
STUDI SUMBER AIR KELUARAN YANG TERDAPAT DI TUBUH BENDUNGAN JATILUHUR DENGAN MENGGUNAKAN PERUNUT ISOTOP OKSIGEN-18 DAN ION KLOR

Paston Sidauruk, Alip, dan Bungkus Pratikno
Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi - Batan

ABSTRAK

STUDI SUMBER AIR KELUARAN YANG TERDAPAT DI TUBUH BENDUNGAN JATILUHUR DENGAN MENGGUNAKAN PERUNUT ISOTOP OKSIGEN-18 DAN ION KLOR. Beberapa air keluaran yang asal usulnya belum diketahui muncul di sekitar bendungan Jatiluhur. Air keluaran tersebut bahkan terdapat di sekitar menara yang terdapat ditengah bendungan. Studi ini dilakukan untuk mempelajari asal-usul air keluaran tersebut. Didalam studi ini, salah satu perunut yang paling konservatif dalam kimia hidrologi yaitu ion Cl dan isotop stabil oksigen-18 telah digunakan untuk mengidentifikasi asal-usul setiap sumber keluaran yang dicurigai sebagai bocoran. Dalam pelaksanaannya, penelitian ini dilakukan dengan pengumpulan data sekunder yang berhubungan dengan bendungan Jatiluhur dan pekerjaan lapangan yang meliputi pengambilan contoh air dari berbagai sumber diantaranya air keluaran, air dalam lubang piezometer dan sumur pantau, air hujan, dan air waduk. Masing-masing contoh air yang dikumpulkan kemudian dibawa ke laboratorium Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi-Badan Tenaga Nuklir Nasional untuk dilakukan analisis kelimpahan relatif oksigen-18 dan hidro-kimianya. Penelitian ini telah berhasil mengidentifikasi bahwa ada 2 sumber air keluaran yang mempunyai hubungan langsung dengan air waduk yaitu mata air asenceur dan mata air RD yang berada di sekitar menara utama diujung dalam galeri bendungan. Namun, rembesan yang terdapat disebelah kanan bendungan yang dikenal dengan rembesan di pohon asam dan air keluaran V-NOTCH di sisi kiri tailrace merupakan air tanah lokal.

ABSTRACT

STUDY OF THE ORIGIN OF DISCHARGES WATER AT THE VICINITY OF JATILUHUR DAM USING OXYGEN-18 AND CHLOR ION TRACER TECHNIQUES. Several discharge water outlets with unknown origin appear around Jatiluhur dam body. Some of discharge water was found around the main tower which is located at the center of the dam. This work is conducted to study the origin of discharge waters. In this research, chlor ion, as one of the most conservative tracers in water, has been utilized along with oxygen-18 isotope to identify every suspicious discharge water. To carry out the investigation, the research begins by collecting secondary data followed by monthly collection of water samples from several sources such as from discharges water, observation wells, rain, and reservoir. After the collection, the samples were brought to Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi-BATAN laboratory to be analyzed for the stable isotope (oxygen-18) and hydro-chemical contents. Two water discharges were successfully identified as leakages from the reservoir that are asenceur and RD located around main tower at the end of the dam gallery. On the other hand, seepage that appear to the right toe of dam (Pohon Asam) and the discharge V-NOTCH just to the left of tailrace are not the leakages from the reservoir.

1. PENDAHULUAN.

Bendungan Jatiluhur adalah bendungan tipe urugan yang selesai dibangun pada tahun 1967. Bendungan ini merupakan bendungan serbaguna yang diantaranya berfungsi sebagai

penyedia air minum, irigasi, pembangkit listrik, rekreasi dan pengendalian banjir. Dilihat dari fungsinya yang serbaguna dan posisinya yang terletak hanya sekitar 130 km tenggara Jakarta membuat peran bendungan ini sangat strategis. Karena peran bendungan yang sangat penting ini baik dari segi ekonomi, sosial dan lingkungan, maka keamanan bendungan perlu diupayakan seoptimal mungkin.

Salah satu masalah yang sering dihadapi dalam pengelolaan bangunan air seperti halnya bendungan Jatiluhur adalah masalah rembesan atau bocoran. Dengan demikian, penanganan masalah rembesan atau bocoran pada suatu waduk harus dilakukan sedini mungkin dan pekerjaan monitoring harus dilakukan secara berkala. Air keluaran yang terdapat pada suatu bendungan seperti yang terdapat di sekitar bendungan Jatiluhur dapat merupakan indikasi awal terjadinya kebocoran. Untuk itu asal-usul air tersebut harus ditentukan. Penentuan asal usul suatu air keluaran adalah sangat penting untuk melihat hubungan dari air keluaran tersebut dengan air waduk.

Dengan tujuan inilah studi asal-usul air rembesan/bocoran waduk Jatiluhur ini dilakukan yang dalam penelitian kali ini menggunakan pendekatan kelimpahan relatif isotop stabil oksigen-18 dan hidro-kimia khususnya ion Cl dari contoh air yang dikumpulkan dari sekitar bendungan. Pendekatan ini dilakukan karena isotop oksigen-18 yang merupakan salah satu isotop dari atom pembentuk molekul air dan ion Cl sangat konservatif dengan demikian kedua perunut ini adalah sangat relevan untuk mewakili perilaku air yang diteliti. Dengan mempelajari kelimpahan relatif isotop stabil oksigen-18 dan ion Cl dalam setiap contoh air yang dikumpulkan dan hubungannya dengan air waduk dapat memberikan petunjuk asal usul air tersebut.

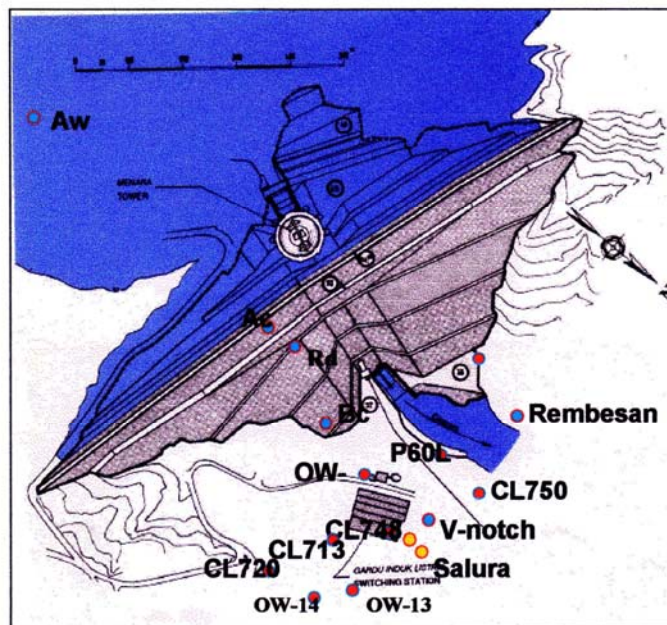
Ion Cl merupakan salah satu unsur utama kimia dari garam terlarut yang diukur dalam bentuk ion di dalam air tanah. Disamping ion Cl⁻, ion utama lainnya adalah Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, dan HCO₃⁻. Interpretasi konsentrasi ion-ion ini dan evolusinya dalam air tanah akan memberikan informasi yang sangat penting seperti informasi tentang jenis lapisan yang telah dilalui maupun asal usul air tersebut. Untuk memfasilitasi interpretasi konsentrasi dan variasi ion ini dalam air, beberapa cara telah dilakukan khususnya dalam penelitian air tanah seperti dengan menggunakan diagram trilinear Piper, Stiff, dan Scholer. Karena konsentrasi ion ini secara umum dalam air waduk masih jauh di bawah titik jenuhnya, maka jika terjadi suatu kebocoran dari suatu air waduk konsentrasi ion ini dalam air bocoran tersebut relatif akan naik karena terjadinya persentuhan dengan media yang dilalui. Walaupun secara umum konsentrasi ion terlarut ini digunakan sebagai komplementari terhadap metode lain, namun dalam beberapa kasus, ion tertentu dapat dijadikan perunut tersendiri khususnya dalam keadaan di mana konsentrasinya tidak terlalu bervariasi khususnya sebagai fungsi waktu. Sebagai contoh Plata *et al* (1999) berdasarkan analisis konsentrasi ion potassium(K⁺) dari berbagai contoh air yang dikumpulkan sekitar waduk La

Herradura (Spanyol) berhasil menunjukkan bahwa 2 sumber air yang diteliti berasal dari air waduk tersebut. Dari hasil pengamatan di lapangan dan hasil analisis konsentrasi dan variasi hidro-kimia dari contoh yang dikumpulkan, ion Cl⁻ dalam penelitian ini akan digunakan sebagai perunut utama untuk mempelajari asal usul air keluaran yang terdapat di tubuh bendungan Jatiluhur.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Pengambilan contoh

Contoh air secukupnya (~1 liter) dikumpulkan dari berbagai sumber air seperti contoh air dari sumur pengamatan, air rembesan, air keluaran/mata air, air hujan dan air waduk. Lokasi pengambilan contoh dapat dilihat dalam gambar 1 di bawah ini sedangkan kode contoh dan keterangannya dapat dilihat dalam tabel 1 berikut ini.



Gambar 1: Skema lokasi titik sampling air keluaran sekitar bendungan

Pengambilan contoh dilakukan sekali dalam satu bulan. Hal ini dilakukan untuk mengamati perubahan konsentrasi hidro-kimia dari sumber air sebagai fungsi waktu. Contoh air yang dikumpulkan kemudian dimasukkan kedalam kontainer dan kemudian dibawa ke laboratorium

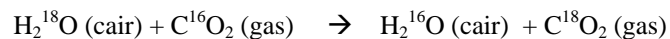
Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi BATAN untuk dianalisis konsentrasi hidrokimianya yang didalamnya sudah termasuk ion Cl.

Tabel 1: Penjelasan kode contoh

No.	Kode Sampel	Keterangan
1	Aw	Air Waduk
2	Ac	Acenceur. Air keluaran yang terdapat disekitar menara utama dengan debit diatas 20 l/min.
3	Rd	Bocoran kecil yang dialirkan dari saluran sebelah kanan galeri bendungan. Contoh airnya diambil di ujun saluran yang terdapat diujung galeri.
4	Remb	Rembesan air yang terdapat di tubuh bendungan sebelah kanan yaitu yang biasa dikenal dengan rembesan pohon asem.
5	V-Notch	Kumpulan bocoran/rembesan yang terdapat pada tubuh bendungan sebelah kanan dan dikumpulkan pada kolam kecil berpengatur aliran V-Notch.
6	Bou	Air keluaran yang terdapat disebelah kanan galeri bendungan.
7	Ow-13	Sumur Pantau sebelah kanan tubuh bendungan
8	Cl-748	Sumur Pantau sebelah kanan tubuh bendungan

2.2. Metode Analisis

Untuk analisis kelimpahan relatif isotop stabil oksigen-18, contoh air sebanyak 2 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 sampel selama 2 menit dan diikuti pengocokan selama 8 jam. Selama dalam pengocokan selama 8 jam tersebut reaksi kesetimbangan dan pertukaran isotop antara gas CO₂ dan sampel seperti reaksi di bawah ini telah terjadi:



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

Seperti telah disebutkan sebelumnya, garam mineral terlarut diukur dalam bentuk ion Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄⁼, Cl⁻ dan ion HCO₃⁻.

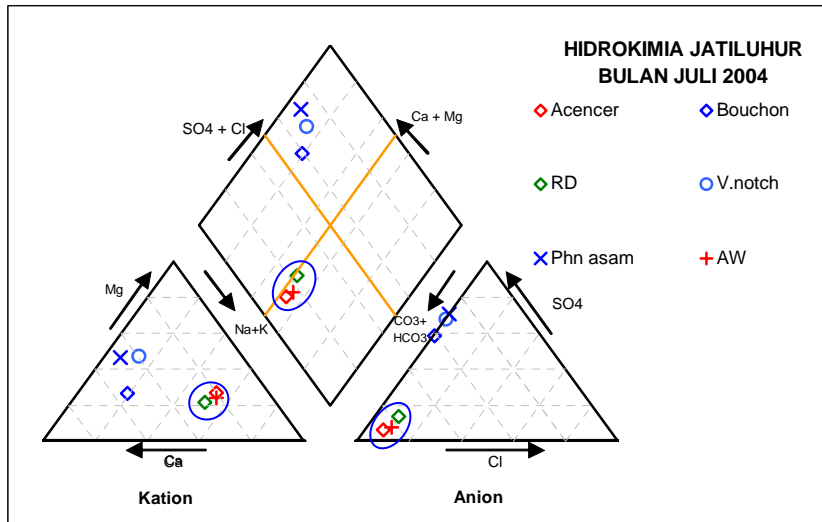
Kandungan ion-ion mineral dinyatakan dalam satuan ppm (part per million atau mg/l) atau dapat juga dinyatakan dalam bentuk satuan epm (equivalent permillion atau grek/l). Dalam diagram trilinear Piper, kandungan atau konsentrasi kation dan anion harus dinyatakan dalam prosentasi dari seluruh kation atau anion dalam milliequivalent/l (meq/l).

Konsentrasi masing-masing ion ditentukan sebagai berikut

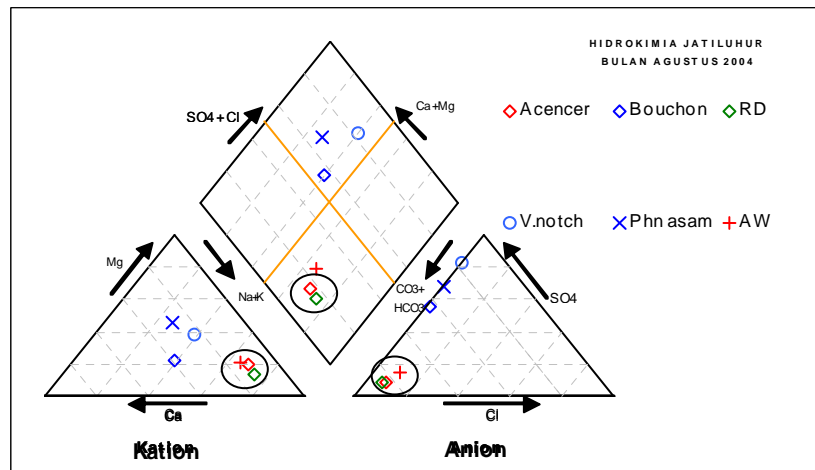
- a. Analisis HCO_3^- dilakukan dengan metode volumetri menggunakan indikator metil orange dengan asam sulfat sebagai penetras.
- b. Analisis Kation Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} dilakukan dengan spektrometer serapan atom (AAS).
- c. Analisis Anion Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} dilakukan dengan menggunakan alat spektrometer UV-Visible, dimana terlebih dahulu ion-ion (contoh) ditambahkan HCl 10% kemudian direaksikan dengan larutan BaCl_2 yang sudah distabilkan dengan larutan tween 20, sedangkan ion Cl^- (contoh) dibuat dalam bentuk kompleks merkuri triosionat.
- d. Penentuan semua ion-ion dilakukan dengan menggunakan standar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data ion utama terlarut dalam berbagai contoh yang dikumpulkan dalam beberapa periode pengambilan contoh disajikan dalam tabel 2, 3, 4, 5, 6 dan 7. Sedangkan hasil analisis isotop oksigen-18 diberikan dalam tabel 8. Dalam tabel ini dapat dilihat bahwa kandungan hidrokimia yang dianalisis khususnya contoh air yang berasal dari air waduk tidak menunjukkan variasi yang cukup signifikan. Hal ini adalah logis karena perubahan kandungan hidrokimia ini biasanya terjadi karena interaksi dengan batuan atau formasi yang dilalui tanah tersebut atau dengan interaksi dengan sumber air lain yang mempunyai kandungan hidrokimia yang berbeda. Dengan demikian dengan volume waduk yang cukup besar dan waktu tinggal yang cukup lama maka adalah logis jika kandungan hidrokimia air waduk tidak bervariasi secara signifikan. Diagram Trilinear Piper untuk pengambilan contoh pada bulan Juli dan Agustus 2004 air waduk bersama-sama dengan air keluaran lainnya diberikan dalam gambar 2 dan 3 di bawah ini. Dalam gambar ini, kandungan hidrokimia dari air waduk telah dirata-rata. Dapat dilihat dalam gambar 2 dan 3, bahwa sumber air waduk, Acenser dan RD selalu mengelompok dalam kelompok yang sama yang menunjukkan keterhubungan dari ketiga sumber ini.



Gambar 2: Diagram trilinear Piper contoh air waduk Jatiluhur pada JULI 2004

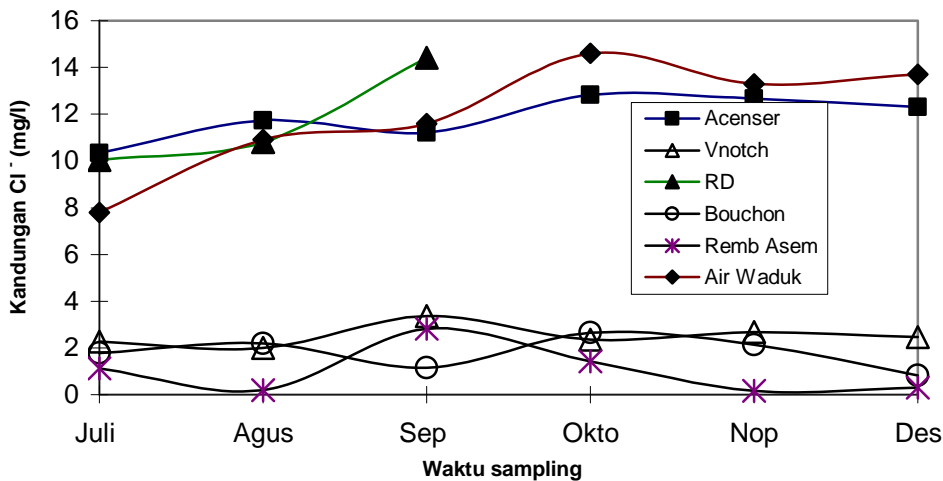


Gambar 3. Diagram Trilinear Piper contoh air waduk Jatiluhur pada AGUSTUS 2003

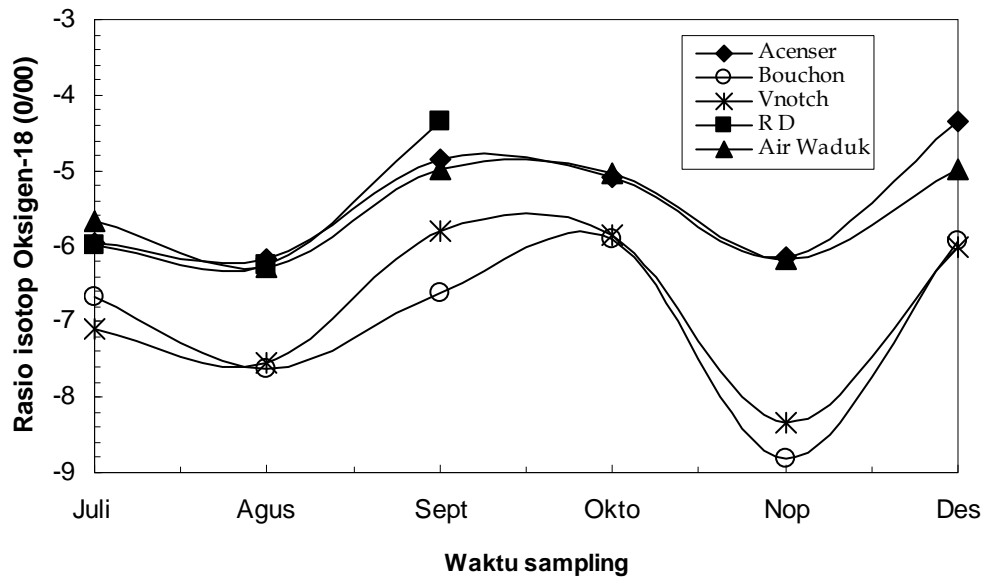
Hasil ini juga diperkuat hasil analisis kelimpahan relatif isotop oksigen-18 dan ion Cl⁻ seperti terlihat dalam gambar 4 dan 5 berikut ini. Dari tabel 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 dapat dilihat bahwa konsentrasi ion Cl⁻ dari air waduk secara rata-rata berada pada kisaran 10 s/d 14 ppm. Dari tabel 8 tersebut dan gambar 4 dan 5 untuk kelimpahan relatif oksigen-18 terlihat adanya beberapa sumber air yang mempunyai konsentrasi yang mirip dengan air waduk dan yang secara berarti di bawah

konsetrasi air waduk. Gambar 4 dan 5 di bawah ini menampilkan konsentrasi Cl⁻ dan kelimpahan relatif isotop oksigen-18 dari berbagai air keluaran bersama sama dengan air waduk yang terdapat di sekitar bendungan untuk beberapa periode pengambilan contoh yang berbeda. Dari gambar 4 dan 5 ini dapat dilihat bahwa sumber air Acencer dan RD kemungkinan besar berasal dari air waduk karena konsentarsi ion Cl⁻ dan kelimpahan relatif oksigen-18 contoh ini secara konsisten mendekati konsentrasi ion Cl⁻ dan kelimpahan relatif oksigen-18 air waduk. Namun hal yang berbeda ditunjukkan oleh beberapa contoh seperti rembesan yang terdapat di tubuh sebelah kiri bendungan (dekat pohon asem), Bouchon dan V-Notch secara konsisten ion Cl⁻ dan kelimpahan relatif oksigen-18 dari contoh-contoh ini menunjukkan nilai yang jauh lebih kecil jika dibanding dengan konsentrasi ion tersebut dalam air waduk. Hal ini menunjukkan bahwa contoh-contoh ini tidak menunjukkan hubungan dengan air waduk.

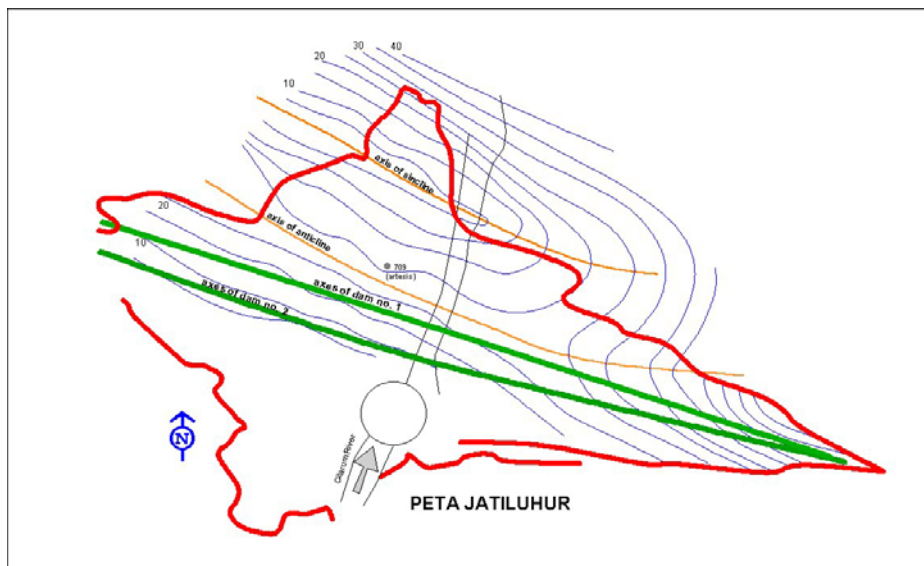
Hal yang menarik lainnya adalah bahwa konsentrasi sulfat yang relatif tinggi dalam beberapa contoh seperti air rembesan dan V-Notch. Hal ini menunjukkan bahwa air ini merupakan air tanah yang keluar di outlet tersebut setelah sebelumnya mengikuti alur anticline dari titik inletnya melalui formasi batuan yang mengandung batu kapur (CaSO₄.2H₂O) (lihat gambar 6). Hal ini juga diperkuat dengan relatif tingginya konsentrasi ion Ca dari contoh tersebut.



Gambar 4. Konsentrasi ion Cl⁻ untuk berbagai air keluaran pada beberapa periode pengambilan contoh yang berbeda



Gambar 5. Variasi kelimpahan relatif oksigen-18 air keluaran pada beberapa periode pengambilan contoh yang berbeda



Gambar 6. Kontur struktur Bendungan Jatiluhur (digambar kembali dari laporan "Review of Geologic and Foundation Djatiluhur Project", Coyne and Bellier)

Tabel 2: Data anion-kation Jaliluhur bulan Juli 2004.

No.	Kode Contoh	DATA ANION - KATION (mg / l) Juli 2004						
		Na	K	Ca	Mg	SO ₄	Cl ⁻	HCO ₃
1	Aw	14.45	2.57	6.44	7.38	10.65	9.83	89.56
2	Ac	16.28	2.09	6.16	8.27	9.82	5.33	129.43
3	V-notch	23.67	1.91	69.48	83.31	456.52	2.26	212.38
4	RD	17.47	2.3	9.19	7.4	15.07	6.04	82.96
5	Bou	20.49	0.72	57.82	28.7	223.7	1.77	155.96
6	Remb	22.01	3.4	156.9	155.84	785.22	1.12	321.88

Tabel 3: Data anion-kation Jaliluhur untuk bulan Agustus 2004.

No.	Kode Contoh	DATA ANION - KATION (mg / l) Agustus 2004						
		Na	K	Ca	Mg	SO ₄	Cl ⁻	HCO ₃
1	Aw	19.71	3.75	3.23	6.96	16.94	12.2	89.59
2	Ac	28.05	1.79	4.62	7.97	13.67	11.27	132.74
3	V-notch	92.01	12.50	54.34	89.36	489.49	2.01	102.87
4	RD	36.68	2.50	5.94	6.69	14.84	10.81	146.01
5	IC-750	77.42	18.54	135.23	179.05	780.37	0.69	388.25
6	Bou	51.62	6.14	51.04	28.35	228.39	2.18	175.88
7	Remb.	122.31	33.13	125.33	206.53	948.6	2.19	444.66

Tabel 4: Data Anion-Kation Jaliluhur untuk bulan September 2004.

No.	Kode Contoh	DATA ANION - KATION (mg / l) Sepetmber 2004						
		Na	K	Ca	Mg	SO ₄	Cl ⁻	HCO ₃
1	Aw	21.71	3.15	11.6	7.13	17.87	11.19	81.74
13	RD	28.48	1.83	277.57	8.01	9.64	14.41	137.32
14	OW-13	72.74	3.58	43.99	28.9	81.5	11.56	310.61
15	CI-748	47.47	0.42	81.86	30.93	232.62	3.8	176.56
16	Ac	17.59	4.02	6.67	1.4	8.27	1.22	58.85
17	Remb.	59.03	6.33	207.43	146.86	636.51	2.82	382.54
18	Bou	26.5	1.42	24.11	8.41	9.59	2.15	163.48
19	V-notch	59.92	1.39	104.92	73.39	363.24	3.36	163.48

Tabel 5: Data anion-kation Jatiluhur untuk bulan Oktober 2004

No.	Kode Contoh	DATA ANION - KATION (mg / l)						
		Oktober 2004						
		Na	K	Ca	Mg	SO ₄	Cl ⁻	HCO ₃
1	Aw	23.17	3.39	27.26	7.59	17.07	14.79	89.16
13	OW-13	14.62	3.39	114.7	45.45	223.222	7.3	181.15
14	CI-748	15.67	5.03	10.87	1	17.6	0.51	57.32
15	Ac	23.65	1.36	28.48	8.09	11.6	12.84	114.63
16	Remb	67.85	10.22	227.98	223.78	1060.54	1.42	292.95
17	Bou	42.89	0.28	94.11	27.27	207.16	2.66	143.29
18	V-nocth	59.53	1.55	118.25	14.49	563.94	2.35	184.68
19	OW-13	14.62	3.39	114.7	45.45	223.222	7.3	181.15

Tabel 6: Data Anion-kation Jatiluhur untuk bulan Nopember 2004

No.	Kode Contoh	DATA ANION - KATION (mg / l)						
		Nopember 2004						
		Na	K	Ca	Mg	SO ₄	Cl ⁻	HCO ₃
1	Aw	NA	NA	NA	NA	13.93	13.35	109.09
2	CI-748	NA	NA	NA	NA	15.38	1.06	73.79
3	Ac	NA	NA	NA	NA	12.99	12.66	173.26
4	Remb	NA	NA	NA	NA	766.23	0.16	266.31
5	Bou	NA	NA	NA	NA	207.59	2.12	150.8
6	V-nocth	NA	NA	NA	NA	490.63	2.67	247.06
7	OW-13	NA	NA	NA	NA	197.84	6.57	404.28

Tabel 7: Data Anion kation Jatiluhur untuk bulan Desember 2004

No.	Kode Contoh	DATA ANION - KATION (mg / l)						
		Desember 2004						
		Na	K	Ca	Mg	SO ₄	Cl ⁻	HCO ₃
1	Aw	NA	NA	NA	NA	12.16	13.12	96.62
2	CI-748	NA	NA	NA	NA	10.62	0.83	70.86
3	Ac	NA	NA	NA	NA	16.27	12.31	83.74
4	Remb	NA	NA	NA	NA	335.62	0.29	273.77
5	Bou	NA	NA	NA	NA	154.11	0.83	132.05
6	V-nocth	NA	NA	NA	NA	376.71	2.47	238.34
7	OW-13	NA	NA	NA	NA	99.32	6.43	225.46

Tabel 8: Data Kelimpahan relatif isotop oksigen-18 bendungan Jaliluhur 2004.

No.	Kode Contoh	Tahun 2004					
		Juli	Aug	Sept	Okt	Nop	Des
1	Aw	-5,32	-4.80	-5.65	-5.01	-4.11	-4.16
2	Ac	-5,96	-6,18	-4.84	-5.08	-6.14	-4.35
3	V-notch	-7,10	-7.54	-5.79	-5.79	-8.34	-6.0
4	RD	-5,98	-6.26	-4.34	-	-	-
5	Bou	-6,68	-7.63	-6.63	-5.92	-8.81	-5.93

5. KESIMPULAN

- Hasil analisis hidrokimia khususnya ion Cl^- dan juga kelimpahan relatif oksigen-18 menunjukkan bahwa sumber air Bouchon dan V-notch maupun rembesan yang terjadi di sebelah kiri bendungan tidak mempunyai hubungan langsung dengan air waduk.
- Sumber air V-Notch dan rembesan sebelah kiri bendungan diduga adalah air tanah yang masuk dari titik inletnya melalui alur *anticline* dalam formasi batuan yang mengandung kapur ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Hal ini juga diperkuat dengan tingginya kandungan SO_4 dan Ca dari contoh tersebut.
- Konsentrasi ion Cl^- dan kelimpahan relatif oksigen-18 dari air keluaran Acencer dan RD yang secara konsisten mendekati konsentrasi ion Cl^- air waduk menunjukkan adanya hubungan antara sumber air ini dengan air waduk. Hal ini juga dapat dilihat secara jelas dalam diagram Trilinear Piper, dimana kedua sumber ini selalu mengelompok dalam kelompok yang sama dengan air waduk.

DAFTAR PUSTAKA

1. P3TIR BATAN-PJT II, (2003), "Laporan Akhir: Penelitian Monitoring Sumber Air yang Berada di Sekitar Waduk Jatiluhur"
2. BEDMAR, A. P. and LUIS ARAGUAS, 2002. *Detection and Prevention of Leaks from Dams*, A.A. Balkema Publishers, Lisse.
3. DAGSTAN-BATAN, "Final Report: Study the origin of seepage/leakage water around Jatiluhur, Wlingi, and Ngancar Dams." Jakarta (1999).
4. DROST, W. and MOSER, H., 1983. "Leakage from lakes and Reservoirs", *Guide Book on Nuclear Techniques in Hydrology*, Technical Report Series No. 91, IAEA, Vienna.
5. 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.
6. FETTER, C. W., Applied Hydrogeology. Merrill Publishing Co., Columbus, Ohio (1988).