

**RISALAH PERTEMUAN ILMIAH  
PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN  
TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI  
1999/2000**

Jakarta, 23 - 24 Februari 2000

**Tema :  
Peranan Teknologi Isotop dan Radiasi  
untuk Mensejahterakan Masyarakat**



**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL  
PUSLITBANG TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI**



- Penyunting :
- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| 1. Dr. F. Suhadi, APU              | P3TIR - BATAN   |
| 2. Dr. Ir. Moch. Ismachin, APU     | P3TIR - BATAN   |
| 3. Ir. Simon Manurung, M.Sc        | P3TIR - BATAN   |
| 4. Ir. Elsje L. Sisworo, M.Si, APU | P3TIR - BATAN   |
| 5. Dra. Nazly Hilmy, Ph.D, APU     | P3TIR - BATAN   |
| 6. Dr. Singgih Sutrisno, APU       | P3TIR - BATAN   |
| 7. Marga Utama, B.Sc, APU          | P3TIR - BATAN   |
| 8. Ir. Wandowo                     | P3TIR - BATAN   |
| 9. Dr. Made Sumatra, M.Si          | P3TIR - BATAN   |
| 10. Dr. Darmawan Darwis            | P3TIR - BATAN   |
| 11. Hendig Winarno, M.Sc           | P3TIR - BATAN   |
| 12. Dr. Nelly D. Leswara           | P3TIR - BATAN   |
| 13. Dr. Komarudin Idris            | (Universitas Indonesia)<br>(Institut Pertanian Bogor) |

---

PERTEMUAN ILMIAH PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI (2000 : JAKARTA), Risalah pertemuan ilmiah penelitian dan pengembangan teknologi isotop dan radiasi, Jakarta, 23 - 24 Februari 2000 / Penyunting, F. Suhadi ... (et al) -- Jakarta : Badan Tenaga Nuklir Nasional, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi, 2000.  
1 jil. ; 30 cm

Isi jil. I. Pertanian, peternakan, proses industri, hidrologi, dan lingkungan

ISBN 979-95709-5-6

I. Isotop - Seminar I. Judul II. Suhadi, F.

541.388

---

Alamat : Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi  
Jl. Cinere Pasar Jumat  
Kotak Pos 7002 JKSKL  
Jakarta 12070  
Telp. 021-7690709  
Fax. 021-7691607; 7513270  
E-mail pairlib@hotmail.com; sroji@batan.go.id



## **PENGANTAR**

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional (P3TIR-BATAN) telah menyelenggarakan Pertemuan Ilmiah Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi ke 12, di Jakarta tanggal 23 dan 24 Februari 2000. Pertemuan ilmiah ini bertujuan untuk menyebarluaskan hasil-hasil penelitian teknologi isotop dan radiasi serta sebagai sarana tukar menukar informasi diantara para peneliti serta para peneliti dan industriawan guna lebih mendayagunakan teknologi isotop dalam bidang industri dan untuk lebih memperluas wawasan para peneliti.

Pertemuan ilmiah ini dihadiri oleh 176 orang peserta (45 orang peserta undangan dan 131 orang peserta lainnya) yang terdiri dari para ilmuwan dan peneliti baik dari lingkungan Batan maupun dari berbagai instansi pemerintah seperti Menteri Negara Riset dan Teknologi, Departemen Kesehatan, Balai Penelitian Bioteknologi - Bogor (BalitBio), Balai Penelitian Veterinaria - Bogor, Pusat Veterinaria - Surabaya (Pusvetma); Perguruan tinggi yaitu Universitas Indonesia -Jakarta, Institut Pertanian Bogor, Universitas Andalas - Padang, Universitas Brawijaya - Malang dan Universitas Udayana - Bali; serta pihak swasta yaitu PT. Perkasa Sterilindo, PT. Pupuk Sriwijaya, PT. Indo Farma, PT. Ristra Indolabs, Japan Atomic Industrial Forum (JAIF), Japan Atomic Energi Research Institute, Japan.

Risalah pertemuan ilmiah ini memuat seluruh makalah yang dipresentasikan dalam pertemuan tersebut yaitu 6 makalah utama/undangan dan 39 makalah peserta. Sedangkan makalah yang tidak dipresentasikan, tidak dimuat dalam risalah ini.

Risalah pertemuan ini diharapkan dapat menambah sumber informasi dan ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan teknologi nuklir bagi pihak yang membutuhkan untuk menunjang pembangunan nasional dimasa datang.

Penyunting,





## DAFTAR ISI

Pengantar .....	i
Daftar Isi .....	iii
Laporan Ketua Panitia Pertemuan Ilmiah .....	vii
Sambutan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional .....	ix

### MAKALAH UTAMA

Arah Kebijakan Riset dan Teknologi dalam Memasuki Milenium Ketiga A. AZIZ DARWIS (Asisten Menristek Bidang Pengembangan Ristek) .....	1
--	---

### MAKALAH UNDANGAN

Community Development by Radiation Processing of Natural Resources Keizo Makuuchi (Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment, JAERI, Japan) .....	9
Perkembangan Penggunaan Teknik Radioperunut dalam Industri WANDOWO (P3TIR, BATAN) .....	11
Arti Strategis Teknik Radiotracer dan Radioscanning dalam Industri Pupuk WIBISONO SOEYOSO DAN M. ABBAD (P.T. Pupuk Sriwijaya) .....	17
Langkah-langkah Strategis untuk Menjadikan Tanaman Obat Asli Indonesia Menjadi Sediaan Fitofarmaka JAMES M. SINAMBELA (P.T. Indo Farma) .....	21
Potensi Tumbuhan Obat Asli Indonesia Sebagai Produk Kesehatan H. M. HEMBING WIJAYAKUSUMA (Himpunan Pengobatan Tradisional dan Akupuntur Se-Indonesia) .....	25

### MAKALAH PESERTA

Gamma radiation induce clonal variation in <i>Catharantus roseus</i> (L) Don. SUMARYATI SYUKUR .....	33
Pengembangan teknik " <sup>32</sup> P- post labelling" untuk mendeteksi dini risiko kanker BUDIAWAN .....	39
Penggunaan metode <i>radioassay</i> teknik fase padat dalam reaksi fiksasi $\alpha$ -Kobratoksin terhadap reseptor koligernik NURLAILA Z. ....	45
Perbandingan dua formula radiofarmaka sidik otak <sup>99m</sup> Tc-ESD beserta karakteristiknya NANNY KARTINI, KUSTIWA, RUKMINI ILYAS, DAN ISWAHYUDI .....	51
Pembentukan radikal bebas pada <i>Graft</i> tulang manusia dan <i>Bovine</i> iradiasi BASRIL ABBAS, SUTJIPTO SUDIRO, DAN NAZLY HILMY .....	57
Pengaruh iradiasi sinar gamma pada <i>Salmonella chester</i> dan sensitivitasnya terhadap antibiotika T. HASAN BASRY .....	63
Pengujian isolat klinik <i>Mycobacterium tuberculosis</i> resisten terhadap beberapa antibiotika dengan metode reaksi berantai polimerase / <i>Polymerase Chain Reaction</i> (PCR) MARIA LINA R., DADANG, S., DAN F. SUHADI .....	69

Deteksi cepat bakteri <i>Escherichia coli</i> enterohemoragik (EHE) dengan metode PCR (Polymerase Chain Reaction) DADANG SUDRAJAT, MARIA LINA R, DAN F. SUHADI .....	75
Studi radikal bebas biji pulasari ( <i>Alyxia reinwardtii</i> . BI) hasil radiasi gamma menggunakan <i>Electron Spin Resonance</i> (ESR) ERIZAL DAN RAHAYU CHOSDU .....	81
Aplikasi program database dalam seleksi galur mutan sorghum ( <i>Sorghum bicolor</i> L.) SOERANTO, H. ....	87
Proporsi sumbangan Nitrogen oleh tanah, pupuk dan <i>Pseudomonas putida like</i> dalam tanaman sorghum pada inceptisol Sumatra Selatan A.A.I. KESUMADEWI, ISWANDI ANAS, D.A. SANTOSA, DAN ELSJE L. SISWORO ....	95
Analisis pemberian limbah pertanian abu sekam sebagai sumber silikat pada andisols dan oxisol terhadap pelepasan fosfor terjerap dengan teknik perunut <sup>32</sup> P ILYAS, SYEKHFANI, DAN SUGENG PRIJONO .....	103
Serapan N berasal dari sludge iradiasi yang dikombinasikan dengan pupuk N oleh tanaman terong M.M. MITROSUHARDJO, HARYANTO, S. SYAMSU, HARSOJO DAN N. HILMY .....	111
Tanggapan tanaman padi sawah terhadap pemadatan tanah IDAWATI DAN HARYANTO .....	115
Hasil gabah dan sumbangan N pupuk yang dipengaruhi oleh pemberian Zeolit dan pupuk hijau Sesbania pada tanaman padi sawah HARYANTO, IDAWATI DAN TAMSIL LAS .....	121
Pengamatan dinamika populasi dan penangkapan massal lalat buah <i>Bactrocera carambolae</i> (Drew & Hancock) untuk pengendalian di kebun mangga A.N. KUSWADI, M. INDARWATMI, I.A. NASUTION, D. SIKUMBANG DAN T. HIMAWAN .....	127
Pemanfaatan ragi produk lokal untuk substitusi ragi torula dalam formulasi makanan buatan larva lalat buah ( <i>Bactrocera carambolae</i> Drew & Hancock) D. SIKUMBANG, I.A. NASUTION, M. INDARWATMI, DAN A.N. KUSWADI .....	133
Efisiensi N-Urea pada padi sawah yang diaplikasikan dengan <i>azolla</i> HAVID RASJID, ELSJE L. SISWORO, Y. WEMAY, DAN W.H. SISWORO .....	139
Uji aplikasi formulasi pelepasan terkendali insektisida karbofuran pada tanaman padi varietas cilosari M. SULISTYATI, ULFA T.S, SOFNIE M.CH., A.N. KUSWADI, DAN M. SUMATRA .....	145
Translokasi herbisida 2,4-D- <sup>14</sup> C pada tanaman gulma dan padi pada sistem persawahan SOFNIE M. CHAIRUL, MULYADI DAN IDAWATI .....	151
Pengaruh iradiasi terhadap infektivitas metaserkaria <i>Fasciola gigantica</i> pada kambing M. ARIFIN, BOKY J.T., DAN TARMIZI .....	157
Pengaruh vaksinasi dengan larva tiga <i>Haemonchus contortus</i> iradiasi terhadap respon kekebalan pada domba BERIAJAYA DAN SOEKARDJI P. ....	163
Kultivasi jamur kuping ( <i>Auricularia</i> sp.) dalam media tandan kosong kelapa sawit dan serbuk gergaji hasil iradiasi ENDRAWANTO DAN E. SUWADJI .....	169
Limbah agroindustri dan peternakan ayam sebagai pakan tambahan ikan nila HARSOJO, ANDINI, L.S., ROSALINA, S.H. DAN SUWIRMA, S. ....	175



Pengukuran serapan polutan gas NO <sub>2</sub> pada tanaman tipe pohon, semak dan penutup tanah dengan menggunakan gas NO <sub>2</sub> berlabel <sup>15</sup> N NIZAR NASRULLAH, SOERTINI GANDANEGARA, HENY SUHARSONO, MARIETJE WUNGKAR DAN ANDI GUNAWAN .....	181
Interaksi uap reservoir dan aquifer di sekelilingnya pada lapangan panas bumi Kamojang ZAINAL ABIDIN, WANDOWO, DJIONO, ALIP, DAN WIBAGIYO .....	187
Penelitian asal-usul berbagai sumber air di sekitar bendungan Ngancar Wonogiri, Jawa Tengah dengan teknik isotop alam PASTON SIDAURUK, INDROJONO, WIBAGIYO, BUNGKUS PRATIKNO, DAN EVARISTA RISTIN .....	195
Studi arah dan penyebaran rembesan air Danau Batur menggunakan isotop alam Oksigen-18 dan Deuterium WIBAGIYO, INDROYONO, PASTON S, ZAINAL A, EVARISTIN .....	201
Penentuan lokasi pembanding berdasarkan distribusi <sup>137</sup> Cs lapisan tanah dari beberapa lokasi stabil NITA SUHARTINI, DARMAN, HARYANTO, DAN DJAROT AS. ....	207
Penentuan nilai rasio isotop Oksigen ( <sup>18</sup> O/ <sup>16</sup> O) dan Sulfur ( <sup>34</sup> S/ <sup>32</sup> S) dari BaSO <sub>4</sub> DIN 5033 (MERCK) untuk standar internal EVARISTA RISTIN P.I, PASTON SIDAURUK, WIBAGYO, DJIONO, DAN SATRIO .....	217
Scanning kolom proses dengan teknik serapan sinar gamma di UP-IV Pertamina Cilacap SIGIT BUDI SANTOSO, KUSHARTONO, BISANA, DAN EKO MULYANTO .....	225
Pengukuran tebal pipa terselubung dengan teknik radiografi tangensial menggunakan sumber Iridium-192 SOEDARDJO .....	229
Pelapisan permukaan pelepah batang pisang batu ( <i>Musa brachycarpa</i> ) dengan radiasi sinar-UV SUGIARTO DANU, AGUS NURHADI, RITA PUSPITA, DAN ANIK SUNARNI .....	237
Sifat mekanik komposit campuran Zeolit-PVA yang diiradiasi sinar- $\gamma$ <sup>60</sup> Co DARSONO, SUGIARTO DANU, DAN TAMZIL LAS .....	245
Pengaruh radiasi sinar- $\gamma$ dan penambahan kalsium karbonat pada sifat fisika dan mekanik kompon karet alam SUDRADJAT ISKANDAR, ISNI MARLIYANTI, KADARIJAH, DAN MADE SUMARTI KARDHA .....	251
Studi perbandingan degradasi secara enzimatik campuran CPP/Bionolle dan CPP/PCL dengan modic NIKHAM, FUMIO YOSHII DAN K. MAKUUCHI .....	259
Sintesis dan karakterisasi Wolfram - Ftalosianin untuk bahan sasaran radioisotop Wolfram-188 ( <sup>188</sup> W) aktivitas jenis tinggi DUYEH SETIAWAN .....	269
Uji aktivitas mikrofungsi asal lingkungan tangki reaktor Triga Mark II terhadap korosi Almunium ROSMIARTY A. WAHID, LUKMAN UMAR DAN YANI YESTIANI .....	275
Pemisahan uranium dari hasil belah Zr dan Ru dengan menggunakan TBP 30% - dodekan dalam medium asam nitrat sebagai bahan ekstraktor R. DIDIEK HERHADY, BUSRON MASDUKI, DAN SIGIT .....	283





## STUDI ARAH DAN PENYEBARAN REMBESAN AIR DANAU BATUR MENGGUNAKAN ISOTOP ALAM OKSIGEN-18 DAN DEUTERIUM

Wibagiyo, Indroyono, Paston S, Zainal A, Evarista Ristin P.I.

Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta

### ABSTRAK

**STUDI ARAH DAN PENYEBARAN REMBESAN AIR DANAU BATUR MENGGUNAKAN ISOTOP ALAM OKSIGEN-18 DAN DEUTERIUM.** Air danau yang masuk ke dalam batuan akan cenderung melalui jenis batuan (litologi) dengan permeabilitas yang besar ataupun melalui zona batuan yang hancur (fracture) yang diakibatkan oleh patahan (fault) ataupun struktur geologi lainnya. Namun zona lemah semacam itu sangat sulit diamati di lapangan mengingat kondisi lapangan yang telah tertutup tanah (soil) dan vegetasi yang tebal. Oleh sebab itu studi ini dilakukan menggunakan komposisi isotop alam Deuterium dan Oksigen-18 dari air danau, air hujan, mata air di sekitar danau Batur. Komposisi isotop alam dari air danau sangat dipengaruhi oleh proses fraksinasi sebagai akibat penguapan yang terus-menerus. Proses fraksinasi tersebut berakibat isotop ringan seperti  $^{16}\text{O}$  dan  $^1\text{H}$  akan menguap terlebih dahulu dan air danau banyak tertinggal isotop berat seperti  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  (Deuterium) dengan kata lain air danau mengalami pengkayaan isotop berat. Dengan demikian akan terjadi perbedaan komposisi antara air hujan, air danau dan mata air, sehingga mata air yang telah terkontaminasi oleh air danau akan dapat digunakan sebagai indikasi arah dan penyebaran rembesan air danau. Dari hasil data diperoleh kesimpulan bahwa arah penyebaran air danau Batur menuju ke selatan (daerah Menanga, Rendang).

### ABSTRACT

**STUDY OF THE DIRECTION AND THE SPREAD OF THE WATER SEEPAGE FROM BATUR LAKE USING NATURAL ISOTOPE OXYGEN-18 AND DEUTERIUM.** Lake water entering the rocks tend to through the high permeability litology or through the fracture. But fracture zone is difficult to observe at the field. For this study, natural isotop composition oxygen-18 and Deuterium from lake water, rain water and spring water at surrounding Batur Lake will be analyzed. Natural isotopes composition of lake water is influenced by fractionation process as the result of the continues evaporation process. The fractionation process will make light isotopes  $^{16}\text{O}$  and  $^1\text{H}$  evaporate and the remaining have more of the heavier isotopes like  $^{18}\text{O}$  and  $^2\text{H}$  (Deuterium). This process is known as enrichment process. Due to this process, there will be a clear differences in the natural isotopes composition among differences sources such as rain water, lake water and spring water. This anomaly can be used to indicate flow direction of lake water seepage. The result of the data that the direction of seepage to the south around Menanga (Rendang).

### PENDAHULUAN

Secara administrasi daerah penelitian termasuk dalam wilayah Kecamatan Kintamani, Kabupaten Bangli, Propinsi Bali. Secara geografis daerah penelitian terletak pada  $115^{\circ} 22'$  hingga  $115^{\circ} 27'$  garis Bujur Timur dan  $8^{\circ} 10'$  hingga  $8^{\circ} 20'$  garis Lintang Selatan, dengan ketinggian 500 m hingga 1500 m dari permukaan laut. Daerah penelitian merupakan daerah kaldera yang terbentuk sebagai hasil dari suatu kegiatan vulkanik G. Batur. Di dalam kaldera tersebut terdapat puncak G. Batur dan sebagian lagi berupa Danau Batur.

Danau Batur adalah danau tertutup artinya tidak ada mengalir keluar dari danau, sedangkan air danau tidak pernah kering dan juga tidak pernah penuh sampai bibir kaldera, fluktuasi permukaan antara musim kemarau dan hujan berkisar 4 meter. Danau Batur merupakan danau yang terbesar di pulau Bali, berukuran panjang kurang lebih 9 km dan lebar maksimum 5 km, kedalaman maksimal 70 meter, volume air danau diperkirakan  $815.380.000 \text{ m}^3$ .

Terjadi fraksinasi isotop ketika air berubah bentuk melalui kondensasi ataupun evaporasi, maka air danau mengalami fraksinasi isotop melalui proses evaporasi sebagai akibat penyinaran langsung dari matahari. Proses

fraksinasi yang terjadi tentu akan membawa konsekuensi terhadap komposisi isotop alam air danau, terlebih dengan tidak adanya aliran air yang keluar dari danau tentu akan memperkaya (*enrich*) air danau.

Data komposisi isotop alam air hujan, air danau, dan mata air di sekitar danau terutama mata air bawah elevasi permukaan danau, di plot dalam suatu diagram  $\delta\text{D}/\delta^{18}\text{O}$ . Diagram tersebut akan memberikan informasi tentang hubungan antara air hujan, air danau, dan mata air di sekitar danau, sehingga faktor yang mempengaruhi keseimbangan air danau akan dapat diketahui.

### METODOLOGI

Pengambilan sampel air, penelitian dilakukan dengan cara mengambil sampel air dari daerah penelitian yang berasal dari air danau, air hujan dan mata air.

Pengambilan sampel air hujan menggunakan alat tadah hujan yang didesain agar air hujan tidak mengalami penguapan setelah masuk dalam alat tersebut, selain itu ke dalam alat tersebut dimasukkan pula minyak parafin yang berfungsi sebagai penutup air hujan untuk menghindari penguapan. Air hujan yang masuk ke dalam alat tersebut setiap bulan diambil 20 ml, kemudian dianalisis kandungan isotop Deuterium dan Oksigen-18.



Pengambilan sampel air danau dilakukan di beberapa lokasi dengan 3 tingkat kedalaman yakni permukaan, bagian tengah dan dasar danau. Pengambilan air danau tersebut dengan menggunakan alat *water sampler* yang dibuat khusus untuk pengambilan air pada kedalaman tertentu, sehingga air yang telah masuk ke dalam alat tersebut tidak dapat bercampur dengan air di luar alat ini.

Pengambilan air yang berasal dari mata air dilakukan langsung pada aliran air yang masih mengalir dari mata air, hal ini dilakukan untuk menghindari terambilnya air yang telah tertampung pada suatu tempat yang mungkin telah mengalami penguapan.

Analisa Deuterium ( $^2\text{H}$ ) dilakukan dengan metode reduksi yang dikembangkan oleh Friedman (1953), sampel air sebanyak 10 ml direduksikan dengan 0,25 gram butiran Zinc pada suhu  $400^\circ\text{C}$  maka akan terjadi reaksi antara Zn dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Hidrogen akan terkumpul dalam kontainer melalui ekspansi, sisanya dipompa keluar. Gas hidrogen yang terkumpul kemudian dialirkan ke dalam spektrometer massa untuk dianalisis kandungan Deuterium terhadap air standar V-SMOW.

Variasi konsentrasi isotop di alam dapat diukur dengan spektrometer massa sebagai suatu rasio isotop dan lazim diberi notasi delta ( $\delta$ ) dengan persamaan sbb:

$$\delta = \frac{R_S - R_{STD}}{R_{STD}}$$

$R_S$  adalah rasio isotop dari sampel ( $\text{D/H}$  atau  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ),  $R_{STD}$  adalah rasio isotop dari standar, dan nilai  $\delta$  diekspresikan dalam per mil ( $‰$ ). Menurut Craig (1961), nilai Deuterium dan Oksigen-18 air di alam secara umum akan mengikuti korelasi dengan garis linier dari air

meteorik dengan persamaan sbb:

$$\delta\text{D} = a \delta^{18}\text{O} + d$$

Untuk air yang belum dipengaruhi oleh evaporasi nilai  $a$  adalah 8 dan nilai global rata-rata  $d$  untuk presipitasi adalah 10.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemasangan tadah hujan ditempatkan pada dua lokasi yaitu di desa Buahman yang masih dalam kaldera atau satu daerah tangkapan hujan untuk danau Batur, ketinggian 800 meter. Sedangkan satu tadah hujan ditempatkan di desa Kitamani yang berada diluar kaldera atau berbeda dengan daerah tangkapan hujan danau batur, ketinggian 1500 meter.

Hasil analisis isotop air hujan di daerah Buahman menunjukkan kandungan Oksigen-18 yang bervariasi antara  $-10,25‰$  hingga  $-2,86‰$  dan Deuterium  $-75,71‰$  hingga  $-14,82‰$ . Sedangkan untuk air hujan di lokasi desa Kintamani menunjukkan kandungan Oksigen-18 antara  $-9,65‰$  hingga  $-1,87‰$  dan Deuterium  $-65,13‰$  hingga  $-6,38‰$ .

Hasil analisis isotop air danau Oksigen-18 bervariasi dari  $-3,03‰$  hingga  $+0,39‰$  dan Deuterium  $-14,47‰$  hingga  $0,53‰$ . Data air hujan diplot dalam grafik  $\delta\text{D}$  vs  $\delta^{18}\text{O}$  maka persamaan air meteorik lokal menjadi  $\delta\text{D} = 8,33 \delta^{18}\text{O} + 9,77$  (lihat grafik 1). Curah hujan rata-rata setiap bulan 109,5 yang diambil dari stasiun pemantauan curah hujan Badan Meteorologi dan Geofisika di Kintamani, dan jika dihitung dengan persamaan Yurtsever (1975), yaitu

Tabel 1. Data  $\delta$  Oksigen-18 air hujan sekitar danau Batur

BUAHAN			KINTAMANI			CURAH HUJAN		
TANGGAL	$\delta\text{D}$	$\delta^{18}\text{O}$	TANGGAL	$\delta\text{D}$	$\delta^{18}\text{O}$	BLN	Volume (ml)	Jumlah hari
12-1-1997	-33,94	-5,29	13-1-1997	-65,13	-9,65			
22-1-1997	-35,04	-5,30	23-1-1997	-53,87	-7,65	Januari	187	14
			03-2-1997	-49,04	-7,41			
12-2-1997	-72,42	-9,86	13-2-1997	-53,94	-7,52	Februari	146	17
22-2-1997	-75,71	-10,25	23-2-1997	-43,29	-6,37			
02-3-1997	-37,34	-5,69	03-3-1997	-55,74	-7,87			
12-3-1997	-14,82	-2,86	13-3-1997	-44,06	-6,51	Maret	64	4
			23-3-1997	-11,08	-2,46			
02-4-1997	-16,29	-3,05	03-4-1997	-17,97	-3,38			
12-4-1997	-17,46	-3,48	13-4-1997	-16,59	-3,18	April	99	4
02-5-1997	-36,29	-5,51						
12-5-1997	-27,14	-4,50	13-5-1997	-6,38	-1,87	Mei	23	3
22-5-1997	-17,90	-3,29	23-5-1997	-16,92	-3,31			
			03-6-1997	-20,57	-3,64			
12-6-1997	-15,53	-3,01	13-6-1997	-17,77	-3,50	Juni	28	2
			23-6-1997	-15,80	-3,15			
			03-7-1997	-13,00	-2,79			



$$\delta m = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \delta_i}{\sum_{i=1}^n p_i}$$

Dimana  $\delta m$  adalah delta rata-rata air hujan,  $p$  banyak air hujan, dan  $i$  jumlah hujan mempunyai rata-rata kandungan Oksigen-18 sebesar  $-5,93\text{‰}$  dan Deuterium sebesar  $-39,60\text{‰}$ . Sedangkan untuk daerah Kintamani mempunyai rata-rata kandungan Oksigen-18 sebesar  $-6,39\text{‰}$  dan Deuterium sebesar  $-42,67\text{‰}$ .

Selanjutnya untuk mencari nilai rata-rata kandungan Oksigen 18 dan Deuterium pada elevasi yang lebih tinggi dari daerah Kintamani (1500 m) dapat dengan cara analogi dari grafik antara Elevasi vs Oksigen 18 (lihat grafik 2).

Tabel 2.. Data  $\delta$  Oksigen-18 air danau Batur

No. Lokasi	$\delta D$	$\delta^{18}O$	No. Lokasi	$\delta D$	$\delta^{18}O$
1	-12,34	-1,58	13	-7,57	-1,05
2	-13,34	-2,23	14	-1,72	-0,83
3	-13,44	-2,24	15	-1,66	-0,39
4	-14,47	-3,03	16	-8,89	-1,37
5	-47,67	-6,61	17	-7,98	-1,35
6	-1,13	-0,42	18	-1,14	-0,40
7	-1,05	-0,24	19	-8,79	-1,61
8	-1,33	-0,59	20	-8,17	-1,76
9	-0,46	-0,09	21	-9,66	-1,67
10	-1,39	-0,31	22	-8,67	-1,47
11	0,66	+0,39	23	-9,76	-1,54
12	-8,48	-1,17	24	-10,13	-1,85

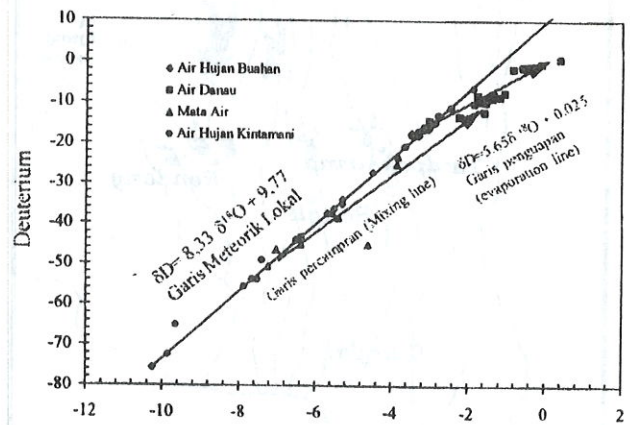
Rata-rata kandungan isotop dari air danau untuk Oksigen-18  $-1,19\text{‰}$  dan Deuterium  $-12,34\text{‰}$ . Dari hasil analisis isotop menunjukkan bahwa nilai rata-rata air danau lebih kaya (*enrich*) dibandingkan isotop dari air hujan. Hal tersebut bisa terjadi akibat dari faktor evaporasi yang berlangsung terus menerus di dalam danau karena kondisinya terbuka (*open air*) sehingga dapat sinar matahari secara terus menerus. Dari nilai rata-rata air hujan di Buah dan rata-rata air danau dapat ditarik garis dengan persamaan garis yaitu  $\delta D = 5,66 \delta^{18}O + 0,025$  garis tersebut merupakan garis evaporasi yang terjadi di danau Batur. Kandungan isotop secara vertikal pada danau menunjukkan bahwa nilai Oksigen-18 dan Deuterium tidak homogen namun secara umum memiliki nilai isotop yang *enrich* dibandingkan pada bagian dasar.

Hasil analisa isotop dari mata air yang diambil di desa Menanga, Waja, Undisan, Tirta Empul (Tampaksiring), menunjukkan komposisi yang bervariasi untuk Oksigen -18 dari  $-3,87\text{‰}$  sampai  $-7,03\text{‰}$  dan Deuterium dari  $-23,09\text{‰}$  sampai  $-46,45\text{‰}$ .

Tabel 3. Hasil analisa alam O-18 dan D dari mata air di sekitar danau Batur

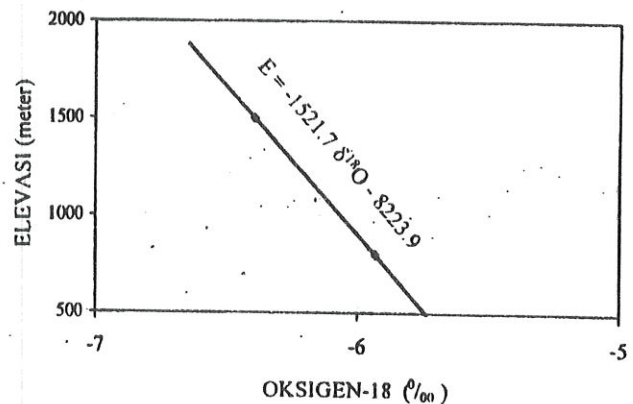
No. Lokasi	Nama Tempat	$\delta^{18}O$	$\delta D$
1	Menanga Timur	- 3,84	- 23,09
2	Menanga Barat	- 3,87	- 24,09
3	Waja	- 5,40	- 38,57
4	Undisan	- 5,57	- 37,32
5	Tirta Empul	- 7,03	- 46,45

Kandungan Oksigen-18 dan Deuterium dari mataair yang diambil pada elevasi sekitar 500 hingga 600 meter sangat dipengaruhi oleh asal-usul dari air tanah sebagai sumber mata air. Nilai air hujan secara topografi pada ketinggian tersebut diatas akan berkisar antara  $-5,75\text{‰}$  hingga mendekati nilai  $-6\text{‰}$  (lihat Grafik 2) akan tetapi dalam kenyataannya ada nilai lebih kaya dari  $-5,75$ .



Gambar 1. Oksigen-18 vs Deuterium air hujan, air danau dan mata air di sekitar danau Batur

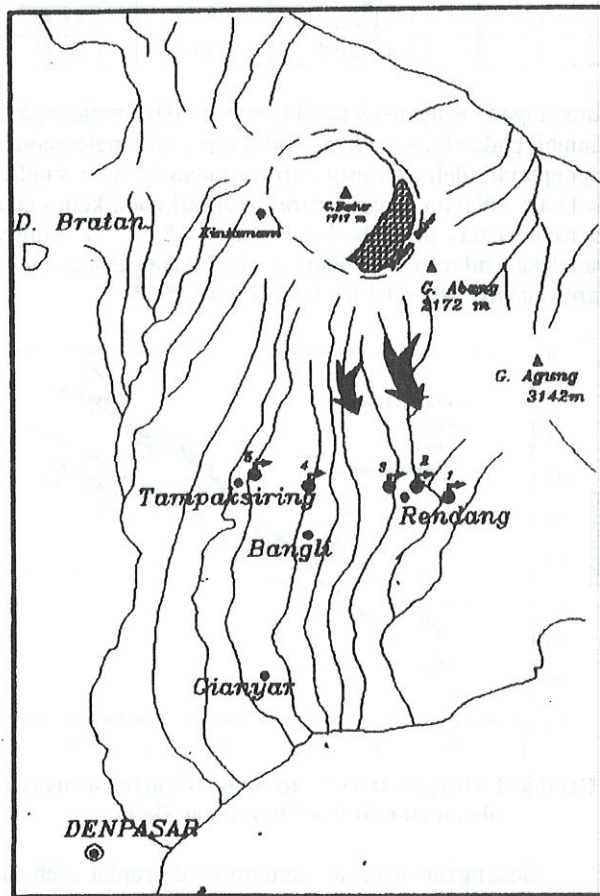
Sedangkan mata air umumnya di suplai oleh air tanah yang berasal dari tempat yang tinggi, maka nilai isotopnya akan memiliki nilai yang *depleted* dibandingkan nilai air hujan setempat atau maksimal akan sama dengan nilai air hujan setempat. Dari hasil analisa isotop yang menunjukkan nilai *enrich* dibandingkan nilai air hujan setempat seperti di Menanga, Waja Undisan, maka diduga mataair tersebut merupakan pencampuran (*mixing*) antara air danau dan air tanah yang terbentuk berasal dari hujan setempat atau daerah yang lebih tinggi.



Gambar 2. Elevasi vs Oksigen 18 dari nilai rata-rata air hujan di Kintamani dan Buah.



Sedangkan ada sebagian mata air tetap menunjukkan gejala yang normal, dimana nilai Oksigen-18 maupun Deuteriumnya memiliki nilai *depleted* seperti air di Tirta Empul, hal ini mata air diduga dari elevasi yang lebih tinggi.



Gambar 3. Peta situasi daerah penelitian dan plotting mata air dan arah rembesan air danau Batur.

Jika diamati dari hasil analisa isotopnya maka akan mempunyai kecenderungan bahwa semakin ke timur nilai isotopnya semakin *enrich*, hal ini dapat diasumsikan bahwa nilai tersebut merupakan arah rembesan dari danau Batur (lihat Gambar ).

## KESIMPULAN

Hasil analisis isotop dari air hujan, air danau dan mata air besar yang diambil di beberapa tempat kemudian dikaitkan dengan teori maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Rembesan air danau Batur sebagian bercampur dengan air tanah yang berasal dari elevasi yang lebih tinggi ataupun berasal dari air hujan setempat dan menjelma menjadi mata air besar di desa Menanga, Waja.
2. Mata air yang tercampur oleh air danau menunjukkan arah utama dari alur rembesan danau Batur yakni menuju ke selatan dari danau Batur.

## DAFTAR PUSTAKA

1. CRAIG, H., "Isotopic variations in meteoric waters", *Science*, (1961b), 133p.
2. GONFIANTINI, R., GAT, J.R., "Stable isotope hydrology, deuterium and oxygen-18 in the cycle". *Technical reports series IAEA*, No 210, (1981), 339p.
3. I WAYAN SURPHA, SH, "Putra Ulun Danu Batur dan Pura Jati", Parisada Hindu Dharma Indonesia Pusat, (1990), 27p.
4. O'NEIL, JR., CLAYTON, R.N. and MAYEDA, T., "Oxygen isotope fraction in divalent metal carbonat". *J.Chem.Phys.*, 30: (1969), 5547-5558.+

## DISKUSI

### DUYEH SETIAWAN

Pertimbangan apa studi ini digunakan isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^1\text{D}$  mengingat di alam terdapat banyak sekali isotop-isotop dengan pemancar radiasi yang berbeda-beda atau mengapa tidak isotop seperti  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{14}\text{C}$  yang lebih banyak di bandingkan  $^{18}\text{O}$  dan  $^1\text{D}$ .

### WIBAGIYO

Karena yang diteliti air, dimana air mempunyai senyawa kimia  $\text{H}_2\text{O}$ , maka isotop yang paling berperan adalah H dan O.

H yang penting adalah  $\text{H}_2/\text{H}_1 \rightarrow$

O yang penting adalah  $\text{O}^{28}/\text{O}^{16} \rightarrow$

### EVARISTA RISTIN

1. Apakah faktor penguapan perlu atau tidak dihitung untuk mengetahui karakterisasi danau
2. Apakah dalam pengambilan sampel air danau dilakukan pada berbagai kedalaman, mohon penjelasan

### WIBAGIYO

1. Perlu tapi terbentur dana
2. Ya, di 3 kedalaman

### BAROKAH ALIYANTA

1. Dengan menggunakan isotop alam, dapatkan di hitung kuantitas pencampurannya
2. Pada kedalaman berapa saja sampel air danau diambil isotop alamnya adakah fluktuasi nilai

### WIBAGIYO

1. Secara teoritis dapat, jika pencampuran itu juga diketahui kuantitas masing-masing
2. Di tiga kedalaman yaitu di dasar, di tengah dan di permukaan, fluktuasi nilai isotopnya ada.

### ZAINAL ABIDIN

Berdasarkan garis represi linier air danau di peroleh titik reckerji air danau pada  $\delta^{18}\text{O} \sim -3,9\%$ , sedangkan elevasi danau Batur sekitar  $\sim 800$  m asl.

Bagaimana opini anda tentang asal-usul air danau

### WIBAGIYO

Air danau berasal dari hujan yang jatuh di dalam kaldera, akan tetapi sebagian telah mengalami penguapan sehingga air larinya enrich.

### SATRIO

1. Mengapa yang diteliti arah dan penyebaran membesar, padahal tadi sudah disebutkan bahwa danau tersebut tertutup (closed system). mohon penjelasan.
2. Mengapa tidak diteliti saja asal-usul sumber air danau tersebut dan pengaruh evaporasi terhadap keseimbangan air danau, mohon penjelasan.

### WIBAGYO

1. Penelitian arah dan penyebaran rembesan untuk dapat mengetahui secara pasti bahwa danau batur bukannya 100% tertutup akan tetapi ada rembesan melalui batuan permeabel.
2. Ini merupakan salah satu langkah untuk mengetahui keseimbangan air danau.

