

---

## PENELITIAN POLA STRATIFIKASI AIR WADUK JATILUHUR DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK PERUNUT ISOTOP ALAM

Paston Sidauruk, Alip, dan Bungkus Pratikno  
Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi-BATAN

### ABSTRAK

**PENELITIAN POLA STRATIFIKASI AIR WADUK JATILUHUR DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK PERUNUT.** Penyelidikan pola stratifikasi waduk Jatiluhur telah dilakukan dengan menggunakan teknik perunut isotop alam yang ditunjang dengan parameter insitu seperti kadar oksigen terlarut dan suhu air waduk. Penelitian ini dilakukan dengan pengambilan contoh air pada kedalaman yang berbeda pada dua periode yaitu pada bulan Juli 2004 dan September 2004. Untuk setiap contoh yang diambil, pengukuran parameter suhu dan oksigen terlarut dilakukan secara insitu sedangkan analisis kelimpahan relatif Oksigen-18 dari contoh dilakukan di laboratorium PATIR-BATAN di Jakarta. Hasil penelitian baik dari isotop alam maupun parameter suhu dan oksigen terlarut menunjukkan adanya stratifikasi pada air waduk khususnya di daerah bagian tengah waduk yang kedalamannya > 16 m. Hal ini dapat dilihat dari besaran parameter suhu, oksigen terlarut dan kelimpahan relatif oksigen-18 dan variasinya sebagai fungsi kedalaman. Dari dua kali pengamatan yang dilakukan, besaran parameter yang diamati sebagai fungsi kedalaman menunjukkan pola yang sama yaitu terjadinya penurunan suhu, oksigen terlarut maupun kelimpahan relatif oksigen-18 dengan bertambahnya kedalaman. Namun karena keterbatasan alat pengambil contoh air yang digunakan dan waktu pengamatan, lapisan stratifikasi epilimnion, methalimnion, dan hypolimnion tidak dapat diidentifikasi secara jelas.

### ABSTRACT

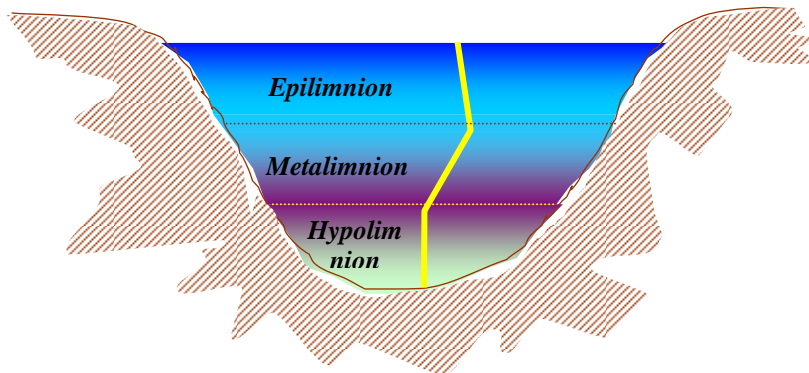
**STUDY OF THE STRATIFICATION PATTERN OF JATILUHUR RESERVOIR WATER USING NATURAL ISOTOPE TECHNIQUE.** Stratification pattern of Jatiluhur reservoir water has been conducted using natural isotopes technique and the accompanied insitu parameters, i.e., dissolved oxygen and temperature of reservoir water. The study was conducted by sampling of water from different depths for two periods of times which was in July and September 2004. For each collected sample, the parameters dissolved oxygen and temperature were measured insitu while the oxygen-18 content was analyzed in the Laboratory of PATIR-BATAN in Jakarta. The results show the existence of stratification in the reservoir especially in the middle part of the reservoir where the depth is generally > 16 m. This can identified clearly.

### PENDAHULUAN.

Bendungan Jatiluhur yang terletak hanya sekitar 80 km tenggara Jakarta adalah bendungan serbaguna yang diantaranya berfungsi sebagai penyediaan air minum,

irigasi, pembangkit listrik, rekreasi, peternakan ikan dan pengendalian banjir. Karena posisi bendungan yang sangat strategis dan perannya yang sangat penting, baik dari segi ekonomi, sosial dan lingkungan, 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. Stratifikasi dari suatu air waduk secara umum dapat terjadi dalam suatu badan air yang disebabkan karena air yang mempunyai suhu yang lebih tinggi berada diatas lapisan air yang bersuhu lebih rendah. Pada umumnya densitas air akan semakin tinggi jika suhunya semakin rendah. Densitas tertinggi air tercapai pada suhu sekitar  $3,9^{\circ}\text{C}$  dan kemudian densitas air akan menurun dengan turunnya suhu dengan demikian suhu  $3,9^{\circ}\text{C}$  ini biasa dikenal dengan anomali air. Densitas air yang lebih rendah yang terdapat di lapisan bagian atas badan air dibandingkan densitas air yang berada di lapisan bawahnya dapat menghambat terjadinya sirkulasi air secara vertical dan mendorong terjadinya stratifikasi. Umumnya lapisan stratifikasi dapat dibagi menjadi tiga yaitu lapisan epilimnion, metalimnion, dan hypolimnion seperti terlihat dalam Gambar -1 di bawah ini.



Gambar 1: Stratifikasi Air Danau

Lapisan metalimnion adalah lapisan paling atas dari lapisan yang terjadi dengan suhu relatif lebih tinggi dari kedua lapisan yang lain. Lapisan hypolimnion adalah lapisan paling bawah dengan suhu yang paling rendah sedangkan lapisan metalimnion adalah lapisan diantara lapisan epilimnion dan hypolimnion dengan suhu bervariasi sebagai fungsi kedalaman dengan batas atas sama dengan suhu pada lapisan

epilimnion dan suhu batas bawah adalah sama dengan suhu hypolimnion. Pola stratifikasi suatu badan air dapat diidentifikasi melalui ketebalan dan stabilitas ketiga lapisan epilimnion, metalimnion dan hypolimnion yang terjadi. Pola stratifikasi dari suatu air waduk sangat dipengaruhi oleh beberapa factor seperti: iklim, pola angin, kedalaman waduk, bentuk waduk, ukuran waduk, dan waktu tinggal (*residence time*) waduk. Pada umumnya pada daerah yang mempunyai musim dingin dan musim panas, stratifikasi hanya terjadi pada musim panas. Di samping itu, stratifikasi umumnya terjadi pada badan air yang mempunyai kedalaman di atas 5 m. Karena pada badan air yang mempunyai kedalaman kurang dari 4 m, tekanan angin secara umum cukup kuat untuk menimbulkan sirkulasi dalam badan air sehingga pencampuran secara vertikal dapat terjadi.

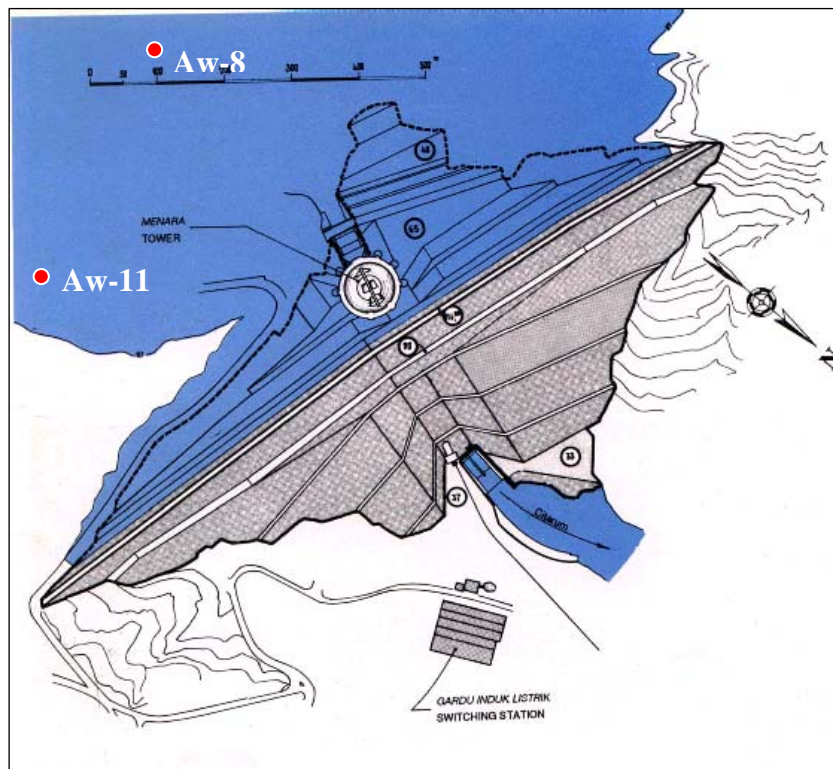
Pola dinamika air waduk khususnya pola stratifikasi adalah sangat penting untuk perencanaan pengelolaan kualitas air waduk, pengembangan perikanan, dan perkembangan phytoplankton. Karena stratifikasi menghambat sirkulasi secara vertikal antar lapisan maka jika stratifikasi terjadi pada suatu badan air banyak implikasi yang diakibatkannya seperti pada lapisan hypolimnion yang terdapat pada lapisan bagian bawah akan terisolasi dari proses pertukaran oksigen dengan udara dan fotosintesis. Dengan demikian lapisan hypolimnion adalah lapisan yang mengandung kadar oksigen terlarut yang sangat rendah bahkan mencapai nol (anoxic). Dengan kadar oksigen yang sangat rendah membatasi jumlah dan jenis ikan dan mahluk hidup lainnya yang dapat hidup dalam lapisan ini. Di samping itu, pada kadar oksigen terlarut yang sangat rendah memudahkan zat nutrisi yang berasal dari sediment air waduk seperti fosfor dan nitrogen terlarut dengan air waduk yang akan mempengaruhi kualitas air. Bahkan pada kondisi ini sulfur dalam bentuk hydrogen sulfida yang menimbulkan bau sangat menyengat dapat terjadi.

Dalam penelitian kali ini dilakukan penyelidikan pola stratifikasi air waduk Jatiluhur yang luasnya mencapai 83 km<sup>2</sup> dengan kedalaman pada daerah tertentu di atas 20 m menggunakan pendekatan kelimpahan relatif isotop stabil oksigen-18 dan parameter insitu lainnya seperti suhu, pH dan oksigen terlarut dari contoh air yang dikumpulkan dari beberapa lokasi dan pada beberapa kedalaman waduk.

## BAHAN DAN METODE

### 1. Pengambilan contoh

Pengambilan contoh air waduk dilakukan pada beberapa lokasi berbeda seperti terlihat dalam Gambar 2 di bawah ini. Untuk setiap lokasi, pengambilan contoh dilakukan dari kedalaman 2 m sampai dengan kedalaman 16 m dengan selang pengambilan adalah 2 m. Pemilihan lokasi pengambilan contoh air waduk dirancang sedemikian rupa sehingga dianggap dapat mewakili pola stratifikasi dalam air waduk.



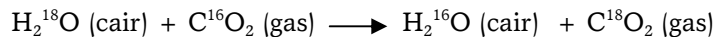
**Gambar 2:** Skema lokasi titik sampling air waduk

Pengambilan contoh air dilakukan dua periode yaitu pada bulan Juli 2004 dan bulan September 2004 pada dua lokasi yang berbeda, hal ini dilakukan untuk melihat pola stratifikasi sebagai fungsi waktu. Untuk setiap contoh yang dikumpulkan, pengukuran dilakukan secara insitu untuk semua parameter yang dimungkinkan

seperti suhu, konduktifitas, pH, dan oksigen terlarut. Contoh air yang dikumpulkan kemudian di bawa ke laboratorium Hidrologi dan Kimia, Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi-BATAN untuk dilakukan analisis kelimpahan relatif isotop alam dan hidrokimianya.

## 2. 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 CO<sub>2</sub> standar tersebut dialirkan ke isoprep-18 yang berisi gelas sampel selama 2 menit dan diikuti pengocokan selama 8 jam. Selama dalam pengocokan 8 jam tersebut reaksi kesetimbangan dan pertukaran isotop antara gas CO<sub>2</sub> dan sampel telah terjadi seperti reaksi di bawah ini:



Setelah terjadi kesetimbangan, secara otomatis gas CO<sub>2</sub> masuk ke dalam alat spektrometer massa untuk dianalisis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran parameter insitu maupun analisis kelimpahan relatif oksigen-18 disajikan pada Tabel 1 dan 2. Gambar 3a, 3b menyajikan variasi suhu sebagai fungsi kedalaman untuk 2 lokasi pengambilan contoh, sedangkan Gambar 4a, 4b menunjukkan variasi oksigen terlarut dan Gambar 5a, 5b menyajikan variasi kelimpahan relatif oksigen-18 sebagai fungsi kedalaman dari dua lokasi pengambilan contoh. Tabel 1 dan 2 maupun Gambar 3a, 3b, 4a, 4b, 5a, dan 5b menunjukkan kecenderungan penurunan parameter suhu, oksigen terlarut maupun kelimpahan relatif oksigen-18 pada contoh air yang lebih dalam. Dari tabel 1 dan 2 dapat dilihat bahwa suhu air berada pada kisaran 28 s/d 30°C, kandungan oksigen terlarut berada pada kisaran 12 s/d 1 ppm, dan kelimpahan relatif oksigen-18 berada pada kisaran -4 s/d -6.5 permil. Fenomena kecenderungan penurunan parameter suhu, kandungan oksigen terlarut maupun kelimpahan relatif oksigen-18 adalah suatu indikator

---

terjadinya stratifikasi dalam air waduk. Stratifikasi yaitu keberadaan lapisan air yang lebih hangat dipermukaan menghambat terjadinya sirkulasi karena berat jenis air yang hangat relatif lebih rendah dibandingkan dengan yang lebih dingin yang berada pada lapisan bawah. Karena perbedaan berat jenis pada lapisan air, maka dibutuhkan suatu tenaga yang cukup besar untuk membangkitkan sirkulasi secara vertikal dan angin sebagai sumber tenaga yang dominan tidak dapat mensuplai tenaga yang cukup yang berakibat terjadinya stratifikasi air waduk.

Dari tabel 1 dan 2 atau Gambar 4a, 4b dapat dilihat bahwa walaupun kecenderungan penurunan kelimpahan oksigen-18 terjadi sebagai fungsi kedalaman baik pada periode pengambilan contoh pada bulan Juli maupun September 2004, tetapi secara konsisten dapat juga dilihat bahwa kelimpahan relatif oksigen-18 pada periode pengambilan contoh pada bulan September 2004 menunjukkan kelimpahan yang lebih diperkaya (*enrich*). Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut karena antara bulan Juli dan September 2004 adalah puncak musim kemarau sehingga pemanasan yang terjadi terus-menerus pada permukaan air waduk mengakibatkan molekul air yang lebih ringan lebih cepat meninggalkan badan air yang mengakibatkan air akan mengalami pengayaan isotop yang lebih berat (*enrichment*) dalam periode waktu ini.

Dari hasil pengukuran oksigen terlarut pada kedalaman 16 m di bawah permukaan untuk dua lokasi dan dua periode pengambilan contoh yang mendekati angka 1 ppm menunjukkan kemungkinan pada kedalaman lebih dalam dari 16 m sudah terjadi suatu lapisan yang kandungan oksigen terlarutnya mencapai nol (anoxic). Hal ini juga diperkuat dari pengalaman penulis dan pelaksana penelitian lainnya selama pelaksanaan penelitian dilapangan yang mencium beberapa kali bau menyengat dari air keluaran di hilir bendungan. Hal ini menunjukkan adanya hydrogen sulfide yang terlarut dalam air yang juga sebagai pertanda adanya zona anoxic di suatu kedalaman di waduk.

Dari Gambar 3a, dan 3b dapat dilihat penurunan suhu yang sangat tajam antara kedalaman 2 m dan 4m. Hal yang sama juga dapat diamati dari Gambar 4a, dan 4b dimana terjadi penurunan kandungan oksigen terlarut yang sangat tajam. Fenomena ini boleh saja sebagai suatu pertanda antara kedalaman ini terdapat zona metalimnion antara kedalaman ini. Hal ini masih perlu dipelajari secara lebih mendalam pada penelitian berikutnya yang masih akan dilanjutkan dengan merapatkan interval pengambilan contoh air sebagai fungsi kedalaman.

Dari Tabel 1 dan 2 khususnya pada kolom oksigen terlarut dapat dilihat kisaran kandungan oksigen terlarut yang sangat besar dimana secara umum kandungan oksigen terlarut > 5 ppm secara umum terdapat pada kedalaman 0 - 5 m dari permukaan. Mengacu pada besaran ini, secara umum lapisan inilah yang bisa dikembangkan untuk pengembangan perikanan air tawar. Disamping itu hadirnya lapisan anoxic di suatu kedalaman air waduk sangat penting diperhatikan supaya jangan terjadi kebocoran dari lapisan yang anoxic menuju permukaan. Kebocoran seperti ini dapat terjadi jika penurunan suhu terjadi secara tiba-tiba pada permukaan dan kebocoran demikian sangat berbahaya pada kehidupan air yang umumnya terdapat pada lapisan atas air waduk.

Tabel 1 : Parameter air waduk secara insitu dan Oksigen-18 bulan Juli 2004.

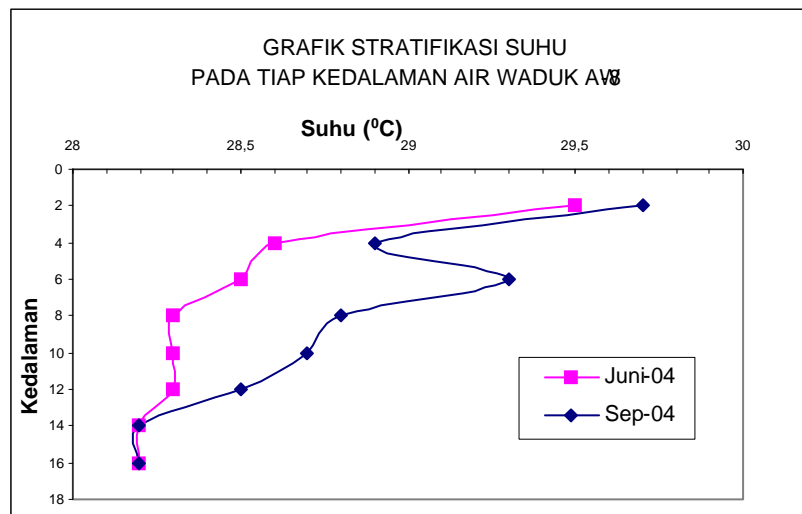
No.	Kode	KOORDINAT		Ke- dalam (m)	Oksigen terlarut (ppm)	T (°C)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
	Contoh	East	South				
1	AW-8	107° 21' 16"	6° 31' 46"	2,00	12,38	29,5	-5,51
				4,00	7,12	28,6	-5,18
				6,00	4,84	28,5	-5,48
				8,00	4,58	28,3	-5,67
				10,00	2,89	28,3	-5,82
				12,00	2,29	28,3	-6,01
				14,00	2,10	28,2	-6,33
				16,00	1,89	28,2	-6,36
2	AW-11	107° 21' 41"	6° 32' 01"	2,00	10,58	30,1	-5,28
				4,00	6,33	28,6	-5,37
				6,00	4,61	28,5	-5,43
				8,00	4,25	28,5	-5,73
				10,00	2,96	28,5	-5,78
				12,00	3,10	28,5	-5,86
				14,00	2,58	28,3	-5,84
				16,00	1,74	28,2	-6,61

*AW = Air Waduk*

Tabel 2: Parameter air waduk secara insitu dan Oksigen-18 bulan September 2004.

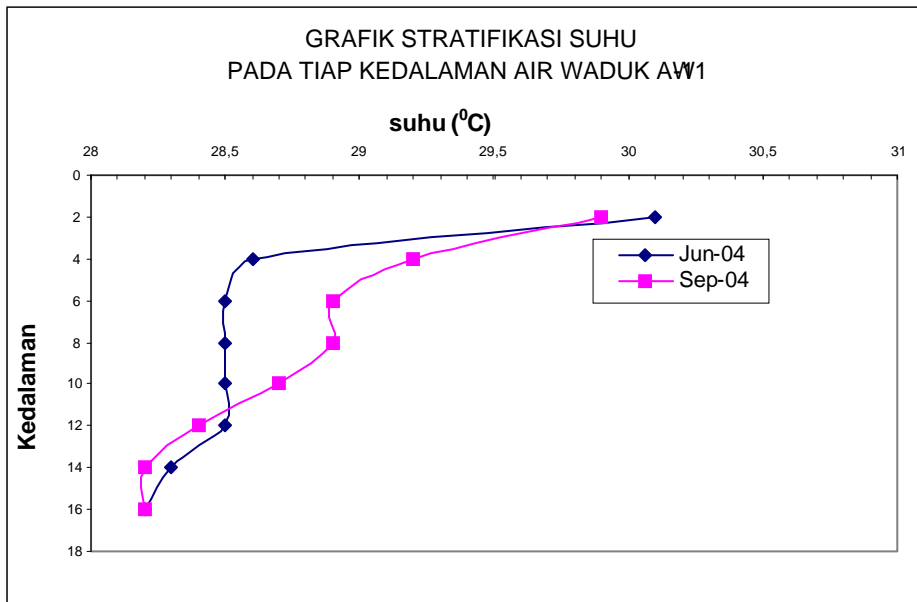
No.	Kode Contoh	KOORDINAT		Ke- dalam (m)	Oksigen terlarut (ppm)	pH	Temp. (o C)	Cond ( S)	<sup>18</sup> O (‰)
		East	South						
1	AW-8	107°20' 32"	6° 30' 40"	2.00	7,4	5,75	29,7	276	-3.70
				4.00	6,6	5,71	28,9	280	-3.78
				6.00	6,8	5,83	29,3	277	-3.82
				8.00	6,3	5,71	28,8	277	-4.12
				10.00	6,19	5,71	28,7	264	-4.61
				12.00	5,19	5,53	28,5	275	-5.08
				14.00	4,0	5,45	28,2	289	-5.17
				16.00	3,6	5,65	28,2	289	-6.78
2	AW-11	107°21' 23"	6° 31' 27"	2.00	9,1	5,72	29,9	272	-4.63
				4.00	7,15	5,60	29,2	277	-4.67
				6.00	6,6	5,65	28,9	277	-4.72
				8.00	6,2	5,65	28,9	278	-4.84
				10.00	6,1	5,59	28,7	281	-5.01
				12.00	4,3	5,42	28,4	292	-5.11
				14.00	3,7	5,48	28,2	290	-5.56
				16.00	3,6	5,83	28,2	297	-5.81

AW = Air Waduk

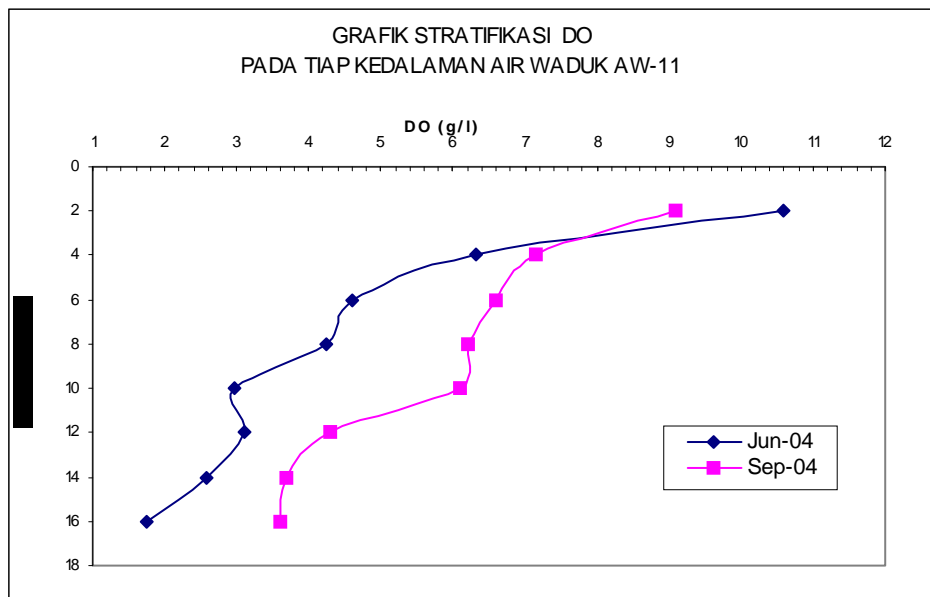


Gambar 3a : Grafik Stratifikasi Suhu Air Waduk Jatiluhur AW-8

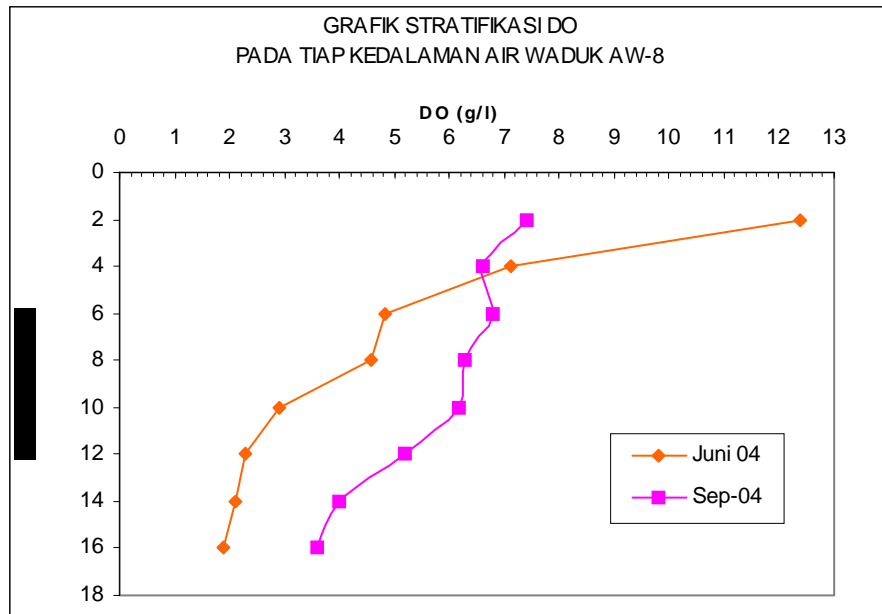




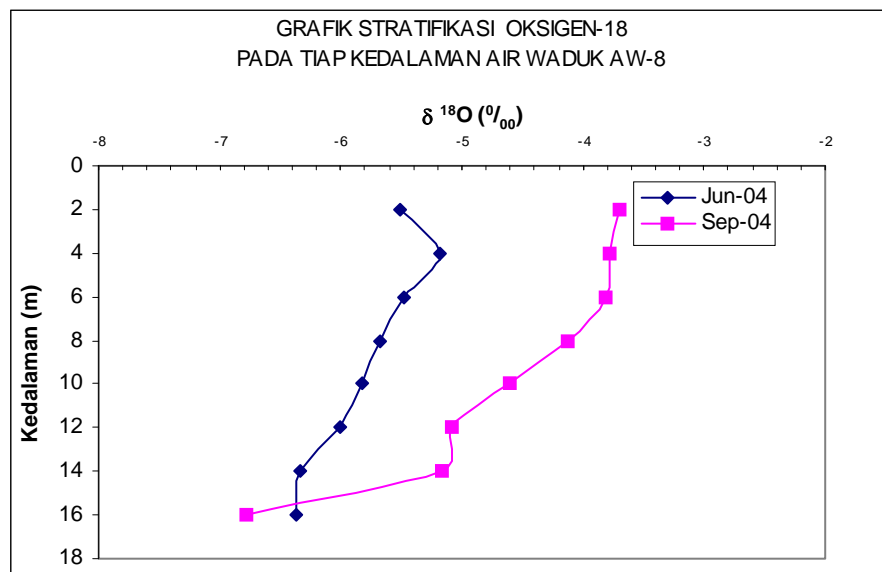
Gambar 3b : Grafik Stratifikasi Suhu Air Waduk Jatiluhur AW-8



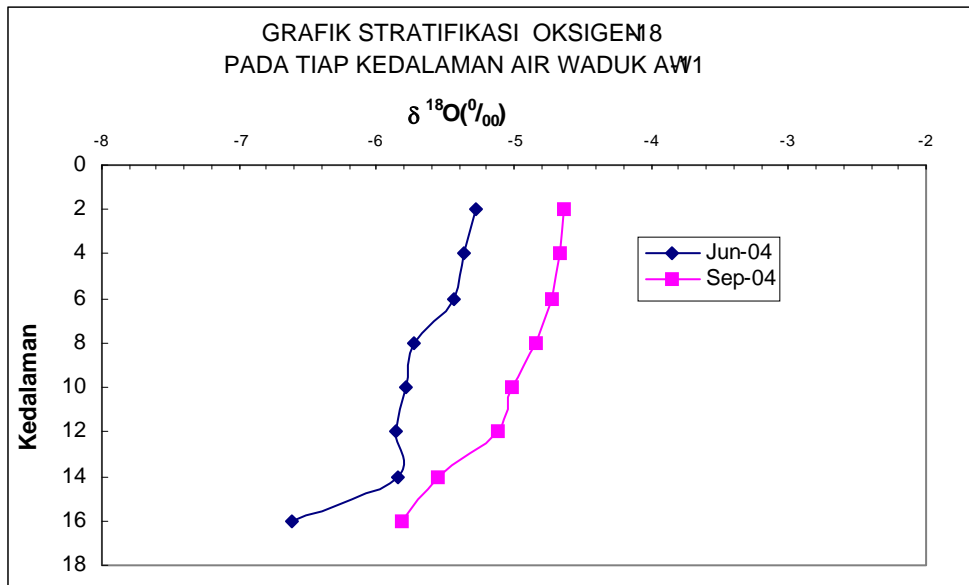
Gambar 4a : Grafik Stratifikasi Suhu Air Waduk Jatiluhur AW-11



Gambar 4b : Grafik Stratifikasi Suhu Air Waduk Jatiluhur AW-8



Gambar 5a : Grafik Stratifikasi Suhu Air Waduk Jatiluhur AW-8



Gambar 5b : Grafik Stratifikasi Suhu Air Waduk Jatiluhur AW-11

## KESIMPULAN

- Hasil analisis parameter suhu (T) dan kandungan oksigen terlarut (DO), dan kelimpahan relatif oksigen-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) sebagai fungsi kedalaman pada dua lokasi pengambilan contoh air dan pada dua periode pengambilan contoh menunjukkan bahwa air waduk Jatiluhur telah mengalami proses stratifikasi. Hal ini disimpulkan dari kecenderungan penurunan dari parameter yang diamati (T, DO,  $\delta^{18}\text{O}$ ) sebagai fungsi kedalaman.
- Dari hasil ekstrapolasi analisis dan pengukuran yang dilakukan khususnya parameter oksigen terlarut sampai dengan kedalaman 16 m dari permukaan air, diduga telah terdapat suatu lapisan anoxic (eutrophication) pada suatu kedalaman >16 m dari permukaan. Hal ini juga diperkuat bau menyengat yang dikeluarkan oleh air keluaran di hilir waduk khususnya pada saat tinggi muka air waduk sedang surut.
- Dari hasil analisis parameter suhu dan oksigen terlarut, terjadi penurunan yang sangat tajam dari kedua parameter ini sebagai fungsi kedalaman antara kedalaman 2 - 4 m dari permukaan air. Hal ini dapat diyakini sebagai indikasi bahwa lapisan metalimnion berada pada kisaran kedalaman 2 - 4 m dari permukaan air waduk.

---

Hal ini masih harus diselidiki lebih lanjut untuk menyelidiki kestabilan pola stratifikasi ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. 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).
2. P3TIR BATAN-PJT II, "Laporan Akhir: Penelitian Monitoring Sumber Air yang Berada di Sekitar Waduk Jatiluhur", Jakarta, (2003).
3. BEDMAR, A. P. and LUIS ARAGUAS, *Detection and Prevention of Leaks from Dams*, A.A. Balkema Publishers, Lisse, (2002).
4. HART, T. H., WENDY VAN DOK, dan NANI DJUANGSIH, "Nutrient Budget For Saguling Reservoir, West Java, Indonesia." *Water Resrearch*, 36, (2002) 2152-2160.
5. DAGSTAN-BATAN, "Final Report: Study the origin of seepage/leakage water around Jatiluhur, Wlingi, and Ngancar Dams." Jakarta, (1999).
6. 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.
7. FETTER, C. W., *Applied Hydrogeology*. Merrill Publishing Co., Columbus, Ohio(1988).