

ISBN 978-979-3558-23-3

**PROSIDING SEMINAR ILMIAH HASIL  
PENELITIAN TAHUN 2009**

**APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI**

**Jakarta, 02 Desember 2010**



**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL  
PUSAT APLIKASI TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI  
JAKARTA 2011**

- ISBN 978-979-3558-23-3
- Penyunting :
1. Prof. Dr. Ir. Mugiono - PATIR-BATAN
  2. Prof. Ir. Sugiarto - PATIR-BATAN
  3. Prof. Ir. A. Nasroh Kuswadi, M.Sc - PATIR-BATAN
  4. Dra. Rahayuningsih Chosdu, MM - PATIR-BATAN
  5. Dr. Paston Sidauruk - PATIR-BATAN
  6. Dr. Hendig Winarno, M.Sc. - PATIR-BATAN
  7. Dr. Ir. Sobrizal - PATIR-BATAN
  8. Ir. Suharyono, M.Rur.Sci - PATIR-BATAN
  9. Prof. Dr. Ir. Abd. Latief Toleng - UNHAS
  10. Dr. Nelly Dhevita Leswara - UI

APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI

ISBN 978-979-3558-23-3

---

SEMINAR ILMIAH HASIL PENELITIAN APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI (2009 : JAKARTA), Prosiding seminar ilmiah hasil penelitian aplikasi isotop dan radiasi, Jakarta, 2 Desember 2010 / Penyunting, Mugiono ... (*et al.*) -- Jakarta : Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, 2011.

i, 451 hal.; ill.; tab.; 30 cm

ISBN 978-979-3558-23-3

1. Isotop - Seminar I. Judul II. Badan Tenaga Nuklir Nasional III. Mugiono

541.388

Alamat : Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi  
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49  
Kotak Pos 7002 JKSKL  
Jakarta 12440  
Telp. : 021-7690709  
Fax. : 021-7691607  
021-7513270  
E-mail : patir@batan.go.id  
sroji@batan.go.id  
Home page : <http://www.batan.go.id/patir>

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa dimana atas berkat dan rahmat Nyalah maka Prosiding Seminar Ilmiah Hasil Penelitian Aplikasi Isotop dan Radiasi tahun 2009 Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional dapat diselesaikan.

Pada kesempatan ini perkenankanlah kami menginformasikan kepada masyarakat tentang hasil kegiatan penelitian PATIR-BATAN berupa buku "Prosiding Seminar Ilmiah Hasil Penelitian Aplikasi Isotop dan Radiasi, tahun 2009", Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, Badan Tanaga Nuklir Nasional (2011).

Penyusun menyampaikan permintaan maaf apabila pada penerbitan ini, masih banyak hal yang kurang sempurna, untuk itu kami sangat mengharapkan saran perbaikan. Tidak lupa pula penyusun juga menyampaikan terima kasih kepada para penulis dan semua pihak yang telah membantu dalam persiapan maupun pelaksanaan penerbitan buku Prosiding tersebut.

Jakarta, 7 Februari 2011

Penyusun,



## DAFTAR ISI

Pengantar.....	i
Daftar Isi .....	iii

### Bidang Pertanian

Pemuliaan tanaman padi untuk mendapatkan varietas unggul nasional dan hibrida; observasi dan uji daya hasil pendahuluan galur mutan asal iradiasi ki 237 dan ki 432 SOBRIZAL, CARKUM, NANA SUPRIATNA, YULIDAR, WINDA PUSPITASARI.....	1
Uji daya hasil dan respon terhadap serangan jamur <i>aspergillus flavus</i> pada galur mutan kacang tanah PARNO DAN SIHONO .....	7
Uji adaptasi, uji ketahanan terhadap penyakit dan hama penting serta analisis nutrisi galur-galur mutan harapan kedelai umur sedang dan genjah berukuran biji besar HARRY IS MULYANA, ARWIN, TARMIZI DAN MASRIZAL .....	13
Pemurnian dan pendeskripsian sifat agronomi mutan padi rendah kandungan asam fitat ARWIN, AZRI KUSUMA DEWI, YULIDAR DAN WINDA PUSPITASARI.....	29
Perbaikan genetik tanaman kacang hijau toleran cekaman abiotik (kekeringan) dan biotik melalui teknik mutasi dan bioteknologi YULIASTI, SIHONO DAN SISWOYO .....	37
Pembentukan populasi dasar padi hitam dengan teknik mutasi SHERLY RAHAYU, MUGIONO, HAMBALI, DAN YULIDAR .....	45
Peningkatan keragaman genetik bawang merah ( <i>allium ascalonicum</i> l.) melalui pemuliaan mutasi ISMİYATI SUTARTO DAN MARINA YUNIAWATI .....	53
Perbaikan sifat tanaman obat <i>artemisia cina</i> dengan sinar gamma ARYANTI, ULFA TAMIN DAN MARINA YUNIAWATI .....	61
Observasi galur mutan tanaman jarak pagar ( <i>jatropha curcas</i> l.) generasi m1v5 pada tahun ketiga ITA DWIMAHYANI , SASANTI WIDIARSIH, WINDA PUSPITASARI DAN YULIDAR .....	67

Observasi, seleksi dan uji daya hasil lanjut galur mutan tanaman kapas ( <i>Gossypium hirsutum</i> .L) dengan teknik mutasi LILIK HARSANTI, ITA DWIMAHYANI, TARMIZI, SISWOYO DAN HAMDANI .....	75
Perbaikan varietas padi sawah dengan teknik mutasi MUGIONO, SHERLY RAHAYU, HAMALI, YULIDAR .....	85
Pengujian ketahanan galur-galur mutan sorgum terhadap lahan masam SOERANTO HUMAN, SIHONO, PARNO DAN TARMIZI.....	93
Perbaikan varietas padi lokal dan padi gogodengan teknik pemuliaan mutasi : uji daya hasil, serta seleksi galur mutan padi lokal dan padi gogo AZRI KUSUMA DEWI, MUGIONO, HAMBALI, YULIDAR DAN SUTISNA.....	103
Optimalisasi pemupukan padi sawah hasil litbang batan dengan teknik nuklir HARYANTO .....	115
Budidaya padi sawah dengan sistem sri dan bahan organik pupuk kandang SETIYO HADI WALUYO .....	125
Produksi Azofert (Reformulasi Azora) ANIA CITRARESMINI, SRI HARTI S., HALIMAH, ANASTASIA D.....	135
Penghematan pupuk dalam sistem pergiliran tanaman di lahan kering/ tadah hujan IDAWATI DAN HARYANTO.....	143
Uji terap dan uji toksisitas formulasi penglepasan terkendali (fpt) insektisida dimehipo terhadap serangga yang diinokulasikan pada tanaman padi SOFNIE M.CHAIRUL, HENDARSIH, DAN A.N. KUSWADI.....	153
Uji virulensi isolat <i>beauveria bassiana</i> (balsamo) vuill. (deuteromycotina: hyphomycetes) terhadap hama sayuran (lanjutan) MURNI INDARWATMI, A.N. KUSWADI, DAN INDAH A. NASUTION....	165
Perbaikan kualitas lalat buah <i>bactrocera carambolae</i> (drew & hancock) (diptera = tephritidae) mandul untuk pengendalian dengan teknik serangga mandul INDAH ARASTUTI NASUTION, MURNI INDARWATMI DAN A. NASROH KUSWADI.....	173
Uji kandungan nutrisi sorgum fermentasi untuk mengetahui kemampuannya sebagai pakan ruminansia secara <i>in vitro</i> LYDIA ANDINI, W. TEGUH S., DAN EDY IRAWAN K.....	181

Inovasi pakan komplit terhadap fermentasi rumen, pencernaan dan penambahan berat badan pada ternak domba SUHARYONO, C. E. KUSUMANINGRUM, T. WAHYONO DAN D. ANSORI.....	189
Budidaya ikan air tawar yang diberi pakan stimulan dengan pemanfaatan teknik nuklir. ADRIA PM .....	195
Daun <i>tithonia diversifolia</i> , sebagai penyusun pakan komplit ternak Ruminansia Secara <i>In-Vitro</i> FIRSONI.....	201
Respon imun <i>brucella abortus</i> untuk pengembangan vaksin iradiasi brucellosis BOKY JEANNE TUASIKAL, TRI HANDAYANI, TOTTI TJIPTOSUMIRAT .....	209
Uji lapang terbatas bahan vaksin fasciolosis untuk ternak ruminansia TRI HANDAYANI, BOKY JEANNE TUASIKAL, T. TJIPTOSUMIRAT.....	219
<b>Bidang Proses Radiasi</b>	
Uji coba produksi tulang xenograf radiasi untuk pemakaian periodontal BASRIL ABBAS.....	229
Sintesis dan karakterisasi <i>injectable</i> komposit hidroksiapatit –pvp-kitosan dengan iradiasi berkas elektron sebagai graft tulang sintetik DARMAWAN DARWIS, LELY H., YESSY WARASTUTI DAN FARAH NURLIDAR .....	239
Sintesis iradiasi komposit tricalcium fosfat (tcp)- kitosan untuk graft tulang dan karakterisasi sifat fisiko-kimianya ERIZAL, A.SUDRAJAT, DEWI S.P. ....	245
Metode rt-pcr ( <i>reverse transcription-polymerase chain reaction</i> ) dan hibridisasi dot blot dengan pelacak berlabel <sup>32</sup> p untuk deteksi hcv ( <i>hepatitis c virus</i> ). LINA, M.R.....	253
Uji praklinis simplisia mahkota dewa ( <i>phaleria macrocarpa</i> (scheff) boerl.) radiopasteurisasi sebagai antidiabetes pada tikus NIKHAM DAN RAHAYUNINGSIH CHOSDU .....	261

Pengaruh radiopasteurisasi pada simplisia kulit batang mahkota dewa ( <i>phaleria macrocarpa (scheff) boerl.</i> ) terhadap aktivitas anti kanker (lanjutan) ERMIN KATRIN, SUSANTO DAN HENDIG WINARNO .....	269
Pembuatan membran elektrolit dengan teknologi proses radiasi untuk direct methanol fuel cell (dmfc) AMBYAH SULIWARNO .....	279
Formulasi peningkat indeks viskositas minyak lumas sintetis MERI SUHARTINI, RAHMAWATI, I MADE SUMARTI KARDHA HERWINARNI, DEVI LISTINA P .....	287
Tinjauan membran serat berongga polisulfon untuk hemodialisis KRISNA LUMBAN RAJA, DEWI SEKAR P, NUNUNG, DAN OKTAVIANI .....	297
Degradasi lignoselulosa serbuk kayu menggunakan radiasi berkas elektron SUGIARTO DANU, DARSONO, MADE SUMARTI KARDHA, DAN MARSONGKO .....	313
Effektivitas khitosan iradiasi sebagai bahan pengawet makanan GATOT TRIMULYADI REKSO .....	321
Pengaruh ekstrak rendang iradiasi dosis tinggi terhadap kapasitas antioksidan, proliferasi limfosit dan hemolisis eritrosit manusia ZUBAIDAH IRAWATI <sup>1</sup> , KAMALITA PERTIWI <sup>2</sup> , DAN FRANSISKA RUNGKAT-ZAKARIA <sup>2</sup> .....	329
Cemaran awal dan dekontaminasi bakteri patogen pada sayuran hidroponik dengan iradiasi gamma. HARSOJO.....	341
Aplikasi teknik radiasi dalam penanganan jamur kering IDRUS KADIR DAN HARSOJO .....	349
<b>Bidang Kebumihan dan Lingkungan</b>	
Teknik nuklir untuk penelitian reservoir dan aliran dua fasa pada lapangan panasbumi lahendong, sulawesi utara DJIJONO, ABIDIN, ALIP, RASI P. ....	363
Aplikasi dan pengembangan teknologi isotop dan radiasi dalam pengelolaan sumberdaya air di banten DJIJONO, ABIDIN, PASTON, SATRIO, BUNGKUS P, RASI P.....	377



Formulasi konsentrat pupuk organik hayati berbasiskompos radiasi NANA MULYANA, DADANG SUDRAJAT, ENDRAWANTO WIDAYAT, .....	401
Pengembangan metode pengujian toxin paralytic shellfish poisoning sebagai saxitoxin dengan teknik nuklir WINARTI ANDAYANI , AGUSTIN SUMARTONO DAN BOKY JEANNE TUASIKAL.....	413
Instrumental analisis pengaktifan neutron (inaa) sedimen pesisir pltu suralaya; identifikasi polutan ALI ARMAN, YULIZON MENRY, SURIPTO, DARMAN DAN HARIYONO .....	421
Studi interkoneksi sungai bawah tanah di bribin – baron, di daerah karst gunung kidul WIBAGIYO, PASTON S. SATRIO.....	431
Studi kinetika karakterisasi biodegradasi bahan organik dari bagase tebu dan limbah nanas TRI RETNO D.L, DADANG SUDRAJAT, NANA MULYANA DAN ARIF ADHARI .....	441



## APLIKASI DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI DALAM PENGELOLAAN SUMBERDAYA AIR DI BANTEN

Djiono, Abidin, Paston, Satrio, Bungkus P, 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

**APLIKASI DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI ISOTOP DAN RADIASI DALAM PENGELOLAAN SUMBERDAYA AIR DI BANTEN.** Telah dilakukan penelitian untuk mengkaji potensi air tanah di daerah Banten. 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 dan metode laser. Tritium diukur dengan metode pengkayaan dan elektrolisis 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 akifer sumur produksi utama yang lokasinya terletak di daerah Cirahab berasal dari air hujan yang recharge pada elevasi antara 400 m hingga 500 m di atas permukaan laut. Berdasarkan dating  $^{14}\text{C}$  bahwa umur akifer sumur produksi utama mempunyai umur cukup tua yaitu sekitar 700 tahun.

### ABSTRACT

**Investigation and development of stable isotope techniques on groundwater management at Sukabumi.** The investigation of groundwater potential has been done at Sukabumi. The methods used are to collect water samples of rain water, production well, spring at research area and vicinity. The samples collected were analyzed for stable isotope content of deuterium and oxygen-18, tritium, and carbon-14. Stable isotopes were analyzed by mass spectrometer. Tritium was analyzed by enrichment and electrolyzed and counted by Liquid scintillation analyzer (LSA). Analysis of carbon-14 content was done by benzene method and carbosorb and counted by LSA. The results of the analysis are used for groundwater recharge area, groundwater age and groundwater balance. The results of the investigation show that the recharge area of the main well at Cirahab is recharge on 400-500 m a.s.l. According to the dating  $^{14}\text{C}$  methods the age of groundwater is around 700 years old.

### PENDAHULUAN

Air mempunyai sifat sangat *unique*, di alam 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 hidrostatis 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 air tanah, perlu

diperhatikan proses kesetimbangan antara air masuk dan air keluar dengan cara mengetahui asal-usul air tersebut, terutama daerah imbuh (*recharge*) agar tercapai konservasi sumberdaya air dan *water balance*.

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 air tanah dengan cepat dibandingkan metode lain. Ketiga isotop tersebut memberikan informasi tentang asal-usul air tanah, termasuk daerah imbuh (*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 daerah Serang yang merupakan sumber air pemasok produksi air kemasan dalam rangka pengembangan produksi melalui penentuan daerah *recharge* dan umur air tanah. Metode penelitian ialah menggunakan metode isotop alam, yaitu isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$ , 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. Tahapan penelitian meliputi : pengumpulan data pendukung (peta topografi), material penunjang, zat kimia, peta lokasi, alat penampung curah hujan. Pekerjaan lapangan: pengenalan lapangan, pemasangan alat penampung curah hujan, pengambilan sampel air hujan, mata air dan sumur bor secara periodik. Pekerjaan laboratorium: analisis kandungan  $^{18}\text{O}$ , deuterium dan  $^{14}\text{C}$ .

Gambar 1 memperlihatkan sub *catchment* daerah penelitian dan lokasi pengambilan sampel air tanah dan stasiun curah hujan. Lokasi penelitian pada gambar mencakup elevasi antara 113 – 1030 m di atas permukaan laut. Manifestasi berupa mata air dan air sungai tersebar pada daerah penelitian tersebut.

Selain pengambilan sampel pada mata air, juga dilakukan pengambilan sampel pada sumur bor seperti pada sumur utama di daerah Cirahab pada elevasi 30 m. Pengambilan sampel untuk analisis isotop alam dilakukan secara periodik setiap 3 bulan, sedangkan analisis sampel dilakukan di laboratorium menggunakan alat *liquid water isotope analyzer* dan *liquid scintillation counter* (LSC) yang dilengkapi oleh peralatan proses carbosorp.

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  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ,  $\text{H}^2\text{HO}$ ,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  dan  $\text{H}^3\text{HO}$ . Dalam penelitian hidrologi, isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  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*.

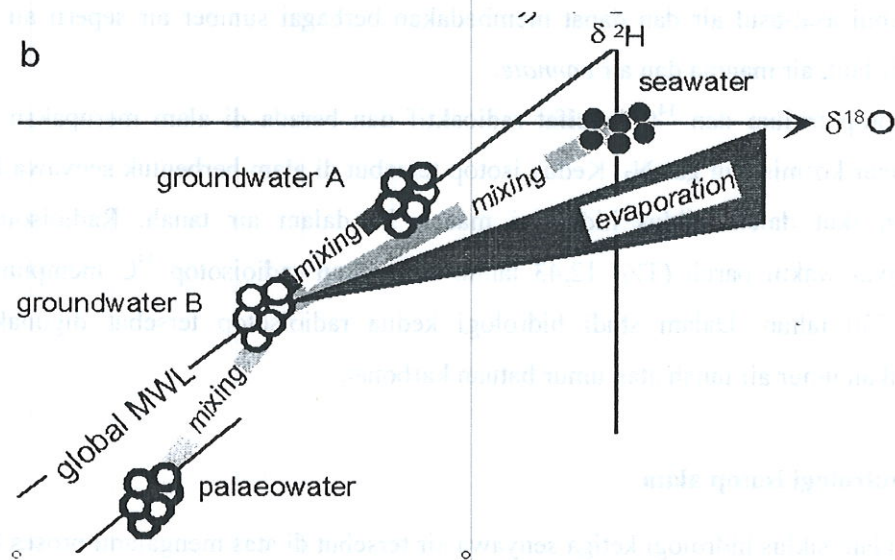
Isotop tritium dan  $^{14}\text{C}$  bersifat radioaktif dan berada di alam merupakan produksi reaksi sinar kosmis dan gas  $\text{N}_2$ . Kedua isotop tersebut di alam berbentuk senyawa  $\text{H}^3\text{HO}$  dan  $\text{CO}_2$  dan ikut dalam siklus hidrologi masuk ke dalam air tanah. Radioisotop 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 atau umur batuan karbonat.

### Siklus hidrologi isotop alam

Dalam siklus hidrologi ketiga senyawa air tersebut di atas mengalami proses fraksinasi, evaporasi dan kondensasi. Senyawa yang mempunyai berat molekul besar seperti  $\text{H}^2\text{HO}$  (deuterium) dan  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  ( $^{18}\text{O}$ ) lebih cenderung sukar menguap tetapi lebih mudah terkondensasi sehingga pada berbagai jenis air kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  mempunyai nilai konsentrasi yang berbeda-beda. Kandungan senyawa isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  yang relatif sangat kecil bila dibandingkan dengan senyawa utama air ( $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ) dapat dianalisis menggunakan alat spektrometer massa maupun spektroskopi laser sehingga konsentrasinya pada setiap jenis air dapat diidentifikasi.

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  $^2\text{H}$  yang signifikan di antara jenis air tersebut maka kedua isotop tersebut dapat digunakan untuk menentukan asal-usul air. Demikian pula adanya proses intrusi air laut (percampuran air laut dan air tanah) dapat diidentifikasi dengan perubahan isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  di dalam air tanah.

Isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  air hujan pada berbagai ketinggian mempunyai konsentrasi berbeda-beda tergantung dari sifat geografi setempat. Konsentrasinya dipengaruhi oleh adanya efek perbedaan elevasi, jumlah curah hujan, garis lintang dan daratan (*in land*). Secara global hubungan konsentrasi isotop  $^2\text{H}$  dan  $^{18}\text{O}$  dalam air hujan dinyatakan dalam persamaan:  $^2\text{H} = 8^{18}\text{O} + 10$ . Gambar 2 di bawah ini memperlihatkan interpretasi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  terhadap asal-usul air tanah dan intrusi air laut

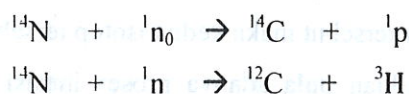


**Gambar 2.** Interpretasi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  untuk menentukan asal-usul air tanah dan intrusi air laut

Pada gambar 2 di atas diperlihatkan adanya 2 jenis airtanah A dan B yang mempunyai elevasi daerah imbuh (*recharge*) yang berbeda mempunyai konsentrasi isotop yang berbeda pula. Garis percampuran antara air laut (*sea water*) dan air tanah B merupakan garis intrusi air laut.

**Penanggalan air tanah**

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



Radioisotop yang dihasilkan dari kedua reaksi tersebut 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 tersebut sekitar 20 TU. Sedangkan untuk air hujan di Indonesia besarnya konsentrasi berkisar antara 4 – 6 TU. Sementara untuk isotop  $^{14}\text{C}$  konsentrasi yang dihasilkan oleh reaksi diatas sekitar 14 dpm/gr atau setelah distandarkan konsentrasi tersebut dianggap mempunyai konsentrasi 100% modern carbon (100 pmc).

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 Tritium Unit (TU) untuk tritium dan 100 pmc untuk isotop  $^{14}\text{C}$ . Selama waktu perjalanannya di dalam aquifer 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:

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

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.

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.

## METODE PENELITIAN

Teknik pengambilan sampel air terdiri dari sampel manifestasi permukaan (mata air), sumur bor dan air hujan. Sampel diambil secara acak dan periodik. Untuk sampel mata air dan

sumur bor, sampel diambil setiap 2-3 bulan sedangkan sampel air hujan diambil sepanjang masa penelitian setiap bulannya, disertai pengukuran intensitas curah hujan bulanan.

#### **Prosedur pengambilan sampel untuk analisis isotop $^{14}\text{C}$**

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 dimasukkan 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

#### **Prosedur pengambilan sampel untuk analisis isotop $^{18}\text{O}$ dan $^2\text{H}$**

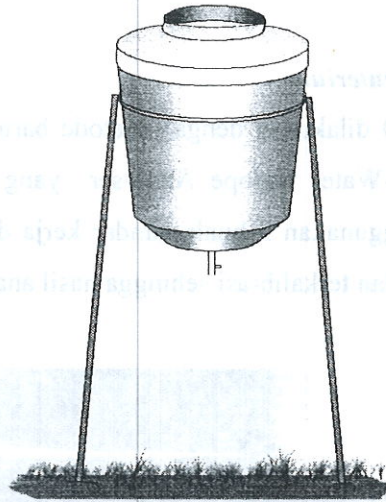
Isotop alam  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dalam air berada dalam bentuk senyawa  $^1\text{H}_2^{18}\text{O}$  dan  $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}_2$ . Kedua isotop tersebut sangat peka terhadap proses fisika seperti penguapan sehingga dapat terfraksinasi. Untuk mencegah hal tersebut maka dilakukan pengambilan sampel air sebagai berikut;

- Sampel air sebanyak 20 mL dimasukkan ke dalam botol khusus kedap udara dengan cara mendekatkan botol terhadap sumber air atau memasukkannya ke dalam sumber.
- Hindari adanya gelembung udara dalam sampel dengan cara memasukkan sampel secara perlahan-lahan.
- Setelah sampel terisi penuh dan tidak ada gelembung udara, botol ditutup hingga kedap udara

#### **Sampling air hujan**

Stasiun pengumpulan curah hujan 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 3. Untuk mencegah pengaruh penguapan air hujan yang tertampung ditambahkan minyak parafin hingga seluruh permukaan tertutupi oleh minyak tersebut.





**Gambar 3.** Penampung curah hujan.

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 dengan elevasi yang berbeda seperti terlihat pada tabel 1.

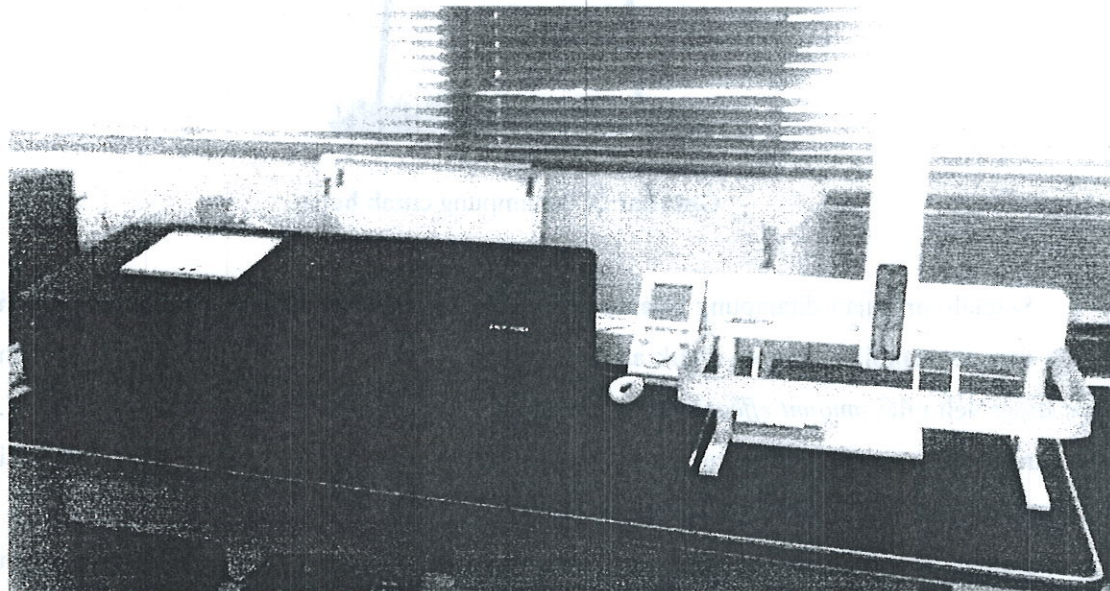
**Tabel 1.** Data stasiun curah hujan daerah Serang.

Kode	Lokasi	Elevasi (m)
RG-5	Sumur bor utama	113
RG-7	Gn. Sumbul	570
RG-6	Kuluklegeut	350
RG-9	Gn. Parakasak	760
RG-8	Gn. Karang	1030

### Analisis sampel

#### Analisis Isotop $^{18}\text{O}$ dan Deuterium

Analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dilakukan dengan metode baru, yaitu metode spektroskopi laser menggunakan alat Liquid-Water Isotope Analyser yang dilengkapi dengan auto injector (gambar 4). Analisis menggunakan 3 buah standar kerja dengan nilai komposisi isotop  $^{18}\text{O}$  dan D yang berbeda-beda dan terkalibrasi sehingga hasil analisis benar-benar valid.



Gambar 4. Liquid Water isotope analyzer.

Hasil pengukuran menggunakan liquid water isotope analyzer berupa rasio absolut isotop  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  dan D/H dalam air, sehingga harus diubah ke dalam satuan permil terhadap SMOW menggunakan rumus:

$$\delta^{18}\text{O} = \left[ \frac{\left( \frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)}{2005.2 \times 10^{-6}} - 1 \right] \times 1000 \text{‰} \quad \text{..... (2)}$$

dan

$$\delta\text{D} = \left[ \frac{\left( \frac{\text{D}}{\text{H}} \right)}{155.76 \times 10^{-6}} - 1 \right] \times 1000 \text{‰} \quad \text{..... (3)}$$

dimana  $2005.2 \times 10^{-6}$  adalah rasio absolut  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  dalam SMOW dan  $155.76 \times 10^{-6}$  adalah rasio absolut D/H dalam SMOW.

### ***Analisis isotop $^{14}\text{C}$***

Analisis isotop  $^{14}\text{C}$  dilakukan dengan metode carboxorb, dimana endapan  $\text{BaCO}_3$  yang diperoleh saat sampling direaksikan dengan  $\text{HCl}$  atau  $\text{H}_3\text{PO}_4$  sehingga terbentuk gas  $\text{CO}_2$ . Gas  $\text{CO}_2$  yang terbentuk kemudian diabsorpsi dalam kolom berisi etanolamin sampai gelembung dan panas yang terjadi hilang. Sebanyak 20 mL larutan tersebut kemudian dicacah dengan LSC (*liquid scintillation counter*).

### ***Analisis parameter fisik dan kimia***

Sampel air diukur parameter fisik dan kimianya secara *in situ* dengan peralatan portabel. Beberapa parameter yang diukur adalah: pH, konduktivitas, temperatur dan *dissolved oxygen* (oksigen terlarut).

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 113 m yang terletak di Cirahab hingga elevasi 1070 m yang terletak di gunung Karang. Pengambilan sampel mata air dan sumur bor yang tersebar di antara kedua ketinggian tersebut diharapkan dapat menjelaskan mekanisme imbuhan dan gerakan air tanah di daerah penelitian.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian eksplorasi geohidrologi dan isotop mata air daerah Serang-Banten dilakukan dengan menganalisis isotop alam  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$  dan  $^{14}\text{C}$  untuk mengetahui asal-usul air, umur dan daerah *recharge* air tanah di daerah tersebut. Mata air dan sumur bor utama berada di antara DAS gunung Parakasak dan gunung Karang merupakan komplikasi tentang asal usul air. Hasil analisis isotop alam pada tiga kali pengambilan sampel yaitu pada musim hujan (Februari 2009), musim panas (Juli 2009) dan musim hujan (Desember 2009) dapat dilihat pada tabel 1. Data tersebut memperlihatkan variasi nilai konsentrasi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  dari sampel yang berada pada berbagai ketinggian mulai dari elevasi 113 m dpl hingga elevasi 1030 m di gunung Karang. Sebagian besar sampel tidak mengalami perubahan nilai isotop terhadap musim kecuali ada satu buah sampel mata air yaitu Situhiang pada elevasi 754 m dpl terletak pada sekitar puncak Gunung Parakasak dan sungai Cisuwarna yang diambil pada ketinggian berbeda yaitu pada elevasi 178 m dpl dan 700 m dpl.

Mata air Situhiang memperlihatkan variasi konsentrasi isotop yang berbeda pada tiga pengambilan, yaitu pada pengambilan bulan Februari memperlihatkan nilai paling *depleted* yaitu -8,7 ‰ untuk isotop  $^{18}\text{O}$  dan -53,2‰ untuk  $^2\text{H}$  (deuterium) sedangkan pada sampel

bulan Juli yaitu pada musim kemarau memperlihatkan konsentrasi paling kaya (*enriched*) yaitu mempunyai nilai  $-6,0\text{ ‰}$  untuk isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $-33,5\text{ ‰}$  untuk isotop D.

Mata air Situhiang memperlihatkan kondisi *local recharge* dengan indeks konsentrasi isotop yaitu  $-7,3\text{ ‰}$  dan  $-43,0\text{ ‰}$  untuk D. Mata air lainnya tidak memperlihatkan perubahan yang berarti pada pengambilan musim yang berbeda dan menunjukkan adanya sirkulasi air tanah. Sirkulasi air tanah pada berbagai mata air tersebut dapat diinformasikan dari nilai konsentrasi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  yang terkandung di dalamnya. Makin *depleted* konsentrasinya maka sirkulasi air tanahnya makin lama. Tiga buah sumur bor lainnya yang berada pada daerah Cirahab terletak pada ketinggian 113 m mempunyai nilai konsentrasi isotop relatif mirip masing-masing mempunyai nilai isotop alam  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  yaitu, sumur bor 1  $-6,9\text{ ‰}$  dan  $-41,7\text{ ‰}$ , sumur bor 2  $-6,8\text{ ‰}$ ,  $-39,7\text{ ‰}$  dan sumur bor 3 adalah  $-7,0\text{ ‰}$ ,  $-42,3\text{ ‰}$ . Berdasarkan data konsentrasi isotop alam tersebut nampaknya sumur bor tersebut relatif berasal dari daerah *recharge* yang sama karena mempunyai nilai konsentrasi isotop alam yang tidak berbeda signifikan.

### Sampel air hujan

Pada penelitian hidroisotop air tanah diharuskan mengumpulkan dan analisis air hujan secara teratur selama satu tahun penuh dengan stasiun curah hujan diletakkan pada berbagai elevasi berbeda untuk mendapatkan hubungan antara konsentrasi isotop alam terhadap elevasi. Pada penelitian tersebut stasiun curah hujan sebanyak 5 buah diletakkan antara ketinggian 113 m dpl hingga elevasi 1030 dpl dengan perbedaan ketinggian antara 200 m hingga 300 m. Data hasil analisis isotop dan jumlah curah hujan pada lima stasiun tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Data isotop  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  ( $‰$ ) dan intensitas curah hujan (mm) Maret - Desember 2009

Kode	Lokasi	elev (m)	Maret 09		April 09		Mei 09		Juni 09			
			d18O	dD	d18O	dD	d18O	dD	d18O	dD	d18O	dD
H-1	Sumur utama	113	-5.4	-30.0	193.4	-5.1	-27.0	78.9	72.7	-4.2	-20.7	36.6
H-2	Gn. Sumbul	570	-6.0	-34.5	218.2	-5.8	-33.0	166.2	134.7	-6.0	-35.1	80.8
H-3	Kulukleget	350	-6.5	-38.0	248.4	-6.1	-35.0	159.1	63.9	-6.1	-35.5	48.1
H-4	Gn. Parakasak	760								-6.4	-37.8	63.5
H-5	Gn. Karang	1030								-6.4	-37.2	78.9

Kode	Lokasi	elev (m)	Juli 09		Agt 09		Sept 09		Okt 09			
			d18O	dD	d18O	dD	d18O	dD	d18O	dD	d18O	dD
H-1	Sumur utama	113	-2.9	-9.6	0.6	-3.8	-16.8	15.4	28.9	-2.2	-4.6	36.6
H-2	Gn. Sumbul	570	-3.9	-16.1	36.6	-4.7	-23.5	65.4	167.4	-8.1	-51.3	196.3
H-3	Kulukleget	350	-3.9	-17.0	30.8	-4.2	-19.0	40.4	102.0	-7.2	-44.5	125.1
H-4	Gn. Parakasak	760	-4.0	-17.3	25.0	-5.1	-28.3	88.5	138.5	-8.1	-46.4	155.8
H-5	Gn. Karang	1030	-3.7	-15.8	25.0	-6.4	-36.6	109.7	180.9	-13.1	-91.8	213.6

Kode	Lokasi	elev (m)	Nop 09		Des 09		Jan 10	
			d18O	dD	d18O	dD	d18O	dD
H-1	Sumur utama	113	-4.6	-31.6	26.9	-6.3	-28.4	40.4
H-2	Gn. Sumbul	570	-8.4	-61.1	190.5	-9.0	-58.4	167.4
H-3	Kulukleget	350	-5.5	-38.4	232.8	-7.5	-46.0	205.9
H-4	Gn. Parakasak	760	-10.2	-71.4	244.4	-10.8	-72.5	194.3
H-5	Gn. Karang	1030	-13.9	-100.9	232.8	-12.0	-82	221.3

Pada tabel tersebut terlihat bahwa perubahan konsentrasi isotop sangat tergantung kepada ketinggian/elevasi permukaan, jumlah curah hujan dan musim. Pada musim hujan antara bulan Oktober hingga Februari memperlihatkan konsentrasi isotop *depleted* terutama konsentrasi yang paling *depleted* terlihat pada bulan Januari. Konsentrasi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  pada stasiun Gunung Karang terletak pada ketinggian 1070 m dpl masing-masing adalah -13,6‰ dan -90,5‰. Sedangkan konsentrasi yang paling kaya (*enriched*) terjadi pada bulan Agustus 2009 dengan nilai konsentrasi -2,1‰ untuk  $^{18}\text{O}$  dan 2,3 ‰ untuk  $^2\text{H}$ . Sedangkan bulan lainnya konsentrasi isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  sangat bervariasi sesuai dengan keadaan musim, ketinggian dan jumlah curah hujan. Pengolahan data konsentrasi isotop alam  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  menggunakan persamaan *mean weight* seperti persamaan di bawah ini:

$$MW = \frac{C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n}{X_1 + X_2 + \dots + X_n} \dots\dots\dots (4)$$

dimana,

$C_1, C_2, \dots, C_n$  adalah kandungan isotop pada pengamatan bulan ke-1, ke-2 .. ke-n

$X_1, X_2, \dots, X_n$  adalah jumlah curah hujan bulan ke-1, ke-2, .. ke-n.

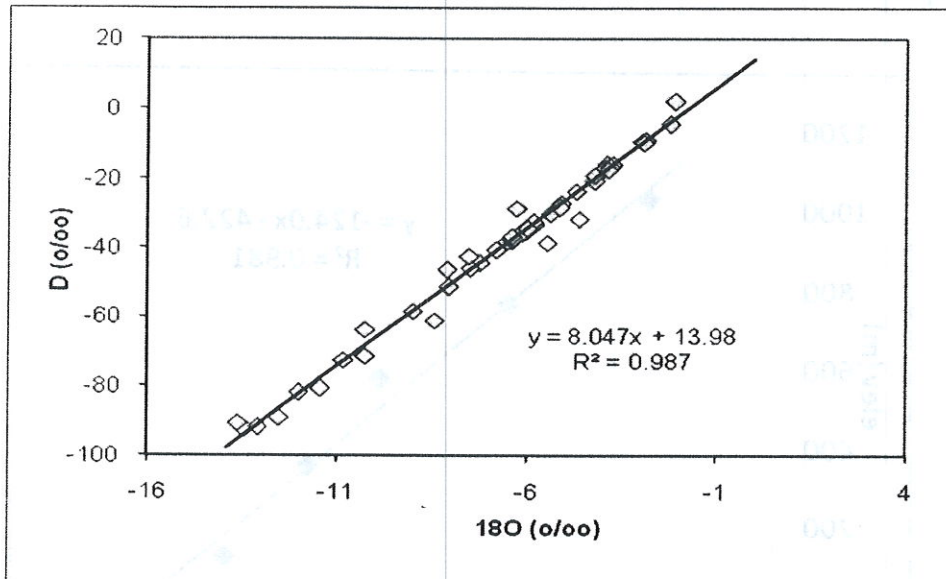
Persamaan tersebut bertujuan untuk mendapatkan rerata isotop sepanjang tahun, garis meteorik local dan hubungan antara elevasi terhadap konsentrasi isotop. Tabel 3 di bawah ini memperlihatkan data hasil perhitungan *mean weight* isotop dari lima stasiun curah hujan dan dengan menggunakan persamaan garis linier maka diperoleh persamaan garis meteorik lokal.

**Tabel 3.** Hasil *meanweight* isotop air hujan daerah penelitian.

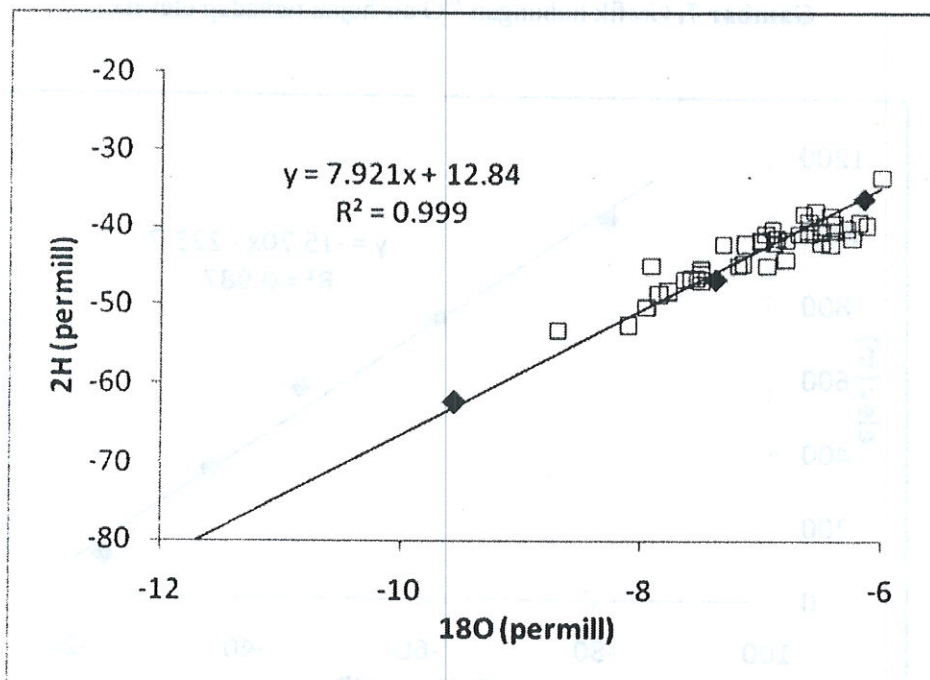
Kode	Lokasi	Elevasi (m)	$^{18}\text{O}$	$^2\text{H}$
H-1	Sumur utama	113	-4.75	-24.09
H-2	Gn. Sumbul	570	-7.39	-46.70
H-3	Kuluklegeut	350	-6.16	-36.24
H-4	Gn. Parakasak	760	-9.56	-62.32
H-5	Gn. Karang	1030	-11.93	-81.59

Bedasarkan perhitungan tersebut diperoleh garis meteorik lokal dari air hujan selama analisis data setahun yang mewakili dari seluruh rerata konsentrasi isotop. Persamaan garis meteorik lokal daerah Banten adalah,  $D = 7,9 (^{18}\text{O}) + 12,8$  dengan koefisien regresi 0,999.

Gambar 5 dan 6 memperlihatkan garis meteorik lokal dan sebaran kandungan isotop air hujan tiap bulan. Sedangkan gambar berikutnya memperlihatkan grafik garis meteorik lokal dengan komposisi isotop sampel mata air, air sungai dan air hujan.



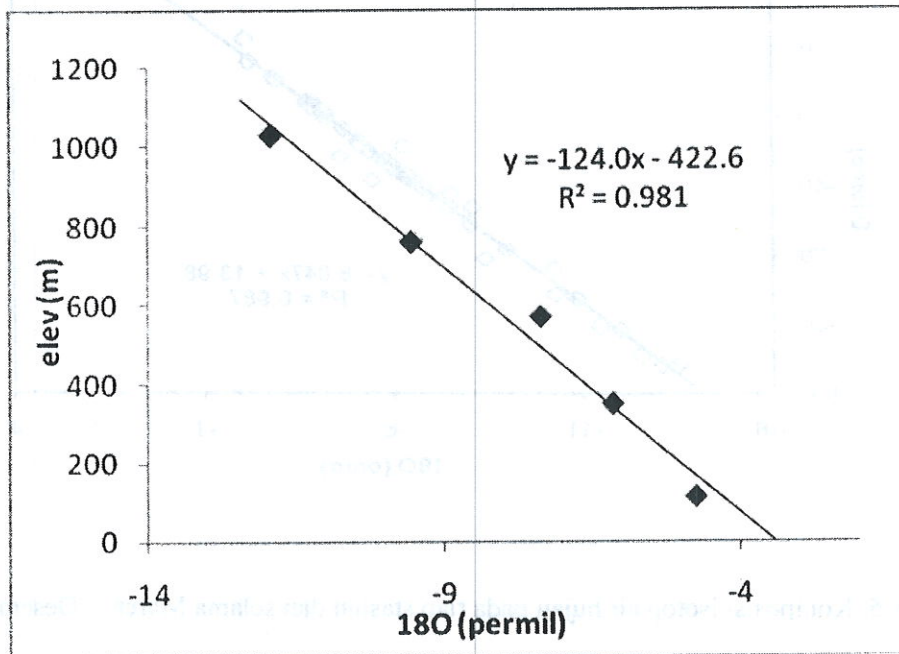
Gambar 5. Komposisi isotop air hujan pada tiap stasiun dan selama Maret – Desember 2009.



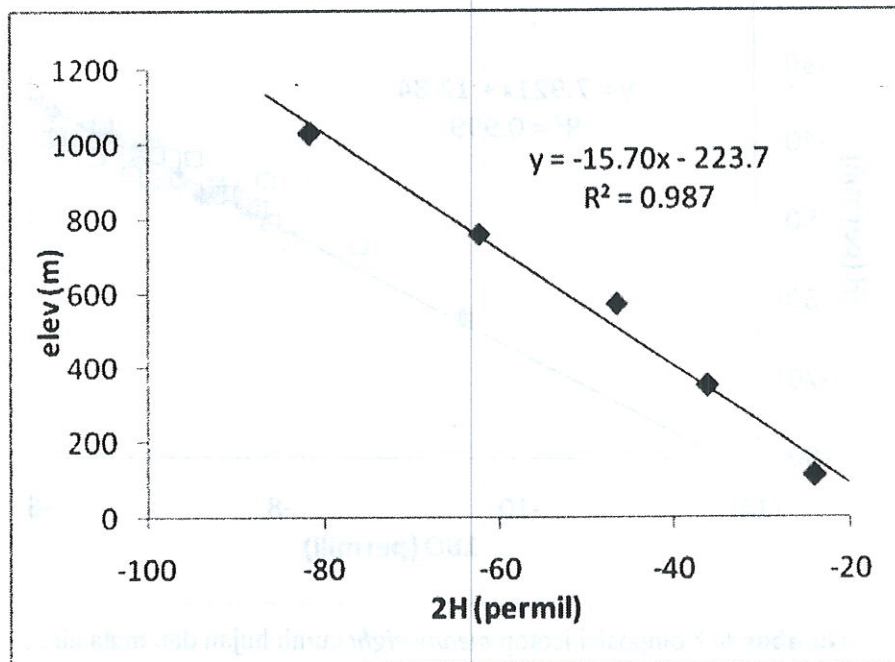
Gambar 6. Komposisi isotop *meanweight* curah hujan dan mata air.

Grafik hubungan antara konsentrasi isotop air hujan terhadap elevasi dihitung menggunakan persamaan garis linear antara elevasi tiap stasiun curah hujan terhadap

konsentrasi isotopnya. Pada gambar 7 dan 8 memperlihatkan grafik hubungan antara konsentrasi isotop  $^{18}\text{O}$  vs elevasi dan konsentrasi isotop  $^2\text{H}$  terhadap elevasi. Kedua grafik tersebut merupakan dasar untuk memperoleh garis hubungan antara konsentrasi isotop terhadap elevasi.



Gambar 7. Grafik hubungan  $^{18}\text{O}$  air hujan terhadap elevasi.



Gambar 8. Grafik hubungan  $^2\text{H}$  air hujan terhadap elevasi.

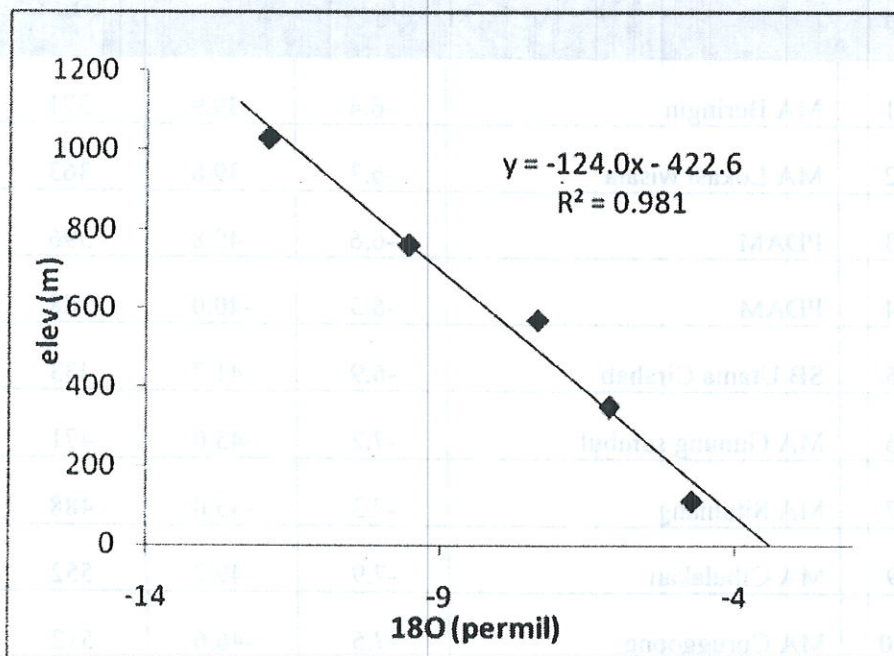


Berdasarkan perhitungan maka diperoleh persamaan masing-masing adalah:

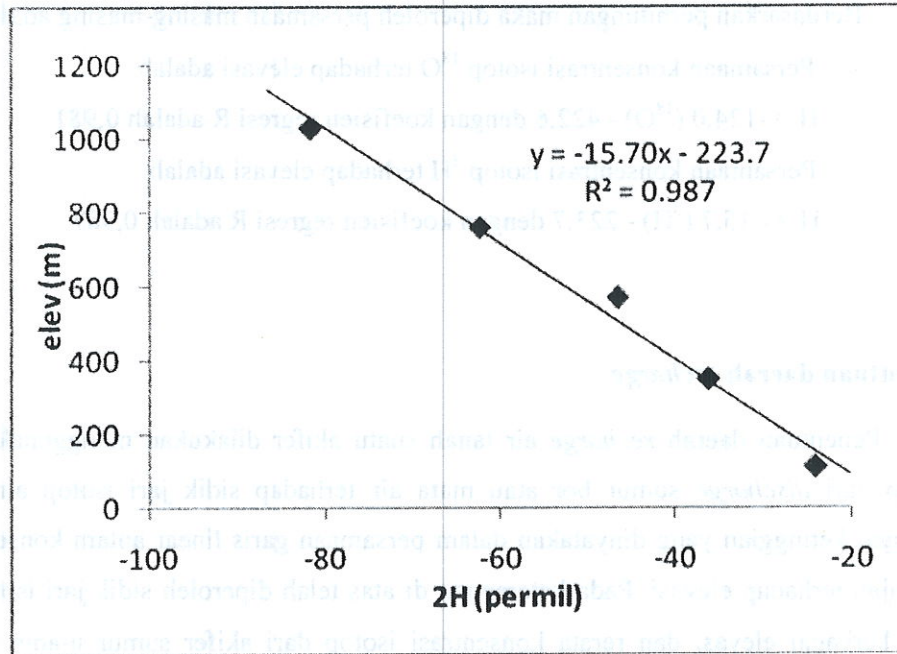
- Persamaan konsentrasi isotop  $^{18}\text{O}$  terhadap elevasi adalah  
 $H = -124,0 (^{18}\text{O}) - 422,6$  dengan koefisien regresi R adalah 0,981
- Persamaan konsentrasi isotop  $^2\text{H}$  terhadap elevasi adalah  
 $H = -15,7 (^2\text{H}) - 223,7$  dengan koefisien regresi R adalah 0,987

### Penentuan daerah *recharge*

Penentuan daerah *recharge* air tanah suatu akifer dilakukan menggunakan sidik jari isotop dari *discharge* sumur bor atau mata air terhadap sidik jari isotop air hujan pada berbagai ketinggian yang dinyatakan dalam persamaan garis linear antara konsentrasi isotop air hujan terhadap elevasi. Pada keterangan di atas telah diperoleh sidik jari isotop air hujan pada berbagai elevasi dan rerata konsentrasi isotop dari akifer sumur utama. Perhitungan daerah *recharge* dapat dilakukan melalui metoda grafis dengan cara memasukkan data konsentrasi isotop air tanah (sumur bor) ke dalam grafik hubungan antara  $^2\text{H}$  atau  $^{18}\text{O}$  terhadap elevasi atau melalui persamaan garis liniernya. Tabel dan gambar di bawah ini memperlihatkan data perhitungan dari kedua metode tersebut.



Gambar 9. Grafik hubungan isotop  $^{18}\text{O}$  terhadap elevasi.



Gambar 10. Grafik hubungan isotop  $^2\text{H}$  terhadap elevasi.

Tabel 4. Elevasi daerah imbuhan sumber air daerah Serang

Kode	LOKASI	Rata-rata isotop		Elevasi recharge (m)	
		$^{18}\text{O}$	$^2\text{H}$	$^{18}\text{O}$	$^2\text{H}$
S-1	MA Beringin	-6.4	-39.9	371	403
S-2	MA Lokasi wisata	-6.3	-39.8	363	401
S-3	PDAM	-6.6	-40.8	396	417
S-4	PDAM	-6.5	-40.0	388	405
S-5	SB Utama Cirahab	-6.9	-41.7	433	432
S-6	MA Gunung sumbul	-7.2	-45.0	471	483
S-7	MA Situhiang	-7.3	-43.0	488	451
S-9	MA Cibulakan	-7.9	-49.2	552	549
S-10	MA Curuggoong	-7.5	-46.6	512	508
S-12	MA Balemaya	-6.5	-38.2	389	376
S-14	SB-2 Cirahab	-6.9	-41.4	430	426
S-15	SB-3 Cirahab	-7.0	-41.3	446	425



Tabel 5. Hasil analisis isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  sampel sumber air tanah di daerah penelitian.

Kode	LOKASI	Sampling I		Sampling II		Sampling III		Rata2	
		$^{18}\text{O}$	D	$^{18}\text{O}$	D	$^{18}\text{O}$	D	$^{18}\text{O}$	D
S-1	MA Beringin	-6.3	-40.3	-6.4	-39.0	-6.5	-40.4	-6.4	-39.9
S-2	MA Lokasi wisata	-6.2	-39.5	-6.4	-40.1	-6.4	-39.7	-6.3	-39.8
S-3	PDAM	-6.5	-40.6	-6.7	-40.8	-6.6	-40.9	-6.6	-40.7
S-4	PDAM	-6.4	-40.4	-6.6	-40.5	-6.6	-39.2	-6.5	-40.0
S-5	SB utama	-6.8	-41.6	-6.9	-42.0	-7.0	-41.6	-6.9	-41.7
S-6	MA Gunung sumbul	-7.5	-45.3	-7.0	-44.9	-7.2	-44.9	-7.2	-45.0
S-7	MA Situhiang	-8.7	-53.2	-6.0	-33.5	-7.3	-42.2	-7.3	-43.0
S-9	Sungai Ciswarna 700m	-8.1	-52.7	-5.1	-32.8	-6.5	-42.1	-6.6	-42.5
S-10	MA Cibulakan	-7.8	-48.4	-8.0	-50.3	-7.9	-48.8	-7.9	-49.2
S-12	MA Curuggoong	-7.6	-46.5	-7.5	-46.2	-7.5	-47.0	-7.5	-46.6
S-14	Sungai Ciswarna 178m	-6.1	-39.9	-4.9	-30.8	-6.8	-44.1	-5.9	-38.3
S-15	MA Balemaya	-6.7	-38.2	-6.4	-38.4	-6.6	-37.9	-6.5	-38.2
S-16	MA Gn.Karang			-7.5	-46.5	-7.7	-46.8	-7.6	-46.6
S-17	SB-2 Cirahab					-6.9	-41.4	-6.9	-41.4
S-18	SB-3 Cirahab					-7.0	-41.3	-7.0	-41.3
S-19	MA Citundum Batukuwung					-7.2	-44.9	-7.2	-44.9

### Penanggalan Air Tanah

Dating atau penentuan air tanah merupakan salah satu metode ampuh untuk memprediksi potensi air tanah. Akifer yang potensial akan menunjukkan umur air tanah yang relatif tua karena diharapkan air tanah tersebut tidak berhubungan dengan *recharge* secara langsung (*active recharge*). Tabel di bawah ini memperlihatkan hasil analisis isotop isotop  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$  dan tritium serta perhitungan umur air tanah.

**Tabel 6.** Hasil *dating* (periode sampling, Februari 2009).

Kode	Lokasi	Tritium (TU)	$^{13}\text{C}$ (‰)	pMC	Umur (tahun)
S-1	MA Beringin	3.86	-13.75	96.56	Modern
S-3	PDAM-1	2.65	-13.71	89.43	456
S-4	PDAM-2	2.62	-13.85	88.89	506
S-5	SB Utama Cirahab	2.51	-13.5	86.92	692
S-6	MA Cisaat, Gn Sumbul	3.98	-14.5	105.00	Modern
S-7	MA Situhiang	3.88	-14.2	100.64	Modern
S-9	MA Cibulakan	1.82	-13.04	78.4	1545
S-10	MA Curug Goong	3.96	-14.50	108.2	Modern
S-12	MA Balemaya	2.53	-14.20	87.27	658

**Tabel 7.** Hasil *dating* (periode sampling, Juli 2009)

Kode	Lokasi	Tritium (TU)	$^{13}\text{C}$ (‰)	PMC	Umur (tahun)
S-1	MA Beringin	2.12	-13.75	86.85	698
S-3	PDAM-1	2.18	-13.50	89.85	417
S-4	PDAM-2	2.1	-13.50	90.18	387
S-5	SB Utama Cirahab	1.98	-14.00	86.07	772
S-9	MA Cibulakan	1.45	-13.50	79.60	1419
S-10	MA Curug Goong	1.69	-13.75	82.77	1095
S-12	MA Balemaya	1.87	-14.00	84.91	884

Tabel 8. Hasil *dating* (periode sampling, Desember 2009)

Kode	Lokasi	Tritium (TU)	$^{13}\text{C}$ (‰)	PMC	Umur (tahun)
S-1	MA Beringin	2.02	-14.00	88.8	514
S-3	PDAM-1	2.00	-13.60	100.58	Modern
S-4	PDAM-2	1.91	-13.50	90.59	349
S-5	SB Aqua Cirahab	2.1	-13.40	87.04	580

Berdasarkan data di atas ditentukan umur airtanah dengan menggunakan metoda formula peluruhan radioaktif unsur  $^{14}\text{C}$  dan tritium. Data dari dua kali sampling di atas memperlihatkan bahwa umur dari mata air S-9 Desa Cibulakan secara konsisten menunjukkan umur tertua dari mata air dan sumur bor yang ada di daerah penelitian yaitu dengan umur sekitar 1400 tahun. Mata air tersebut berada pada lereng gunung Karang dan menunjukkan bahwa mata air itu mempunyai sirkulasi cukup jauh. Hal tersebut juga diperlihatkan/ditopang oleh kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  sangat *depleted* dibandingkan dengan sumber air lainnya (-7.9‰ dan -49.2‰) yang menandakan bahwa mata air Cibulakan *recharge* dari elevasi yang tinggi. Berdasarkan perhitungan daerah *recharge* bahwa mata air tersebut berasal dari elevasi lebih tinggi dari 550 m di atas permukaan laut.

Akifer sumur utama dan tiga buah sumur bor lainnya dari tiga kali sampling mempunyai umur sekitar 500 -700 tahun relatif lebih muda dari mata air Cibulakan. Umur mata akifer dari sumur utama mempunyai sirkulasi dalam berasal dari daerah *recharge* pada elevasi antara 400 m – 500 m. Disamping sumur bor utama pada sekitar daerah Cirahab banyak sumber mata air yang dipakai untuk perusahaan air minum (PDAM) atau tempat pariwisata. Data di atas dapat digunakan untuk melihat secara detail apakah ada percampuran atau perbedaan yang nyata dari sumber-sumber tersebut. Untuk melihat lebih jauh tentang hal tersebut, data di bawah ini memperlihatkan perhitungan *dating* dengan menggunakan data tritium dengan membandingkan sumur utama dengan mata air di sekitarnya.

**Tabel 9.** Rata-rata kandungan tritium dan umurnya.

Kode	Lokasi	Tritium (TU)	Umur (tahun)
S-1	MA Beringin	2.95	21.0
S-3	PDAM-1	2.45	25.4
S-4	PDAM-2	2.47	25.1
S-5	SB Cirahab	1.89	32.9

Data di atas memperlihatkan bahwa rerata dari konsentrasi ketiganya cukup berbeda yaitu masing-masing adalah 1.89 TU untuk sumur utama, 2.46 TU untuk PDAM (rata-rata) dan 2.95 untuk mata air beringin. Apabila dihitung umurnya adalah masing-masing adalah 32.9 tahun (sumur utama), 25.2 tahun (PDAM) dan 21.0 tahun (MA beringin). Data tersebut menunjukkan bahwa akifer tersebut relatif tidak mengalami pencampuran dengan mata air atau akifer dangkal yang ada di sekelilingnya seperti mata air Cirahab yang tersebar di tempat wisata atau yang digunakan untuk PDAM. Hal tersebut sangat jelas perbedaannya yang dapat dilihat dari dua hal yaitu kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  dan  $^2\text{H}$  serta umur karbon (*carbon dating*) atau umur tritium. Umur mata air di tempat wisata Cirahab umumnya relatif modern atau sirkulasi pendek dengan kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  relatif *enriched* dibandingkan kandungan isotop PDAM dan sumur bor utama. Darik kedua data isotop tersebut terlihat bahwa akifer sumur bor utama mempunyai sirkulasi yang relatif berbeda dengan akifer daerah wisata Cirahab dan PDAM.

## KESIMPULAN

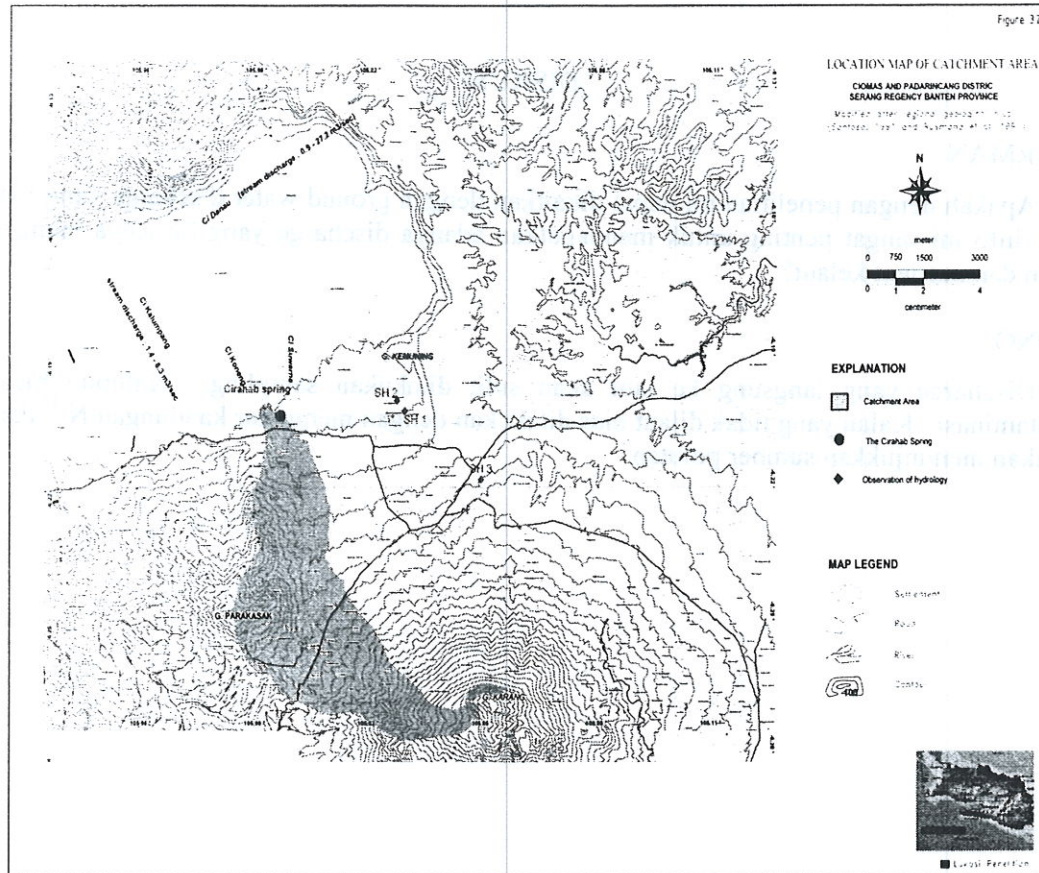
Hasil penelitian untuk mengetahui potensi sumber air tanah Serang dengan metode isotop alam memberikan kesimpulan sebagai berikut:

- Akifer sumur utama yang lokasinya terletak di daerah Cirahab berasal dari air hujan yang *recharge* pada elevasi antara 400 m hingga 500 m di atas permukaan laut.
- Berdasarkan *dating*  $^{14}\text{C}$  bahwa umur akifer sumur utama mempunyai umur cukup tua yaitu sekitar 700 tahun.
- Akifer sumur utama mempunyai sirkulasi yang relatif berbeda dengan akifer daerah wisata Cirahab dan PDAM.

**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, "Stabel Isotope Hydrology, Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle".
4. CLARK, I., FRITZ, P., "Environmental Isotopes in Hydrogeology", Lewis Publisher, 1997.





Gambar 1. Peta lokasi penelitian di daerah Serang.

## DISKUSI

ALI ARMAN

Apakah dengan penelitian ini dapat dikaitkan dengan ground water discharge yang langsung kelaut. info ini sangat penting untuk mendapatkan adanya discharge yang biasanya mengandung polutan dan nutrient kelaut?

DJIJONO

Discharge yang langsung ke laut akan sulit dilakukan sampling. Kalupun bias akan terkontaminasi. Kalau yang tidak dilaut bias dilakukan dengan mengukur kandungan N<sup>15</sup> dan S-34 yang akan menunjukkan sumber polutan.