
PENELITIAN POLA PERGERAKAN AIR WADUK JATILUHUR SECARA LATERAL DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK PERUNUT ISOTOP ALAM

Paston Sidauruk

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi – BATAN, Jakarta

ABSTRAK

PENELITIAN POLA PERGERAKAN AIR WADUK JATILUHUR SECARA LATERAL DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK PERUNUT ISOTOP ALAM. Penyelidikan pola pergerakan secara lateral air waduk Jatiluhur telah dilakukan dengan menggunakan teknik perunut isotop alam yang ditunjang dengan kandungan ion utama air. Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan contoh air pada beberapa lokasi berbeda pada dua periode yaitu pada bulan Agustus 2004 dan Oktober 2004. Titik pengambilan contoh ditentukan sedemikian rupa sehingga dapat mewakili seluruh permukaan air waduk dari hulu hingga ke hilir waduk. Setiap contoh yang diambil dimasukkan dalam botol contoh untuk dinalisis kandungan ion utama maupun kelimpahan relatif Oksigen-18. Analisis dilakukan di laboratorium PATIR-BATAN, Jakarta. Hasil penelitian khususnya hasil interpretasi analisis kelimpahan isotop alam menunjukkan kelimpahan contoh yang diambil dari bagian tengah air waduk mempunyai kelimpahan isotop stabil oksigen-18 yang lebih rendah (*depleted*) jika dibanding dengan contoh yang diambil dari bagian pinggir waduk. Fenomena ini menunjukkan bahwa air waduk yang berada di tengah waduk mempunyai pergerakan yang lebih dinamis jika dibanding dengan air dibagian pinggir waduk. Hal ini juga dapat berarti bahwa air waduk menerima masukan dari air tanah lokal dari sekitar waduk.

Kata kunci : Isotop alam, pola pergerakan, air waduk. Hidrokimia, air tanah

ABSTRACT

STUDY OF THE LATERAL MOVEMENT OF JATILUHUR RESERVOIR WATER USING NATURAL ISOTOPE TECHNIQUE. Study of the lateral movement of Jatiluhur reservoir water has been conducted using natural isotopes technique and hydro chemical ions content. The study was conducted by sampling water from different locations (sampling points) for two periods of times namely in August and October 2004. Sampling points were predetermined such that they can represent the whole reservoir laterally. Each collected sample was put into prepared sample bottles. The samples then were sent to the Laboratory of PATIR-BATAN in Jakarta to be analyzed for relative oxygen-18 abundance and mayor ion content. The results show that the relative abundance of environmental isotopes Oksigen-18 of samples collected from the middle part of the reservoir was relatively more depleted compared to the outer parts. This phenomenon indicates that the residence time of the water in the middle part of the reservoir is lower than those in the outer part that means also that the water in the middle part is more mobile than the outer part. This can also indicates that the recharge of the surrounding groundwater to the reservoir through the edge of the reservoir.

Key words: natural isotopes, movement patterns, reservoir waters, hydrochemistry, ground water

PENDAHULUAN.

Danau atau waduk adalah sumber daya air yang sangat penting baik sebagai sumber utama air bersih dan sebagai salah satu unsur utama dalam siklus karbon, nitrogen, dan fosfor bumi melalui beberapa proses (1, 2, 3). Bendungan Jatiluhur yang merupakan bendungan

multiguna yang diantaranya sebagai penyedia air minum, irigasi, pembangkit listrik, rekreasi, perikanan dan pengendalian banjir mempunyai peran yang sangat penting baik dari segi ekonomi, sosial dan lingkungan. Oleh karena perannya yang sangat penting dan posisinya yang sangat strategis, maka keamanan bendungan perlu diupayakan seoptimal mungkin.

Salah satu aspek yang harus dipelajari sebagai bahan pertimbangan untuk perencanaan pengelolaan waduk adalah pola dinamika air waduk baik secara horizontal maupun vertikal. Kemampuan suatu waduk untuk mendukung kehidupan makhluk air didalamnya sangat tergantung terhadap beberapa factor seperti pola pergerakan air khususnya pencampuran. Pola pergerakan adalah penting sebagai bahan masukan untuk merencanakan pengelolaan waduk khususnya yang berhubungan dengan kualitas air baik untuk mendukung kehidupan yang ada di dalamnya maupun sebagai sumber air bersih. Pergerakan air adalah penting untuk menjamin terdistribusinya oksigen terlarut sampai kedalaman tertentu yang dapat mendukung kehidupan makhluk air dalam waduk. Stratifikasi adalah fenomena yang umum terjadi di daerah tropis seperti Indonesia yang dapat menghambat sirkulasi secara vertikal yang sekaligus menghambat proses pertukaran oksigen dengan udara dan fotosintesis pada kedalaman tertentu (4). Untuk tujuan ini, SIDAURUK, dkk, telah melakukan pengamatan pola stratifikasi air waduk Jatiluhur (4). Dalam penelitian tersebut, telah disimpulkan adanya stratifikasi di air waduk Jatiluhur khususnya di bagian tengah air waduk.

Di samping pola stratifikasi, pola pergerakan air waduk secara lateral dapat membantu pengelola bendungan untuk merencanakan tata ruang semua kegiatan dalam waduk termasuk didalamnya pemilihan lokasi yang cocok untuk pembudidayaan ikan. Pengamatan pola pergerakan air waduk yang didasarkan pada kelimpahan isotop stabil seperti deuterium dan oksigen-18 dapat juga digunakan sebagai alat untuk memprediksi secara kualitatif masukan air tanah dari sekeliling waduk.

Penelitian dengan menggunakan perunut isotop dalam lima dekade terakhir sangat banyak dilakukan khususnya yang berhubungan dengan proses hidrologi pada danau atau waduk (5, 6, 7).

Dalam penelitian kali ini dilakukan pengamatan pola pergerakan air waduk Jatiluhur yang luasnya mencapai 83 km² dengan kedalaman pada daerah tertentu di atas 20 m menggunakan pendekatan kelimpahan relatif isotop stabil oksigen-18 dan melalui kandungan ion utama dari contoh air yang dikumpulkan dari beberapa lokasi yang tersebar diseluruh permukaan waduk. Penelitian pola pergerakan dengan pendekatan isotop stabil oksigen-18 adalah penting dan diharapkan akan memberikan hasil yang lebih akurat. Hal ini didasarkan pada kenyataan

bahwa bahwa isotop oksigen-18 adalah salah satu isotop pembangun molekul air sehingga mobilitas dan distribusi kelimpahan isotop-18 pada waduk akan memberikan gambaran mobilitas air itu sendiri.

BAHAN DAN METODE

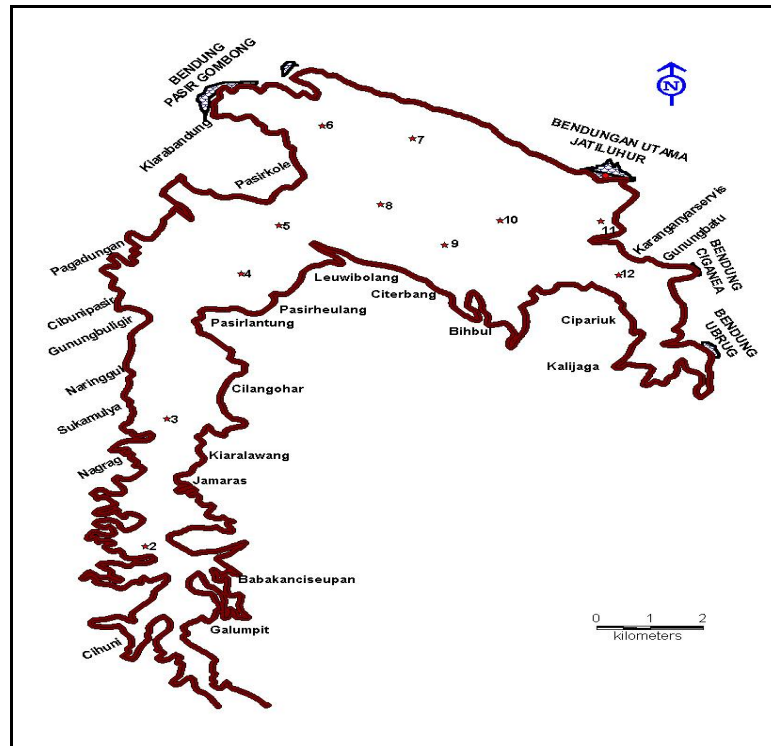
Pengambilan contoh

Pengambilan contoh dilakukan pada 12 lokasi. Kedua belas lokasi pengambilan contoh air waduk dirancang sedemikian rupa sehingga dapat mewakili seluruh permukaan air waduk mulai dari hilir hingga ke hulu termasuk air masukannya. Posisi relatif (koordinat) tiap titik pengambilan contoh air dicatat melalui alat bantu sistem pencatat posisi global (GPS, global positioning system). Pencatatan posisi ini dilakukan untuk mempertahankan posisi titik pengambilan contoh pada periode pengambilan contoh berikutnya sehingga konsistensi variasi parameter sebagai fungsi waktu dapat dilihat. Pengambilan contoh yang demikian dilakukan untuk melihat penyebaran horizontal dari parameter yang diamati dalam upaya membantu menerangkan dinamika air waduk secara horizontal.

Dalam penelitian ini contoh air secukupnya dikumpulkan dari setiap titik pengambilan contoh. Untuk lebih jelasnya, lokasi pengambilan contoh dalam waduk dapat dilihat pada Gambar 1.

Pengambilan contoh air perlu dilakukan dengan beberapa kali pengulangan dalam waktu yang berbeda untuk melihat variasi parameter yang diamati sebagai fungsi waktu. Untuk tujuan ini, pengambilan contoh air dilakukan sebanyak 6 kali, namun dalam tulisan ini hanya dua periode pengambilan contoh yang dilaporkan.

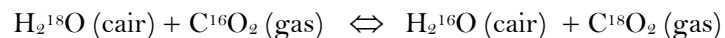
Contoh air yang dikumpulkan kemudian dibawa ke laboratorium Hidrologi dan Kimia, Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi-BATAN untuk dianalisis kandungan isotop alam dan hidrokimianya



Gambar 1: Skema lokasi titik pengambilan contoh air waduk

Metode Analisis

Untuk analisis kelimpahan relatif isotop stabil oksigen-18, contoh air sebanyak 20 ml diambil dari tiap titik pengambilan contoh dan dimasukkan ke dalam tabung kedap udara. Dalam pekerjaan analisis isotop oksigen-18, contoh air dimasukkan ke dalam gelas pada Isoprep-18, dengan kapasitas 24 gelas untuk 24 contoh air. Sebelum analisis dilakukan, gas standar kerja terlebih dahulu diatur pada alat spektrometer massa dan melalui program komputer gas CO₂ standar tersebut dialirkan ke isoprep-18 yang berisi gelas contoh selama 2 menit dan diikuti pengocokan selama 8 jam. Selama dalam pengocokan 8 jam tersebut reaksi kesetimbangan dan pertukaran isotop antara gas CO₂ dan contoh telah terjadi seperti reaksi di bawah ini:

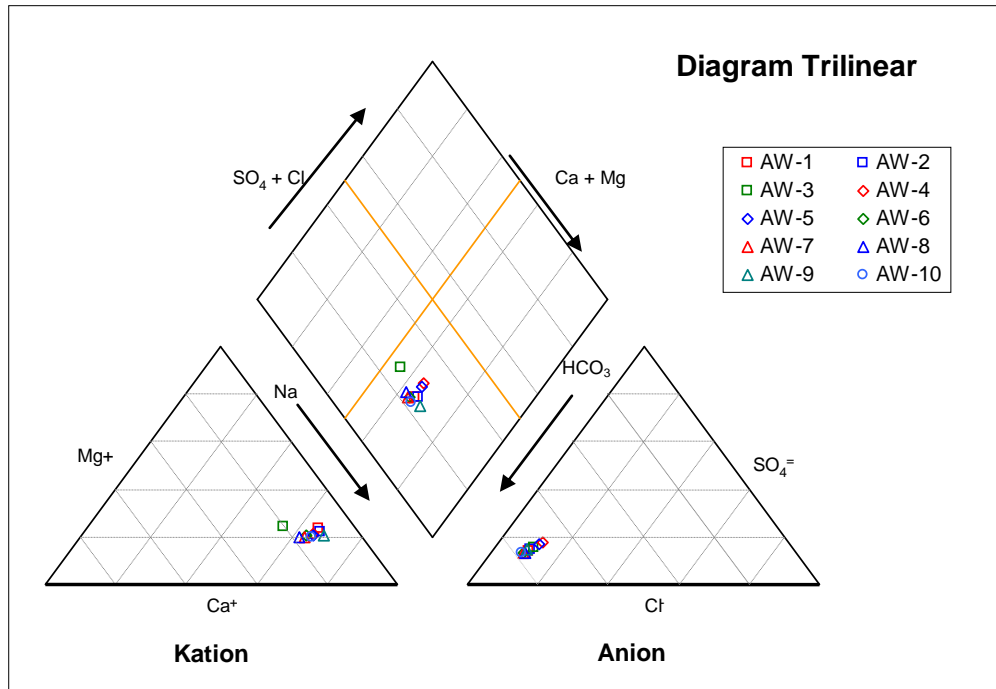


Setelah terjadi kesetimbangan, secara otomatis gas CO₂ masuk ke dalam alat spektrometer massa untuk dianalisis.

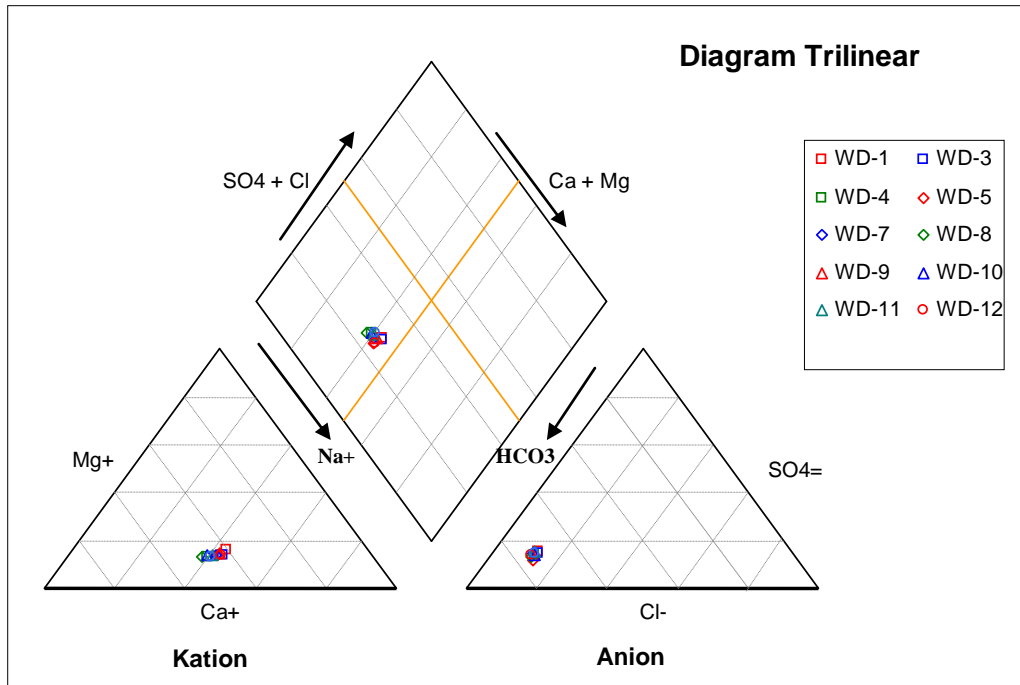
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hidro-kimia

Data ion utama terlarut dalam berbagai contoh yang dikumpulkan dalam 2 periode pengambilan contoh yaitu pada bulan Agustus dan Oktober 2004 disajikan pada Tabel 1. pada Tabel ini dapat dilihat bahwa kandungan hidrokimia contoh air waduk yang dianalisis tidak menunjukkan variasi yang cukup nyata baik horizontal, maupun sebagai fungsi waktu. Hal ini juga dapat dilihat dari gambar trilinear Piper yang disajikan pada Gambar 2 dan 3. Dalam kedua gambar ini dapat dilihat bahwa semua ion utama contoh yang dikumpulkan mengelompok pada kelompok yang sama. Hal ini adalah wajar karena perubahan kandungan hidrokimia air terjadi dengan adanya interaksi antara air dengan batuan atau formasi yang dilaluinya atau karena interaksi dengan sumber air lain yang mempunyai kandungan hidrokimia yang berbeda. Dengan demikian untuk volume waduk yang cukup besar dan waktu tinggal yang cukup lama maka adalah wajar jika kandungan hidrokimia air waduk tidak bervariasi secara nyata. Karena memang secara umum airnya berasal dari sumber yang sama, dan waktu tinggal yang cukup lama juga memberikan kesempatan kepada air waduk untuk bercampur secara merata.



Gambar 2 : Diagram Piper Kation-Anion Contoh Air pada bulan Agustus 2004



Gambar 3 : Diagram Piper Kation-Anion Contoh Air Waduk pada bulan Oktober 2004

Pola pergerakan air waduk secara lateral

Untuk tujuan penelitian pola pergerakan air waduk secara lateral akan didasarkan pada variasi Oksigen-18 dari contoh yang dikumpulkan. Hal ini dilakukan karena oksigen-18 adalah salah satu isotop pembentuk molekul air sehingga variasi oksigen-18 dapat menerangkan proses yang telah dialami oleh air waduk termasuk pergerakannya (8). Di samping itu, menurut BEDMAR dan ARAGUAS (1), variasi kelimpahan relatif oksigen-18 menunjukkan hasil yang lebih peka khususnya untuk penelitian dinamika air. Hasil analisis kelimpahan relatif oksigen-18 dari contoh yang dikumpulkan disajikan pada Tabel 2 berikut ini. Variasi kelimpahan relatif oksigen-18 secara horizontal juga disajikan dalam bentuk iso-kontur seperti dapat dilihat pada Gambar 4, dan 5.

Di samping itu, Gambar 4, dan 5 juga menunjukkan bahwa secara umum kelimpahan relatif oksigen-18 air waduk adalah lebih miskin (*depleted*) di tengah waduk jika dibandingkan dengan di sebelah pinggir waduk. Hal ini menunjukkan adanya masukan air tanah dari sekitarnya, di mana air tanah ini mempunyai kelimpahan isotop stabil yang relatif lebih kaya

(*enrich*) karena daerah imbuhnya mempunyai elevasi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan air waduk yang berasal dari hulu.

Fenomena kelimpahan relatif oksigen-18 yang secara umum lebih miskin di bagian tengah waduk juga dapat menunjukkan bahwa bagian air waduk yang berada di tengah adalah lebih dinamis jika dibandingkan dengan air yang berada di sebelah pinggir air waduk dengan demikian waktu tinggal air yang berada di tengah waduk akan lebih pendek jika dibandingkan dengan air yang berada di sebelah pinggir waduk. Waktu tinggal ini juga akan mempengaruhi komposisi kelimpahan Oksigen-18. Air yang waktu tinggalnya lebih panjang akan mempunyai kelimpahan relatif Oksigen-18 yang lebih kaya karena adanya penguapan.

Tabel 1: Data anion-kation Jaliluhur bulan Agustus 2004.

No.	Kode	DATA ANION - KATION (mg/l)													
	Contoh	Agustus (8) dan Oktober (10) 2004													
		Na		K		Ca		Mg		SO ₄		Cl		HCO ₃	
		8	10	8	10	8	10	8	10	8	10	8	10	8	10
1	1	19.7	2712.2	3.8	3.9	3.2	25.0	7.0	9.8	16.9	20.5	12.2	16.9	89.6	95.5
2	2	21.8	26.0	5.6	3.7	3.6	22.6	7.3	8.2	16.7	23.9	12.4	16.4	86.2	89.2
3	3	17.5	25.3	4.8	3.8	6.4	24.1	7.7	8.1	15.8	19.2	11.7	16.6	76.3	92.3
4	4	22.7	23.2	4.1	3.4	4.7	27.3	7.4	7.6	18.6	17.1	12.9	14.8	73.0	89.2
5	5	23.1	22.9	5.0	4.0	4.9	23.6	7.1	7.3	17.4	13.4	12.0	15.0	73.0	86.0
6	6	23.3	-	3.9	-	5.7	-	7.4	-	17.4	-	12.0	-	99.5	-
7	7	24.0	22.0	5.2	3.7	6.2	23.5	7.5	7.4	16.9	17.6	11.5	13.8	96.2	89.2
8	8	23.3	21.7	4.3	4.1	6.7	27.3	7.4	7.5	17.4	16.7	12.4	14.4	99.5	92.3
9	9	24.0	21.7	3.8	4.1	3.6	21.8	7.1	7.4	17.4	18.3	11.5	13.3	89.6	86.0
10	10	24.7	21.3	3.3	4.0	5.5	25.1	7.4	7.4	16.9	16.5	11.5	14.0	99.5	85.9
11	11	23.6	22.2	5.4	4.0	1.4	24.6	6.3	7.6	17.4	17.6	11.7	13.8	76.3	85.9
12	12	23.6	22.5	3.5	4.3	5.0	22.4	7.4	7.2	15.1	17.2	11.5	14.1	96.2	92.3

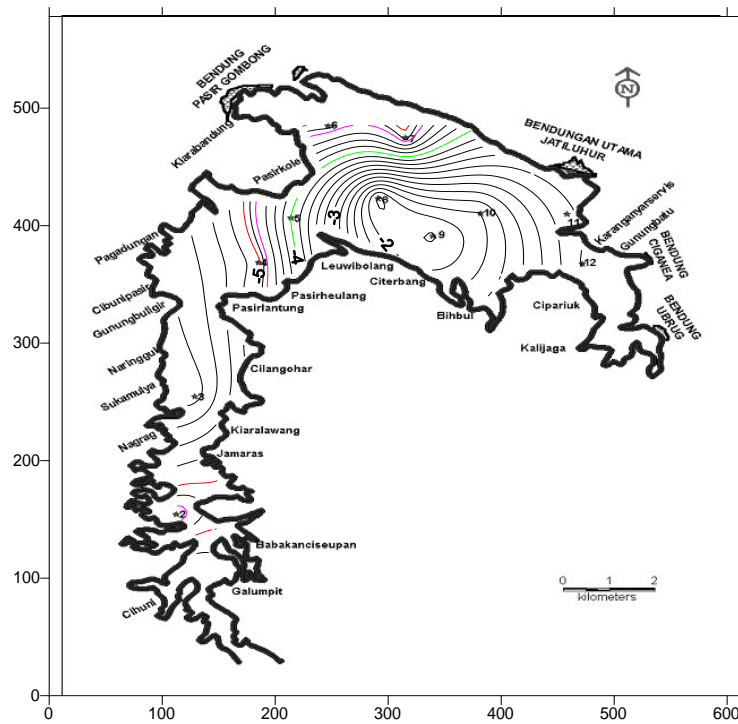
Catatan: Lokasi titik sampling sesuai dengan nama kode contohnya

Tabel 2: Kelimpahan Relatif Oksigen-18 bulan Agustus dan Oktober 2004

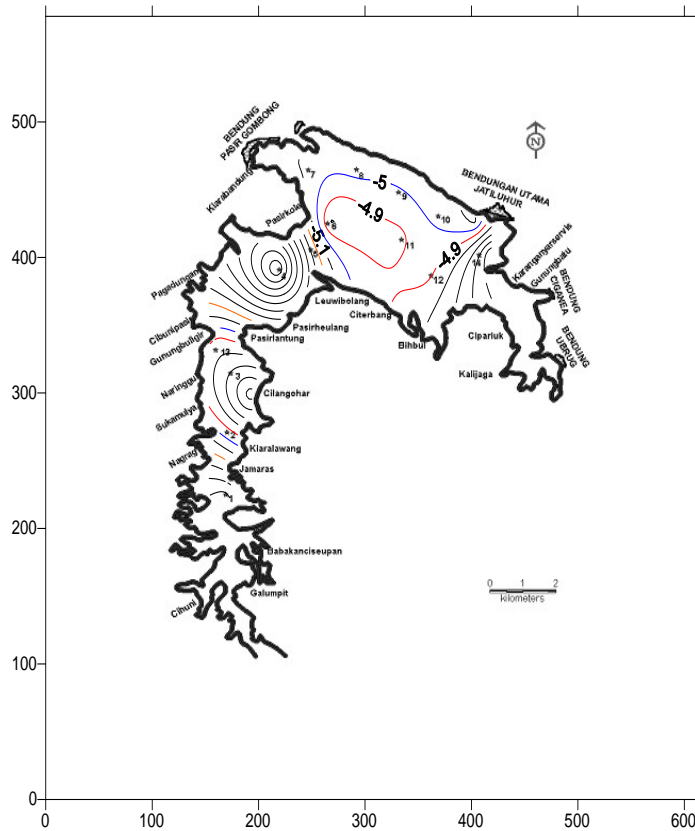
No.	Kode	KOORDINAT		Ke- dalam	$\delta^{18}\text{O}$	
	Contoh	East	South		Agustus2004	Oktober 2004

				(m)	(‰)	(‰)
1	1	107° 17' 93"	6° 36' 51"	2.00	-5.40	-5.55
2	2	107° 18' 04"	6° 36' 39"	2.00	-4.72	-5.15
3	3	107° 18' 12"	6° 34' 49"	2.00	-2.92	-4.45
4	4	107° 20' 19"	6° 31' 59"	2.00	-5.11	-4.85
5	5	107° 19' 30"	6° 30' 34"	2.00	-4.00	-6
6	6	107° 20' 25"	6° 30' 38"	2.00	-4.97	-
7	7	107° 20' 32"	6° 30' 50"	2.00	-4.96	-4.79
8	8	107° 21' 16"	6° 31' 46"	2.00	-1.74	-5.09
9	9	107° 21' 41"	6° 32' 33"	2.00	-1.78	-5.12
10	10	107° 22' 14"	6° 32' 03"	2.00	-2.21	-4.56
11	11	107° 21' 41"	6° 32' 01"	2.00	-3.11	-4.87
12	12	107° 23' 26"	6° 23' 16"	2.00	-3.22	-5.62

- = tidak ada data



Gambar 4: Gambar isokontur kelimpahan oksigen-18 Agustus 2004



Gambar 5: Gambar isokontur kelimpahan oksigen-18 Oktober 2004

KESIMPULAN

- Hasil analisis ion utama seluruh contoh yang dikumpulkan tidak bervariasi secara nyata baik secara horizontal maupun sebagai fungsi waktu. Fenomena ini terjadi karena waktu tinggal air (residence time) secara rata-rata adalah panjang dan juga hal ini juga dapat berarti bahwa air waduk secara umum berasal dari jenis air yang sama.
- Hasil analisis kelimpahan relatif Oksigen-18 secara lateral menunjukkan bahwa air yang terdapat di bagian tengah waduk mempunyai kelimpahan relatif oksigen-18 yang lebih kecil (depleted) jika dibandingkan dengan air yang berada pada bagian pinggir waduk. Phenomena ini menunjukkan antara lain: adanya masukan air tanah dari sekitarnya, di mana air tanah ini mempunyai kelimpahan isotop stabil yang relatif lebih kaya (*enrich*) karena daerah imbuhnya jika dibandingkan dengan air waduk yang berasal dari hulu mempunyai kelimpahan yang

jauh lebih rendah, dan waktu tinggal air yang berada di bagian tengah waduk adalah lebih pendek karena mobilitasnya lebih tinggi dari air yang berada di sebelah pinggir waduk.

DAFTAR PUSTAKA

1. BEDMAR, A. P. and LUIS ARAGUAS, *Detection and Prevention of Leaks from Dams*, A.A. Balkema Publishers, Lisse, (2002).
2. HART, T. H., WENDY VAN DOK, dan NANI DJUANGSIH, "Nutrient Budget For Saguling Reservoir, West Java, Indonesia." *Water Reserarch*, 36, (2002) 2152-2160.
3. FETTER, C. W., *Applied Hydrogeology*. Merrill Publishing Co., Columbus, Ohio(1988).
4. SIDAURUK, P., ALIP, dan PRATIKNO, B., "Penelitian pola stratifikasi air waduk Jatiluhur dengan menggunakan perunut isotop alam.", *Jurnal Ilmiah "APISORA"*, 2, no. 2, Jakarta, (2006)
5. P3TIR BATAN-PJT II, "Laporan Akhir: Penelitian Monitoring Sumber Air yang Berada di Sekitar Waduk Jatiluhur Dengan Teknik Isotop Alam dan Hidrokimia, tahap-III", Jakarta, (2004).
6. P3TIR BATAN-PJT II, "Laporan Akhir: Penelitian Monitoring Sumber Air yang Berada di Sekitar Waduk Jatiluhur", Jakarta, (2003).
7. DAGSTAN-BATAN, "Final Report: Study the origin of seepage/leakage water around Jatiluhur, Wlingi, and Ngancar Dams." Jakarta, (1999).
8. HOEFS, J., 1980. *Stable isotope geochemistry*, Springer verlag, Berlin - Heidelberg-New York.IAEA, 1981, "Stable Isotope Hydrology; Deuterium and Oxygen-18 in Water cycle", Technical report series No. 210, IAEA , Vienna.