

APLIKASI ISOTOP DALAM BIDANG HIDROLOGI DI INDONESIA

Wandowo

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi

ABSTRAK

APLIKASI ISOTOP DALAM BIDANG HIDROLOGI DI INDONESIA. Teknik isotop dalam bidang Hidrologi telah dikembangkan oleh Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi BATAN sejak lebih dari 25 tahun yang lalu. Selain isotop buatan yang bersifat radioaktif yang berguna untuk melakukan suatu penelitian masalah-masalah Hidrologi yang bersifat khusus, telah dikembangkan pula penggunaan isotop alam untuk penelitian masalah yang menyangkut dinamika air tanah dalam dimensi kawasan yang luas. Sejumlah kegiatan aplikasi isotop dalam bidang Hidrologi yang secara langsung memberikan kontribusi terhadap Pembangunan Nasional telah dilakukan.

ABSTRACT

ISOTOPE APPLICATION IN HYDROLOGY CARRIED OUT IN INDONESIA. Isotope techniques in Hydrology have been developed by Centre for Application of Isotope and Radiation BATAN since more than 25 years back. Beside artificial radioisotopes which were very useful for a specific Hydrological problem, isotope techniques utilizing environmental isotopes were also being developed to study problems related to groundwater dynamic within a broader region. A number of activities on the application of isotope in Hydrology which directly support the National Development have been carried out.

PENDAHULUAN

Aplikasi isotop dalam Hidrologi atau dalam masalah-masalah yang menyangkut dinamika fluida telah dikembangkan oleh Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi BATAN sejak tahun 1969 yang sejalan dengan pengembangan aplikasi isotop dalam bidang-bidang lainnya. Dalam upaya pengembangan sains dan teknologi nuklir dalam bidang aplikasi isotop BATAN telah menyusun suatu program yang berorientasi dengan program Pembangunan Nasional pada umumnya dan selaku Lembaga riset program ini mengacu pada PUNAS RISTEK. Tolok ukur keberhasilan suatu program tidak hanya terletak pada berhasilnya suatu penelitian yang dilaporkan dan dipresentasikan dalam suatu forum ilmiah, akan tetapi yang lebih penting adalah bagaimana dan seberapa jauh hasil penelitian tersebut dapat diterapkan dan dapat menunjang kegiatan di sektor lainnya sehingga alih teknologi dari BATAN ke Lembaga-Lembaga lain, ke Industri Nasional dan ke masyarakat dapat diwujudkan dengan nyata.

Air merupakan suatu kebutuhan mutlak untuk kehidupan dimuka bumi ini sehingga pengelolaan dan pemanfaatannya perlu dilakukan dengan sebaik-baiknya demi kelangsungan kehidupan dan demi pemenuhan sarana kebutuhan yang diperlukan oleh manusia. Hidrologi adalah suatu ilmu yang bersangkutan dengan masalah air, baik air permukaan atau air tanah, dan fenomena serta peristiwa-peristiwa yang terjadi di alam ini. Aplikasi isotop dalam bidang Hidrologi merupakan suatu teknik komplementer dan/atau merupakan teknik alternatif terhadap teknik-teknik lain yang ada. Dalam beberapa hal teknik isotop ini memang mampu memecahkan berbagai masalah hidrologi dan memberikan informasi terhadap masalah yang diselidiki, dimana teknik konvensional lainnya tidak dapat atau kurang sempurna dalam menyajikan informasi tersebut. Hal yang perlu diperhatikan dalam aplikasinya adalah ketentuan-ketentuan mengenai proteksi radiasi, terutama dalam penanganan radioisotop sumber terbuka yang digunakan sebagai perunut. Dalam aplikasinya ada dua teknik, yaitu teknik dengan menggunakan isotop buatan dan teknik dengan menggunakan isotop alam, yang masing-masing dipakai sesuai dengan lingkup dan problematik permasalahan yang diteliti.

TEKNIK PERUNUT

Penggunaan radioisotop sebagai perunut untuk suatu penyelidikan bertujuan untuk mendapatkan suatu informasi atau jawaban suatu permasalahan hidrologi tertentu. Data atau

informasi yang diperoleh akan menjadi masukan untuk tindak lanjut perbaikan (problem solving) dari masalah yang dihadapi. Jadi teknik ini pada dasarnya berguna untuk mendiagnostik suatu permasalahan sehingga anomali atau gejala penyimpangannya dapat diketahui dengan pasti. Karena permasalahan-permasalahan hidrologi itu tidak selalu sama, maka sebelum penyelidikan dengan perunut ini dimulai maka permasalahan yang dihadapi perlu dipelajari lebih dahulu dengan saksama. Dengan kata lain perlu "men-definisikan obyek permasalahannya", kemudian baru dilakukan persiapan dan rencana penanganannya, lebih-lebih bila akan digunakan radioisotop sebagai perunut, karena radioisotop yang akan dipakai merupakan sumber terbuka, sehingga selain risiko bahaya radiasi juga ada risiko bahaya kontaminasi.

Prinsip dasar dari teknik perunut adalah penandaan (pelabelan) terhadap suatu sistem (hidrologi) atau bagian dari sistem yang akan diselidiki, segala kelakuan dan peristiwa yang dialami oleh sistem tersebut diketahui dari hasil pemantauan perunut yang memberikan informasi tentang kelakuan dari sistem secara keseluruhan. Untuk dapat dipakai sebagai perunut, suatu bahan harus memenuhi kriteria tertentu dimana bahan perunut tersebut harus dapat menyatu atau menjadi bagian dari sistemnya, dan kehadirannya dalam sistem tidak boleh mengganggu, mengubah atau mempengaruhi sistem yang diselidiki. Selain itu perunut harus mudah dideteksi baik secara langsung maupun dengan cara pengambilan sampel. Persyaratan yang dikemukakan di atas dapat dipenuhi oleh isotop radioaktif dengan memilih jenis isotop dan senyawanya yang sesuai untuk suatu penyelidikan tertentu. Faktor lain yang perlu dipertimbangkan untuk suatu isotop ialah waktu paruh, aktifitas dari isotop, jenis radiasi, energi radiasi dan senyawa kimia atau bentuk fisiknya. Faktor-faktor ini harus menjadi pertimbangan dalam perencanaan ditinjau dari aspek jangka waktu pelaksanaan penelitian serta aspek proteksi radiasi.

APLIKASI ISOTOP BUATAN (ARTIFICIAL RADIOISOTOPES).

Dalam bidang Hidrologi banyak dijumpai masalah-masalah yang menyangkut dinamika air di mana teknik perunut dengan radioisotop sering sangat berperan dalam memberikan informasi tentang masalah yang menyangkut dinamikanya dan mengungkapkan anomali yang terjadi. Di Indonesia masalah-masalah utama dalam bidang Hidrologi yang sering dijumpai dapat dikelompokkan ke dalam 4 kegiatan sebagai berikut :

1. pengukuran kecepatan aliran
2. kebocoran dan rembesan
3. transport sedimen
4. inter-koneksi

Pengukuran kecepatan aliran

Data tentang debit suatu kanal atau sungai sangat penting dalam rangka mengetahui cadangan air untuk irigasi, suplai untuk instalasi air minum atau industri dan dalam rangka pengendalian banjir. Suatu metoda konvensional untuk menentukan kecepatan aliran air sungai adalah dengan menggunakan *current meter*, namun apabila alirannya terlalu deras tidak mungkin menggunakan *current meter* karena disamping risiko bahaya bagi pelaksana data yang diperoleh kurang akurat karena *current meter* kurang akurat untuk mengukur aliran yang turbulen. Dalam keadaan demikian maka teknik perunut radioisotop dapat menggantikannya. Prinsip dari teknik pengukuran ini adalah metoda pengenceran isotop, yaitu larutan isotop dengan aktivitas tertentu di-injeksikan ke dalam aliran sungai pada segmen yang akan ditentukan debitnya. Kemudian dilakukan pengukuran terhadap tingkat aktivitas isotop di bagian hilir dari tempat injeksi. Ada dua metoda pengukuran yaitu *constant rate injection* dan *instantaneous injection*.

Untuk metoda *constant rate injection*, debit dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q = \frac{C_0}{C} \times q_i$$

Untuk metoda *instantaneous injection* dihitung dengan persamaan :

$$Q = \frac{A}{CT}$$

dengan C_0 adalah konsentrasi (cacahan relatif) dari isotop yang di-injeksikan, C = konsentrasi (cacahan) rata-rata dari sampel, q = kecepatan (debit) isotop yang di-injeksikan, A = aktivitas isotop yang di-injeksikan dan T = selang waktu isotop tercatat oleh detektor. Isotop yang baik untuk digunakan adalah ^{82}Br karena isotop ini mempunyai waktu paruh yang relatif pendek (36 jam), energi radiasi tinggi sehingga sensitivitas deteksi besar dan unsur bromida tidak teradsorpsi oleh endapan lumpur sungai. Proyek pengukuran debit sungai yang pernah dikerjakan adalah di sungai : Cimanuk, Ciliwung, Cisadane dan lain-lain.

Kebocoran dan rembesan

Masalah yang sering timbul pada suatu reservoir air, misalnya bendungan, waduk dan lain-lain adalah adanya kekhawatiran adanya kebocoran yang melebihi toleransi yang keluar dari suatu reservoir. Kerugiannya selain air yang terbuang percuma, apabila hal ini terjadi pada suatu waduk atau bendungan dapat mengurangi ketahanan atau kekuatan dari badan bendungan tersebut dalam menahan tekanan hidrostatis yang dapat berakibat bobolnya bendungan tersebut. Untuk mengetahui apakah bocoran itu berasal dari air waduk ataukah dari sumber lain (misalnya dari air tanah), teknik perunut radioisotop dapat membantu memberikan jawaban yang pasti dan lebih lanjut dapat memberikan informasi dimana lokasi daerah bocornya. Karena waktu transit air dari reservoir ke *outlet bocoran* pada awalnya belum diketahui maka biasanya digunakan perunut isotop yang mempunyai waktu paruh sedang, misalnya ^{51}Cr yang mempunyai waktu paruh 27 hari atau ^{131}I yang mempunyai waktu paruh 8 hari. Isotop yang dipakai harus dalam bentuk suatu persenyawaan kimia yang tidak teradsorpsi oleh matrix tanah yang dilalui, sebab apabila ia terserap, walaupun sebenarnya terjadi kebocoran namun isotop tersebut tidak pernah sampai ke *outlet bocoran* dan ini akan memberikan informasi yang salah. Untuk menghindari hal ini apabila akan dipakai ^{51}Cr maka ^{51}Cr harus dalam suatu senyawa yang bermuatan listrik negatif, misalnya dalam senyawa Cr-EDTA. Penyelidikan kebocoran waduk dan bendungan yang pernah dikerjakan antara lain adalah di Wilalung, Darma, Sempor, Wlingi, Sampean Baru, Ngancar, syphon Cibeet.

Transport sedimen

Aliran air di permukaan tanah (*overland flow*) atau aliran air sungai akan menyebabkan tanah tererosi dan hasil erosi ini dibawa oleh arus setempat yang lebih rendah yang akhirnya sampai ke muara sungai dan ke laut. Di daerah perairan pelabuhan akumulasi sedimen ini sangat merugikan karena menyebabkan pendangkalan pelabuhan sehingga menghalangi manuver kapal yang akan berlabuh dan merapat ke dermaga pelabuhan. Untuk menjamin kelancaran lalu lintas kapal maka daerah perairan pelabuhan harus dijaga kedalamannya dengan melakukan pengerukan endapan. Karena biaya operasi pengerukan itu sangat mahal, maka perlu diupayakan dengan apa yang dinamakan *dredging efficiency* yaitu mengoptimalkan operasi pengerukan. Salah satu upaya optimalisasi ini adalah dengan mencari tempat pembuangan lumpur hasil keruk ke tempat yang tidak terlalu jauh dari daerah yang dikeruk namun lumpur endapan tersebut tidak akan kembali ke tempat asalnya semula. Hal ini dapat dilakukan apabila pola gerakan sedimen di kawasan pelabuhan dan sekitarnya diketahui.

Untuk mengetahui pola gerakan sedimen ini teknik perunut isotop telah banyak terbukti sangat efektif dalam menyajikan data yang memberi informasi mengenai arah gerakan, kecepatan dan jumlah sedimen yang ditransport dalam kondisi hidrodinamik setempat. Teknik pelaksanaannya dilakukan dengan meng-injeksikan perunut yang berupa lumpur asli yang dilabel dengan radioisotop atau sedimen tiruan yang mengandung unsur tertentu yang akan dibuat sebagai unsur radioaktif. Dalam kurun waktu 1 minggu sampai 1 bulan dilakukan pelacakan (*tracking*) terhadap perunut yang telah diinjeksikan tersebut sampai diperoleh gambaran tentang arah dan pola penyebarannya, dan pola ini menggambarkan pola dan arah gerakan sedimen setempat. Perunut radioisotop yang sering digunakan dalam pekerjaan ini adalah ^{51}Cr , ^{198}Au , ^{192}Ir dan ^{46}Sc . Aplikasi isotop dalam sedimentologi telah dilakukan di berbagai pelabuhan di Indonesia, antara lain di Tanjung Periuk, Tanjung Perak, Belawan, Bengkulu, Palembang, Pelabuhan Pupuk Kalimantan Timur, Cirebon dan Balongan.

Inter-koneksi

Inter-koneksi ini adalah masalah di lapangan minyak dan lapangan panas bumi, dimana ingin diketahui apakah ada hubungan antara satu sumur (sumur minyak/panas bumi) dengan sumur lainnya disuatu lapangan tertentu. Di bidang perminyakan informasi tentang inter-koneksi antara sumur-sumur minyak diperlukan dalam usaha meningkatkan produksi minyak bumi yang dinamakan kegiatan *enhanced oil recovery* yaitu suatu kegiatan peng-injeksian air

secara terus menerus kedalam salah satu sumur untuk meningkatkan tekanan reservoir minyak sehingga memudahkan pemompaan dari sumur produksi yang lain. Test dengan perunut radioaktif yang dilakukan ini berguna untuk mendapatkan informasi tentang hubungan antar sumur injeksi dengan sumur produksi di sekitarnya serta *time breakthrough*-nya. Penelitian untuk menentukan adanya inter-koneksi sumur minyak bumi ini banyak dilakukan di lapangan minyak bumi Sumatra Selatan dan Riau.

Pada lapangan panas bumi inter-koneksi antar sumur produksi uap perlu diketahui, terutama antara sumur re-injeksi kondensat uap dan sumur-sumur produksi uap. Perunut radioaktif yang digunakan untuk penelitian inter-koneksi di lapangan panas bumi ini terutama adalah Tritium dan Xenon-133

APLIKASI ISOTOP ALAM

Aplikasi isotop buatan dalam Hidrologi terbatas pada suatu masalah yang terjadi pada dimensi lokasi yang "sempit", artinya tidak meliputi suatu dimensi kawasan yang luas berskala regional. Hal ini disebabkan pertama oleh faktor waktu paruh dari radioisotop yang biasa digunakan relatif sangat pendek bila dibandingkan dengan jangka waktu penelitian untuk skala regional. Kedua untuk memenuhi persyaratan teknis deteksi isotop untuk penelitian yang mencakup kawasan yang luas tentunya diperlukan radioisotop dengan aktivitas yang sangat tinggi. Kedua kendala inilah yang membatasi digunakannya radioisotop buatan untuk penelitian hidrologi regional. Untuk studi suatu sistem hidrologi yang mencakup daerah yang luas tersebut dapat memanfaatkan isotop alam, baik yang radioaktif maupun yang stabil. Isotop alam yang dimaksud di sini ialah isotop alam yang dapat berasosiasi dengan molekul air atau menjadi bagian dari molekul air itu sendiri (^2H , ^3H , ^{18}O , ^{13}C , ^{14}C).

Tritium (^3H), Deuterium (^2H) dan ^{18}O keberadaan dan konsentrasinya di dalam sistem hidrologi di alam dipengaruhi oleh variabel fisis yang terjadi di alam ini, misalnya suhu udara, tekanan udara, kelembaban udara, lokasi geografis dan ketinggian (*altitude*). Ke tiga isotop tersebut merupakan perunut yang sangat ideal karena merupakan bagian dari molekul air itu sendiri, sedang ^{14}C biasanya terdapat dalam persenyawaan karbonat yang larut dalam air. Prinsip studi tentang fenomena hidrologi dengan isotop stabil ^2H dan ^{18}O adalah mempelajari adanya variasi komposisi isotop stabil dari molekul air dari sampel-sampel yang diambil dari berbagai tempat pada sistem hidrologi yang diselidiki. Karena variasi kandungan isotop stabil ini berkaitan dengan variabel fisis dan proses yang dialami dalam sistem hidrologinya (evaporasi dan kondensasi) maka interpretasi dari fenomena-fenomena yang dijumpai dapat dikaitkan dengan faktor yang mempengaruhi perubahan fisis yang menyertai sistem hidrologinya. Untuk analisis isotop stabil ^2H dan ^{18}O digunakan spektrometer masa.

Tritium (^3H) dan ^{14}C yang ada di alam ini terjadi dari radiasi sinar kosmik pada atom nitrogen di atmosfer. Kedua isotop alam yang bersifat radioaktif ini berguna untuk menentukan umur air tanah. Dari data tentang umur air tanah maka dapat diinterpretasikan *residence time* dari masa air tanah ini berada dalam sistem akuifernya. Kegiatan penelitian dengan menggunakan isotop alam yang pernah dilakukan di Indonesia dapat dikelompokkan ke dalam 2 kegiatan utama, yaitu studi daerah resapan dan studi inter-koneksi antara air tanah dan air permukaan.

Studi daerah resapan

Faktor utama yang mempengaruhi fraksinasi isotop stabil dalam proses evaporasi dan kondensasi yang terjadi dalam suatu sistem hidrologi adalah suhu udara. Fenomena ini digunakan untuk studi mengetahui lokasi daerah resapan dari suatu akuifer. Dari membandingkan nilai komposisi isotop stabil dari akuifer dengan nilai komposisi isotop stabil air hujan yang dikumpulkan dari berbagai ketinggian maka daerah resapan air hujan dapat diketahui. Dengan demikian dapat diketahui asal-usul dari suatu sumber air.

Inter-koneksi antara air tanah dan air permukaan

Pada contoh kasus di atas dikemukakan bahwa pengisian sumber air tanah terjadi atau berasal dari lokasi yang lebih tinggi. Dalam kasus lainnya, misalnya apakah sungai yang mengalir dalam suatu daerah tertentu, atau suatu danau/situ pada suatu lokasi mempunyai kontribusi mengisi sumber air tanah dibawahnya? Hal ini dapat di pastikan dengan menganalisis konsentrasi isotop stabil air tanah dan konsentrasi isotop stabil dari air sungai, danau atau situ. Apabila komposisi isotop stabilnya mempunyai korelasi maka dapat dipastikan adanya hubungan antara air tanah dengan air permukaan tersebut..

PEMASYARAKATAN APLIKASI ISOTOP DALAM BIDANG HIDROLOGI DI INDONESIA

Kalau masyarakat dan khalayak ramai di Indonesia masih banyak yang belum mengetahui akan manfaat dari teknologi nuklir, adalah suatu hal yang dapat dimaklumi karena informasi mengenai hal ini mungkin belum menjangkau masyarakat luas dan masih terbatas pada kalangan tertentu. Namun apabila sekelompok masyarakat secara apriori mengatakan bahwa teknologi nuklir itu berbahaya dan harus ditentang kehadirannya di muka bumi ini, maka pendapat seperti itu jelas suatu pendapat yang tidak benar. Sebagai seorang yang mempunyai daya penalaran, haruslah mau mengkaji lebih lanjut antara manfaat dan potensi bahaya dari teknologi ini. Aplikasi isotop adalah salah satu aspek manfaat dari teknologi nuklir ini yang menunjang ilmu pengetahuan dan teknologi yang pada akhirnya memberikan kontribusi memecahkan berbagai permasalahan yang berkaitan langsung dengan pembangunan nasional. Salah satu ujung tombak dari program BATAN dalam mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir adalah mengembangkan program aplikasi isotop dan radiasi. Program tersebut selama ini telah dikembangkan oleh Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR), yang antara lain meliputi aplikasi dalam bidang Hidrologi dan Lingkungan. Program penelitian dan pengembangan yang disusun dan dilaksanakan oleh PAIR terintegrasi kedalam Rencana Strategis (RENSTRA) BATAN yang berorientasi kepada Program Pembangunan Nasional dan disusun dalam kerangka arahan Program Umum Nasional Riset dan Teknologi (PUNAS RISTEK). Di dalam aplikasinya tujuan dari setiap penyelidikan pada umumnya berorientasi kepada keinginan untuk mendapatkan informasi dari suatu obyek yang diselidiki. Informasi ini dapat dikategorikan ke dalam 3 masalah, yaitu :

- identifikasi masalah/pemecahan masalah
- pengungkapan fenomena
- monitoring

Informasi yang menyangkut masalah-masalah tersebut diatas itulah yang sering diperlukan dalam bidang Hidrologi. Hasil-hasil pengembangan aplikasi isotop dalam bidang Hidrologi yang dilakukan oleh BATAN sejak lama telah memberikan kontribusi membantu dan memecahkan berbagai masalah yang dihadapi oleh berbagai Departemen, Instansi dan Badan-Badan Usaha Milik Negara maupun Swasta. Kegiatan-kegiatan yang bersifat layanan yang dilakukan selama ini adalah sebagai berikut :

JENIS KEGIATAN	JUMLAH KEGIATAN
1. Pengukuran kecepatan aliran (debit sungai)	11
2. Masalah kebocoran/rembesan	16
3. Transport sedimen	18
4. Inter-koneksi	7
5. Studi daerah resapan air	4
6. Air tanah	8

Fakta ini telah ditunjukkan oleh BATAN melalui Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi yang telah memasyarakatkan aplikasi isotop dan radiasi dalam berbagai bidang, antara lain dalam bidang Hidrologi. Catatan kegiatan yang pernah dilaksanakan oleh PAIR selama ini tertera pada Lampiran. Kegiatan-kegiatan tersebut hanyalah sejumlah kegiatan yang merupakan kerja sama atau layanan atas permintaan pihak di luar BATAN dimana pembeayaannya sebagian atau sepenuhnya ditanggung oleh mereka. Jadi arah pengembangan aplikasi isotop, khususnya dalam bidang Hidrologi, telah sejalan dengan misi dari BATAN, dimana pada dasarnya BATAN mengembangkan suatu teknologi yang dapat disumbangkan dalam program pembangunan nasional.

KESIMPULAN

BATAN melalui Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi telah berhasil mengembangkan teknologi isotop dalam bidang Hidrologi yang secara nyata telah memberikan sumbangan langsung kepada pembangunan nasional.

DAFTAR PUSTAKA

1. DROST, J.W., Single Well and Multi Well Nuclear Tracer Techniques, A Critical Review, International Hydrological Programme, UNESCO, Paris 1989.
2. Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, IAEA Technical Report Series No. 91, 1983.
3. Use of Artificial Tracers in Hydrology, IAEA TECDOC-601, IAEA May 1991.
4. WANDOWO, Teknik Isotop untuk Studi Aspek Hidrologi Suatu Kawasan Fasilitas Nuklir, Prosiding Seminar Teknologi Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, Serpong 9 - 10 Februari 1993.
5. Laporan-laporan Teknis BAFI-BATAN dan DAGSTAN

LAMPIRAN
KEGIATAN APLIKASI ISOTOP DALAM BIDANG HIDROLOGI DI INDONESIA

NOMER	TAHUN	KEGIATAN DAN LOKASI	ISOTOP
1	1969	Kebocoran, Waduk Sempor	Br-82
2	1969	Kecepatan aliran, Sempor	Br-82
3	1970	Kecepatan aliran, Citanduy	Br-82
4	1970	Kebocoran, Waduk Darma	Br-82
5	1971	Kebocoran, Wilalung	Br-82
6	1971	Transport sedimen, Jakarta	Cr-51
7	1971	Kecepatan aliran, Cilincing	Br-82
8	1972	Transport sedimen, Surabaya	Cr-51
9	1972	Transport sedimen, Surabaya	Cr-51
10	1972	Kecepatan aliran, Jakarta	Br-82
11	1973	Kebocoran, Waduk Seloredjo	I-131, Au-198
12	1973	Transport sedimen, Surabaya	Cr-51
13	1974	Kebocoran, Bali	Br-82, Cr-51
14	1974	Transport sedimen, Belawan Medan	Ir-192
15	1975	Kebocoran, Waduk Rentang	Br-82, Cr-51
16	1975	Kebocoran, Waduk Ngancar Wonogiri	Br-82, Cr-51
17	1975	Kecepatan aliran, Cimanuk	Br-82
18	1976	Kebocoran, Cirebon	Br-82
19	1976	Kecepatan aliran, Cimanuk	Br-82
20	1977	Kebocoran, Cibeet Krawang	Br-82, Cr-51
21	1978	Kebocoran, Waduk Wlingi Jawa Timur	Br-82, Cr-51
22	1978	Transport sedimen, Bengkulu	Ir-192
23	1979	Transport sedimen, Bengkulu	Ir-192
24	1980	Kecepatan aliran, Cisadane	Br-82
25	1980	Air tanah, Jakarta dan sekitarnya	Isotop alam
26	1981	Kecepatan aliran, Cisadane	Br-82
27	1981	Air tanah, Jakarta dan sekitarnya	Isotop alam
28	1982	Kebocoran, Waduk Raman Lampung	Br-82, Cr-51
29	1982	Transport sedimen, Pelabuhan Pupuk Kaltim	Ir-192
30	1982	Kecepatan aliran, Cimanuk	Br-82
31	1982	Air tanah, Jakarta dan sekitarnya	Isotop alam
32	1983	Kebocoran, Waduk Bening Jawa Timur	Br-82, Cr-51
33	1983	Kecepatan aliran, Cimanuk	Br-82
34	1983	Air tanah, Jakarta dan sekitarnya	Isotop alam
35	1984	Kebocoran, bendungan Pogung Yogyakarta	Br-82, Cr-51
36	1985	Kebocoran, bendungan Sampean Baru Yogyakarta	Au-198
37	1985	Kebocoran, Waduk Bening Jawa Timur	Cr-51
38	1987	Transport sedimen, Cisadane	Ir-192
39	1988	Air tanah, Semarang	Isotop alam
40	1988	Transport sedimen, Pelabuhan Pupuk Kaltim	Ir-192

NOMER	TAHUN	KEGIATAN DAN LOKASI	ISOTOP
41	1989	Panasbumi, Kamojang Jawa Barat	Isotop alam
42	1989	Panasbumi, Dieng Jawa Tengah	Isotop alam
43	1989	Test sumur minyak bumi, Pakan Baru	Tritium
44	1990	Panasbumi, Dieng Jawa Tengah	Isotop alam
45	1990	Panasbumi, Lahendong Sulawesi Utara	Isotop alam
46	1990	Transport sedimen, Pelabuhan Sunda Kelapa	Ir-192
47	1991	Test sumur minyak bumi, Ramba Sumatra Selatan	Tritium
48	1991	Transport sedimen, Pelabuhan Cirebon	Ir-192
49	1991	Kebocoran, Kawah Gunung Galunggung	Cr-51, Tritium
50	1991	Test sumur minyak bumi, Prabumulih Sum-Selatan	Tritium
51	1991	Test sumur minyak bumi, Prabumulih Sum-Selatan	Tritium
52	1991	Kesetimbangan air, Kawah Gunung Galunggung	Isotop alam
53	1992	Panasbumi, Kamojang Jawa Barat	Isotop alam
54	1993	Test sumur minyak bumi, PERTAMINA Lirik Riau	Tritium
55	1993	Transport sedimen, Pelabuhan Cirebon	Ir-192
56	1993	Transport sedimen, Pelabuhan PERTAMINA Tanjung Perik Jakarta	Ir-192
57	1995	Transport sedimen, Pelabuhan Sungai Musi Palembang	Au-198
58	1995	Air tanah, LNG Bontang Kalimantan Timur	I-131, Isotop alam
59	1996	Test sumur minyak bumi, PERTAMINA - Husky Prabumulih Sumatra Selatan	Tritium
60	1996	Test sumur minyak bumi, PERTAMINA Lirik Riau	Tritium
61	1996	Transport sedimen, Pelabuhan Cirebon	Ir-192
62	1996	Transport sedimen, Pelabuhan PERTAMINA Balongan	Ir-192
63	1997	Transport sedimen, Tanjung Perak Surabaya	Au-198
64	1997	Kebocoran, Waduk Ngancar Wonogiri	Au-198
65	1997	Transport sedimen, Tanjung Perak Surabaya	Sc-46