

STUDI UMUR AIR TANAH DAERAH BANGKALAN MADURA DENGAN ISOTOP ALAM ^{14}C

Satrio dan Paston Sidauruk
Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi-BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta Selatan
e-mail : satrio@batan.go.id

ABSTRAK

STUDI UMUR AIR TANAH DAERAH BANGKALAN MADURA DENGAN ISOTOP ALAM ^{14}C . Telah dilakukan penelitian air tanah di daerah Bangkalan, Madura, menggunakan isotop alam ^{14}C . Penelitian ini dilakukan dengan mengambil sejumlah sampel air yang muncul di suatu lokasi berupa mata air. Sebanyak 60 liter sampel air diambil dari beberapa lokasi dan dengan menggunakan bahan-bahan kimia diekstrak menjadi BaCO_3 , untuk selanjutnya dianalisis di laboratorium hidrologi PATIR-BATAN. Penelitian ini bertujuan mengetahui sebaran umur dan arah gerakan air tanah di daerah Bangkalan. Berdasarkan hasil analisis ^{14}C dan peta sebaran umur diperoleh informasi bahwa sebagian besar air tanah di daerah Bangkalan berumur modern yang tersebar di beberapa lokasi dan tidak menggambarkan arah gerakan air tanah yang sebenarnya. Air tanah yang muncul di Kemarong dan Glagah memiliki umur masing-masing 1200 tahun dan 500 tahun yang mengindikasikan arahnya berasal dari Barat (Gunung Geger) menuju Arosbaya, sedangkan air tanah yang muncul di Serabih Timur dan Banyu Bunih masing-masing berumur 3160 tahun dan 200 tahun yang mengindikasikan arahnya berasal dari Timur Laut (Konang) menuju Modung. Pola *iso-age* yang menggambarkan arah gerakan air tanah sangat sulit ditentukan pada daerah yang didominasi oleh batuan gamping seperti Bangkalan.

Kata Kunci : umur, air tanah, Bangkalan, isotop ^{14}C

ABSTRACT

GROUNDWATER STUDY HAS BEEN CARRIED OUT IN BANGKALAN, MADURA, USING THE ENVIRONMENTAL ISOTOPE ^{14}C . This study was conducted by taking several water samples from spring water locations. Amount of 60 liters of water sample was taken from some locations and analysed at hydrology laboratory of PATIR-BATAN. The aim of the study is to know groundwater flow direction. Based on the results of ^{14}C analysis and map of age spread, it was found that the groundwater age in some locations has modern age but it did not describe the apparent of groundwater flow direction. The groundwater age from Kemarong and Glagah are 1200 years and 500 years, respectively, which indicate its direction derived from West (Gunung Geger) to Arosbaya, while groundwater age of Serabih Timur and Banyu Bunih are 3160 years and 200 years, respectively, which indicate its direction derived from North-East (Konang) to Modung. Determination of *iso-age* pattern and groundwater flow direction in limestone area such as Bangkalan is very complicated.

Key words : Age, groundwater, Bangkalan, ^{14}C isotope

PENDAHULUAN

Radioisotop ^{14}C sebagai salah satu alat *dating* secara luas telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian umur air tanah di berbagai lokasi di Indonesia. Dalam penggunaannya, metode penentuan umur air tanah ini disesuaikan dengan kondisi geologi daerah penelitian setempat. Perbedaan kondisi geologi yang berbeda menyebabkan cara perhitungan berbeda pula. Hal ini berhubungan dengan penentuan *total dissolved inorganic carbon* (TDIC) untuk menentukan aktivitas awal (Ri) yang diperoleh berdasarkan data ^{13}C ^[1].

Daerah yang dijadikan obyek dalam penelitian umur air tanah ini adalah Kabupaten Bangkalan, Madura. Secara geografis, Kabupaten Bangkalan memiliki nilai strategis, karena paling dekat dengan Pulau Jawa. Bangkalan terletak paling barat dari Pulau Madura, sehingga menjadi pintu gerbang lalu-lintas barang dan jasa yang menghubungkan Jawa dan Madura. Bahkan, Bangkalan merupakan bagian dari wilayah Pulau Madura yang masuk dalam pengembangan Kota Surabaya (*Surabaya Metropolitan Area/SMA*) yang merupakan kutub pertumbuhan ekonomi di Provinsi Jawa Timur. Wilayah Kabupaten Bangkalan seluas 1.260,16 km², berbatasan dengan Laut Jawa di sebelah utara, Kabupaten Sampang di sebelah timur, serta Selat Madura di sebelah selatan dan barat^[2].

Berdasar karakteristik ketinggian di atas permukaan laut, Kabupaten Bangkalan dibagi menjadi dua territorial: 0-25 m (di atas permukaan laut) dan kelerengan 5% dengan morfologi relatif datar berada di sebagian pesisir pantai di sebelah utara, barat dan selatan Kabupaten Bangkalan, dan 25-250 m (di atas permukaan laut) dengan kelerengan 5-70% dan morfologi perbukitan berada di bagian tengah dari Kabupaten Bangkalan.

Struktur geologi dari Kabupaten Bangkalan didominasi oleh aluvium dan batu gamping yang terbentuk dari gunung api muda dengan batuan jenis miosen dari batuan tua relatif lebih sedikit. Batuan tersebut terbentang dari bagian tengah Jawa Timur sampai ke pulau Madura (termasuk Bangkalan) dengan batuan dominan adalah batu gamping. Sedimen hanya dijumpai pada beberapa lokasi, sebagian di ketinggian sekitar 200 m (Gunung Geger) dan lainnya di sekitar pesisir utara dan barat. Kondisi seperti ini memungkinkan air hujan yang jatuh ke tanah tidak terdepositkan cukup lama dalam akuifer.

Penelitian di daerah ini sangat menarik karena kondisi geologi didominasi oleh batuan gamping (CaCO_3) sehingga perhitungan umurnya sangat berbeda dengan daerah aluvium pada umumnya. Pada daerah seperti ini air hujan yang berinfiltrasi ke dalam tanah pada umumnya tidak tersimpan lama dalam reservoir, sebagian lolos melalui rekahan-rekahan batuan gamping dan muncul sebagai mata air di suatu tempat. Pengaruh karbonat dari batu gamping yang terlarut dalam air tanah begitu kuat sehingga menghasilkan $\delta^{13}\text{C}$ yang lebih kaya (*enrich*) dan memengaruhi nilai TDIC. Hasil umur air tanahnya pada umumnya berumur muda hingga modern^[3].

BAHAN DAN METODE

Metode isotop alam adalah metode yang menggunakan isotop yang terdapat di alam atau yang terjadi di alam. Dalam penelitian ini digunakan isotop radioaktif alam ^{14}C . Radioisotop ^{14}C dengan waktu paro 5730 tahun telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian seperti penentuan umur batuan, sedimen, karang, kerang, air tanah, dan lain-lain. Metode penentuan umur tersebut dikenal dengan nama metode penanggalan radiokarbon, yaitu suatu metode yang didasarkan pada perhitungan aktivitas ^{14}C yang masih terkandung dalam suatu sampel. Nilai ini kemudian dikonversikan menjadi umur setelah dibandingkan dengan standarnya^[4].

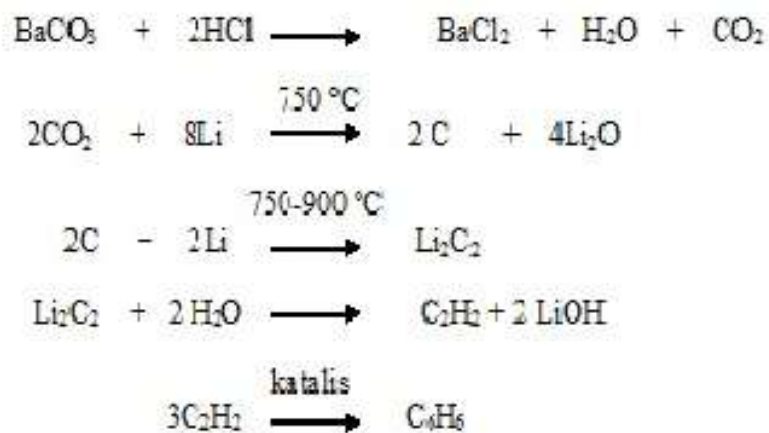
Secara garis besar, proses analisis ^{14}C untuk sampel air tanah sebagai berikut: preparasi sampel pada alat sintesis benzena, pencacahan, estimasi aktivitas ^{14}C , penentuan umur dan pelaporan umur sampel.

Sampel air untuk analisis ^{14}C diambil langsung dari sumbernya untuk menghindari kontaminasi udara. Sebanyak 60 liter sampel air dimasukkan ke dalam tabung pengendap karbonat. Proses pengendapan karbonat dilakukan dengan cara menambahkan sejumlah larutan kimia seperti $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, NaOH (bebas CO_2), BaCl_2 dan Praestol dalam kondisi basa. Praestol dengan rumus kimia $\text{C}_3\text{H}_5\text{NO}$ berfungsi sebagai koagulan untuk mempercepat proses pengendapan sampel. Dari proses tersebut diperoleh endapan sampel dalam bentuk BaCO_3 . Endapan BaCO_3 yang diperoleh dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis kandungan ^{14}C dan ^{13}C -nya.



Gambar 1. Proses pengambilan sampel air tanah di lapangan

Analisis sampel BaCO_3 dilakukan menggunakan alat sintesis benzena melalui beberapa tahapan reaksi sebagai berikut:



Aktivitas ^{14}C dalam senyawa benzena (C_6H_6) dicacah menggunakan alat *Liquid Scintillation Counter* merk Packard 1900TR selama 20 menit dan 50 putaran. Konversi dari hasil cacahan menjadi umur ditentukan menggunakan rumus berikut^[5].

$$t = (T_{1/2}/\ln) \ln (A_0/A_t)$$

di mana:

t = umur (tahun)

$T_{1/2}$ = waktu paro

A_0 = Aktivitas awal (cpm = *count per minute*)

A_t = Aktivitas pada waktu t tahun (cpm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

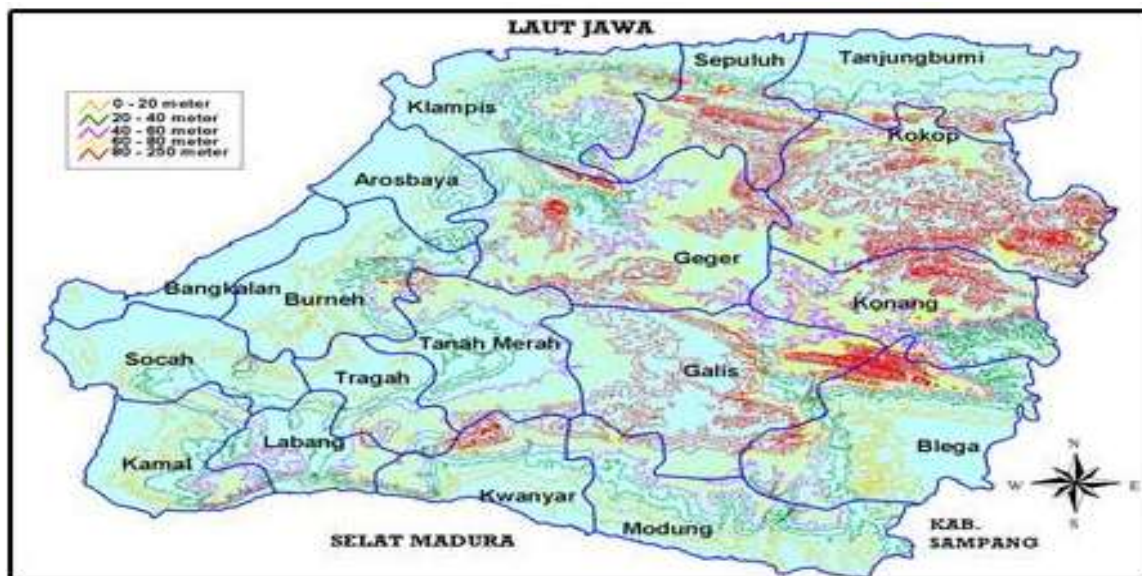
Daerah Bangkalan Madura merupakan daerah dengan lapisan tanahnya didominasi oleh batu gamping (CaCO_3). Sebagian besar pembentuknya merupakan batuan gamping, sehingga daerah seperti ini sering pula disebut daerah karst. Studi umur air tanah di daerah ini sangat menarik karena umur air tanahnya sangat dipengaruhi oleh konsentrasi karbonat dari batuan gamping yang ikut terlarut dalam air tanah. Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Geys, untuk daerah gamping (karst), TDIC atau aktivitas awal R_i -nya memiliki nilai tertentu. Estimasi aktivitas awal (R_i) ^{14}C menurut Geys dibagi menjadi tiga kriteria berdasarkan kondisi geologinya^[6].

Tabel-1. Estimasi aktivitas awal (R_i) berdasarkan kondisi geologinya

No.	Kondisi Geologi	R_i (pMC)
1	Batuan vulkanik	90 to 100
2	Batuan sedimen	85
3	Daerah karst	55 to 65

Untuk daerah Bangkalan aktivitas awal *recharge* (R_i) diambil 65 pMC, maksimumnya. Dengan nilai R_i 65 pMC ini diharapkan lebih banyak lokasi yang menghasilkan data umur. Apabila diambil R_i 55 pMC, maka hanya BKL2 atau lokasi Serabih Timur yang memiliki umur, sedangkan yang lainnya modern sehingga akan lebih sulit menggambarkan perkiraan arah aliran airnya.

Gambar 2 adalah peta morfologi daerah Bangkalan dan secara umum daerah Bangkalan didominasi dataran rendah. Lokasi tertinggi berada di sekitar Gunung Geger hingga daerah Konang dengan ketinggian antara 200 m hingga 250 m (dpl). Lokasi penelitian umumnya berupa mata air, dan berada di dataran rendah.



Gambar 2. Peta morfologi Kabupaten Bangkalan

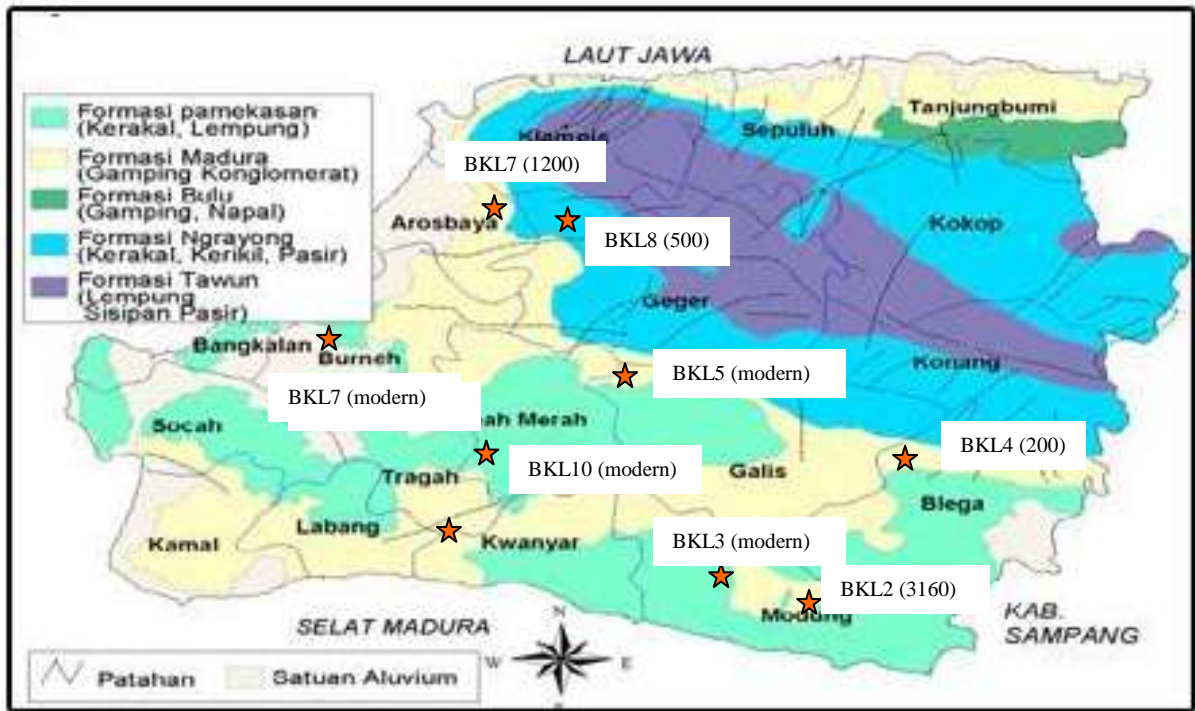
Tabel 1 menunjukkan hasil analisis ^{14}C air tanah daerah Bangkalan yang dianalisis menggunakan metode sintesis benzena.

Tabel-2. Hasil analisis ^{14}C air tanah Bangkalan

No.	Kode Sampel	Lokasi Pengambilan Sampel	PMC (%)	Umur (tahun)
1	BKL1	Modung	$65,0 \pm 0,77$	Modern
2	BKL2	Serabih Timur	$44,3 \pm 0,63$	3160 ± 120
3	BKL3	Serabih Barat	$65,0 \pm 0,76$	Modern
4	BKL4	Banyu Bunih	$63,5 \pm 0,76$	200 ± 80
5	BKL5	Tanah Merah	$65,6 \pm 0,77$	Modern
6	BKL6	Korot (AL)	$65,9 \pm 0,77$	Modern
7	BKL7	Kemarong	$56,1 \pm 0,70$	1200 ± 110
8	BKL8	Glagah	$61,0 \pm 0,74$	500 ± 90
9	BKL9	PDAM Bangkalan	$65,3 \pm 0,76$	Modern
10	BKL10	Pocong (PDAM)	$65,2 \pm 0,76$	Modern

Gambar 3 merupakan peta struktur geologi dan lokasi pengambilan sampel serta umur air tanahnya. Berdasarkan data umur dan struktur geologinya di daerah Bangkalan, terlihat bahwa air tanah yang muncul di daerah Modung (BKL1), Serabih Barat (BKL3,

PDAM Bangkalan (BKL9) dan Pocong (BKL10) semuanya berumur modern. Formasi batuan di daerah-daerah tersebut sebagian besar didominasi oleh gamping. Pada daerah tersebut air hujan yang jatuh cenderung lebih mudah lolos. Hal ini mengindikasikan bahwa air tanah yang muncul sebagai mata air di lokasi-lokasi tersebut merupakan masukan setempat (*local recharge*).



Gambar 3. Struktur geologi Kabupaten Bangkalan dan sebaran umur air tanah

Mata air yang muncul di Serabih Timur (BKL2) memiliki umur 3160 tahun, Banyu Buni (BKL4) 200 tahun, Kemarong (BKL7) 1200 tahun dan Glagah (BKL8) 500 tahun. Jika umur-umur tersebut dilihat pada peta, maka akan terlihat jelas bahwa air tanah yang muncul di daerah Serabih Timur dan Banyu Buni diperkirakan berasal dari daerah Konang yang memiliki ketinggian sekitar 200 meter (dpl). Demikian pula dengan air tanah yang muncul di daerah Kemarong dan Glagah diperkirakan berasal dari Gunung Geger yang memiliki ketinggian sekitar 200 meter (dpl). Formasi batuan di mana air tanah tersebut berasal (Konang dan Gunung Geger) didominasi oleh kerikil dan pasir yang memungkinkan air tersebut terdeposit terlebih dulu sebelum muncul sebagai mata air di daerah-daerah tersebut. Dari data umur tersebut sangat sulit dibuatkan peta kontur umur *iso-age*, mengingat sebaran data umurnya tidak menggambarkan kronologis perubahan umur yang signifikan.

KESIMPULAN

Dari hasil studi ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Air tanah di daerah Bangkalan Madura pada umumnya berumur modern karena air tanah yang masuk ke lapisan tanah cenderung terus lolos dan muncul di suatu tempat berupa mata air.
2. Pada beberapa lokasi, air tanahnya memiliki umur, yaitu di daerah Serabih Timur, Banyu Buni, Kemarong dan Glagah. Air tanah yang muncul di lokasi-lokasi tersebut diperkirakan berasal dari Gunung Geger dan Konang yang memiliki ketinggian 200 m (dpl).
3. Pada daerah yang didominasi oleh batuan gamping seperti Bangkalan, sangat sulit dibuatkan pola *iso-age* yang dapat menggambarkan arah gerakan air tanahnya.

DAFTAR PUSTAKA

- MOOK, W. G., "Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle", (2001), International Hydrology Programme, No. 39, Vol. 5, IAEA-UNESCO, Paris. http://disperindagbangkalan-Madura.com/Air_tanah.
- TECHNICAL REPORT SERIES No. 91, (1983), "Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology", IAEA, Vienna: 285 – 317.
- GUPTA, SUSHIL, K. and POLACH, H., (1985), "Radiocarbon Dating Practice at Australian National University", Handbook, Radiocarbon Laboratory, Research School of Pacific Studies, ANU, Canberra.
- TODD, D.K., (1980), "Groundwater Hydrology", Second edition, John Wiley & Sons, New York.
- GEYH, M., AMORE, F.D., DARLING, G., PACES, T., PANG, Z., AND SILAR, J., (2001), Groundwater Saturated and Unsaturated Zone, in W.G. Mook *Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle – Principals and Application, Volume IV*: International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

DISKUSI

UNTUNG S.

1. Sekedar saran, alangkah baiknya penelitian ini menyertakan pula isotop stabil O-18 dan D.
2. Mengapa air tanah di daerah Bangkalan umumnya berumur muda ?.

SATRIO

1. Terima kasih atas sarannya. Memang benar bahwa untuk memperkuat kesimpulan akhir perlu ada data pendukung seperti isotop stabil O-18 dan D.
2. Umur air tanah atau mata air yang ada di daerah Bangkalan umumnya berumur muda, hal ini disebabkan kondisi geologi daerah Bangkalan yang didominasi oleh batuan gamping. Seperti diketahui bahwa air hujan yang masuk ke dalam batuan gamping tidak bias terdepositkan dengan baik mengingat porositas batuan yang tinggi. Berbeda halnya air tanah yang di daerah sedimen yang dapat disimpan dengan baik.

SIGIT ARIYANTO

Berapa umur maksimum yang bisa diukur dengan teknik radiocarbon dating ini ?.

SATRIO

Umur maksimum dengan metode benzen yang diukur menggunakan *liquid scintillation Analyzer* memiliki kemampuan ukur hingga 50.000 tahun, sedangkan batas minimum yang bisa ditentukan sebesar 50 tahun.

