

# RISALAH PERTEMUAN ILMIAH PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI

1996/1997

Jakarta, 18 - 19 Februari 1997

Perpusustakaan Nasional : Katalog Dalam Terbitan (KDT)

PERTEMUAN ILMIAH PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI (1996 : JAKARTA), Risalah pertemuan ilmiah penelitian dan pengembangan aplikasi isotop dan radiasi, Jakarta, 18 - 19 Februari 1997

## BUKU 1

### PROSES RADIASI DAN GEOHIDROLOGI

ISBN 979-957-90-0-2 (no. jil. lengkap)  
ISBN 979-957-90-1-3 (jil. 1)  
ISBN 979-957-90-2-1 (jil. 2)  
ISBN 979-957-90-3-x (jil. 3)

I. Isotop - Kongres. I. Judul II. Munsiah

241.388

**BADAN TENAGA ATOM NASIONAL**  
**PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI**

JL. CINERE PASAR JUMAT KOTAK POS 7002 JKSKL JAKARTA 12070; INDONESIA  
TEL. 7690709 - KAWAT/CABLE: JUMATOM - TELEX 47113 CAIRCA IA FAX. 7691607

Penyunting : KPTP PAIR

- |                                   |                               |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1. Ir. Munsiah Maha               | Ketua merangkap Anggota       |
| 2. Ir. F. Sundardi                | Wakil Ketua merangkap Anggota |
| 3. Dr. Ir. Moch. Ismachin         | Anggota                       |
| 4. Ir. Elsjé L. Sisworo, MS       | Anggota                       |
| 5. Ir. Wandowo                    | Anggota                       |
| 6. Drs. Made Sumatra, MS          | Anggota                       |
| 7. Dr. Ir. Mugiono                | Anggota                       |
| 8. Dr. Yanti Sabarinah Soebiyanto | Anggota                       |
| 9. Dra. C. Hendratno              | Anggota                       |

---

Perpustakaan Nasional : Katalog Dalam Terbitan (KDT)

---

PERTEMUAN ILMIAH PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI (1996 : JAKARTA), Risalah pertemuan ilmiah penelitian dan pengembangan aplikasi isotop dan radiasi, Jakarta, 18 - 19 Februari 1997 / Penyunting, Munsiah Maha ..... (*et al.*) -- Jakarta : Badan Tenaga Atom Nasional, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, 1997.  
3 jil. ; 30 cm

- Isi Jil. 1. Proses radiasi dan geohidrologi  
2. Pertanian  
3. Peternakan, Biologi, dan Kimia

ISBN 979-95390-0-5 (no. jil. lengkap)

ISBN 979-95390-1-3 (jil. 1)

ISBN 979-95390-2-1 (jil. 2)

ISBN 979-95390-3-x (jil. 3)

1. Isotop - Kongres I. Judul II. Maha, Munsiah

541.388

---

Alamat : Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi  
Jl. Cinere Pasar Jumat  
Kotak Pos 7002-JKSKL  
Jakarta 12070

**DAFTAR ISI**

Pengantar	i
Daftar Isi	iii
Laporan Ketua Panitia Pertemuan Ilmiah	vii
Sambutan Direktur Jenderal Badan Tenaga Atom Nasional	vii
<b>MAKALAH UNDANGAN</b>	
Peluang dan tantangan bioteknologi tanaman Nasional menjelang abad 21 G.A. WATTIMENA	1
Upaya pengamanan bendungan dengan kemungkinan aplikasi teknologi isotop A. HAFIED A. GANY	15
<b>MAKALAH PESERTA</b>	
Status dan prospek Litbang proses radiasi di PAIR-BATAN RAHAYUNINGSIH CHOSDU	19
Sifat fisik dan mekanik campuran akrilat-vinil eter yang diiradiasi berkas elektron SUGIARTO DANU dan TAKASHI SASAKI	23
Kopolimerisasi tempel monomer N-butyl akrilat dan metil metakrilat pada kulit kiras sapi dengan radiasi berkas elektron KADARIJAH, MADE SUMARTI, MARGA UTAMA, dan DWI WAHINI	33
Pengaruh radiasi berkas elektron dan antioksidan terhadap sifat fisik film polietilen ISNI MARLIJANTI, ANIK SUNARNI, MIRZAN T. RAZZAK, dan GATOT T.M.R.	39
Sifat fisik dan mekanik film kopolimer karet alam stirena iradiasi setelah didaur ulang MARSONGKO dan MARGA UTAMA	45
Kadar sisa NBA dalam lateks karet alam vulkanisasi radiasi HERWINARNI SOEKARNO	53
Studi pembuatan karet remah dari lateks alam iradiasi dan kopolimernya secara kimia MARGA UTAMA, SITI BUNDARI, dan H. SOESARSONO WIJANDI	63
Pengaruh radiasi berkas elektron terhadap sifat fisika campuran LDPE-karet alam SUDRADJAT ISKANDAR, FUMIO YOSHII, dan KEIZO MAKUUCHI	71
Evaluasi lateks alam iradiasi untuk produksi kondom skala pabrik YANTI S. SABARINAH, MARGA UTAMA, dan SASTRAVIQAYA	85
Kemungkinan pemakaian kopolimer lateks karet alam stiren untuk sarung tangan listrik MADE SUMARTI, MARGA UTAMA dan SRI SUSILAWATI	91
Pengaruh kadar monomer dan ekstender dalam kopolimerisasi lateks karet alam stirene terhadap keteguhan rekat kayu lapis tusam ( <i>Pinus merkusit</i> ) ADI SANTOSO dan MARGA UTAMA	97
Pelapisan permukaan kayu jeungjing ( <i>Paraserianthes falcaria</i> (L) Nielsen) menggunakan resin akrilat dengan radiasi ultra violet GATOT SUHARIYONO, SUGIARTO DANU, DARSONO, DAN MONDJO	101

Pelapisan permukaan kayu meranti ( <i>Parashorea Spp</i> ) dengan resin uretan akrilat secara radiasi DARSONO, ŠUGIARTO DANU, dan ANIK SUNARNI .....	111
Problema dalam introduksi teknologi lateks alam vulkanisasi radiasi (LAVR) sebagai teknologi tepat guna untuk masyarakat golongan ekonomi lemah WIWIK SOFIARTI .....	117
Pengekangan obat dalam matriks hidrogel PVA-ko-NIPAAM hasil iradiasi ERIZAL, HASAN R., SILVIA S., dan RAHAYU C. ....	121
Sintesa etilen diamin tetra metil fosfanat sebagai ligan untuk radionuklida M. YANIS MUSDJA, SRI HASTINI, dan PUJI WIDAWATI .....	129
Pengaruh iradiasi gamma dan jenis pengemas pada mutu dan masa simpan bakpia dan dodol RINDY P. TANDINDARTO, dan ROSALINA SINAGA .....	137
Status teknologi isotop dalam bidang Industri, Hidrologi, dan Sedimentologi di Indonesia WANDOWO .....	147
Metode ekstraksi gas karbon dioksida dari senyawa sulfat untuk pengukuran rasio isotop oksigen EVARISTA RISTIN P.I., ZAINAL ABIDIN, dan DJIONO .....	153
Studi komparasi kandungan isotop alam pada presipitasi meteorik untuk recharge air tanah di beberapa wilayah Indonesia DJIONO, ZAINAL ABIDIN, dan ALIP .....	157
Inventarisasi komposisi isotop alam air tanah di daerah karst Wonosari dan sekitarnya WIBAGYO, WANDOWO, dan INDROJONO .....	163
Teknik radiopenurut untuk mempelajari karakteristik air tanah dangkal di PPTA Pasar Jumat SYAFALNI, SATRIO, INDROJONO, dan DARMAN .....	171
.....	175
.....	177
.....	183
.....	187
.....	191
.....	197
.....	101

## PENGANTAR

Sebagaimana pertemuan ilmiah sebelumnya, Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi (APISORA) ke-9 yang diselenggarakan oleh Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Atom Nasional pada tanggal 18 - 19 Februari 1997 bertujuan untuk menyebarluaskan informasi dan hasil penelitian yang berkaitan dengan aplikasi teknik nuklir dalam bidang Proses Radiasi, Geohidrologi, Pertanian, Peternakan, Biologi, dan Kimia. Dengan demikian, ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah dikembangkan dalam bidang ini dapat diketahui dan dimanfaatkan oleh pihak-pihak terkait untuk kepentingan masyarakat pada umumnya.

Pertemuan ilmiah kali ini dihadiri oleh 148 orang peserta yang terdiri dari para ilmuwan, dan peneliti, serta wakil-wakil dari berbagai instansi pemerintah, BUMN, dan swasta.

Dalam pertemuan ilmiah ini dibahas dua makalah utama yang dibawakan oleh pejabat senior, yaitu tentang Peluang dan tantangan bioteknologi tanaman nasional menjelang abad 21, dan Upaya pengamanan bendungan dengan kemungkinan aplikasi teknologi isotop. Selanjutnya, dibahas sebanyak 65 makalah hasil penelitian yang dibagi dalam tiga kelompok dan dipresentasikan secara paralel.

Penerbitan risalah pertemuan ilmiah ini diharapkan dapat menambah sumber informasi dan ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan teknik nuklir bagi pihak yang membutuhkan untuk menunjang keberhasilan pembangunan di masa mendatang.

Penyunting,

### PENGANTAR

Sebagaimana pertemuan ilmiah sebelumnya, Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radasi (APISORA) ke-9 yang diselenggarakan oleh Pusat Aplikasi Isotop dan Radasi, Badan Tenaga Atom Nasional pada tanggal 18 - 19 Februari 1997 bertujuan untuk menyebarkan informasi dan hasil penelitian yang berkaitan dengan aplikasi teknik nuklir dalam bidang Proses Radasi, Geohidrologi, Pertanian, Peternakan, Biologi, dan Kimia. Dengan demikian, ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah dikembangkan dalam bidang ini dapat diketahui dan dimanfaatkan oleh pihak-pihak terkait untuk kepentingan masyarakat pada umumnya.

Pertemuan ilmiah kali ini dihadiri oleh 148 orang peserta yang terdiri dari para ilmuwan dan peneliti, serta wakil-wakil dari berbagai instansi pemerintahan, BUMN, dan swasta.

Dalam pertemuan ilmiah ini dibahas dua makalah utama yang dibawakan oleh pejabat senior, yaitu tentang Peluang dan tantangan bioteknologi tanaman nasional menjelang abad 21, dan Upaya pengamanan bendungan dengan kemungkinan aplikasi teknologi isotop. Selanjutnya, dibahas sebanyak 62 makalah hasil penelitian yang dibagi dalam tiga kelompok dan dipresentasikan secara paralel.

Penelitian ilmiah pertemuan ilmiah ini diharapkan dapat menambah sumber informasi dan ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan teknik nuklir bagi pihak yang membutuhkan untuk menunjang keberhasilan pembangunan di masa mendatang.

Penyunting,

# STUDI KOMPARASI KANDUNGAN ISOTOP ALAM PADA PRESIPITASI METEORIK UNTUK RECHARGE AIR TANAH DI BEBERAPA WILAYAH INDONESIA

Djiono, Zainal Abidin, dan Alip

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

## ABSTRAK

**STUDI KOMPARASI KANDUNGAN ISOTOP ALAM PADA PRESIPITASI METEORIK UNTUK RECHARGE AIR TANAH DI BEBERAPA WILAYAH INDONESIA.** Penelitian bertujuan untuk mengetahui perbedaan kandungan isotop alam pada beberapa ketinggian dan garis lintang. Kandungan isotop alam pada air presipitasi meteorik nilainya sangat bervariasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi diantaranya ialah jumlah curah, efek ketinggian, dan efek temperatur. Analisis dilakukan pada sampel air presipitasi dari Jakarta, Jawa-Barat, Jawa-Tengah, dan Sulawesi Utara. Sampel diambil dari berbagai ketinggian di atas permukaan air laut. Hasil penelitian menunjukkan sedikit perbedaan, baik pada slope maupun indeks deuterium dan oksigen-18 pada beberapa wilayah akibat pengaruh geografis.

## ABSTRACT

**STABLE ISOTOPE COMPARISON STUDY ON METEORIC PRECIPITATION FOR GROUNDWATER RECHARGE AT SOME AREAS OF INDONESIA.** The aim of the investigation was to compare the difference of stable isotope content in some areas at difference altitude and latitude. There are a lot of variations of stable isotopes content in the water meteoric precipitation. Factors that influence this parameter are rainfall, altitude, and temperature. Samples were from Jakarta, West-Java, Mid-Java, and North Sulawesi. The samples were collected from difference altitude. The results show that there is a small difference on both slope and index of deuterium and oxygen-18 in some areas caused by difference geographic.

## PENDAHULUAN

Penelitian dalam hidrologi tidak dapat dilepaskan dari daur hidrologi, yaitu perputaran air dari uap air laut menjadi awan kemudian menjadi hujan, ke bumi sebagai recharge air tanah dan kembali ke laut lagi. Di dalam proses tersebut isotop alam yang terkandung di dalamnya mengalami berbagai perubahan nilai. Perubahan nilai kandungan isotop ini terjadi akibat perubahan kondisi meteorologi dan topografi. Di samping itu, intensitas dan jumlah curah presipitasi juga berpengaruh terhadap kandungan isotop alamnya. Dalam penelitiannya yang berskala dunia, DANSGARD (1) menemukan hubungan linear antara kandungan deuterium dan oksigen-18 dari air hujan di seluruh dunia, dengan nilai slope 8 dan indeks 10. Dalam penelitian tersebut juga ditemukan bahwa konsentrasi isotop menurun terhadap ketinggian tanah serta garis lintang wilayah pengamatan.

Lokasi penelitian untuk wilayah Jakarta diwakili satu titik tertentu di Pasar Jumat, karena untuk wilayah Jakarta tidak terdapat beda ketinggian yang berarti. Di lokasi penelitian di wilayah Jawa-Barat, Jawa-Tengah dan Sulawesi Utara dilakukan pemasangan tadah hujan dengan ketinggian bervariasi ketinggian antara 250 sampai 2000 meter di atas permukaan laut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan nilai komposisi air presipitasi antara satu

wilayah dengan wilayah lain sebagai fungsi recharge air tanah pada suatu daerah.

## TEORI

**Evaporasi.** Terjadinya curah hujan ialah adanya awan yang terkondensasi akibat pendinginan suhu udara pada ketinggian tertentu. Pada wilayah yang berbeda ketinggiannya, kondisi ini akan berubah akibat perbedaan suhu udara. Kandungan isotop deuterium dan oksigen-18 air presipitasi juga dipengaruhi oleh suatu kesetimbangan antara butiran air dan uap air dalam udara dan evaporasi selama dalam perjalanan jatuhnya butiran sampai ke tanah. KINZER dan GUNN (2) membuat persamaan jumlah air yang mengalami evaporasi selama jatuhnya butiran sampai ke tanah sebagai berikut.

$$m = 4 \pi Dr (V - V^\circ) \Phi t \quad (1)$$

$$\Phi = 1 + \frac{EVRe}{V4\pi Dv}$$

di mana : m : massa butiran air presipitasi  
 t : waktu  
 D : koefisien difusi uap dalam udara

- r : diameter butiran air
- V dan V° : densitas uap sekitar jatuhnya butiran air
- v : koefisien viskositas kinetik udara
- Re : konstanta Reynolds
- E : faktor empirik variasi diameter butiran

musim kemarau. Perhitungan statistik data curah hujan dari IAEA menunjukkan setiap penambahan curah hujan 100 mm mengakibatkan deplesi sebanyak 1 permill untuk oksigen-18. Pada curah hujan yang kecil, slope dari hubungan antara deuterium dan oksigen-18 menunjukkan slope menuju garis evaporasi yang lebih besar (3).

Berdasarkan pada persamaan tersebut, hasil perhitungan jumlah evaporasi dan kandungan oksigen-18 dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut :

**BAHAN DAN METODE**

Tabel 1. Perhitungan variasi evaporasi dan kandungan oksigen-18 selama jatuhnya air presipitasi sampai di tanah

Diameter butiran (mm)	Massa (mg)	Waktu tempuh (detik)	Jumlah evaporasi (mg)		Kandungan O-18 (permill)	
			10°C	20°C	10°C	20°C
0,2	0,0032	588	0,0005	0,0007	1,5	0,2
0,6	0,905	217	0,0009	0,001	1,1	0,13
1,0	4,19	154	0,00143	0,00203	0,003	0,05
1,4	11,5	127	0,00127	0,00323	0,01	0,03

**Pengumpulan Sampel.** Di stasiun pengamatan Jakarta, penadahan air presipitasi untuk analisis dan pembacaan curah presipitasi dilakukan setiap ada hujan, sedangkan untuk stasiun di luar Jakarta dilakukan sampling bulanan pada variasi ketinggian antara 200 dan 2000 meter di atas permukaan laut. Untuk menghindari penguapan selama penampungan dilakukan perlakuan khusus, yakni dengan menambahkan minyak parafin pada permukaan sampel air.

Ketinggian = 1500 m  
Kelembapan relatif udara = 90 %

Pencatatan curah diperlukan untuk koreksi rata-rata tertimbang dari data kandungan isotop deuterium dan oksigen-18.

**Fraksinasi.** Faktor fraksinasi ( $\alpha$ ) sangat bergantung pada suhu dan kelembapan udara. Bentuk persamaan fraksinasi isotop antara fraksi uap dan air adalah sebagai berikut :

**Alat.** Alat analisis yang digunakan ialah spektrometer massa SIRA-9. Metode analisis oksigen-18 adalah dengan cara mereaksikan 2 ml air sampel dengan 30 ml CO<sub>2</sub> dan diekuilibriumkan pada suhu 30°C selama 8 jam. Gas hasil ekuilibrium dianalisis langsung ke dalam spektrometer massa. Pengukuran kandungan deuterium dilakukan dengan mereaksikan 10 µl sampel air dengan 300 mg Zn aktif dan dipanaskan 450°C selama 30 menit sampai gas H<sub>2</sub> terpisah dengan O yang tereduksi oleh Zn menjadi ZnO (4).

$$\alpha = \frac{R_c}{R_v} \dots\dots\dots (2)$$

Kandungan isotop stabil di dalam air didefinisikan dengan simbol  $\delta$  dan perumusannya adalah sebagai berikut :

- di mana : R : rasio isotop
- c : fase kondensasi
- v : fase uap

$$\delta = \left( \frac{R \text{ sampel}}{R \text{ SMOW}} - 1 \right) \times 1000 \text{ ‰} \dots\dots\dots (3)$$

dimana : R = rasio isotop (D/H atau <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O)

Hubungan antara faktor fraksinasi dan temperatur seperti yang digambarkan oleh MERLIFAT dan MATSUO (3) dapat dilihat pada Gambar 1.

**Metode.** Pengumpulan sampel air presipitasi dilakukan dengan sangat teliti untuk menghindari adanya penguapan yang dapat mengganggu komposisi isotop. Presipitasi di Jakarta disampling setiap hujan, sedangkan sampel dari Jawa-Barat, Jawa-Tengah dan Sulawesi-Utara diambil setiap akhir bulan selama musim hujan. Sampel dianalisis kandungan deuterium dan oksigen-18 nya. Hubungan antara deuterium dan oksigen-18 dicari persamaan garis linearnya dan ini merupakan *local meteoric water line* yang mewakili masing-masing wilayah. Grafik hubungan antara deuterium dan altitude dihitung persamaan garis linearnya untuk mengetahui indeks isotop deuterium terhadap ketinggian (efek altitude) (5). Persamaan-persamaan regresi linear tertera pada Tabel 8. Distribusi frekuensi dibuat untuk data sampel Jakarta yang mempunyai populasi data yang cukup banyak untuk mengetahui interval dan penyebaran rata-rata kandungan isotop presipitasi meteorik Jakarta.

**Pengaruh Suhu Udara.** Komposisi isotop air presipitasi lokal merupakan fungsi beberapa parameter, diantaranya kondisi termodinamik selama proses pendinginan. Proses pendinginan pada kondisi Rayleigh umumnya digunakan sebagai patokan. Kandungan oksigen-18 naik seiring dengan perubahan suhu udara. Gambar 2 menunjukkan hubungan antara suhu udara dan kandungan isotop oksigen-18.

**Pengaruh Jumlah Curah Hujan.** Pengaruh jumlah curah hujan akan sangat terasa di daerah tropis karena suhu udara yang tinggi. Kelembapan udara yang tinggi dan ketinggian awan akan menyebabkan pengayaan pada waktu jatuhnya air hujan. Pada musim hujan kandungan isotop akan lebih deplesi dibandingkan dengan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini akan dibahas data kandungan deuterium dan oksigen-18 dari 5 stasiun curah hujan, masing-masing Jakarta yang diambil pada ketinggian 39 m di atas permukaan laut selama satu tahun dengan metode sampling harian. Untuk stasiun Jawa-Barat, ada dua lokasi masing-masing sekitar Kamojang dan Galunggung dengan interval ketinggian mulai dari 800 sampai dengan 1630 m di atas permukaan laut. Stasiun curah hujan Jawa-Tengah dipasang di sekitar Dieng dengan interval ketinggian mulai dari 800 sampai dengan 2000 m di atas permukaan laut. Stasiun curah hujan Sulawesi-Utara dipasang sekitar Lahendong dengan interval ketinggian antara 600 sampai dengan 1050 m di atas permukaan laut. Masing-masing lokasi dipasang 4 stasiun penadah curah hujan dengan interval ketinggian sekitar 100-200 m.

**Stasiun Curah Hujan Jakarta.** Selama satu tahun penuh dilakukan pencatatan jumlah curah hujan dan analisis kandungan isotop. Selama tahun 1987 didapatkan intensitas hujan sebanyak 74 hari hujan, dengan catatan bahwa untuk curah hujan kurang dari 2 mm tidak dilakukan pengambilan sampel. Hujan yang kurang dari 2 mm akan sangat kaya kandungan isotop karena evaporasi dalam perjalanan jatuhnya sampai di bumi. Data dikelompokkan dalam interval untuk mengetahui distribusi dan penyebaran jumlah curah, kandungan deuterium dan oksigen-18.

**Jumlah Curah.** Tabel 2 menunjukkan data distribusi populasi curah hujan di Jakarta selama tahun 1987. Penyebaran jumlah curah hujan Jakarta berkisar antara 0-80 mm per hujan. Populasi terbesar berada pada jumlah curah antara 20-30 mm sebanyak 12 dari 74 populasi atau sekitar 16,2 %. Jumlah curah hujan di daerah selain Jakarta tidak diamati selama satu tahun penuh, tetapi diamati dan dicatat hanya pada musim hujan bulan November, Desember dan Januari yang dianggap mempunyai curah hujan terbesar dalam satu tahun.

**Deuterium.** Tabel 3 memperlihatkan distribusi frekuensi kandungan deuterium dan oksigen-18 pada air presipitasi selama tahun 1987 dari total populasi hujan 74 kali di Jakarta. Dari data yang diperoleh dapat diketahui bahwa populasi kandungan deuterium air hujan di Jakarta adalah antara -75 sampai dengan 20 ‰. Populasi maksimum terdapat pada interval -25 sampai dengan -40 ‰, yaitu sebanyak 31,08 % dari jumlah hari hujan. Nilai rata-rata kandungan deuterium air hujan Jakarta (Pasar Jumat) adalah -32,5 ‰. Pada Tabel 4, 5, 6, dan 7 disajikan data hasil pengamatan dan pengukuran kandungan deuterium dan oksigen-18 untuk stasiun pengamatan selain Jakarta, yaitu Galunggung, Kamojang, Dieng, dan Lahendong.

Tabel 8 memperlihatkan hasil perhitungan regresi linear untuk *local meteoric water line* dan efek *altitude* masing-masing untuk deuterium dan oksigen-18 terhadap ketinggian. Slope efek *altitude* bervariasi antara  $-0,9 \times 10^{-2}$  sampai  $-2 \times 10^{-2}$  dengan rata-rata  $-2,2 \times 10^{-2}$  yang

berarti terdapat deplesi deuterium  $-2,2 \text{ ‰}$  setiap kenaikan elevasi 100 m. Dari 4 stasiun pengamatan selain Jakarta, di Kamojang terlihat terdapat perbedaan yang mencolok, yaitu nilai slope  $-0,9 \times 10^{-2}$  yang disebabkan oleh pemasangan penadah curah hujan yang kurang tepat, yaitu ke arah daerah cekungan Bandung, di mana pengaruh arah angin tidak mencerminkan arah uap air laut.

**Oksigen-18.** Data distribusi kandungan oksigen-18 dalam presipitasi Jakarta yang telah dikelompokkan dengan interval 3 permill dapat dilihat pada Tabel 3. Dari tabel terlihat penyebaran kandungan oksigen-18 adalah antara -15 sampai 9 permill. Frekuensi maksimum adalah pada interval -6 sampai -3 permill yaitu sebanyak 36,48 % dari 74 populasi. Rata-rata kandungan oksigen-18 air presipitasi Jakarta (Pasar Jumat) adalah  $-4,5 \text{ ‰}$ . Hubungan antara kandungan oksigen-18 dengan jumlah curah adalah linear dengan persamaan  $\delta^{18}\text{O} = -0,0175 R_v - 2,4$  dengan  $r = 0,78$  di mana  $R_v$  adalah jumlah curah presipitasi.

**Local Meteoric Water Line.** Hubungan antara deuterium dan kandungan oksigen-18 dalam air presipitasi pada suatu daerah disebut *local meteoric water line*. Nilai slope untuk global adalah 8 (3), sedangkan untuk lokal biasanya terdapat evaporasi sehingga nilai slopenya lebih kecil dari 8. Dari Tabel 8 dapat dilihat bahwa rata-rata slope *local meteoric water line* adalah 7,9 dengan ekses deuterium rata-rata 15,4 ‰.

## KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan regresi linear seluruh observasi data dapat ditarik kesimpulan :

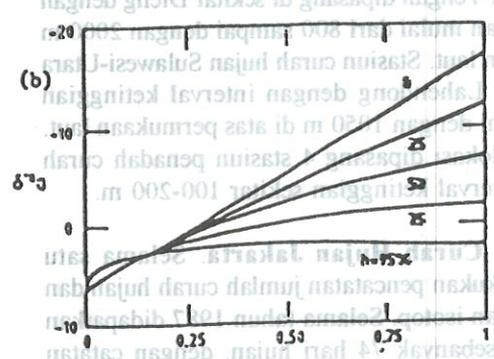
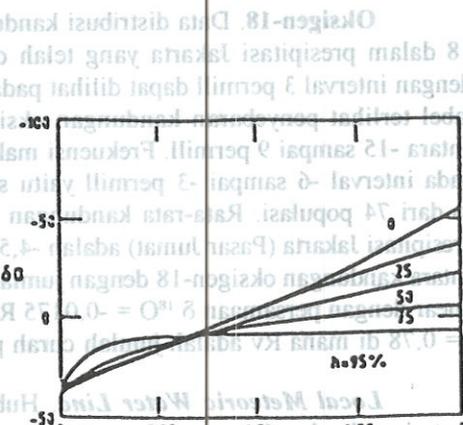
1. Semua garis lokal meteorik seluruh daerah pengamatan tidak menunjukkan perbedaan yang berarti, dengan variasi slope 7,8 sampai dengan 8.
2. Efek *altitude* deuterium menunjukkan deplesi rata-rata 0,22 permill per 100 m.
3. Efek *altitude* oksigen-18 menunjukkan deplesi rata-rata 0,22 permill per 100 m.
4. Pengamatan curah presipitasi Jakarta menunjukkan evaporasi dengan slope 6,88 dan lebih kecil dibandingkan dengan pengamatan stasiun yang lain.
5. Ekses deuterium rata-rata (15,4 ‰) yang lebih besar dari global (10 ‰) adalah normal untuk daerah tropis yang suhu udara dan kelembapannya cukup tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

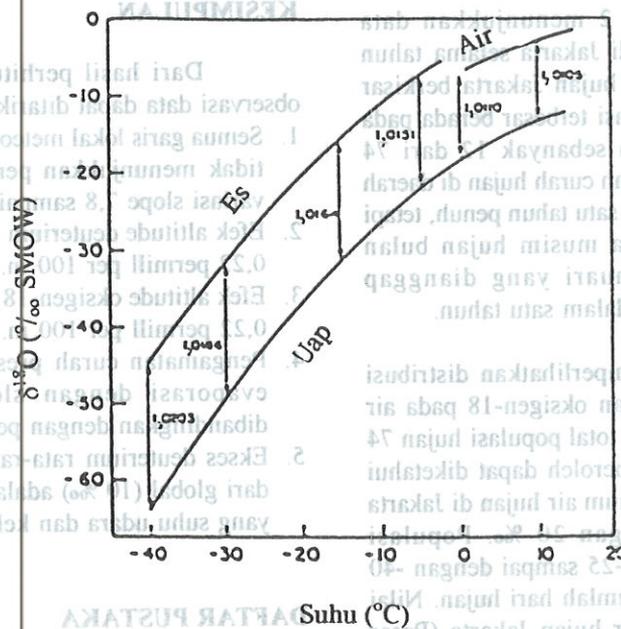
1. CRAIGH, H., Isotopic variation in meteoric water, Science 133 (1961) 1702.
2. DANSGAARD, W., The isotopic composition of natural waters, Medd. Groundland 2 (1961) 165.
3. IAEA, Statistical Treatment of Environmental Isotope Data in Precipitation (Technical Report Series No. 206), IAEA, Vienna (1981).

4. YASUO, M., OSAMU, M., and CHIZUKO, N., An Isotopic Study on Meteoric Precipitation, *Meteorology and Geophysics XIX 2* (1968).

5. GAT, J.R., Comments on the Stable Isotope Method in Regional Groundwater Investigations, *Water Resources Research 7 4*, (1971) 980.



Gambar 1. Hubungan antara faktor fraksinasi dengan kandungan isotop.



Gambar 2. Hubungan antara suhu udara dan oksigen-18 pada kondisi Rayleigh.

Tabel 2. Data curah hujan harian di Jakarta yang sudah dikelompokkan

Interval (mm)	Frekuensi
0-5	6
5-10	9
10-20	10
20-30	12
30-40	11
40-50	9
50-60	8
60-70	4
70-80	1
80-90	1

Tabel 3. Data distribusi kandungan deuterium dan oksigen-18 dalam presipitasi harian di Jakarta selama tahun 1987

Deuterium		Oksigen-18	
Interval (%)	Frekuensi	Interval (%)	Frekuensi
< -95	0	<-15	0
-95 - -70	5	-15 - -12	2
-70 - -55	10	-12 - -9	3
-55 - -40	14	-9 - -6	17
-40 - -25	23	-6 - -3	27
-25 - -10	11	-3 - 0	22
-10 - -5	9	0 - 3	3
-5 - -20	2	3 - 6	1
>20	0	6 - 9	1
		>9	0

Tabel 4. Data presipitasi dan kandungan isotop alam daerah Galunggung th. 1992

Lokasi	Altitude (m.dpl)	Jumlah curah (mm)	Isotop alam (‰)	
			deuterium	Oksigen-18
Kawah	1650	874	-51,6	-8,5
Kamojang	1485	869	-50,3	-8,3
Ibun	1000	925	-49,8	-8,2
Ciparay	700	432	-41,7	-7,2

Tabel 5. Data presipitasi dan kandungan isotop alam daerah Kamojang th. 1991

Lokasi	Altitude (m.dpl)	Jumlah curah (mm)	Isotop alam (‰)	
			deuterium	Oksigen-18
Kawah	1118	2838	-59,5	-7,8
Cikunir	775	2442	-54,9	-7,2
Bantar	400	1645	-40,8	-7,0
Tasikmalaya	250	1796	-39,0	-6,4

Tabel 6. Data presipitasi dan kandungan isotop alam daerah Dieng th. 1989

Lokasi	Altitude (m.dpl)	Jumlah curah (mm)	Isotop alam (‰)	
			deuterium	Oksigen-18
Dawuhan	2000	1566	-62,6	-10,1
Tieng	1600	1650	-51,5	-8,6
Jengkol	1200	1555	-40,3	-7,3
Kalianget	800	1870	-36,8	-6,8

Tabel 7. Data presipitasi dan kandungan isotop alam daerah Lahendong, Sulawesi Utara th. 1991

Lokasi	Altitude (m.dpl)	Jumlah curah (mm)	Isotop alam (‰)	
			deuterium	Oksigen-18
Ruruan	1050	432	-36,1	-6,3
Linau	880	442	-35,7	-6,2
Tolok	700	255	-28,7	-5,3
Pangu	600	462	-22,8	-4,6

Tabel 8. Hasil perhitungan regresi linear local meteorik water line dan efek altitude terhadap deplesi kandungan isotop alam

Lokasi	Local meteorik water line	Isotop alam (‰)	
		deuterium	Oksigen-18
Galunggung	$\delta D = 8(\delta^{18}O) + 16,9$ $r = 0,98$	$\delta D = -0,28(H) - 29,5$ $r = 0,95$	$\delta^{18}O = -14E-4(H) - 6,2$ $r = 0,96$
Kamojang	$\delta D = 7,8(\delta^{18}O) + 14$ $r = 0,99$	$\delta D = -0,009(H) - 37,7$ $r = 0,87$	$\delta^{18}O = -12E-4(H) - 6,6$ $r = 0,88$
Dieng	$\delta D = 7,9(\delta^{18}O) + 17$ $r = 0,99$	$\delta D = -0,022(H) - 16,8$ $r = 0,98$	$\delta^{18}O = -28E-4(H) - 4,3$ $r = 0,98$
Lahendong	$\delta D = 7,9(\delta^{18}O) + 13$ $r = 0,99$	$\delta D = -0,029(H) - 6,3$ $r = 0,95$	$\delta^{18}O = -38E-4(H) - 2,5$ $r = 0,94$

## DISKUSI

### MARGA UTAMA

Mohon penjelasan, apakah ada hubungan antara ketinggian dengan kandungan isotop alam, walaupun tempat pengambilan sampel sama? Misalnya, tempat pengambilan di Jakarta, tetapi tinggi/letak sampel yang diambilnya berbeda-beda (di atas gedung/menara dan di bawah). Apakah sudah dilakukan?

### DJIONO

Hubungan antara ketinggian dengan kandungan isotop alam ada, yaitu yang disebut *altitude* efek di mana terjadi deplesi terhadap kandungan isotop alam terhadap ketinggian. Kalau tempat pengambilan sampel sama tentu perbedaan nilai disebabkan oleh efek jumlah curah. Makin besar jumlah makin mendekati garis global meteorik karena evaporasinya kecil dan sebaliknya. Penelitian dalam hal ini sudah dilakukan di Jakarta, yaitu di PAIR-BATAN.

### SUTARMAN

a. Apakah pernah dilakukan korelasi data antara deuterium dan oksigen-18 dengan keadaan musim,

misalnya keadaan musim di Jawa-Bali yang sangat dipengaruhi oleh angin moutoon (angin barat dan angin timur).

b. Secara teori apakah data deuterium dan <sup>18</sup>O dapat dipakai memprediksi keadaan curah hujan di suatu daerah? Jika dapat bagaimana caranya?

### DJIONO

a. Tidak pernah dilakukan penelitian korelasi data antara deuterium dan oksigen-18 terhadap musin angin moutoon karena secara teori dari manapun arah angin asal dari laut mempunyai nilai kandungan yang sama karena nilai kandungan air laut adalah nol, dan berubah setelah terbawa naik keatas permukaan bumi dan jatuh pada elevasi tertentu setelah auran tersebut terkondensasi.

b. Sampai sekarang belum ada referensi untuk memprediksi keadaan curah hujan menggunakan data isotop alam. Namun terdapat suatu trend para peneliti mencari hubungan antara kandungan isotop alam pada masa lalu terhadap kondisi iklim periode berikutnya. Tetapi belum mendapatkan hasil yang betul-betul akurat.

Isotop alam (‰)	Lokasi	Altitude (m dpl)	Jumlah curah (mm)	deuterium	Oksigen-18
>20	Pangau	600	462	-22.8	-4.6
-10 - -2	Tok	700	222	-28.7	-2.3
-25 - -10	Linau	880	442	-32.7	-6.2
-40 - -25	Rurukan	1020	432	-36.1	-6.3

Tabel 8. Hasil perhitungan regresi linear local meteorik water line dan cck altitude terhadap deplesi kandungan isotop alam

Local meteoric water line	deuterium	Oksigen-18
SD=0.28(H)+10.9 r = 0.98	SD=0.28(H)-29.7 r = 0.99	SD=0.28(H)-47.3 r = 0.99
SD=7.8(R)+14 r = 0.99	SD=0.09(H)-27.7 r = 0.83	SD=0.12E-4(H)-0.6 r = 0.88
SD=7.9(R)+17 r = 0.99	SD=0.022(H)-18.8 r = 0.98	SD=0.28E-4(H)-4.7 r = 0.98
SD=7.9(R)+17 r = 0.99	SD=0.028(H)-9.7 r = 0.92	SD=0.28E-4(H)-3.2 r = 0.94

Interval (‰)	Frekuensi	Interval (‰)	Frekuensi
>20	0	>9	0
-2 - -20	2	3 - 6	1
-10 - -2	9	0 - 3	3
-25 - -10	11	-3 - 0	22
-40 - -25	23	-6 - -3	22
-55 - -40	14	-9 - -6	17
-70 - -55	10	-12 - -9	3
-95 - -70	2	12 - 15	2
> -95	0	< -12	0

Tabel 4. Data presipitasi dan kandungan isotop alam daerah Gunungth. 1992

Isotop alam (‰)	Lokasi	Altitude (m dpl)	Jumlah curah (mm)	deuterium	Oksigen-18
-8.2	Kawah	1620	874	-21.6	-8.2
-8.3	Kamajang	1482	869	-20.3	-8.3
-8.2	Ibu	1000	922	-19.8	-8.2
-7.2	Ciparay	700	432	-17.7	-7.2