

## PENGEMBANGAN TEKNOLOGI ISOTOP DALAM BIDANG SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN

Zainal Abidin dan Wandowo  
Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN

### ABSTRAK

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI ISOTOP DALAM BIDANG SUMBER DAYA ALAM DAN LINGKUNGAN.** Sejak tiga dekade terakhir BATAN telah mengembangkan teknik isotop untuk diaplikasikan pada berbagai bidang seperti Pertanian, Hidrologi dan Industri. Aplikasi isotop dalam bidang sumber daya alam dan lingkungan dimulai dengan memanfaatkan teknik isotop buatan dalam menentukan lokasi kebocoran-kebocoran waduk, sedimentasi alur pelabuhan dan dating air tanah. Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan tentang isotop alam dan instrumentasi seperti spektrometer massa untuk unsur ringan. BATAN juga ikut dalam mengembangkan teknologi isotop alam terutama untuk aplikasi dalam bidang sumber daya air yang secara signifikan memberikan sumbangan dalam pembangunan nasional. Disamping teknik isotop buatan, berbagai teknik isotop alam seperti  $^{18}\text{O}$ , D,  $^{13}\text{C}$  dan  $^{34}\text{S}$  dikembangkan dan diaplikasikan dalam bidang yang lebih luas seperti dalam eksplorasi dan eksploitasi energi panasbumi, *secondary oil recovery*, asal-usul air, penentuan suhu reservoir (geothermometer) dan degradasi lingkungan. Berbagai hasil penelitian dan aplikasi pada pengguna telah dimasyarakatkan dan memberikan masukan dalam rangka manajemen sumber daya alam. Di masa mendatang pengembangan teknik isotop alam menjadi fokus utama untuk menjawab dalam berbagai fenomena alam.

### PENDAHULUAN

Teknologi isotop dalam bidang sumber daya alam dan lingkungan telah dimulai sejak tahun 1970-an, ketika itu teknologi isotop radioaktif sebagai perunut telah mampu menyelesaikan beberapa permasalahan seperti merunut kebocoran bendungan, sedimentasi alur pelabuhan dan debit sungai.

Pengembangan teknologi isotop terus berjalan seiring dengan kemajuan global dalam penggunaan instrumentasi sebagai alat merunut sumber daya alam seperti air tanah, panasbumi, kelautan dan pertambangan, maka sejak 1980-an arah penelitian dalam teknologi isotop berubah dari hanya menggunakan isotop buatan yang scope lokasi relatif sempit (*localize*) menjadi penelitian asal-usul sumber daya alam yang bersifat regional dengan menggunakan isotop alam  $^{18}\text{O}$ , D,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{34}\text{S}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{210}\text{Pb}$ . Berbagai penelitian seperti asal-usul dan genesis fluida panasbumi, dating dan daerah imbuh air tanah, dating dan asal-usul sedimen laut, interkoneksi sumur reservoir minyak di bagian muka dan penelitian seperti kolom scanning, kebocoran pipa pada bagian hilir telah dilakukan pada berbagai lapangan, bekerjasama dengan instansi pemerintah dan BUMN seperti Pertamina, PT. Aneka Tambang, Departemen Kimpraswil dan Departemen Pertambangan. Pada lima tahun terakhir teknologi isotop dalam bidang sumber daya alam dan lingkungan mulai diminati untuk menjawab

berbagai permasalahan sumber daya alam seperti daerah imbuh, asal-usul pencemaran, interkoneksi antar reservoir dan kebocoran pada sistem instalasi industri hulu.

### TEKNOLOGI ISOTOP

Teknologi isotop yang digunakan dalam bidang sumber daya alam ada 2 jenis yaitu,

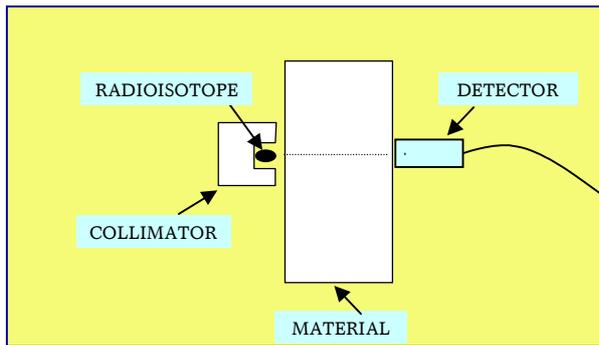
- Isotop buatan
- Isotop alam

Teknik isotop buatan mempunyai ruang lingkup penelitian bersifat lokal sedangkan isotop alam bersifat regional dan global.

**Isotop buatan.** Pengembangan teknologi isotop buatan dalam bidang sumber daya alam didasarkan atas sifat dari isotop buatan seperti,

- Radioiaktifitas.** Sifat radiasi yang ditimbulkan oleh radioisotop seperti sinar  $\alpha$ ,  $\gamma$  dan  $\beta$  menjadi pertimbangan utama harus dipilih untuk disesuaikan dengan objek penelitian. Sifat daya tembus dari radiasi yang dipancarkan merupakan faktor penting untuk mempelajari objek penelitian melalui sifat attenuasi ( $\mu$ ) radioisotop.

Gambar 1 di bawah ini memperlihatkan attenuasi sinar radioaktif terhadap benda yang dipelajari.



Gambar 1. Metode attenuasi sinar radioaktif pada objek (material).

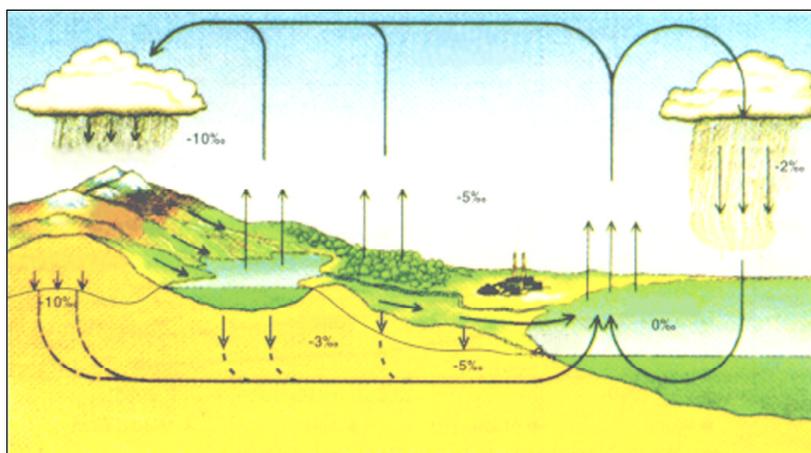
Dalam berbagai penelitian radiasi sinar  $\gamma$  lebih banyak digunakan karena mempunyai daya tembus yang besar dan mudah diukur secara in-situ.

- b. **Waktu paroh.** Sifat waktu paroh dari radioisotop memegang peranan penting dalam perencanaan penelitian terhadap objek yang dipelajari dan faktor keselamatan pekerja. Pada objek penelitian seperti mempelajari interkoneksi antara reservoir dengan permeabilitas yang relatif kecil akan membutuhkan waktu yang cukup lama dalam hal pengamatan, maka dalam penelitian ini dibutuhkan zat radioisotop yang mempunyai waktu paroh yang panjang agar terhindar dari penggunaan aktifitas yang besar. Karena penggunaan aktifitas radioisotop besar akan sulit dalam penanganan injeksi dan berisiko terhadap keselamatan lingkungan.
- c. **Senyawa kimia zat radioaktifitas.** Bentuk senyawa dari perunut radioisotop aktifitas juga berperan dalam pelaksanaan penelitian. Senyawa kimia radioisotop harus disesuaikan dengan sifat zat yang dipelajari terutama sifat kelarutan, absorpsi dan racun. Apabila perunut radioisotop mempunyai sifat tidak larut

dalam objek penelitian maka hasil pengamatan tidak akan memberikan informasi yang betul tentang objek yang dipelajari. Sifat absorpsi dari radioperunut harus dipertimbangkan mungkin sifat daya absorpsi tersebut dibutuhkan dalam mempelajari objek penelitian seperti deteksi letak lokasi bocoran pada dasar bendungan atau kebocoran prilling tower dengan menggunakan radioisotop  $^{198}\text{Au}$  dalam senyawa  $\text{AuCl}_3$ . Pada penelitian ini diharapkan ion  $^{198}\text{Au}^{3+}$  akan menempel (terabsorpsi) pada lokasi kebocoran hingga mudah untuk dirunut. Tetapi apabila dalam penelitian objek yang akan dipelajari berupa lintasan kebocoran, maka tidak diperlukan senyawa yang bersifat absorpsi tetapi dibutuhkan senyawa yang tidak mengalami absorpsi pada lintasan yang dipelajari tersebut misalnya radioisotop  $^{51}\text{Cr}$  dalam bentuk senyawa kompleks  $^{51}\text{Cr}$  EDTA dan  $\text{K}^{82}\text{Br}$ .

**Isotop alam.** Pengembangan isotop alam untuk studi hidrologi dan panasbumi di Indonesia telah dikembangkan oleh BATAN sejak tahun 1985, ketika IAEA melalui bantuan teknik memberikan alat Spektrometer Massa untuk analisis elemen ringan. Isotop alam yang dikembangkan adalah  $^{18}\text{O}$ , D,  $^{13}\text{C}$  dan  $^{34}\text{S}$ , sedangkan untuk isotop alam yang bersifat radioaktif seperti Tritium ( $^3\text{H}$ ) dan Karbon-14 ( $^{14}\text{C}$ ) telah digunakan sejak tahun 1980 untuk menentukan umur air tanah.

Isotop  $^{18}\text{O}$ , D,  $^{13}\text{C}$  dan  $^{34}\text{S}$  bermanfaat dalam rangka mengidentifikasi tentang asal-usul air, genesa fluida panasbumi, geothermometer untuk menentukan suhu reservoir dan monitoring reservoir. Isotop  $^{18}\text{O}$  dan D merupakan isotop molekul air yaitu HDO dan  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  yang mempunyai populasi tertentu dalam molekul utama air  $\text{H}_2^{16}\text{O}$  dan dapat diukur dengan Spektrometer Massa. Isotop alam  $^{18}\text{O}$  dan D berfungsi sebagai tracer dan ikut dalam siklus hidrologi.



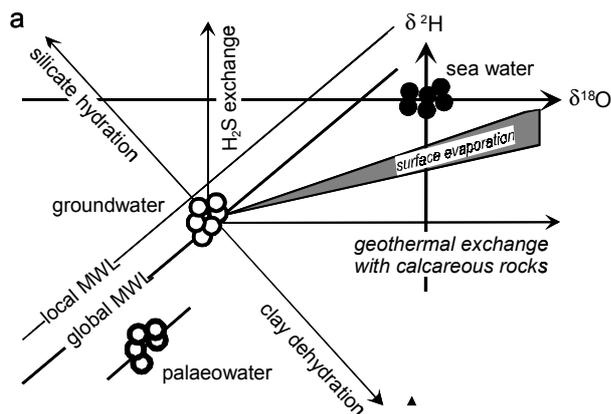
Gambar 2. Isotop alam dalam siklus hidrologi.

Gambar 2 memperlihatkan peranan isotop  $^{18}\text{O}$  dan D dalam siklus hidrologi. Isotop  $^{18}\text{O}$  dan D mempunyai konsentrasi yang khas pada berbagai sumber air seperti, air laut, air danau, air hujan dan air tanah.

Isotop geotermometer  $^{34}\text{S}_{\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}}$  bermanfaat untuk menentukan suhu reservoir panasbumi sedangkan geotermometer  $^{34}\text{S}_{\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}}$ ,  $^{13}\text{C}_{\text{CO}_2\text{-CH}_4}$  dapat menentukan suhu reservoir yang lebih dalam dan kemungkinan memprediksi adanya kontribusi sumber magma ke dalam reservoir panasbumi.

Pengembangan mutakhir isotop alam adalah kombinasi antara  $^{13}\text{C}$ ,  $^{34}\text{S}$  dan  $^{15}\text{N}$  dalam mempelajari asal-usul polutan dalam sistem air tanah dan kemungkinan mekanisme degradasi polutan secara aerobik dan anaerobik di alam.

Gambar 3 di bawah ini memperlihatkan interpretasi isotop alam  $^{18}\text{O}$  dan D dalam sumber daya air. Interpretasi dalam isotop tersebut meliputi asal-usul air, proses pencampuran daerah "recharge" dan reaksi interaksi dalam batuan.



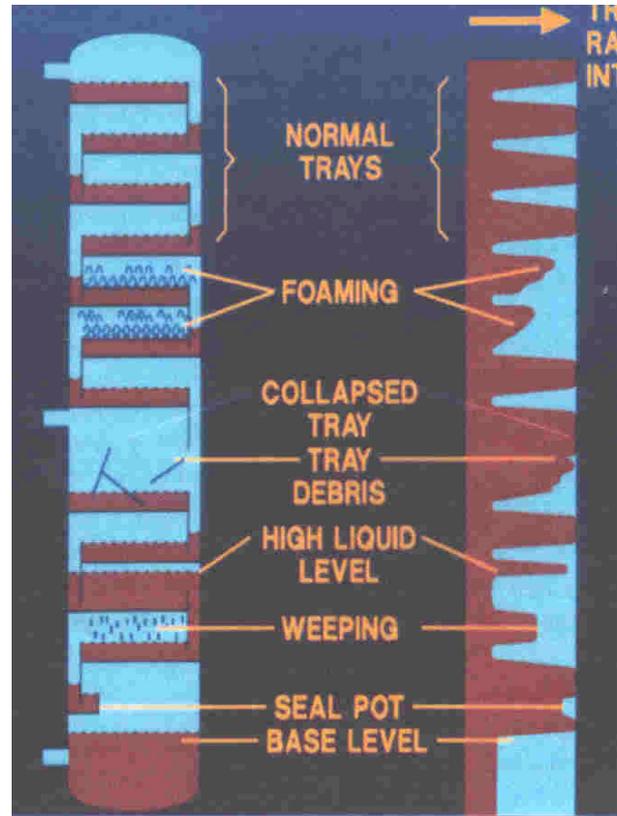
Gambar 3. Interpretasi isotop  $^{18}\text{O}$  dan D untuk sumber daya air.

**SCOPE PENGEMBANGAN**

- a. **Sumber daya air.** Pengembangan aplikasi isotop dalam bidang sumber daya air meliputi penelitian tentang :
  - Air tanah
  - Air permukaan
  - Erosi lahan
- b. **Sumber daya minyak dan gas bumi.** Pengembangan aplikasi isotop dalam bidang sumber daya minyak dan gas bumi meliputi :
  - Eksplorasi bagian hulu :
    - Eksplorasi panasbumi
    - Eksploitasi panasbumi
    - Enhanced Oil Recovery

- Eksploitasi bagian hilir :
  - Column scanning
  - Leakages (HE & Pipa)
  - Piping and Vessel

Gambar 4 di bawah ini memperlihatkan aplikasi isotop pada kolom scanning dalam industri "oil refinery".



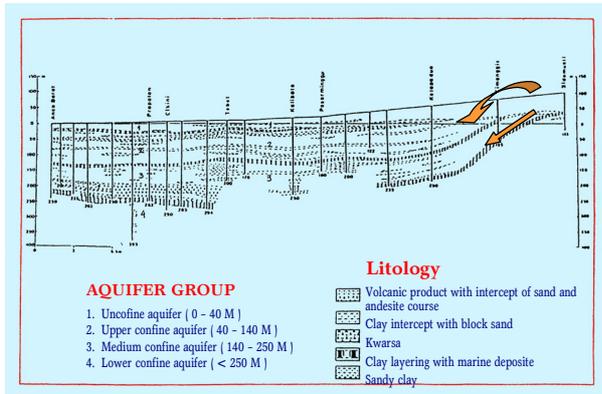
Gambar 4. Gamma scanning column.

- c. **Sumber daya kelautan.** Pengembangan aplikasi isotop dalam bidang sumber daya kelautan meliputi penelitian tentang :
  - Sedimentasi alur pelabuhan
  - Kronologi polutan dengan perunut  $^{210}\text{Pb}$
- d. **Lingkungan.** Pengembangan aplikasi isotop untuk mengatasi degradasi dan polusi lingkungan meliputi penelitian tentang :
  - Degradasi limbah beracun
  - Keramik tanpa bakar (spin off)

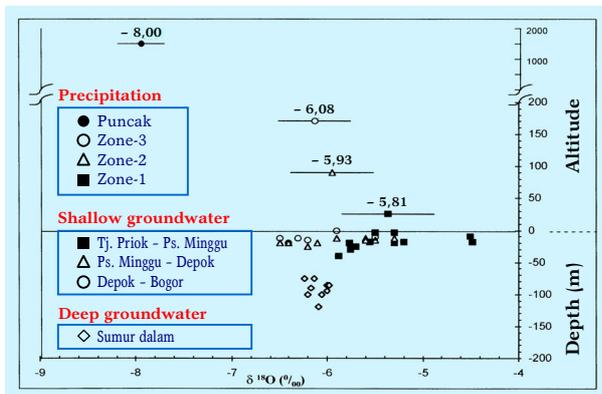
**APLIKASI ISOTOP DALAM PENGEMBANGAN SUMBER DAYA ALAM DAN LINGKUNGAN PADA TIGA TAHUN TERAKHIR**

- a. Teknologi isotop alam untuk evaluasi dinamika air tanah (Wandowo - RUT, 1998 - 2000).

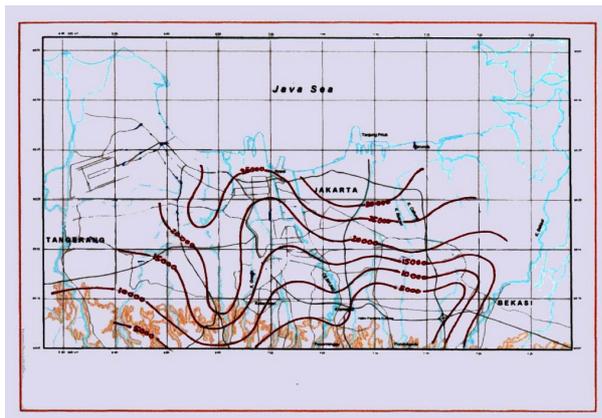
Gambar 5, 6 dan 7 di bawah ini memperlihatkan contoh aplikasi isotop alam dalam mengevaluasi dinamika air tanah di daerah Jakarta dalam proyek RUT tahun 1998 - 2000.



Gambar 5. Penampang lintang lapisan air tanah Jakarta.



Gambar 6. Daerah resapan air tanah Jakarta.

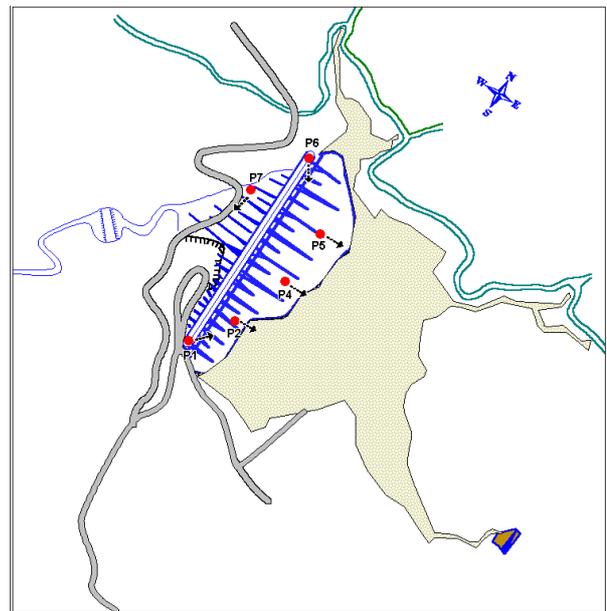


Gambar 7. Pola aliran air tanah Jakarta.

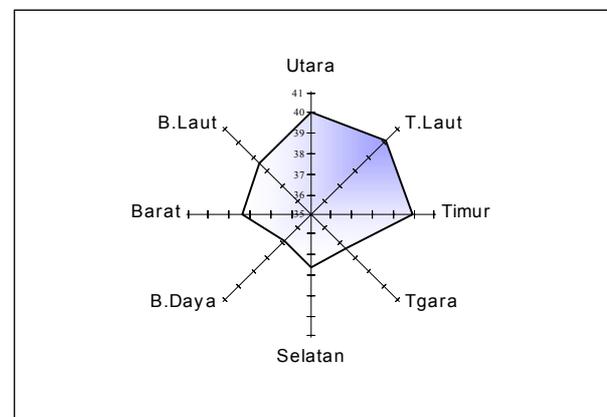
- b. Teknik hidro-isotop untuk analisis keselamatan lingkungan tempat pembuangan akhir (TPA) (Syafalni - RUT, 2000 - 2002).
- c. Monitoring sumber air yang berada di sekitar bendungan Jatiluhur - Jawa Barat (Kerjasama P3TIR - Otorita Jatiluhur, 2002 - 2003).

- d. Uji produksi sumur lapangan panasbumi Lahendong (Kerjasama Pertamina Geotermal Indonesia - P3TIR).
- e. Monitoring air reinjeksi pada sumur produksi lapangan panasbumi Kamojang.
- f. Studi erosi *catchment* di Bogor.
- g. Pemeriksaan kolom scanning di industri penyulingan minyak Cilacap (Kerjasama Pertamina - P3TIR, 2001).
- h. Studi rembesan tailing dam tambang emas Pongkor (Kerjasama PT. Aneka Tambang - P3TIR, 2002).

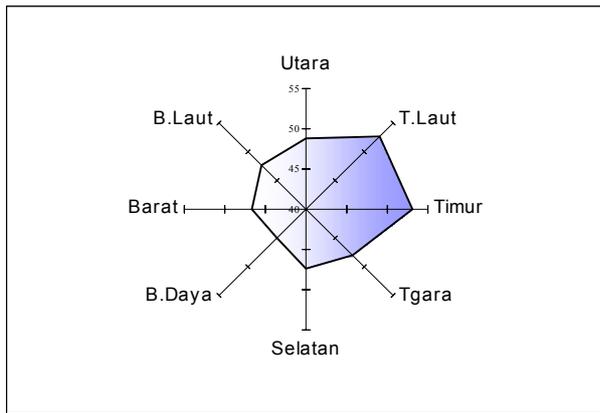
Gambar 8, 9 dan 10 memperlihatkan studi tentang rembesan tailing Dam pada tambang emas Pongkor melalui kerjasama antara PT. Aneka Tambang dan P3TIR tahun 2002.



Gambar 8. Peta lokasi tailing Dam tambang emas Pongkor, Jawa Barat.



Gambar 9. Pola gerakan air tanah tailing Dam tambang emas Pongkor pada sumur pertama.



Gambar 10. Pola gerakan air tanah tailing Dam tambang emas Pongkor pada sumur kedua.

## KESIMPULAN

- Teknologi isotop sangat bermanfaat dalam pengembangan sumber daya alam terutama untuk mengetahui asal-usul air, interkoneksi antar reservoir dan kebocoran.
- Pengembangan teknologi isotop dimasa mendatang diarahkan pada pemanfaatan untuk mengatasi polusi lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- ABIDIN, Z., "Discrimination of Sulphate source in Lake Rotorua and Lake Taupo Cathments Using Sulphur and Oxygen Isotopes", Diploma project, University of Auckland (1993).

- ABIDIN, Z., and WANDOWO, "Isotope Study in Geothermal Fields in Java Island", Proceeding of Final RC Meeting on the Application of Isotope and Geochemical Techniques to Geothermal Expl. Philipines (1993).
- PANICHI, C., and GONFIANTINI., "Environmental Isotopes in Geothermal Studies", Geothermics, 6, (1978) 143-161.
- IAEA., "Studies on Sulphur Isotope Variation in Nature", Proceeding of Advisory Group Meeting, Vienna, June (1985).
- PAYNE, B.R., and., Yutsever, Y., "Environmental Isotopes as a Hydrogeological Tool in Nicaragua", Isotope Techniques in Groundwater Hydrology, Vo. I. (1974).
- STABLE ISOTOPE HYDROLOGY., "Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle", Technical Report Series No. 210, IAEA, Vienna (1981).
- HARMON CRAIG., "The Geochemistry of the Stable Carbon Isotopes", Geochin Cosmochin Acta, 3, (1963) 53-92.

## DISKUSI

HADI SUNTOKO

Dalam kaitannya air tanah di suatu tempat (daerah) seperti di Jakarta, air laut telah masuk jauh ke daratan membentuk "Intercontaminasi" antara air tanah dan air laut. Bagaimana memprediksi fenomena tersebut dengan pengembangan teknik isotop ?

ZAINAL ABIDIN

Teknik isotop dapat membantu memonitor adanya gejala intrusi air laut dan berbagai proses yang terjadi dan kontaminasi yang berlangsung pada intrusi air tanah.

ELSJE L. SISWORO

Banjir besar yang terjadi tiap tahun di Jakarta, apakah dapat me-reinjeksi air tanah yang semakin habis ?

ZAINAL ABIDIN

Ini adalah usulan yang tepat, memang diharapkan air dari banjir dapat di-reinjeksi ke dalam air tanah.

## WIDJANG H. SISWORO

Arahan Kepala BATAN dan Sekretaris Utama Kantor Riset dan Teknologi, ada 3 landmark program Ristek, yaitu Pangan, Energi, dan lingkungan. Kami mengusulkan agar peneliti di bidang isotop hidrologi lebih diarahkan kepada landmark Ristek. Sedangkan kegiatan pengembangan isotop hidrologi di bidang dam safety, *petrochemical industry geothermal mining system* dapat dilakukan melalui kerjasama atau kontrak kerja dengan pihak ke-3. Dengan demikian alokasi dana untuk P3TIR dapat lebih diarahkan untuk mendukung landmark Ristek. Landmark isotop geothermal perlu dikaji lebih cermat lagi kalau perlu direformulasi dan diselaraskan dengan landmark Ristek.

## ZAINAL ABIDIN

Saya setuju dengan usul tersebut.

## MARAPADA HASIBUAN

1. Bagaimana cara pencegahan penurunan permukaan tanah di Jakarta  $\pm$  2 cm pertahun ?
2. Apakah dengan penggunaan isotop untuk mendeteksi pendangkalan pelabuhan lebih murah biayanya bila dibandingkan dengan cara lain (konvensional) dan apa keunggulan metode ini ?

## ZAINAL ABIDIN

1. Pencegahan penurunan permukaan air tanah dapat dilakukan melalui reinjeksi sejumlah air pada tempat lokasi yang tepat dan penegakan peraturan tentang pemakaian air tanah dalam.
2. Isotop adalah salah satu cara untuk merunut asal-usul pendangkalan alur pelabuhan dan metode ini dapat mengetahui tempat pembuangan sedimen yang tepat lokasi, sedangkan mengenai biaya adalah relatif.

## MASDIANTO

1. Dalam penanganan penyidikan kasus pencemaran lingkungan hidup oleh industri yang membuang limbah cair/padat ke lingkungan sekitar/sungai, apakah penggunaan isotop dapat digunakan dalam menentukan jenis pabrik/industri yang telah mencemari baik secara kualitatif maupun kuantitatif ?
2. Mohon saran persyaratan apa saja yang dibutuhkan untuk analisis/penentuan parameter pencemaran di atas ?
3. Bagaimana penggunaan isotop terhadap lingkungan serta berapa biaya/cost yang dibutuhkan ?

## ZAINAL ABIDIN

1. Teknologi isotop alam  $^{18}\text{O}$ , D,  $^{13}\text{S}$ ,  $^{34}\text{C}$  dan  $^{15}\text{N}$  melakukan fungsi penting terhadap kontaminasi dari berbagai buangan industri, tetapi masih perlu penelitian data base yang lebih detail.
2. Persyaratan sangat sederhana dengan cara sampling air sesuai jumlah air dengan jumlah air yang dibutuhkan untuk analisis. Analisis menggunakan alat spektrometer massa.
3. Isotop alam tidak mempunyai resiko terhadap lingkungan dan pekerja karena bersifat stabil. Biaya suatu paket penelitian /kerjasama terdiri dari :
  - biaya
  - biaya sampling
  - biaya analisis
  - biaya lapangan