

## STUDI EROSI PADA SUATU SUB-DAS MENGGUNAKAN ISOTOP ALAM Pb-210 excess dan Cs-137

Barokah Aliyanta, Nita Suhartini, Tommy Hutabarat, Haryono dan Darman

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi- BATAN  
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Pasar Jumat, Jakarta Selatan  
Telp.021-7690709; Fax: 021-7691607

### ABSTRAK

**STUDI EROSI PADA SUATU SUB-DAS MENGGUNAKAN ISOTOP ALAM Pb-210 excess dan Cs-137.** Studi erosi pada suatu sub-DAS menggunakan isotop alam Pb-210 excess dan Cs-137 telah dilakukan. Empat lokasi yang diduga dapat dijadikan lokasi pembanding, dilakukan pengambilan sampel dengan alat core berdiameter 7 cm dan kedalaman tanah 30 cm. Hasil analisis Cs-137 pada keempat lokasi tersebut diambil nilai rata-rata untuk dijadikan nilai tunggal inventori pembanding, adapun inventori pembanding untuk Pb-210 excess diambil hanya dari lokasi ke empat. Hasil inventori daerah penelitian ini adalah 281Bq/kg Cs-137 dan 2465 Bq/kg untuk Pb-210 excess. Beberapa asumsi telah dibuat yaitu pada aktivitas Cs-137 yang tak terdeteksi diberikan nilai 0.20 Bq/kg, sedangkan untuk Pb-210excess yang bernilai <2.85 atau negatif diberikan nilai sama dengan 2.85, ini perlu dilakukan untuk estimasi laju erosi-deposisi berdasarkan model konversi. Pada keseluruhan transek yang di ambil menunjukkan bahwa estimasi laju erosi yang diperoleh dari Cs-137 berkecenderungan lebih besar dari Pb-210 excess. Berdasarkan analisis tataguna lahan, aktivitas Cs-137 dan Pb-210, parameter kualitas tanah dan langkah konservasi yang ada dapat disimpulkan bahwa konservasi tanah melalui penterasan, tata usaha tani dan penutupan lahan sangat berperan dalam proses erosi. Namun demikian, tata usahatani dan penutupan lahan tampaknya lebih dominan dalam mencegah terjadinya erosi, semakin besar tutupan lahan dan minimnya tanah diolah erosi semakin kecil. Selain itu, dapat diperoleh adanya hubungannya yang cukup signifikan antara aktivitas Cs-137 dengan total organic carbon. Adapun hasil uji pengukuran Cs-137 dan Pb-210 pada sedimen suspensi menunjukkan bahwa aktivitas Cs-137 kebanyakan pada tingkat yang tak dapat dideteksi.

### ABSTRACT

The study of the erosion in a sub-River basin used the natural isotopes of Pb-210 excess and Cs-137 was carried out. Four locations was considered could be used as reference locations were done by the taking of the soil sample with the 7 cm core in diameter and the depth of 30 cm. Results of the analysis Cs-137 on four locations was taken by the value in general to be made to be single by the value inventori the standard, as for inventori the standard to Executive Board-210 excess was taken only from the location to four. Results inventori the area of this research was 281Bq/kg Cs-137 and 2465 Bq/kg to Executive Board-210 excess. Several assumptions were made that is in the activity Cs-137 that was not detected being given by the value 0,20 Bq/kg whereas to Executive Board-210excess that was worth <2,85 or the negative was given by the value was the same as 2,85, this must be carried out for the estimation of the rate erosion-deposisi was based on the conversion model.

### PENDAHULUAN

Perkembangan penggunaan radioisotop lingkungan seperti Cs-137 dan Pb-210 banyak dimanfaatkan di berbagai bidang seperti, dalam penelitian sedimentasi danau, geokronologi polutan maupun erosi lahan. Untuk radiosiotop lingkungan Pb-210 banyak dikembangkan khususnya untuk menelusuri sejarah kejadian akibat aktivitas manusia terhadap lingkungan. Mulai tahun 1980-an teknik Pb-210 mulai dikembangkan dalam penelitian erosi lahan. Dalam 2 dekade terakhir dilaporkan oleh peneliti di berbagai Negara maju seperti Amerika, Inggris dan Australia banyak

memanfaatkan teknik Pb-210 dalam penelitian pola redistribusi tanah karena proses erosi. Mengingat pola jatuhnya Cs-137 tidak cukup besar pada belahan bumi selatan dan sudah tidak ada lagi, maka kombinasi kedua Cs-137 dan Pb-210 akan sangat bermanfaat, khususnya pada daerah belahan bumi selatan dan lintang rendah.

Pb-210 merupakan radionuklida lingkungan yang berasal dari peluruhan induk  $^{238}\text{U}$  yang ada di alam. Isotop ini terdapat dalam kerak bumi dengan kelimpahan 99,274 %, sedangkan isotop lain yaitu Uranium-235 dan Uranium-234 berturut-turut dengan kelimpahan 0,72 % dan 0,06 % [2].  $^{210}\text{Pb}$  mempunyai waktu paruh 22,26 tahun dan meluruh menjadi  $^{214}\text{Bi}$  dengan memancarkan partikel beta. Secara ringkas keberadaan  $^{210}\text{Pb}$  dalam udara sebagai hasil dari deret peluruhan berikut. Ra-226 yang berasal dari Uranium-238 dalam kerak bumi meluruh menjadi gas Rn-222 yang berdifusi ke udara dengan rata-rata 42 atom/menit.  $\text{cm}^2$  luasan permukaan tanah [3]. Rn-222 mempunyai waktu paruh 3,8 hari dan meluruh melalui deretan anak luruhnya menjadi Pb-210. Ada dua sumber pokok Pb-210 yaitu berasal dari udara sebagai partikel aerosol yang beterbangan dan jatuh ke tanah dan sering disebut sebagai Pb-210 *excess*, dan berasal dari tanah itu sendiri sebagai Pb-210 *supported*.

Cs-137 merupakan zat radiaktif dengan umur paruh 30,5 th dan hasil dari percobaan bom nuklir dari dekade 1950-an sampai kira-kira pada dekade 1970-an, yang jatuh bersama air hujan dan diikat secara kuat oleh partikel halus tanah. Lain dengan Cs-137, Pb-210 merupakan zat radioaktif dengan umur paruh 22,35 th, hasil dari peluruhan induk Uranium-238. Keduanya mempunyai kecenderungan yang sama proses jatuhnya di tanah, yaitu bersama air hujan atau menempel pada debu mineral yang beterbangan di udara turun ke permukaan tanah secara langsung dan masuk ke sistem aliran baik secara langsung maupun melalui sungai ataupun aliran permukaan. Pb-210 dalam tanah akan diadsorpsi partikel halus tanah secara kuat, sehingga dapat dijadikan sebagai perunut pergerakan tanah karena aliran permukaan. Jatuhnya Pb-210 dari udara ke permukaan tanah dan teradsorpsi oleh partikel halus tanah dikenal sebagai Pb-210 *unsupported* atau juga disebut Pb-210 *excess*. Sedangkan Pb-210 yang berasal dari tanahnya sendiri dikenal sebagai Pb-210 *supported*. Pengukuran aktivitas Pb-210 total dalam tanah dapat dilakukan melalui cucu-luruhnya, yaitu Polonium-210 ( $\text{Po-210}$ ) yang diasumsikan dalam keadaan keseimbangan dengan  $^{210}\text{Pb}$  [1]. Aktivitas Pb-210 *unsupported* dapat diperoleh melalui pengukuran total Pb-210 dikurangi dengan aktivitas Pb-210 *supported* yang berasal dari tanah dan diasumsikan dalam keseimbangan dengan aktivitas Ra-226 [4, 5].

Tujuan penelitian ini ialah pengukuran aktivitas Pb-210 *excess* dan Cs-137 untuk estimasi laju erosi dan kajian efektivitas penerapan konservasi lahan dan hubungannya dengan parameter kualitas tanah, khususnya kandungan organik karbon maupun pengaruh perubahan tataguna lahan pada suatu sub-DAS (daerah aliran sungai).

## BAHAN DAN METODE

### **Bahan (karakteristik daerah yang diteliti)**

Contoh tanah diambil dari daerah Nganjuk, Jawa Timur meliputi kecamatan Ngetos, Sawahan, dan Loceret dan Berbek. Daerah yang diteliti sebagian besar merupakan daerah hutan produksi dan kebun rakyat yang dikelola bersama oleh pihak dinas kehutanan dengan masyarakat yang dikenal dengan istilah pengelolaan hutan bersama masyarakat (PHBM). Hal ini dimaksudkan dalam rangka rehabilitasi kawasan hutan pola kebun dan pengembangan perkebunan rakyat pola konsevasi. Pada prinsipnya, ditujukan untuk mengembalikan fungsi hutan sebagai penyangga lingkungan dan mengembalikan fungsi kebun rakyat sebagai sumber pendapatan, maka diperlukan usaha terintegrasi melalui pendekatan kedua kawasan dan kedua fungsinya. Kawasan hutan tetap berfungsi utama sebagai penyangga lingkungan, tapi juga mempunyai fungsi lain sebagai sumber pendapatan sekunder bagi masyarakat. Sebaliknya, kawasan kebun rakyat tetap berfungsi sebagai pendapatan utama masyarakat, tetapi mempunyai fungsi sekunder sebagai penyangga lingkungan.

Untuk mempelajari erosi yang terjadi pada kawasan tersebut dengan teknik nuklir, dilakukan pengambilan contoh tanah pada cakupan wilayah dimaksud. Contoh tanah diambil dengan *corer* berdiameter 7cm. Berdasarkan peninjauan ke lapangan, pengalaman studi erosi tim Batan ditentukan empat lokasi yang diduga dapat dipertimbangkan sebagai lokasi pembanding yaitu di lokasi hutan lindung Patus Bareng (lokasi I, 10 core), sisi hutan lindung Bajulan (lokasi II, 5 core), dan pada teras kebun penduduk di desa Geneng Genjeng (lokasi III, 3 core) serta 4 contoh tanah *hillslope transect* di desa Talamjudes (lokasi IV). Contoh tanah diambil sedalam 30 cm. Pada lokasi I topografinya relatif datar; pada lokasi II berada di daerah kaki lereng yang terpotong drainage dan tertutup rapat dengan pepohonan; pada lokasi III merupakan kebun penduduk yang berteras dan lokasi IV merupakan lerengan (*hill slope*) dengan tutupan lahan yang baik oleh rumput, dan tanaman utama pohon Pinus. Contoh tanah lain pada daerah yang diolah secara intensif diambil secara *sloping transect* dalam cakupan ketiga kecamatan di atas. Baik sampel *core* pada lokasi pembanding maupun pada transek diambil sampai kedalaman 30 cm. Dari beberapa contoh yang diambil, dilakukan pengukuran aktivitas Cs-137 dan Pb-210 *excess* dan parameter kualitas tanah.

### **Metode**

Beberapa contoh tanah yang diambil dari lapangan ditimbang dan dipisahkan sebanyak 300 gr dikirim ke IPB untuk analisis parameter kualitas tanah seperti pH, total organik karbon, fosfor, K maupun fraksi tanah. Contoh sisa dikeringanginkan selama 3 s/d 5 hari di ruangan, digerus dan diayak menggunakan ayakan ukuran 100 mesh atau lolos ayakan 2 mm. Butiran yang lolos ayak tersebut, dihomogenisasi dan diambil 400 gr dimasukkan ke tabung Merineli dan ditutup rapat selama kurang lebih 1 bulan sebelum diukur dengan alat spektrometer gamma pada energi 662 KeV (Cs-137) dan pada energi 351 KeV (Pb-214), dimana dalam kurun 1 bulan tersebut Pb-214 ini akan mencapai keseimbangan dengan Ra-226. Aktivitas Pb-214 dalam keseimbangan dengan Ra-

226 mewakili aktivitas Pb-210 *supported*. Sisa contoh tanah yang lolos juga dipersiapkan untuk preparasi kimia dalam rangka analisis aktivitas Pb-210 total. Untuk analisis Pb-210 total hanya diperlukan sampel kering seberat 4 gram melalui preparasi kimia dengan menambahkan tracer Po-209 beraktivitas 169 mBq, sedangkan metode preparasi kimia ini mengikuti langkah yang dilakukan oleh Chavez-Chabeza dkk dengan sedikit modifikasi. Aktivitas Cs-137 dan Pb-214 ditentukan secara relatif dengan aktivitas yang sama dari standar sekunder hasil pengukuran dari CAAS, China. Pengukuran aktivitas Cs-137 dan Pb-214 dalam contoh tanah dilakukan selama kurang lebih 24 jam, sedangkan pengukuran Pb-210 total dengan alfa spektrometer dengan detektor PIPs (*Passivated Implanted Planar Silicon*), dilakukan selama 2 s/d 3 jam. Hasil pengukuran di atas umumnya mempunyai nilai deviasi standar pengukuran lebih kecil 10 %. Aktivitas Cs-137 dan Pb-210 *excess* yang didapat dinyatakan dalam satuan Bq/kg contoh tanah kering, selanjutnya dikonversi dalam satuan aktivitas persatuan luas yang sering disebut inventori ( $\text{Bq/m}^2$ ).

## HASIL dan PEMBAHASAN

### Lokasi pembanding

Hasil pengukuran aktivitas Cs-137 pada keempat lokasi yang diduga dapat dilakukan sebagai pembanding dan Pb-210 *excess* pada lokasi ke 4 dapat dilihat pada Tabel 1. Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa nilai inventori pembanding Cs-137 dari 22 contoh adalah  $281 \text{ Bq/m}^2$  dengan standar deviasi 23 %, atau bila dinyatakan dengan standar error mean sebagai  $(281 \pm 28) \text{ Bq/m}^2$ . Sedangkan nilai inventori Pb-210 *excess* adalah  $(2465 \pm 349) \text{ Bq/m}^2$ . Untuk mempermudah estimasi laju erosi dari masing-masing transek dan mengaplikasikan konversi model digunakan nilai tunggal rata-rata, baik untuk Cs-137 dan Pb-210 *excess* yaitu  $281 \text{ Bq/m}^2$  dan  $2465 \text{ Bq/m}^2$ .

### Estimasi laju erosi pada setiap transek

Dengan menggunakan nilai inventori di atas, dilakukan estimasi laju erosi dengan menggunakan model konversi dan berasumsikan bahwa pengolahan lahan pada daerah yang tersebut dimulai sejak tahun 1963. Dalam pengukuran aktivitas Cs-137 dan Pb-210 pada *hillslope* transek didapatkan cukup banyak sampel tanah yang tidak terdeteksi, sehingga akan menyulitkan dalam mengestimasi laju erosi. Untuk mengatasi hal ini, aktivitas Cs-137 yang tak terdeteksi diasumsikan mempunyai nilai  $0.2 \text{ Bq/kg}$  dan untuk aktivitas Pb-210 diasumsikan mempunyai nilai  $2.85 \text{ Bq/kg}$  (kurang lebih sesuai dengan limit deteksi alat), sehingga nilai estimasi laju erosi yang diperoleh harus diartikan/dibaca lebih besar dari yang didapatkan. Karakteristik tempat pengambilan sampel secara *hillslope transect* dapat dilihat pada Tabel 1., analisis sebagian parameter kualitas tanah dapat dilihat pada Tabel 2, sedangkan hasil estimasi laju erosi berdasarkan Cs-137 dan Pb-210 *excess* tiap transek dapat dilihat pada Tabel 3. Secara umum erosi terjadi baik pada daerah berteras maupun daerah berlereng. Dari Tabel tersebut diketahui bahwa pada lokasi yang menerapkan pengelolaan

tanah secara teras bangku, terlihat ada perbedaan yang mencolok dari nilai yang didapat melalui Cs-137 dan Pb-210 excess.

**Tabel 1. Characteristics of hillslope transects**

No.	Transect	Slope %	Vegetation	Topography	Location( village, sub district)	Soil Type
1.	A	15-25	Pinus, cassava on prod. forest	Bench terraces	Patus, Bareng Sawahan	ALCRK
2.	B	15-25	Crop rotation, ridge on the end of field	Bench terraces	Makuto, Bareng Sawahan	ALCRK
3.	C	>40	Crop rotation on cleared forest, ridge system on the end of field	Bench terrace	Ngliman, Sawahan	ACK
4.	D	15-25	Seed Pinus, tree, barren, deforested since 1998	Sloping land	Pinusan, Bajulan, Loceret	LCK
5.	E	15-25	<i>Tectona grandis</i> , shrub	Civil construction terrace	Gabah, Bajulan, Loceret	LCK
6.	Trs (RS)	15-25	Pinus, grass -ground covered on forested area	Sloping land	Talamjudes, Klodan, Ngetos	ACK
7.	F	25-40	Mahogany, strip contour, mulch	Sloping land	Talamjudes, Klodan Ngetos	ACK
8.	G	25-40	Pinus, Mahogany, corn, cassava in rotation	Terrace and sloping	Bendolo, Sawahan	LCK
9.	H	15-25	Mixed garden	Sloping terrace	Patuk, Ngetos	LCK
10.	I	<15	Tree, cassava	Sloping land	Macanan, Loceret	LCK
11.	J1,2	15-25	<i>Tectona grandis</i> , cassava intercrop, grass covered land	Bench terraces since 1976. It was mixed garden in sloping land before 1976	Berbek	LCK

Note: ALCRK = association of brown latosol and grayey regosol; LCK = reddish brown latosol; ACK = reddish brown andosol; MCK = reddish brown mediteran

Pada daerah teras bangku ini, ada kecenderungan estimasi yang diperoleh dari Cs-137 lebih besar dari Pb-210 excess. Namun demikian, banyaknya aktivitas yang tak terukur juga dapat memberikan interpretasi yang salah. Perbedaan yang ada bisa disebabkan oleh proses erosi yang telah terjadi pada kurun waktu tahun 1955-1963, sementara setelah tahun 1970-an tidak lagi ada jatuhnya Cs-137, sehingga aktivitas Cs-137 yang memang sudah kecil dan selalu meluruh terhadap waktu serta adanya pengolahan tanah yang terus menerus akan tercampur dengan lapisan dibawahnya yang tidak mengandung Cs-137, sehingga akan menghasilkan ketidakterukuran aktivitasnya (terdilusi). Hal yang sama juga terlihat bahwa Pb-210 yang mempunyai masukan

kontinu, karena saat jatuh bersama air hujan belum sempat terserap oleh tanah dan tertransportasi melalui aliran permukaan. Oleh karena itu, ketika dilakukan sampling akan memberikan dampak pada pengukuran keduanya yang sering tak terdeteksi.

Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa erosi hampir terjadi pada daerah berteras yang diolah pada semua kelerengan. Secara umum, estimasi berdasarkan Pb-210 memberikan hasil yang lebih kecil dibanding dengan Cs-137. Pada keduanya menunjukkan adanya redistribusi tanah tererosi yang ditunjukkan dengan adanya erosi-deposisi dalam satu transek, dengan persen daerah tererosi bervariasi dari 40 % sampai 100 %. Besar kecilnya laju erosi pada lahan berteras ini tampaknya tidak dipengaruhi oleh kemiringan lahan, tetapi boleh jadi oleh jenis tanaman, cara olah tanah dan kondisi tutupan lahan. Atau, dengan kata lain proses erosinya didominasi karena faktor tillage. Sementara pada daerah berlereng perbedaan estimasi yang didapat lebih kecil. Hal ini, dapat dijadikan sebagai indikator proses erosi signifikan yang terjadi dalam kurun waktu setelah 1970-an, dan ini terjadi pada daerah bera atau tutupan lahannya minim. Dengan kata lain, proses erosi yang ada kemungkinan besar didominasi oleh erosi karena air limpasan. Sementara pada lahan berteras merupakan campuran proses erosi yaitu karena air dan tillage (olah lahan).

Dari analisis parameter kualitas tanah diketahui bahwa Cs-137 berkorelasi positif dengan % total organik karbon ( $r=0,594$  dan signifikan dengan tingkat kepercayaan 99 %), sedangkan Pb-210 dengan % total organik karbon tidak berkorelasi. Berdasarkan analisis tataguna lahan, aktivitas Cs-137 dan Pb-210, parameter kualitas tanah dan langkah konservasi yang ada dapat disimpulkan bahwa konservasi tanah melalui penterasan, tata usaha tani dan penutupan lahan sangat berperan dalam proses percepatan erosi. Namun demikian, tata usahatani/cara olah tanah dan penutupan lahan tampaknya lebih dominan dalam mencegah terjadinya erosi, semakin besar tutupan lahan dan minimnya tanah diolah, erosi semakin kecil. Selain itu, dapat diperoleh adanya hubungan yang cukup signifikan antara aktivitas Cs-137 dengan total organik carbon. Adapun hasil uji pengukuran Cs-137 dan Pb-210 pada sedimen suspensi menunjukkan bahwa aktivitas Cs-137 kebanyakan pada tingkat yang tak dapat dideteksi, yang boleh jadi proses erosi di lahan telah berlangsung lama sehingga sangat sulit dideteksi dalam sedimen suspensi.

**Tabel 2. Hasil pengukuran parameter kualitas tanah serta Cs-137 dan Pb-210 ex**

Sample code	Cs-137 (Bq/kg)	Pb-210ex (Bq/kg)	Organic C. (%)	Soil type	Fraction of soil (%)			texture
					sand	silt	clay	clasification
A.1	0.20	2.86	1.66	ALCRK	17.63	32.70	49.67	clay
A.3	0.22	6.32	1.37	ALCRK	14.56	30.07	55.37	
A.5	0.38	7.61	1.86	ALCRK	21.16	32.88	45.96	
B.1	ud	ud	0.89	ALCRK	15.51	31.64	52.85	
B.3	ud	7.62	0.89	ALCRK	16.28	27.67	56.05	
B.5	0.44	14.58	0.95	ALCRK	19.52	31.65	48.83	
B.7	0.45	4.62	0.98	ALCRK	14.51	37.30	48.19	
B.9	ud	Ud	0.60	ALCRK	23.36	31.65	44.99	
G.2	0.28	4.34	1.55	LCK	19.02	30.06	50.92	
G.4	0.21	7.91	2.26	LCK	19.91	36.41	43.68	
G.6	0.49	7.04	1.19	LCK	35.42	6.99	57.59	
G.8	0.31	4.11	1.38	LCK	24.59	19.72	55.69	
E.2	0.34	2.88	1.16	LCK	22.38	8.83	68.79	
E.4	0.58	11.28	1.58	LCK	37.29	1.12	61.60	
E.6	0.53	6.88	1.32	LCK	29.50	32.52	37.98	
H.4	0.36	2.89	1.47	LCK	28.27	14.89	56.84	
H.6	0.33	3.96	1.19	LCK	23.01	4.96	72.03	
J1.1	0.56	5.9	0.85	LCK	36.3	21.81	41.89	
J1.3	0.25	8.8	1.42	LCK	46.47	25.59	27.94	
J1.4	0.25	6.58	0.58	LCK	56.58	13.19	30.23	
J1.6	0.54	9.75	1.45	LCK	56.58	13.68	29.74	
J1.7	0.34	6.58	0.77	LCK	38.25	25.38	36.37	
J2.1	0.56	6.5	1.03	LCK	32.96	27.62	39.42	
J2.5	0.25	6.11	1.07	LCK	31.32	39.69	28.99	
J2.6	0.44	4.67	0.92	LCK	58.13	23.61	18.26	
Hillslope RS.2	1.07	11.31	1.95	ACK	34.37	25.65	39.98	Clayey loam to clay
Hillslope RS.4	1.03	6.49	2.18	ACK	34.10	31.37	34.53	
F.2	1.10	6.25	2.96	ACK	27.79	30.68	41.53	
F.4	0.99	13.38	2.01	ACK	43.02	19.95	46.03	
F.6	0.81	7.75	2.36	ACK	33.04	37.52	29.44	

Tabel 3. Ringkasan hasil estimasi laju erosi deposisi tiap hillslope transek

Transect (number of sampling point)	Cs-137 based erosion rate (ton/ha/yr)	Pb-210 based erosion rate (ton/ha/yr)	Slope range %	% eroded area based on Cs-137	% eroded area based on Pb-210	Slope length (m)
-------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------	-------------------------------	-------------------------------	------------------

				(min.-max.)	(min.-max.)	
A (5)	-75.5	-17.6	15-25	100	80(6-100)	103
B(9)	-63	-25	15-25	100	78(7-91)	110
C(10)	-46.6	-26.6	>40	80 (35)	60(11-161)	200
D(11)	-96.9	-87.3	15-25	100	100	260
E(6)	-22.7	+8	15-25	40 (96-102)	40(96-102)	240
HRS(4)	0	0	15-25	-	-	100
F(6)	-4.82	+7	25-40	83(11-83)	67(0.25-115)	120
G(8)	-75.7	-45.7	25-40	100	100	160
H(6)	-90.6	-97.3	15-25	100	100	70
I(4)	-49.3	-61	<15	100	100	80
J1,2(16)	-73.4	-26.2	15-25	100	90 (15-110)	150

Tabel 4. Data pengukuran sampel sedimen suspensi

No.	Cs-137 (Bq/kg)	Pb-210 total (Bq/kg)	Pb-214 (Bq/kg)	Pb-210 excess (Bq/kg)
1	Tak terdeteksi	26.96	6.14	20.82
2	Tak terdeteksi	12.26	7.52	4.74
3	0.255	16.05	10.91	5.14
4	0.04(meragukan)	22.04	10.56	11.48
5	Tak terdeteksi	23.42	7.36	16.06
6	Tak terdeteksi	10.79	3.83	6.96
7	0.273	13.35	4.68	8.67
8	0.02(meragukan)	33.1	5.85	27.25
9	Tak terdeteksi	15.26	8.66	6.6

## KESIMPULAN

1. Hasil pengukuran aktivitas Cs-137 dan Pb-210 excess memberikan nilai dibawah kemampuan deteksi alat, yang boleh jadi juga disebabkan adanya percepatan erosi di daerah yang diteliti.
2. Daerah hillslope hutan pinus dengan tutupan lahan yang baik dapat dijadikan sebagai lokasi pembanding untuk studi erosi dengan menggunakan radionuklida jatuhan.
3. Radionuklida Cs-137 dan Pb-210 excess dapat digunakan untuk estimasi laju erosi melalui model konversi dari model keseimbangan massa dan sangat bermanfaat sebagai alat untuk mengkaji keefektifan pengelolaan lahan (land management).
4. Kombinasi kedua radionuklida ini dan hasil pengukuran parameter kualitas tanah mempunyai prospek untuk membedakan erosi yang disebabkan oleh air dan oleh tillage.
5. Kandungan Cs-137 mempunyai korelasi yang signifikan dengan kandungan persen organik karbon, dengan tingkat kepercayaan 99 %.

## DAFTAR PUSTAKA

1. EAKINS. J.D.. The <sup>210</sup>Pb Technique for dating sediments and some applications. IAEA-TECDOC-298. pp. 31-47. Vienna. 1983

2. LAV. STANIS AND MARES.. Introduction to Applied Geophysics. Charles Univ.. D. Radel Publishing Company. Praque. 1984
3. SCHELL. W.R.. and NEVISSI. A.. Sediment in Lake and Reservoirs. IAEA. 1983
4. WIELAND E et al.. Scavenging of Chernobyl  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$  in Lake Sempach. Switzerland. Geochimica et Cosmochemica Acta. Vol. 57. Pergamon Press Ltd.. 1993
5. IAEA.. Use of Nuclear Techniques in Studying Soil Erosion and Siltation. IAEA-TECDOC-828. Vienna. 1993
6. SANCHEZ-CABEZZA, J.A., ET AL, 1999, Progr. In Oceanography, 44, 313-332.
7. BAROKAH. A.. dkk. Estimasi Laju Infiltrasi Pb stabil dalam Tanah. Prosiding APISORA-PAIR, 1999.

2. LAV STAIRS AND MARES. Introduction to Applied Geophysics. Charles Univ. D. Radek Publishing Company, Prague, 1984

3. SCHIBL, W.R. and NEVZSI, A. Sediment in Lake and Reservoir. IAEA, 1983

4. WILLIAND E et al. Scavenging of Cesium <sup>137</sup>Cs and <sup>110m</sup>Pb in Lake Geneva, Switzerland. Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 57, Pergamon Press Ltd, 1993

5. IAEA. Use of Nuclear Techniques in Studying Soil Erosion and Siltation. IAEA-TECDOC-828 Vienna, 1992

6. SANCHEZ-CABEZZA, J.A., ET AL, 1999, Prog. in Oceanography, 44, 313-352.

7. BAROKAH, A. Bk. Hamaa l'aju l'atlas Pb stabli dalam Tazak. Prosiding APISORA-FAIR, 1999.

## PENGEMBANGAN DAN APLIKASI TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI DALAM KONSERVASI DAN EKSPLOITASI SUMBERDAYA AIR DI SUKABUMI

Djiono, Abidin, Paston S., Satrio, Bungkus P., dan Rasi P.

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi- BATAN

Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Pasar Jumat, Jakarta Selatan

Telp.021-7690709; Fax: 021-7691607

### ABSTRAK

**PENGEMBANGAN DAN APLIKASI TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI DALAM KONSERVASI DAN EKSPLOITASI SUMBERDAYA AIR DI SUKABUMI.** Telah dilakukan penelitian untuk mengkaji potensi air tanah di daerah sukabumi. Metode yang dilakukan adalah dengan cara melakukan sampling air hujan, air sumur bor dalam, mata air yang tersebar di daerah lokasi penelitian. Sampel tersebut dianalisis kandungan isotop alam deuterium, oksigen-18, tritium alam dan karbon-14. Pengukuran isotop alam deuterium dan oksigen-18 dilakukan dengan mass spectrometer. Tritium diukur dengan metode pengkayaan dan dicacah dengan menggunakan Liquid scintillation analyzer (LSA). Pengukuran kandungan karbon-14 dilakukan menggunakan metode benzene dan karbosorb dan dicacah dengan LSA. Data hasil analisis dipergunakan untuk melakukan evaluasi daerah recharge, umur air tanah dan neraca kesetimbangan air tanah. Hasil penelitian menunjukkan Daerah recharge sumber air Ciburial terletak pada daerah yang mempunyai elevasi antara 800 m – 900 m dpl, sedangkan untuk sumber air Babakan Pari mempunyai daerah recharge pada ketinggian 700 – 800 m. Potensi cadangan sumber air cukup baik. Hal ini ditunjukkan oleh umur air tanah Babakan Pari yang masuk dalam klasifikasi antara umur muda dan umur tua. Dengan memperhatikan jarak sumber dengan daerah recharge dan umur air tanah di Babakan Pari, maka eksploitasi air tanah dengan kapasitas debit yang ada saat ini masih tidak mengganggu kesetimbangan air tanah pada daerah penelitian.

### ABSTRACT

**INVESTIGATION AND DEVELOPMENT OF STABLE ISOTOPE TECHNIQUES ON GROUNDWATER MANAGEMENT AT SUKABUMI.** The investigation of groundwater potential has be done at Sukabumi. The methods use is to collect water sample of rain water, production well, spring at research area and vicinity. The samples collected was analyzed stable isotop content of deuterium and oxygen-18, tritium, and carbon-14. Stable isotop to be analyzed by mass spectrometer. Tritium to be analyzed by enrichment and alectrolyzeand to be counted by Liquid scintillation analyzer (LSA). Analyze of carbon-14 content to be done by benzene method and carbosorb and to be counted by LSA. The results of analyzis to be use for groundwater recharge area, groundwater age and groundwater balance. The results of the investigation shows that recharge area of the ciburial spring lays on elevation of 800 – 900 m usl. The potention of the groundwater is good enough its indicated by age of groundwater of Babakan pari tha clasification on range of young and old. Because the distance of recharge area and babakan pari is far enough its conclusion that exploitation at that spring with debet as this time is not disturb the groundwater balance at the researc area.

### PENDAHULUAN

Dalam siklus hidrologi air dapat dijumpai dalam 3 macam fase yaitu fase padat berupa es dan salju, fase gas berupa uap air dan fase cair. Kehadirannya di alam ini dapat berada di atmosfer, di permukaan tanah mengalir secara lateral dan meresap ke dalam tanah secara vertikal sesuai dengan hukum gravitasi, menyusup diantara pori-pori formasi batuan yang dinamakan akifer, kemudian secara hidrostatik air tanah muncul kembali berupa mata air. Dengan terjadinya siklus

hidrologi ini dan memperhatikan sistem kesetimbangan air, diharapkan ketersediaan air yang menjadi kebutuhan pokok yang sangat vital bagi manusia dapat selalu terjaga dan terbaharui secara terus-menerus. Pada eksploitasi airtanah, perlu diperhatikan proses kesetimbangan antara air masuk dan air keluar dengan cara mengetahui asal-usul air tersebut, terutama daerah imbuhan (*recharge*) agar konservasi sumberdaya air tetap terjaga (1).

Teknik isotop alam  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  telah berkembang pesat selama hampir dua dekade dan menjadi alat yang sangat berarti dalam investigasi air tanah. Teknik ini merupakan terobosan teknologi yang dapat menentukan asal-usul airtanah dengan cepat dibandingkan metode lain. Ketiga isotop tersebut memberikan informasi tentang asal-usul air tanah, termasuk daerah imbuhan (*recharge*), dan umur air tanah (*dating*). Informasi tersebut mempunyai nilai kualitatif dan kuantitatif serta nilai strategis untuk eksploitasi dan manajemen pengelolaan air tanah.

Penentuan daerah *recharge* dan umur air tanah tidak dapat ditentukan dengan menggunakan teknik konvensional kecuali dengan teknik isotop. Dalam investigasi air tanah, lokasi daerah *recharge* merupakan bagian yang penting untuk mengetahui jumlah masukan air tanah yang dapat dimanfaatkan untuk perhitungan *water balance* dan konservasi air tanah. Sedangkan umur air tanah sangat berhubungan dengan kuantitas (deposit) air tanah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi sumber air yang terletak di Babakan Sari, kecamatan Cidahu. Metode penelitian ialah menggunakan metode isotop alam, yaitu isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$  serta  $^{14}\text{C}$  yang terdapat dalam sampel air. Penelitian dilakukan dengan cara pengambilan sampel air tanah secara periodik dan air hujan pada berbagai ketinggian pada musim hujan dan kemarau.

Gambar 1 memperlihatkan daerah penelitian dan lokasi pengambilan sampel air tanah dan stasiun curah hujan. Lokasi penelitian terletak pada lereng gunung Salak dengan elevasi 400 – 1200 m di atas permukaan laut. Manifestasi berupa mata air dengan debit bervariasi tersebar pada daerah penelitian tersebut. Debit terbesar ditemukan pada mata air Ciburial pada ketinggian 472 m.

Pengambilan sampel untuk analisis isotop alam dilakukan secara periodik, sedangkan analisis sampel dilakukan di laboratorium menggunakan alat spektrometer massa dan *liquid scintillation analyzer* (LSA) yang dilengkapi oleh peralatan proses seperti carbosorp dan isoprep 18.

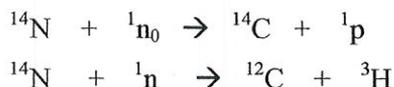
Isotop alam  $^{18}\text{O}$  dan deuterium ( $^2\text{H}$ ) merupakan salah satu jenis isotop dari atom oksigen dan hidrogen yang bersifat stabil (tidak radioaktif) berada di bumi sejak 5 milyar tahun yang lalu atau seusia dengan umur bumi. Seperti diketahui bahwa unsur oksigen (O) dan hidrogen (H) memiliki 3 (tiga) macam isotop masing-masing  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  dan  $^{18}\text{O}$  sedangkan untuk hidrogen masing-masing  $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ . Ketiga isotop oksigen tersebut bersifat stabil sedangkan isotop hidrogen ( $^1\text{H}$  dan  $^2\text{H}$ ) bersifat stabil tetapi isotop  $^3\text{H}$  (tritium) bersifat radioaktif. Di alam masing-masing isotop oksigen dan hidrogen tersebut dapat membentuk senyawa air yaitu  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ,  $\text{HDO}$ ,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  dan  $\text{H}^3\text{HO}$ . Dalam

penelitian hidrologi, isotop  $^{18}\text{O}$  dan D dalam jumlah kecil dan sangat spesifik digunakan sebagai sidik jari (*finger print*) untuk mengetahui asal-usul air dan dapat membedakan berbagai sumber air seperti air hujan, air tanah, air laut, air magma dan air connate (2).

Isotop tritium dan  $^{14}\text{C}$  bersifat radioaktif dan berada di alam merupakan produksi reaksi sinar kosmis dan gas  $\text{N}_2$ . Kedua isotop tersebut di alam berbentuk senyawa  $\text{H}^3\text{HO}$  dan  $\text{CO}_2$  dan ikut dalam siklus hidrologi masuk ke dalam air tanah. Radioisotop tritium mempunyai waktu paruh ( $T_{1/2}$ ) 12,43 tahun sedangkan radioisotop  $^{14}\text{C}$  mempunyai waktu paruh 5730 tahun. Dalam studi hidrologi kedua radioisotop tersebut digunakan untuk menentukan umur air tanah.

Dalam siklus hidrologi diketahui bahwa konsentrasi isotop  $^{18}\text{O}$  pada air hujan yang turun di pantai dan di gunung mempunyai nilai konsentrasi berbeda. Air hujan di pantai relatif mempunyai konsentrasi lebih kaya (*enrich*) bila dibandingkan dengan di pegunungan. Perbedaan konsentrasi keduanya disebabkan oleh proses kondensasi dan fraksinasi isotop. Demikian pula konsentrasi isotop air laut mempunyai nilai tertinggi yaitu sekitar 0 ‰ bila dibandingkan dengan konsentrasi jenis air yang lainnya, hal tersebut disebabkan oleh proses penguapan. Dengan adanya perbedaan isotop  $^{18}\text{O}$  dan D yang signifikan di antara jenis air tersebut maka kedua isotop tersebut dapat digunakan untuk menentukan asal-usul air.

Isotop tritium dan  $^{14}\text{C}$  di alam merupakan produk hasil reaksi antara sinar kosmis dan gas  $\text{N}_2$  di daerah transisi antara stratosphere dan troposphere seperti berikut:



Radioisotop yang dihasilkan dari kedua reaksi tersebut di atas kemudian bereaksi dengan gas oksigen membentuk senyawa gas  $\text{CO}_2$  dan HTO. Kedua senyawa tersebut kemudian ikut dalam siklus hidrologi terbawa oleh air hujan dan masuk kedalam akifer. Konsentrasi tritium yang dihasilkan oleh reaksi di atas sekitar 20 TU. Sedangkan untuk air hujan di Indonesia besarnya konsentrasi berkisar antara 4 – 6 TU. Sedangkan untuk isotop  $^{14}\text{C}$  konsentrasi yang dihasilkan oleh reaksi di atas sekitar 14 dpm/gr atau setelah distandarkan konsentrasi tersebut dianggap mempunyai konsentrasi 100% modern carbon (100 pmc)(3).

Berdasarkan sifat radioaktifitasnya kedua isotop tersebut dapat digunakan untuk menentukan umur (*dating*) air tanah atau mineral karbonat. Pada sistem *dating* isotop tritium dan  $^{14}\text{C}$  saat infiltrasi dianggap mempunyai konsentrasi awal sama seperti nilai konsentrasi hasil reaksi kosmis yaitu 4-6 TU untuk tritium dan 100 pmc untuk isotop  $^{14}\text{C}$ . Selama waktu perjalanannya di dalam akifer konsentrasi isotop tersebut akan berkurang karena mengalami peluruhan (*decay*) radioaktif yang sesuai dengan waktu paruhnya masing-masing. Persamaan perhitungan berdasarkan sifat radioaktif dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{t_{1/2}}{0.693} \times \ln \left( \frac{C_o}{C_t} \right) \dots\dots (1)$$

Dimana:

- T adalah umur air tanah dalam tahun
- $t_{1/2}$  adalah waktu paruh (untuk tritium adalah 12,34 tahun dan untuk  $^{14}\text{C}$  adalah 5730 tahun)
- $C_o$  adalah konsentrasi awal dari tritium atau  $^{14}\text{C}$  sesuai dengan nilai 100 pmc untuk  $^{14}\text{C}$  dan 6 TU untuk tritium
- $C_t$  adalah tritium dan  $^{14}\text{C}$  pada t tahun

Berdasarkan persamaan di atas dan waktu paruh kedua isotop tersebut maka untuk penentuan umur air tanah dengan menggunakan isotop tritium hanya dapat mengukur umur hingga 50 tahun, sedangkan dengan menggunakan isotop  $^{14}\text{C}$  dapat mengukur umur air tanah hingga 40.000 tahun (4).

Dalam rangka eksploitasi air tanah, informasi mengenai penentuan umur air tanah sangat bermanfaat untuk estimasi deposit air tanah. Air tanah dengan umur yang sangat muda memberikan indikasi bahwa depositnya sangat tergantung kepada curah hujan. Sedangkan bagi air tanah yang mempunyai umur tua memberikan indikasi bahwa deposit air tanah tersebut tidak berhubungan langsung dengan curah hujan.

## METODOLOGI PENELITIAN

Sampel air hujan diambil dari beberapa stasiun curah hujan yang dipasang di empat lokasi pada ketinggian yang berbeda-beda. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui *finger print* isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  air hujan pada tiap ketinggian. Pada setiap stasiun curah hujan dipasang alat penampung yang terbuat dari *stainless steel* berukuran 18 L atau setara dengan 350 mm curah hujan sehingga cukup untuk menampung air hujan selama satu bulan seperti terlihat pada gambar 5. Untuk mencegah pengaruh penguapan air hujan yang tertampung ditambahkan minyak parafin hingga seluruh permukaan tertutupi dengan minyak tersebut.

Setelah air hujan ditampung selama satu bulan kemudian dilakukan pengukuran curah hujan dan pengambilan sampel untuk analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$ . Teknik tersebut dilakukan agar diperoleh nilai *amount effect* kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  air hujan pada setiap elevasi. Dengan demikian, dapat ditentukan hubungan antara kandungan isotop dengan elevasi sehingga diperoleh persamaan garis meteorik lokal. Dalam penelitian ini, penampung curah hujan diletakkan pada empat lokasi seperti terlihat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Data stasiun curah hujan.

Stasiun	Lokasi	Elevasi (m)	Keterangan
1.	Babakan Pari	475	Cidahu
2.	Pasir Reungit	628	Rumah Pak Asep
3.	Kuta Girang	760	Rumah Ibu Ina
4.	Tenjolaya	923	Rumah Bp. Ook

Penelitian dilaksanakan melalui strategi pendekatan keadaan topografi dan geohidrologi daerah penelitian. Penempatan stasiun curah hujan pada berbagai elevasi dilaksanakan sesuai dengan alur topografi dari ketinggian 923 meter yang terletak di kaki gunung Salak hingga elevasi 472 meter yang terletak di sekitar lokasi mata air Babakan Pari. Pengambilan sampel mata air dan sumur bor yang tersebar di antara *slope* kedua ketinggian tersebut diharapkan dapat menjelaskan mekanisme imbuhan dan gerakan air tanah di daerah penelitian.

Isotop  $^{14}\text{C}$  dalam sampel air berada dalam bentuk gas  $\text{CO}_2$  yang terlarut dalam air tanah dan diambil dalam bentuk endapan  $\text{BaCO}_3$  dengan perlakuan sebagai berikut :

- Sampel air tanah dalam sebanyak 60 liter dimasukan ke dalam tangki pengendap dan ditambahkan 5 g  $\text{FeSO}_4$  untuk menghilangkan pengaruh mineral sulfida.
- Sampel tersebut kemudian ditambahkan larutan  $\text{NaOH}$  jenuh sebanyak 40 ml hingga pH sampel berkisar 9.
- Tambahkan larutan  $\text{BaCl}_2$  jenuh sebanyak 500 mL kemudian aduk hingga terbentuk endapan halus  $\text{BaCO}_3$  yang terdispersi.
- Untuk mengkoagulasikan endapan ditambahkan koagulan praestol sebanyak 30 mL dan aduk perlahan lahan hingga endapan turun ke botol sampel di bagian bawah.
- Sampel kemudian ditampung dalam botol khusus yang kedap udara.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan isotop dan jumlah curah hujan dalam pekerjaan ini dilakukan selama 9 bulan yang diamati pada empat stasiun curah hujan di sekitar Babakan Pari. Pengamatan curah hujan dan kandungan isotopnya dalam penelitian ini telah mencakup  $\geq 95\%$  total curah hujan setahun. Jumlah curah hujan pada setiap ketinggian sepanjang waktu penelitian juga bervariasi, yaitu antara 33,3 – 287,1 mm. Curah hujan tertinggi terdapat pada stasiun kampung Pasir Reungit, Cidahu pada ketinggian 628 m di atas permukaan laut (dpl). Sedangkan curah hujan terendah terdapat pada stasiun Babakan Pari yaitu sebesar 22,6 mm di bulan September. Variasi besarnya curah hujan sebanding dengan variasi kandungan isotop dalam air hujan. Secara umum, kandungan isotop tergantung pada jumlah curah hujan, daerah yang mempunyai curah hujan yang besar mempunyai

kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  yang *depleted*, sedangkan daerah dengan curah hujan rendah mempunyai kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  yang *enrich*. Fenomena ini disebut *amount effect*.

Berdasarkan data hasil analisis isotop, terlihat bahwa kandungan isotop bervariasi antara -2.46‰ hingga -9.35‰ untuk  $^{18}\text{O}$  dan -5.68‰ hingga -61.38‰ untuk  $^2\text{H}$ . Kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  yang paling *depleted* terdapat pada stasiun Babakan Pari (475 m) pada bulan Oktober 2006 sebesar -2.46 ‰. Berdasarkan kedua tabel tersebut, dapat ditentukan berturut-turut: indeks kandungan isotop pada tiap stasiun (*amount effect*), garis meteorik lokal dan hubungan kandungan isotop terhadap elevasi (ketinggian).

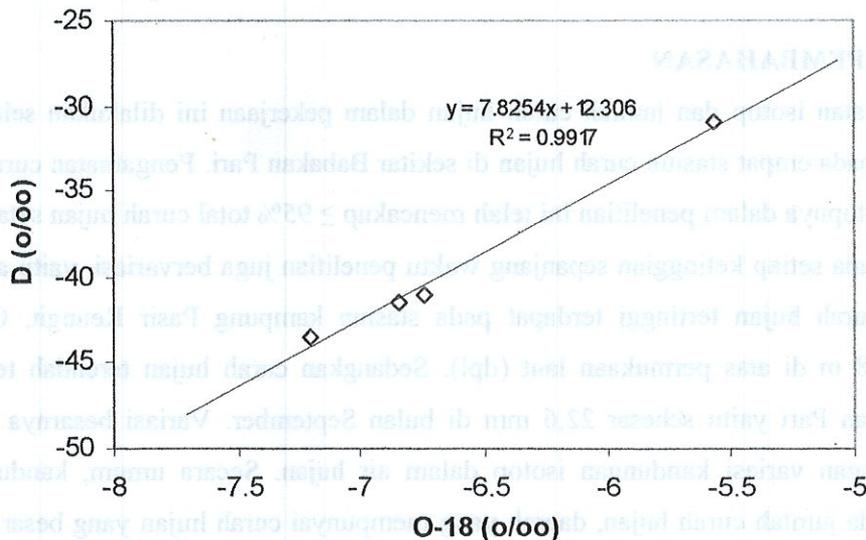
**Tabel 4.** Nilai *meanweighth* kandungan isotop pada setiap stasiun curah hujan.

Stasiun	Elevasi (m)	$^{18}\text{O}$ (‰)	$^2\text{H}$ (‰)
Babakan Pari	475	-5.56	-30.99
Pasir Reungit	628	-6.85	-41.54
Kuta Jaya	760	-6.74	-41.01
Tenjolaya	923	-7.20	-43.45

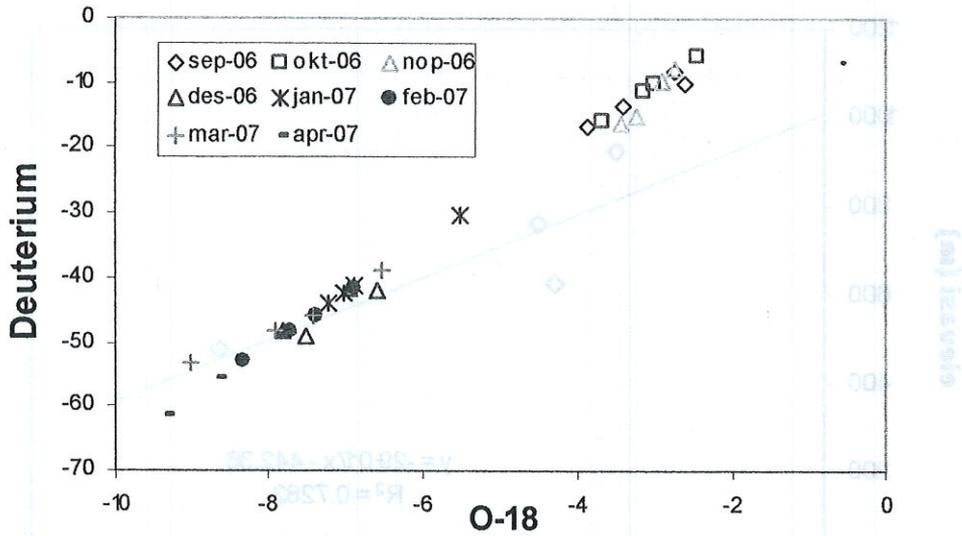
Data variasi kandungan isotop pada tabel tersebut digunakan untuk menentukan persamaan garis meteorik lokal yang menghubungkan antara kandungan  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  stasiun curah hujan seperti terlihat pada gambar 1 dan 2 dengan persamaan:

$$^2\text{H} = 7.825 \cdot ^{18}\text{O} + 12.306 \quad \dots\dots\dots (2)$$

Garis meteorik lokal tersebut selanjutnya dipakai sebagai acuan untuk menghubungkan antara kandungan isotop air hujan dan sumber air dan untuk menentukan asal-usul dan daerah *recharge* sumber air di Sukabumi.



**Gambar 1.** Grafik hubungan  $^{18}\text{O}$  dan deuterium dari rerata sampel air hujan

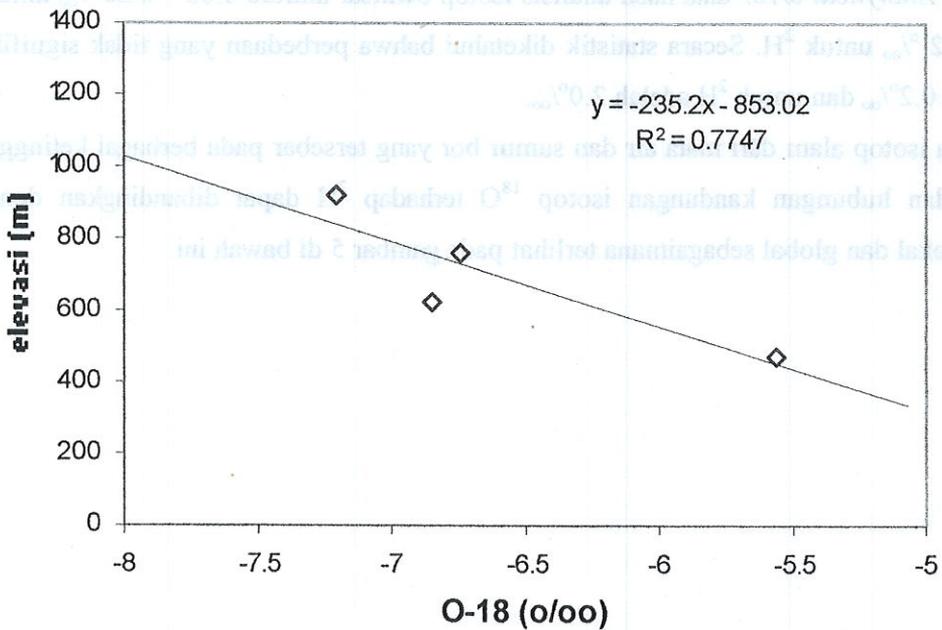


Gambar 2. Grafik hubungan  $^{18}\text{O}$  dan deuterium sampel air hujan per bulan

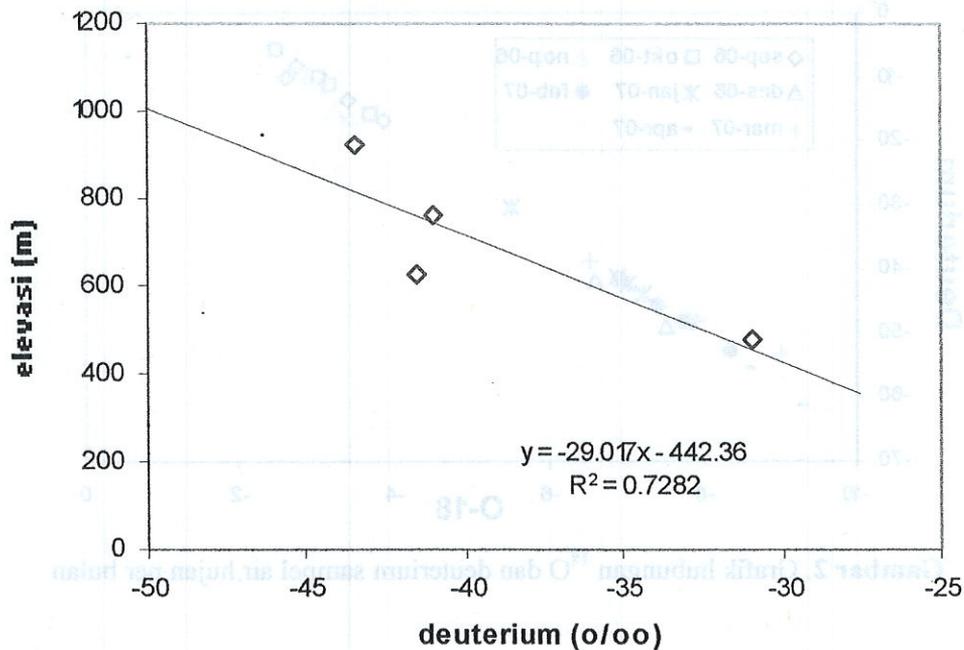
Garis hubungan antara isotop terhadap elevasi untuk rerata isotop (*mean weight*) menunjukkan garis hubungan isotop terhadap elevasi selama 8 bulan pengamatan terlihat pada gambar 3 dan 4. Dari grafik tersebut terlihat bahwa hubungan antara elevasi dan kandungan isotop memiliki persamaan:

$$\text{Elevasi} = -235.2 \text{ } ^{18}\text{O} - 853.02 \quad (3)$$

$$\text{Elevasi} = -29.017 \text{ } ^2\text{H} - 442.36 \quad (4)$$



Gambar 3. Grafik hubungan  $^{18}\text{O}$  dan elevasi rerata air hujan.

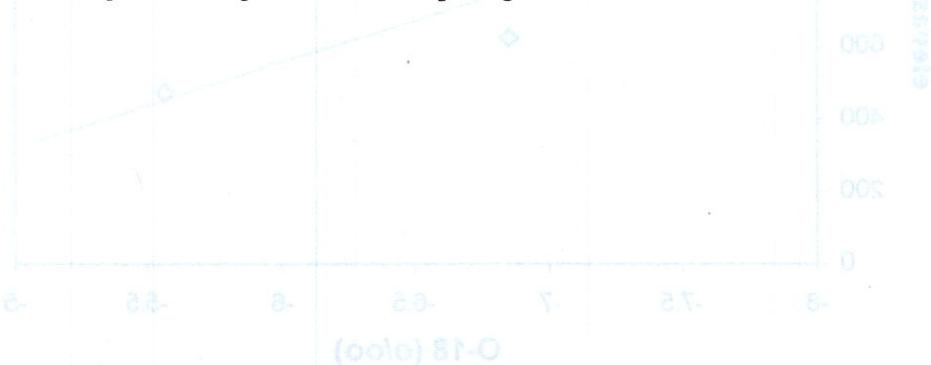


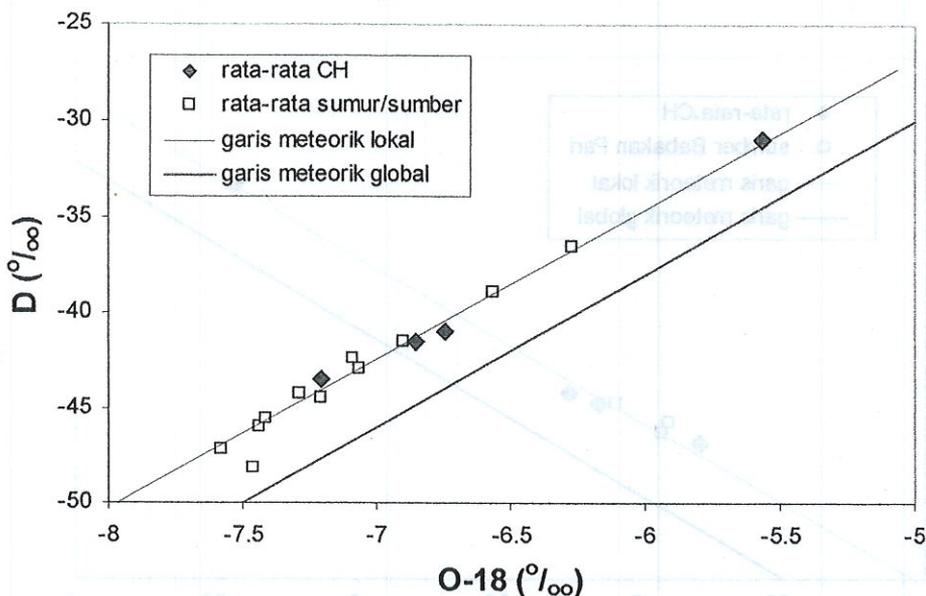
**Gambar 4.** Grafik hubungan deuterium dan elevasi rerata air hujan.

Berdasarkan persamaan (3) dan (4) dari grafik tersebut, maka penurunan nilai rasio isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  masing-masing untuk setiap kenaikan 100 m elevasi adalah  $0,43\text{‰}$  dan  $3,45\text{‰}$ .

Sampling sumber air tanah yang dilakukan pada bulan September (musim panas), bulan November dan Maret (musim hujan) nampaknya tidak mempengaruhi hasil analisis secara signifikan. *Analytical error* data hasil analisis isotop berkisar antara  $0,08 - 0,20\text{‰}$  untuk  $^{18}\text{O}$  dan  $0,39 - 2,22\text{‰}$  untuk  $^2\text{H}$ . Secara statistik diketahui bahwa perbedaan yang tidak signifikan untuk  $^{18}\text{O}$  adalah  $0,2\text{‰}$  dan untuk  $^2\text{H}$  adalah  $2,0\text{‰}$ .

Data isotop alam dari mata air dan sumur bor yang tersebar pada berbagai ketinggian relatif beragam dan hubungan kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  terhadap  $^2\text{H}$  dapat dibandingkan dengan garis meteorik lokal dan global sebagaimana terlihat pada gambar 5 di bawah ini.





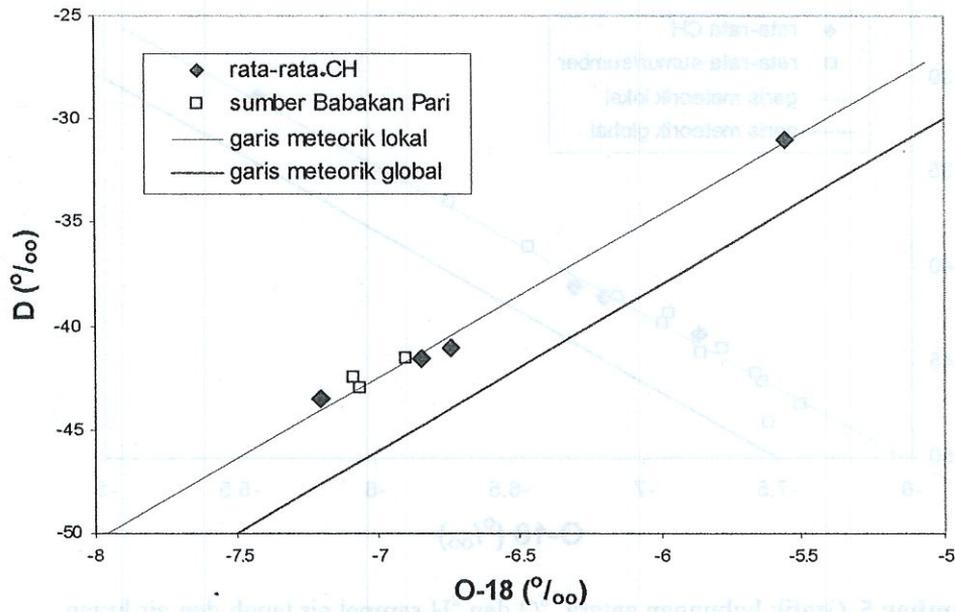
Gambar 5. Grafik hubungan antara  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  sampel air tanah dan air hujan

Dari gambar di atas terlihat bahwa kandungan isotop air tanah terletak di sekitar garis meteorik lokal serta tidak tampak indikasi proses penguapan maupun pencampuran (*mixing*) dengan sumber lainnya. Keadaan ini menunjukkan bahwa sumber air tanah berasal dari air meteorik dengan ketinggian daerah imbuhan yang berbeda-beda.

Sumber air Babakan Pari mempunyai kandungan isotop rerata dari ketiga sumber adalah  $-7.0 \pm 0.1\text{‰}$  untuk  $^{18}\text{O}$  dan  $-42.3 \pm 0.7\text{‰}$  untuk  $^2\text{H}$ . Secara statistik kandungan isotop sumber tersebut tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Dengan demikian ketiganya berasal dari air meteorik yang masuk pada ketinggian sama.

Sumber Babakan Pari yang terletak pada ketinggian 475 m di atas permukaan laut (dpl) mempunyai komposisi isotop yang lebih *depleted* bila dibandingkan dengan sumber mata air Nangka Beurit pada ketinggian 710 m dpl. Bila sumber mata air Nangka Beurit merupakan sumber yang berasal dari *local recharge*, maka daerah imbuhan sumber Babakan Pari akan terletak lebih tinggi dari 710 m.

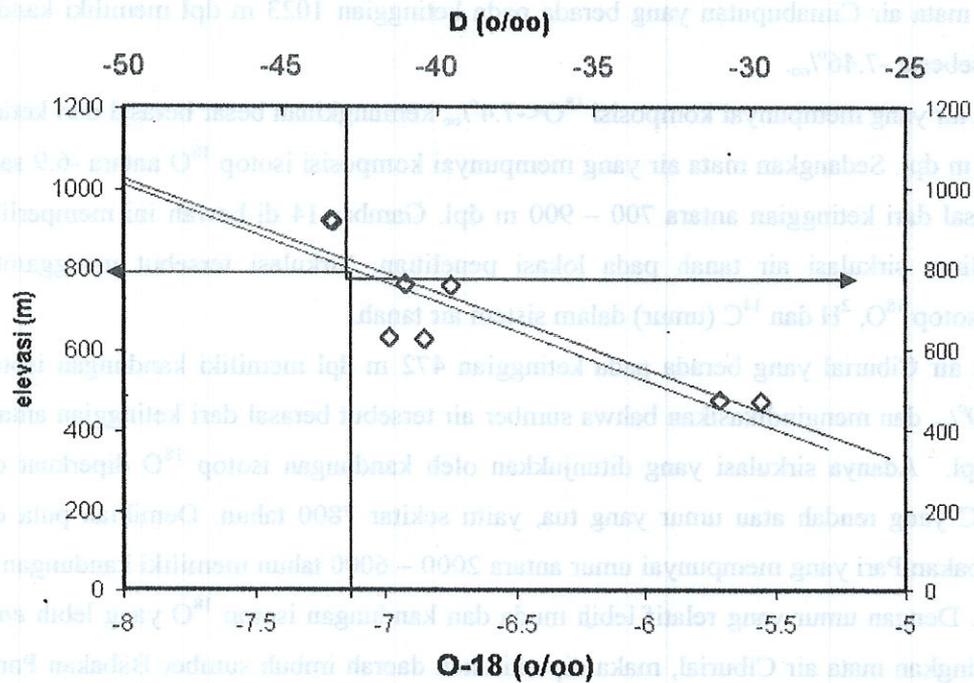
Gambar 6 di bawah ini menunjukkan hubungan komposisi isotop air hujan dan sumber air tanah Babakan Pari.



**Gambar 6.** Grafik hubungan antara  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  sumber Babakan Pari dan air hujan

Gambar di atas memperlihatkan bahwa nilai komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  sumber Babakan Pari berada di antara nilai komposisi isotop dari air hujan pada stasiun curah hujan Kuta Jaya (760 m dpl) dan stasiun curah hujan Tenjolaya (923 m dpl).

Penentuan ketinggian daerah imbuhan sumber airtanah dapat dilakukan dengan cara memasukkan nilai kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  ke dalam persamaan (3) dan (4) di atas yang menghubungkan antara elevasi dan komposisi isotop. Ketinggian daerah imbuhan juga dapat diperoleh dari grafik hubungan elevasi terhadap  $^{18}\text{O}$  atau  $^2\text{H}$ . Gambar 7 menunjukkan posisi rerata kandungan isotop sumber Babakan Pari terhadap komposisi isotop air hujan di berbagai ketinggian.



**Gambar 7.** Grafik elevasi terhadap kandungan isotop sumber Babakan Pari untuk menentukan ketinggian daerah imbuh

Berdasarkan perhitungan melalui persamaan linear elevasi terhadap kandungan isotop dan juga berdasarkan grafik, maka diperoleh daerah imbuh sumber Babakan Pari berada pada lokasi dengan ketinggian (elevasi) sekitar  $800 \pm 900$  m dpl.

Hasil analisis pada tabel memperlihatkan bahwa mata air yang muncul pada ketinggian antara 600 – 900 m dpl mempunyai umur air tanah modern. Keadaan ini menginformasikan bahwa air tanah pada ketinggian tersebut mengalami sirkulasi (aliran) lokal. Air hujan masuk (*recharge*) pada ketinggian yang relatif tidak jauh, mengalami infiltrasi dengan sirkulasi dangkal atau yang biasa disebut *local recharge*.

Mata air Ciburial dengan debit yang sangat besar memiliki umur yang paling tua, yaitu  $7866 \pm 40$  tahun. Sumur bor Babakan Pari dengan 3 buah sumber memiliki umur yang agak berbeda. Sumur bor 2 memiliki umur yang paling tua, yaitu  $6180 \pm 95$  tahun, sumur bor 3 memiliki umur  $4011 \pm 35$  tahun, sedangkan sumur bor 1 memiliki umur yang paling muda yaitu  $2057 \pm 25$  tahun. Hal ini mengindikasikan air tanah sumur bor berasal dari sumber yang sama, namun kemungkinan mengalami proses pencampuran dengan air tanah lokal atau air tanah sirkulasi dangkal, terutama pada sumur bor 2.

Hubungan kandungan isotop  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  memberikan informasi yang lebih jelas tentang asal-usul sumber air tanah. Mata air yang berada pada lokasi dengan ketinggian antara 600 – 900 m dpl dengan umur modern memiliki kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  antara  $-6.9\text{‰}$  hingga  $-7.58\text{‰}$ .

Sedangkan mata air Cimabuputan yang berada pada ketinggian 1023 m dpl memiliki kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  sebesar  $-7.46\text{‰}$ .

Mata air yang mempunyai komposisi  $^{18}\text{O} < -7.4\text{‰}$  kemungkinan besar berasal dari ketinggian di atas 900 m dpl. Sedangkan mata air yang mempunyai komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  antara  $-6.9$  sampai  $-7.2\text{‰}$  berasal dari ketinggian antara 700 – 900 m dpl. Gambar 14 di bawah ini memperlihatkan berbagai aliran sirkulasi air tanah pada lokasi penelitian. Sirkulasi tersebut menggambarkan hubungan isotop  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  (umur) dalam sistem air tanah.

Mata air Ciburial yang berada pada ketinggian 472 m dpl memiliki kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  antara  $-7.29\text{‰}$  dan mengindikasikan bahwa sumber air tersebut berasal dari ketinggian antara 800 – 900 m dpl. Adanya sirkulasi yang ditunjukkan oleh kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  diperkuat dengan aktivitas  $^{14}\text{C}$  yang rendah atau umur yang tua, yaitu sekitar 7800 tahun. Demikian pula dengan sumber Babakan Pari yang mempunyai umur antara 2000 – 6000 tahun memiliki kandungan isotop  $^{18}\text{O}$   $-7.0\text{‰}$ . Dengan umur yang relatif lebih muda dan kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  yang lebih *enriched* bila dibandingkan mata air Ciburial, maka diperkirakan daerah imbuhan sumber Babakan Pari lebih rendah dari sumber mata air Ciburial, yaitu antara 700 – 800 m dpl.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian untuk mengetahui potensi sumber air Sukabumi dengan metode isotop alam memberikan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Daerah *recharge* sumber air Ciburial terletak pada daerah yang mempunyai elevasi antara 800 m – 900 m dpl, sedangkan untuk sumber air Babakan Pari mempunyai daerah *recharge* pada ketinggian 700 – 800 m.
- b. Potensi cadangan sumber air cukup baik. Hal ini ditunjukkan oleh umur air tanah Babakan Pari yang masuk dalam klasifikasi antara umur muda dan umur tua.
- c. Dengan memperhatikan jarak sumber dengan daerah *recharge* dan umur air tanah di Babakan Pari, maka eksploitasi air tanah dengan kapasitas debit yang ada saat ini masih tidak mengganggu kesetimbangan air tanah pada daerah penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

1. FRITZ P. and C. H. FONTES, "Handbook of Environmental Isotope Geochemistry", Elsevier Scientific Publisher Co., vol 1, 1981
2. PAYNE, B., and Y. YUTSEVER, "Environmental Isotopes as a Hydrological Tool in Nicaragua", Isotope Technique in Groundwater Hydrogeology Vol. 1, 1974.
3. IAEA – Vienna, "Stable Isotope Hydrology, Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle".
4. CLARK, I., FRITZ, P., "Environmental Isotopes in Hydrogeology", Lewis Publisher, 1997.



Tabel 2. Data curah hujan pada empat stasiun pengamatan (mm).

No	Lokasi	Elev (m)	Sept 2008	Oktober 2008	Nov 2008	Des 2008	Januari 2008	Februari 2008	Maret 2008	April 2008	Mei 2008
1	Babakan Pari,	475	22.6	51.37	262.8	218.6	101.4	243.6	244.2	110.1	122.2
2	Pasir Reungit,	628	33.3	41.94	35.6	148.2	122.8	235.1	287.1	138.9	100.4
3	Desa Kuta	760	59.5	55.99	175.1	225.1	195.4	208.2	118.7	146.6	136.6
4	Desa Tenjolaya,	923	63.0	45.41	254.9	254.5	202.3	203.4	250.6	169.7	127.4

Tabel 3. Hasil analisis  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  sampel air hujan.

No.	Stasiun	Elevasi (m)	Rasio $^{18}\text{O}$ dan $^2\text{H}$ (Deuterium)																	
			Sep-07 $^{18}\text{O}$ (‰)	Sep-07 D (‰)	Oktober 07 $^{18}\text{O}$ (‰)	Oktober 07 D (‰)	Nov-07 $^{18}\text{O}$ (‰)	Nov-07 D (‰)	Des-07 $^{18}\text{O}$ (‰)	Des-07 D (‰)	Jan-08 $^{18}\text{O}$ (‰)	Jan-08 D (‰)	Feb-08 $^{18}\text{O}$ (‰)	Feb-08 D (‰)	Mar-08 $^{18}\text{O}$ (‰)	Mar-08 D (‰)	Apr-08 $^{18}\text{O}$ (‰)	Apr-08 D (‰)	Mei-08 $^{18}\text{O}$ (‰)	Mei-08 D (‰)
1	Babakan Pari	475	-2.63	-10.1	-2.46	-5.68	-2.73	-7.84	-6.95	-41.6	-5.53	-30.2	-6.9	-41.7	-6.55	-39	-7.75	-48.5	-6.8	-40.9
2	Pasir Reungit	628	-2.75	-8.01	-3.01	-10.00	-2.9	-9.6	-6.6	-42.1	-6.91	-41.2	-7.4	-45.8	-7.42	-45.86	-7.83	-49.04	-7.2	-44.1
3	Kuta Jaya	760	-3.4	-13.5	-3.13	-11.10	-3.22	-15.3	-7.51	-49	-7.02	-42.2	-7.72	-48.1	-7.9	-48.1	-8.65	-55.8	-8.0	-50.5
4	Tenjolaya	923	-3.85	-16.8	-3.65	-15.80	-3.43	-16.4	-7.8	-48.4	-7.23	-43.8	-8.33	-52.9	-9.02	-53.2	-9.36	-61.38	-8.2	-52.1

Tabel A. Hasil analisis  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  dan  $^{14}\text{C}$  sampel air tanah.

No	Kode Sampe I	Lokasi	Elevasi (m)	Sampling I			Sampling II			Sampling III		
				$^{18}\text{O}$ (‰)	$^2\text{H}$ (‰)	$^{14}\text{C}$ (tahun)	$^{18}\text{O}$ (‰)	$^2\text{H}$ (‰)	$^{14}\text{C}$ (tahun)	$^{18}\text{O}$ (‰)	$^2\text{H}$ (‰)	$^{14}\text{C}$ (tahun)
1.	SB-1	Sumur bor 1 Babakan Pari	475	-6.93	-41.4	2264 ± 20	-6.9	-41.2	-6.87	-41.40	2057 ± 25	
2.	SB-2	Sumur bor 2 Babakan Pari	475	-7.06	-42.8	6053 ± 25	-6.93	-42	-7.20	-44.10	6180 ± 95	
3.	SB-3	Sumur bor 3 Babakan Pari	475	-	-	4097 ± 35	-	-	-	-	4011 ± 35	
4.	SB-4	Sumur bor 4 Babakan Pari	475	-7.05	-42.6	-	-7.3	-43.6	-6.90	-41.12	2307 ± 25	
5.	SB-5	Mata air Garuda Ds. Kutajaya Girang	760	-7.21	-43.7	Modern	-7.2	-43.1	-7.43	-45.90	Modern	
6.	SB-6	Mata air Cimumutan Ds. Tenjolaya, Cisaat	900	-7.50	-46.7	Modern	-7.35	-44.8	-7.44	-46.52	Modern	
7.	SB-7	Sumur bor PDAM Cikombo	590	-7.54	-46.8	Modern	-7.56	-46.6	-7.63	-48.04	Modern	
8.	SB-8	Mata air Cidahu, Gn. Salak	900	-6.07	-34.6	Modern	-7.14	-35.9	-7.22	-41.40	Modern	
9.	SB-9	Mata air Nangka Beurit, Ds. Cidahu	710	-6.73	-39.8	-	-6.44	-38	-7.16	-39.00	-	
10.	SB-10	Mata air Cibuntu, Ds. Pd. Kaso Tengah	520	-7.32	-44.8	-	-7.29	-44.3	-7.00	-44.20	2844 ± 25	
11.	SB-11	Mata air Ciburial, Ds. Babakan Jaya, Parung Kuda	472	-7.59	-46.7	-	-7.23	-43.8	-7.05	-46.20	7866 ± 40	
12.	SB-12	Mata air Cimabuputan	1023	-	-	-	-	-	-7.46	-48.18	-	

Tabel 4. Hasil analisis  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  sampel air tanah.

No	Kode Sampel	Lokasi	Elevasi (m)	Sampling I		Sampling II		Sampling III		Rata-rata	
				$^{18}\text{O}$ (‰)	$^2\text{H}$ (‰)						
1.	SB-1	Sumur bor 1 Aqua Babakan Pari	475	-6.93	-41.4	-6.9	-41.2	-6.87	-41.40	-6.88 ± 0.03	-41.33 ± 0.39
2.	SB-2	Sumur bor 2 Aqua Babakan Pari	475	-7.06	-42.8	-6.93	-42	-7.20	-44.10	-7.06 ± 0.14	-42.97 ± 1.06
3.	SB-4	Sumur bor 4 Aqua Babakan Pari	475	-7.05	-42.6	-7.3	-43.6	-6.90	-41.12	-7.08 ± 0.20	-42.44 ± 1.25
4.	SB-5	Mata air Garuda Ds. Kutajaya Girang	760	-7.21	-43.7	-7.2	-43.1	-7.43	-45.90	-7.28 ± 0.13	-44.23 ± 1.47
5.	SB-6	Mata air Cimumutan Ds. Tenjolaya, Cisaat	900	-7.50	-46.7	-7.35	-44.8	-7.44	-46.52	-7.43 ± 0.08	-46.01 ± 1.05
6.	SB-7	Sumur bor PDAM Cikombo	590	-7.54	-46.8	-7.56	-46.6	-7.63	-48.04	-7.58 ± 0.05	-47.15 ± 0.78
7.	SB-8	Mata air Cidahu, Gn. Salak	900	-6.07	-34.6	-7.14	-35.9	-7.22	-41.40	-7.18 ± 0.06	-37.30 ± 2.22
8.	SB-9	Mata air Nangka Beurit, Ds. Cidahu	710	-6.73	-39.8	-6.44	-38	-7.16	-39.00	-6.78 ± 0.36	-38.93 ± 0.90
9.	SB-10	Mata air Cibuntu, Ds. Pd. Kaso Tengah	520	-7.32	-44.8	-7.29	-44.3	-7.00	-44.20	-7.20 ± 0.18	-44.43 ± 0.32
10.	SB-11	Mata air Ciburial, Ds. Babakan Jaya, Parung Kuda	472	-7.59	-46.7	-7.23	-43.8	-7.05	-46.20	-7.29 ± 0.27	-45.57 ± 1.55
11.	SB-12	Mata air Cimabupaten	1023					-7.46	-48.18	-7.46	-48.18





## TEKNIK NUKLIR UNTUK PENELITIAN RESERVOIR DAN ALIRAN DUA FASA PADA LAPANGAN PANASBUMI LAHENDONG, SULAWESI UTARA

Djiono, Abidin, Alip, Rasi P, Ristin P, Bungkus P.

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi- BATAN  
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Pasar Jumat, Jakarta Selatan  
Telp.021-7690709; Fax: 021-7691607

### ABSTRAK

**TEKNIK NUKLIR UNTUK PENELITIAN RESERVOIR DAN ALIRAN DUA FASA PADA PIPA TRANSMISI UAP DI LAPANGAN PANASBUMI LAHENDONG, SULAWESI UTARA.** Telah dilakukan penelitian untuk mengkaji karakteristik reservoir lapangan panasbumi Lahendong, Sulawesi Utara dengan teknik isotop alam dan geokimia. Tujuan dari penelitian adalah untuk mendapatkan data karakteristik reservoir uap lapangan panasbumi Lahendong yang dapat dipergunakan untuk menjawab sustainability produksi dan pelestarian sumberdaya alam dan lingkungan. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan dengan cara melakukan sampling uap dengan kondenser dan menganalisis isotop alam dan geokimia dari sampel sumur produksi, kemudian mengukur kandungan isotop alam air meteorik dan manifestasi daerah dan sekitar lapangan panasbumi Lahendong. Untuk menentukan hubungan antar sumur reinjeksi dan sumur produksi dilakukan dengan cara menginjeksikan perunut radioaktif berupa tritium ke dalam sumur reinjeksi LHD-7. Injeksi dilakukan dengan sistem pulsa dan pengamatan dilakukan dengan cara sampling secara berkala pada setiap sumur produksi, kemudian sampel dianalisis menggunakan metode direct counting dengan Liquid Scintillation Counter (LSC). Untuk mengukur kandungan isotop alam dilakukan dengan metode spektrometer massa. Fluida reservoir lapangan Lahendong *cluster* LHD-4 berasal dari air meteorik yang *recharge* melalui penetrasi dalam dari daerah ketinggian antara 600 m hingga 900 m diatas permukaan laut. Aliran sistem reservoir berasal dari dua arah yaitu arah barat daya dan dari arah timurlaut. Genesis fluida menunjukkan terjadi kesetimbangan antara air dan batuan pada *deep reservoir* pada temperatur tinggi dan tidak berkontribusi oleh air magmatik dan bersifat homogen.

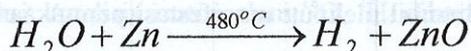
### ABSTRACT

**NUCLEAR TECHNIQUES FOR INVESTIGATION OF RESERVOIR AND DOUBLE PHASE STEAM FLOW PIPE TRANSMISION AT LAHENDONG GEOTHERMAL AREA, NORTH SULAWESI.** The investigation reservoir characterization conducted by using isotope and geochemical techniques have been done at Lahendong geothermal area, Sulawesi Utara. The aim of the research are develop baseline database of isotope and geochemical of the reservoir, to investigate genesis and interconnection well, to trace pathway of the isotop tritium tracer on the production well. The techniques is to collect samples from the production well, rain water and manifestation of the geothermal area and analyzed of stable isotop and chemical. To investigate the pathway and interconnection of the wells, tracer of tritium was injected at reinjection well LHD-7 by pulse method. Monitoring done by collected of the samples periodically and analyzed by using liquid scintillation counter (LSC) and mass spectrometer. Recharge area of the reservoir is lay on 600 – 900 m up sea level. Flow of the reservoir sistem from two directions from west-north and east south. The genesis of the fluid show the equilibration from water and rock at deep reservoir on the high temperature and not contributed by magmatic and homogenous.

### PENDAHULUAN

Tes perunut radioisotop tritium yang dilakukan pada lapangan dengan sistem dua fasa di Lahendong diharapkan dapat mengungkapkan interkoneksi antara sumur reinjeksi dan sumur-sumur produksi Lapangan ini. Tes injeksi perunut dan studi isotop geokimia dapat memberikan kontribusi dalam strategi manajemen lapangan uap maupun pengembangan reservoir dalam rangka

Sedangkan untuk analisis isotop stabil  $^2\text{H}$  juga menggunakan spektrometer massa namun terlebih dulu dilakukan preparasi dengan metode *zinc reduction*. Sebanyak 0.2 g Zn ditimbang dan ditambah 8  $\mu\text{L}$  sampel air lalu ditempatkan dalam labu dan dibuat menjadi vakum. Setelah vakum campuran dipanaskan hingga  $480^\circ\text{C}$  selama satu jam sampai gas  $\text{H}_2$  terbentuk menurut persamaan berikut:



Gas  $\text{H}_2$  yang terbentuk kemudian dianalisis dengan spektrometer massa untuk diukur rasio isotopnya terhadap standar dan dinyatakan sebagai delta ( $\delta$ ) dalam satuan ‰ (permil) yang dirumuskan sebagai:

$$\delta_{A/r} = \frac{R_A}{R_r} - 1 \times 1000 \text{‰}$$

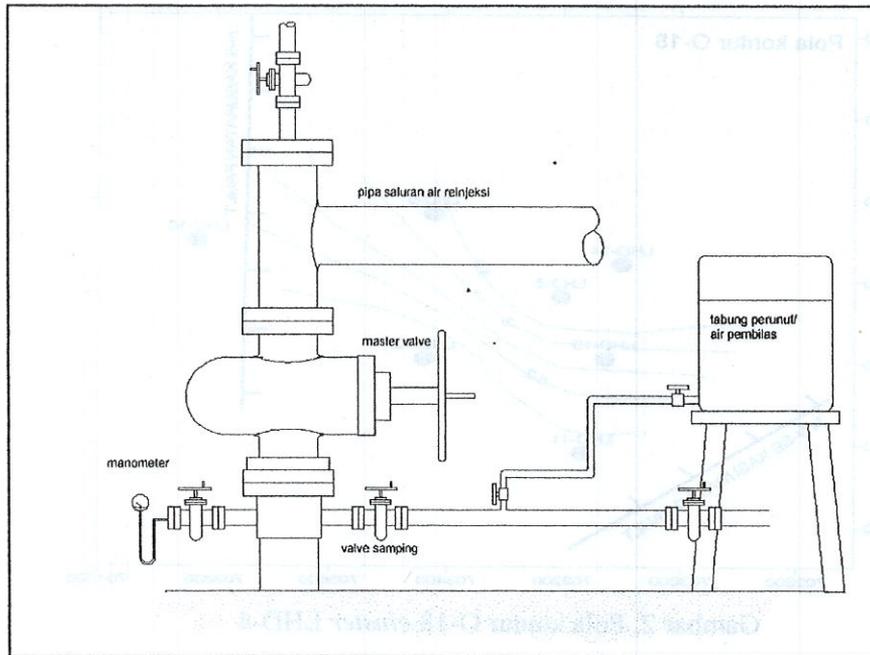
dimana  $\delta_{A/r}$  = rasio isotop berat terhadap isotop ringan,  $R_A$  = rasio isotop berat dalam sampel terhadap standar,  $R_r$  = rasio isotop ringan dalam sampel terhadap standar.

Analisis tritium menggunakan peralatan LSC (*Liquid Scintillation Counter*) yang sebelumnya terlebih dahulu diperkaya (*enrichment*) dengan elektrolisis. Sebanyak 600 mL sampel air yang telah didestilasi ditimbang dan dimasukkan ke dalam sel elektrolisis bersama dengan 4 g  $\text{Na}_2\text{O}_2$ . Sel tersebut dielektrolisis sampai berat sampel air mencapai kurang-lebih 20 gram. Sampel yang sudah dielektrolisis tersebut kembali didestilasi untuk menghilangkan pengotornya (5).

Setelah didestilasi, ditimbang sebanyak 10 g sampel ke dalam vial gelas dan ditambahkan larutan sintilator sebanyak 11 mL. Seluruh vial sampel dan standar dimasukkan ke dalam LSC untuk dicacah selama 1000 menit sehingga dapat ditentukan aktivitas tritium dalam sampel yang dinyatakan dalam satuan TU (Tritium Unit).

Analisis gas terdiri dari gas yang larut dalam larutan NaOH dan yang tak larut dalam NaOH. Untuk gas yang larut seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , HCl dan HF analisis dilakukan menggunakan metode titimetri dan UV-vis. Sedangkan untuk gas yang tak larut seperti He,  $\text{H}_2$ , Ar,  $\text{N}_2$  dan  $\text{CH}_4$  analisis dilakukan menggunakan Kromatografi Gas – Perkin Elmer dengan detektor TCD (*Thermal Conductivity Detector*)(6).

Analisis kimia yang meliputi kation dan anion digunakan dengan berbagai metode. Metode titrasi digunakan untuk analisis  $\text{HCO}_3^-$ , sebagai titran digunakan HCl dan NaOH. Metode spektroskopi UV-Vis digunakan untuk analisis B, F,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$  dengan panjang gelombang yang berbeda-beda (spesifik). Sedangkan untuk semua analisis kation (Na, Mg, Ca dan Li) digunakan metode AAS (*Atomic Absorbition Spectroscopy*) dengan panjang gelombang yang juga berbeda-beda (spesifik) (7).

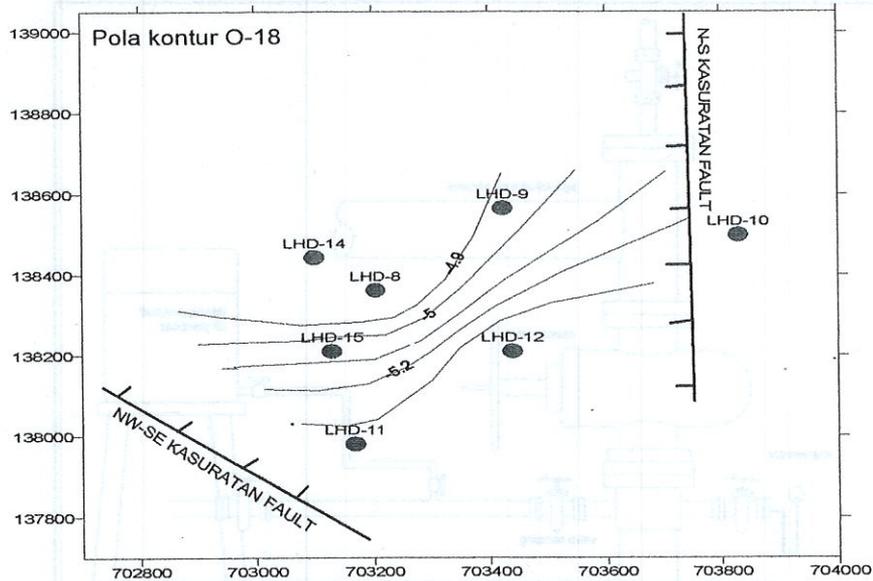


Gambar 1. Skema injeksi perunut tritium

## HASIL DAN PEMBAHASAN

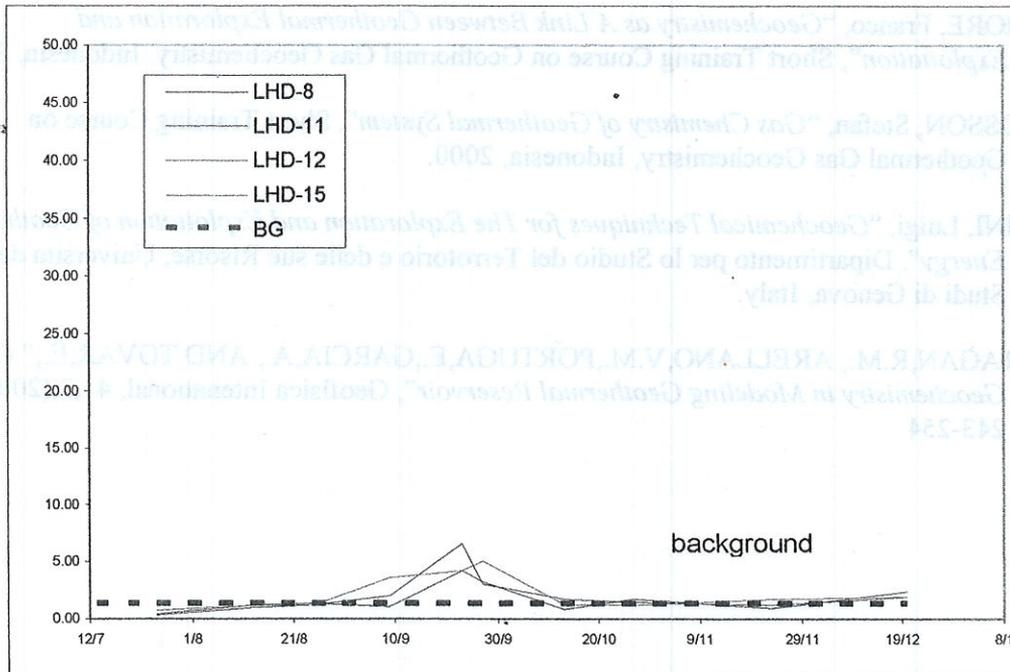
Kontur isotop  $^{18}\text{O}$  dan temperatur terukur (*heating up*) menunjukkan pola aliran yang relatif mirip. Pola kontur isotop  $^{18}\text{O}$  memperlihatkan lebih kaya di daerah utara-barat laut dan *depleted* di daerah selatan-tenggara. Sedangkan garis aliran pola kontur mempunyai arah barat daya - timur laut. Nilai  $\delta^{18}\text{O}$  yang *depleted* di sebelah selatan dan tenggara (LHD-11 dan LHD-12) sangat berhubungan pola kontur klorida seperti yang dijelaskan di atas yang mengindikasikan adanya kemungkinan air *recharge* dari NE-SW dan N-S Kasuratan *fault* (gambar 2).

Injeksi radioperunut tritium sebesar 20 Ci dilakukan pada sumur reinjeksi LHD-7 yang berada sekitar 3-4 km sebelah timur *cluster* LHD-4. Monitoring (pengamatan) perunut untuk mengetahui adanya interkoneksi antara sumur reinjeksi dengan sumur produksi *cluster* LHD-4 dilakukan pada sumur LHD-8, LHD-11, LHD-12 dan LHD-15. dan manifestasi permukaan pada mata air panas Ranopasso (TDN). Data hasil cacahan fluktuasi terhadap waktu pengamatan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Pola kontur O-18 cluster LHD-4.

Pada data tabel dan gambar, terlihat bahwa fluktuasi cacahan tritium pada keempat sumur produksi pada periode pengamatan berkisar antara 0.5 - 2 TU (*analytical error*  $\pm 1$  TU). Setelah pengamatan bulan kedua nampak adanya fluktuasi yang relatif tinggi pada sumur LHD-11,12 dan 15 yang mempunyai konsentrasi antara 3 TU hingga 6 TU. Pada bulan ketiga sampai bulan keenam tritium menunjukkan nilai yang relatif kecil 0.47 sampai 2.34. Fluktuasi dari pengamatan keseluruhan kandungan tritium dari keempat sumur produksi tersebut belum merupakan adanya indikasi adanya anomali perunut yang kurang signifikan yang menunjukkan adanya interkoneksi antara sumur reinjeksi LHD-7 dengan sumur produksi cluster LHD-4. Munculnya anomali tritium secara signifikan selama 6 bulan setelah injeksi kemungkinan disebabkan oleh jarak yang relatif jauh antara sumur reinjeksi LHD-7 dengan cluster LHD-4, adanya hambatan oleh beberapa patahan yang menghambat aliran air reinjeksi dari timur ke arah barat dan hambatan pemanasan fluida maupun permeabilitas formasi. Dengan demikian aliran air reinjeksi dari sumur reinjeksi LHD-7 untuk mencapai cluster LHD-4 memerlukan waktu yang cukup lama. Perunut tritium dengan waktu paruh 12.43 tahun diharapkan masih dapat terukur pada sumur produksi untuk pengamatan hingga 3-4 tahun mendatang. Pengamatan perunut juga dapat dilakukan pada sumur produksi cluster LHD-5 yang akan dikembangkan pada waktu mendatang karena diperkirakan arah air reinjeksi kemungkinan juga akan menuju ke cluster LHD-5 disamping jaraknya yang relatif dekat ( $\pm 1-2$  km) dan secara topografi diperkirakan arah aliran dapat menuju ke cluster LHD-5.



Gambar 3. Grafik monitoring tritium pada sumur produksi

## KESIMPULAN

Fluida reservoir lapangan Lahendong *cluster* LHD-4 berasal dari air meteorik yang *recharge* melalui penetrasi dalam dari daerah ketinggian antara 600 m hingga 900 m diatas permukaan laut. Aliran sistem reservoir berasal dari dua arah yaitu arah barat daya dan dari arah timurlaut.

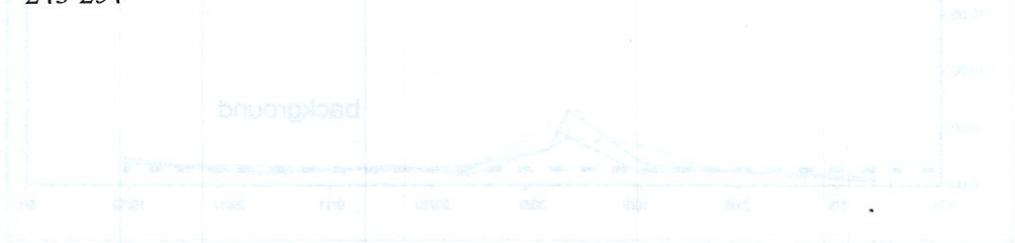
Genesis fluida menunjukkan terjadi kesetimbangan antara air dan batuan pada *deep reservoir* pada temperatur tinggi dan tidak berkontribusi oleh air magmatik dan bersifat homogen.

Monitoring perunut radioisotop tritium pada sumur produksi *cluster* LHD-4 belum menunjukkan indikasi anomali signifikan atau adanya interkoneksi antara sumur reinjeksi LHD-7 dan sumur produksi.

## DAFTAR PUSTAKA

1. HOEFS, Jochen., "*Stable Isotope Geochemistry*", Springer-Verlag, BerlinHeidelberg New York, 1980, Second Edition.
2. HENLEY, R.W., TRUESDELL, A.H., BARTON, P.B., "*Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal System*", Society of Economic Geologist, 1984.
3. GIGGENBACH, W.F., GOGUEL, R.L., "*Collection and Analysis of Geothermal and Volcanic Water and Gas Discharges*", Report No. CD 2401, fourth edition, 1989.

4. D'AMORE, Franco, "Geochemistry as A Link Between Geothermal Exploration and Exploitation", Short Training Course on Geothermal Gas Geochemistry, Indonesia, 2000.
5. ARNOSSON, Stefan, "Gas Chemistry of Geothermal System", Short Training Course on Geothermal Gas Geochemistry, Indonesia, 2000.
6. MARINI, Luigi, "Geochemical Techniques for The Exploration and Exploitation of Geothermal Energy", Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse, Universita degli Studi di Genova, Italy.
7. BARRAGAN,R.M., ARELLANO,V.M.,PORTUGA,E.,GARCIA,A., AND TOVAR,E., " Gas Geochemistry in Modeling Geothermal Reservoir", Geofisica Intenational, 41,3,(2002), 243-254



Gambar 3 Grafik monitoring tritium pada sumber produksi

#### KESIMPULAN

Studi reservoir geotermal Lembang cluster LHD-4 berasal dari air meteorik yang  
terdapat dalam batuan dasar dengan ketebalan antara 600 m hingga 900 m di atas  
permukaan laut. Sistem reservoir berasal dari dua arah yaitu arah barat daya dan dari arah  
timuran.

Geotermal tidak menunjukkan tingkat kesetimbangan antara air dan batuan pada setiap reservoir  
pada temperatur tinggi dan tidak terkontrolasi oleh air meteorik dan batuan homogen.

Monitoring permut radioisotop tritium pada sumber produksi cluster LHD-4 selama  
transparansi adalah sebuah sinyal yang menunjukkan adanya interaksi antara sumber tritium LHD-4  
dan sumber produksi.

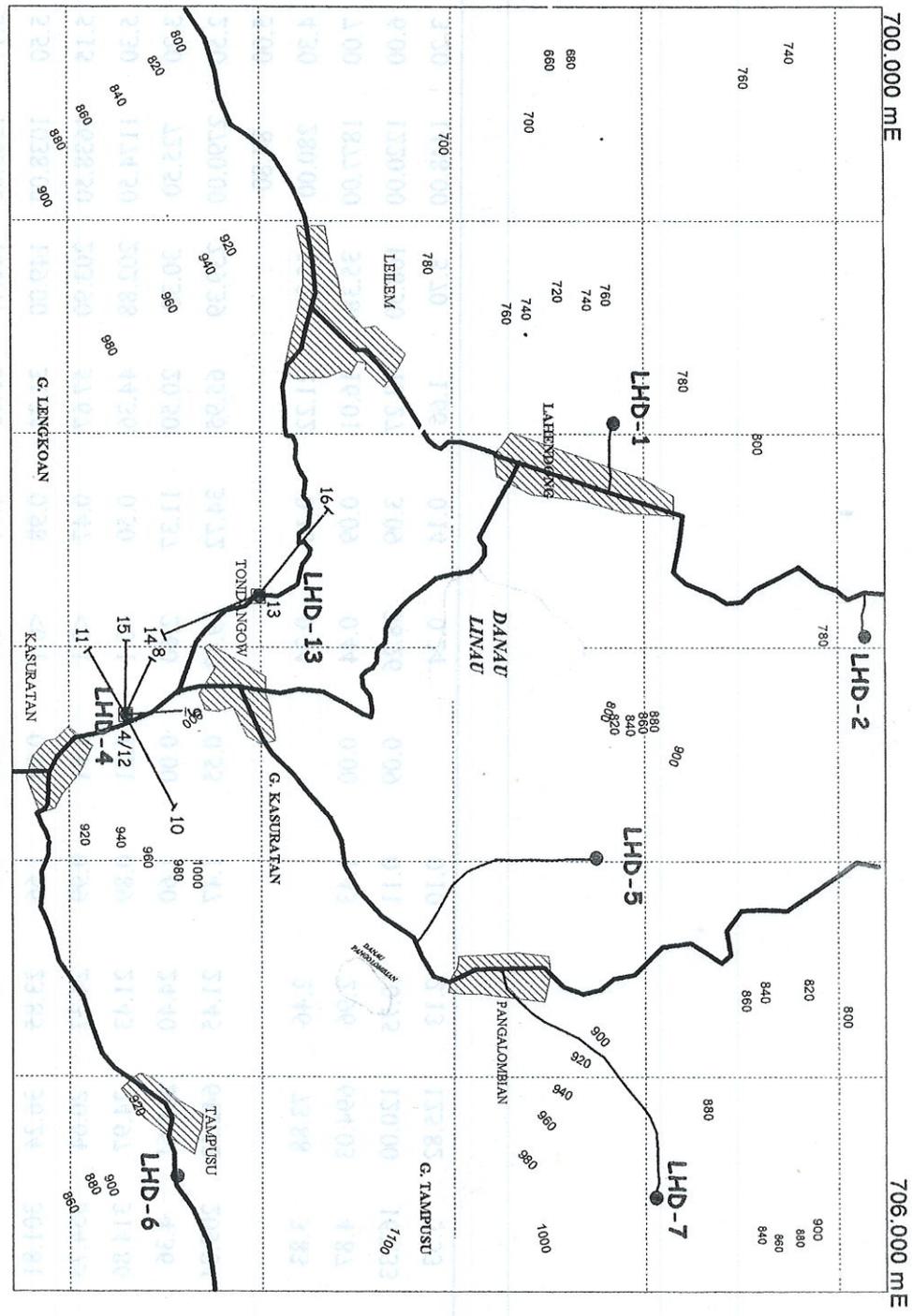
#### DAFTAR PUSTAKA

1. JOHNS, Jackson, "Stable Isotope Geochemistry", Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg New  
York, 1983, Second Edition.

2. HENLEY, R.W., TRUESDELL, A.H., BARTON, P.B., "Fluid-Mineral Equilibria in  
Hydrothermal Systems", Society of Economic Geologists, 1984.

3. GIGGENBACH, W.F., GOGUEL, R.L., "Collection and Analysis of Geothermal and Volcanic  
Gases and Gas Hydrates", Report No. CD 2461, fourth edition, 1989.

137.700 mN 700.000 ME 142.250 mN 706.000 ME



Gambar 4. Lokasi pengambilan sampel Lapangan Lahendong

Tabel 1. Hasil analisis total discharge fluida elemen kimia terlarut

No. Sampel	pH	Cond. (□S)	Na <sup>+</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	Ca <sup>2+</sup> (ppm)	Mg <sup>2+</sup> (ppm)	Li <sup>+</sup> (ppm)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (ppm)	B (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SiO <sub>2</sub> (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)
1 LHD-8	5.17	1263.00	180.47	33.05	0.74	<0.1	0.61	1.39	22.19	35.06	316.84	659.88	11.52
2 LHD-11	5.50	1038.00	149.00	31.34	0.98	<0.1	0.84	1.66	23.85	36.24	301.81	603.72	24.88
3 LHD-12	5.15	1638.50	203.90	57.67	0.47	<0.1	1.91	0.99	24.37	20.64	354.75	736.25	45.57
4 LHD-15	5.30	1174.50	202.88	44.36	0.50	<0.1	1.21	0.89	21.43	24.97	314.86	652.68	8.76
5 LN-1	3.20	725.50	30.38	20.50	11.37	2.60	0.00	1.60	24.40	265.61	4.36	211.02	
6 LN-2	2.50	2790.00	239.39	65.95	34.72	19.43	0.55	1.47	21.45	642.52	209.84	342.96	
7 LN-3	5.00	84.80											
8 LN-4	4.30	280.00	55.22	21.22	0.18	0.24			2.46	73.88	3.83	85.07	
9 LL	7.00	1877.00	35.38	16.01	0.09	0.44	0.00	1.43	2.96	694.03	4.87	103.95	
10 TDN	6.00	1220.00	168.50	13.27	3.09	38.26	0.09	0.11	10.75	120.00	167.33	145.27	56.85
11 TDG	3.20	1448.00	5.70	1.66	0.14	0.24		0.10	2.13	125.82	3.53	73.85	

Tabel 2. Hasil analisis anion – kation

No. Kode Sampel	Na <sup>+</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	Ca <sup>2+</sup> (ppm)	Mg <sup>2+</sup> (ppm)	Li <sup>+</sup> (ppm)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (ppm)	As (ppm)	F (ppm)	B (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SiO <sub>2</sub> (ppm)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)
1 LHD-8 SCS	0.71	0.51	td	td	-	1.87	0.02	0.32	4.37	3.13	3.81	78.58	-
2 LHD-8 SPW	304.78	54.93	td	td	0.95	1.41	-	2.04	36.95	68.95	499.03	977.25	-
3 LHD-8 TC	218.25	36.84	td	td	0.89	2.18	0.03	1.39	26.38	23.28	312.28	704.63	33.32
4 LHD-11 SCS	0.49	0.23	td	td	-	2.32	0.03	0.38	2.98	4.25	4.16	65.59	-
5 LHD-11 SPW	186.81	49.18	td	td	1.49	2.49	-	2.02	38.06	69.4	478.84	906.00	48.28
6 LHD-11 TC	129.63	32.73	td	td	1.17	2.67	-	1.19	27.98	23.28	312.28	609.00	48.39
7 LHD-12 SCS	0.58	0.1	td	td	-	2.59	0.02	0.37	3.3	1.57	3.64	53.79	-
8 LHD-12 SPW	353.37	84.81	td	td	3.07	2.03	-	1.41	39.74	42.98	581.49	1397.71	22.21
9 LHD-12 TC	260.56	64.8	td	td	2.05	1.75	-	1.66	25.06	15.67	271.36	735	57.11
10 LHD-15 SCS	0.86	0.56	td	td	-	2.12	0.02	0.05	4.70	1.79	3.86	79.17	58.70
11 LHD-15 SPW	333.4	65.08	td	td	2.17	2.06	-	2.15	37.67	65.82	504.08	1012.50	4.76
12 LHD-15 TC	207.17	42.3	td	td	1.21	1.48	-	1.26	29.27	11.64	338.54	683.00	14.75
13 LN-1	48.16	33.55	0.09	0.25	0.005	0.73	-	0.85	24.55	355.97	3.33	128.15	-
14 LN-2	241.55	56.3	0.68	14.8	0.55	1.06	-	2.08	23.70	689.55	251.93	149.4	-
15 TDG	5.7	1.66	0.14	0.24	-	0.10	-	0.42	2.13	125.82	3.53	73.85	-
16 LL-1	35.38	16.01	0.09	0.44	0.001	1.43	-	1.22	2.96	694.03	2.83	103.95	-
17 TDN	168.5	13.27	3.09	38.26	0.09	0.11	0.04	0.65	10.75	120	167.33	145.27	56.85
18 LN-4	55.22	21.22	0.18	0.24	-	-	-	2.14	2.46	73.88	3.83	85.07	-
19 LN-3	-	-	-	-	-	-	-	0.50	-	-	3.48	-	-

