Dracos, T., Zehnder, A.J.B., 1998, Transport of Bacteria in unsaturated porous media, J. Contam, Hydrol. 33

12. Seiler, K.P., Alvarado Rivas, J., 1997, Recharge and Discharge of The Caracas Aquifer, Venezuela”, Proc.IAH. Congr. On Groudwater in the Urban Environment
13. Ian Clark and Peter Fritz, 1999, Environmental Isotopes in Hydrogology, Lewis Publishers, Boca Raton- New York.
14. International Atomic Energy Agency and United Nations Educational, Science, Cultural Organization, 2000, Environmental Isotopes in The Hydrological Cycle, Principles and Applications, Vol.4

