

P3TIR/S.002 /2003

PENANGGALAN AIR TANAH MUDA  
MENGUNAKAN METODA  
CHLOROFLOUROCARBON (CFC)

E. Ristin Pujiindyaati

# **PENANGGALAN AIR TANAH MUDA MENGGUNAKAN METODA CHLOROFLOUROCARBON (CFC)**

E. Ristin Pujiindiyati

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi

## **ABSTRAK**

**PENANGGALAN AIR TANAH MUDA MENGGUNAKAN METODA CHLOROFLOUROCARBON (CFC).** Chloroflourocarbon (CFC) dapat digunakan untuk menentukan umur air tanah muda atau air tanah dangkal. Untuk daerah tropis seperti Indonesia dan belahan bumi selatan CFC dapat menggantikan fungsi tritium yang umumnya konsentrasinya sangat rendah (0-3 TU). CFC dilepaskan ke atmosfer dari kegiatan industri dan rumah tangga sejak tahun 1930 dan konsentrasinya di atmosfer semakin meningkat hingga 600 pptv pada tahun 2000. Senyawa ini banyak dijumpai pada sistem pendingin dan wadah deodoran bertekanan. Dikenal tiga senyawa CFC yakni CFC-12, CFC-11 dan CFC-113. CFC-113 mulai terdeteksi di atmosfer tahun 1970. CFC di atmosfer akan jatuh bersama dengan hujan dan akan mengikuti sistem aliran air tanah. Penentuan umur air tanah dengan CFC didasarkan pada pengeplotan konsentrasi CFC air tanah pada grafik standar konsentrasi ketiga senyawa mulai tahun 1940 hingga 2000. Apabila terjadi perbedaan titik berdasarkan grafik CFC-12 atau CFC-11 dengan CFC-113 maka kemungkinan adanya percampuran antara air tua dan air muda. CFC dapat juga digunakan untuk menentukan arah dan kecepatan alir air tanah, laju pergerakan ke bawah air tanah, lokasi sumur aman untuk sumber air minum dan kebocoran air tanah dalam oleh air tanah dangkal atau air permukaan yang umumnya telah tercemar.

## **ABSTRACT**

**YOUNG GROUNDWATER DATING USING CHLOROFLUOROCARBON (CFC) METHOD.** Chlorofluorocarbon (CFC) can be used as a tool for determination of young or shallow groundwater age. For tropical countries like Indonesia and southern hemisphere, CFC can replace tritium for groundwater dating which mostly has very low value (0-3 TU). Since in the year 1930, CFC has been released from industrial and domestic activities to atmosphere. The concentration increases year to year and reached to 600 pptv in the year 2000. CFC can be found in our daily activities such as in refrigerator, air conditioning and pressurized deodorant containers. There are three CFC compounds namely CFC-12, CFC-11 and CFC-113, later was detected in the atmosphere in the year 1970. CFC released to atmosphere is concentrated in precipitation, dissolved in rainwater and finally will follow to groundwater flow system. Dating of groundwater is based on plotting of three kinds of CFC concentration in groundwater sample to reference graphic of CFC concentration starting the year 1940-2000. There are possibilities that concentration of three kinds CFC will be different, it shows that the mixing between old and young groundwater is taking place. Besides for dating of groundwater, CFC can also be applied for other hydrological purposes such as tracing flow direction and velocity of groundwater, estimating downward movement of water recharge, identifying "secure" drinking water sources and recognizing leakage of shallow or surface water commonly polluted into water supply wells.

## PENDAHULUAN

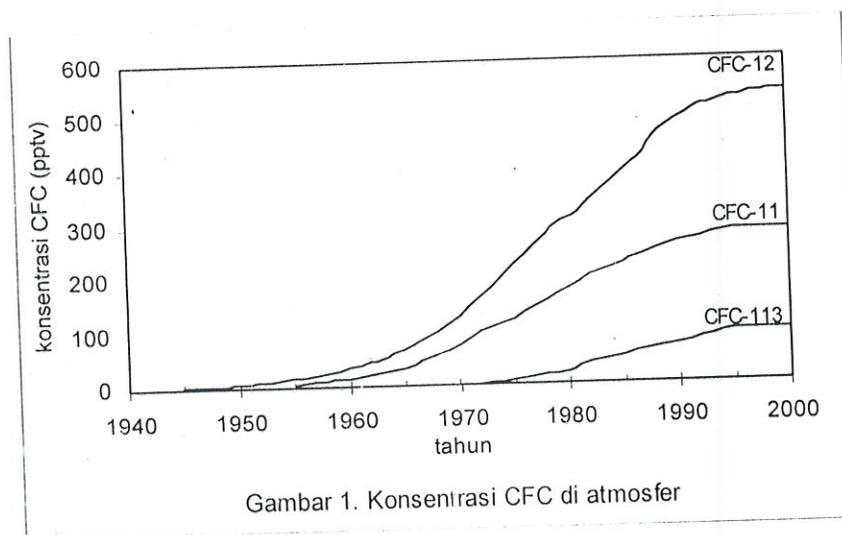
Penanggalan atau penentuan air tanah adalah salah satu parameter yang penting dalam ilmu hidrologi. Pada umumnya penanggalan air tanah dimulai pada saat air presipitasi (air hujan, salju) mengisi pori-pori tanah atau recharge hingga air tersebut disampling. Untuk maksud tersebut dapat digunakan metode perunut isotop lingkungan. Pada mulanya untuk menentukan umur air tanah digunakan parameter tritium (H-3) untuk air tanah muda atau air tanah dangkal dan carbon-14 untuk air tanah tua atau air tanah dalam.

Penggunaan perunut lingkungan seperti tritium untuk penanggalan masih sangat berguna untuk daerah di hemisfer utara seperti negara Eropa. Penggunaan tritium dimulai setelah percobaan bom hidrogen pada tahun 1952 dan mencapai konsentrasi maksimum hingga 6000 TU pada pengamatan 1962-1963. Kemudian konsentrasi menurun mencapai 10-20 TU setelah tahun 1990. Konsentrasinya mencapai maksimum pada musim semi dan panas dan minimum pada musim gugur dan dingin. Tritium sebagai perunut memiliki kelemahan yaitu untuk daerah atmosfer tropis seperti di Indonesia, konsentrasinya lebih rendah yakni rata-rata 0-3 TU dan tidak menunjukkan fluktuasi yang berarti untuk perbedaan musim. Untuk hemisfer selatan, konsentrasi tritiumnya bahkan sangat lebih rendah atau bahkan tak nampak. Hal ini tentu sangat menyulitkan bahkan tidak mungkin untuk maksud penanggalan dan apabila dilakukan analisis diperlukan sensitifitas alat dan ketelitian yang sangat tinggi. Karena kesulitan tersebut sistem penanggalan air tanah muda dengan menggunakan tritium telah ditinggalkan oleh daerah di hemisfer selatan seperti Australia. Sedangkan di Indonesia, yakni di laboratorium Hidrologi-P3TIR-BATAN metode tritium masih digunakan. Salah satu metode yang telah dikembangkan dan menjadi analisis rutin di Australia dan laboratorium hidrologi IAEA adalah perunut lingkungan senyawa chlorofluorocarbon (CFC) atau yang lebih dikenal awam sebagai freon. CFC mulai digunakan sebagai perunut dalam bidang hidrologi pada tahun 1970-an yakni untuk mempelajari proses pencampuran air laut dan air tanah.

## SENYAWA CFC

CFC merupakan senyawa sintetik yang diproduksi secara komersial pada awal tahun 1930. CFC bersifat tak mudah terbakar, larut dalam air, tak korosif dan tingkat peracunannya rendah. CFC mempunyai tiga senyawa yakni CFC-11 dengan formula molekul  $\text{CCl}_3\text{F}$  atau trichlorofluoromethane, CFC-12 dengan formula molekul  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  atau

dichlorodifluoro-methane dan CFC-113 dengan formula molekul  $C_2Cl_3F_3$  atau tri chlorotrifluoromethane. Dari ketiga senyawa tersebut CFC-12 lebih banyak digunakan oleh industri diikuti CFC-11 dan CFC-113. Sehingga konsentrasi CFC yang terlepas ke atmosfer lebih besar pada CFC-12 daripada CFC-11 dan CFC-113. CFC-12 mulai terdeteksi keberadaannya di atmosfer pada tahun 1945, CFC-11 pada tahun 1955 dan CFC-113 pada tahun 1970. Ketiga senyawa tersebut secara luas digunakan di industri sebagai pelarut dan aerosol. Pada kehidupan sehari-hari, CFC ini banyak dijumpai dalam produk rumah tangga sebagai pembersih, sistem pendingin misalnya lemari es dan pendingin ruangan, dan produk kecantikan seperti busa pengembang rambut (foam blowing).



Senyawa CFC tersebut akan terlepas ke atmosfer dan terkonsentrasi pada presipitasi dan akan turun sebagai hujan atau salju. Karena sifatnya yang mudah larut dalam air, senyawa ini akan mengikuti siklus hidrologi. CFC akan memasuki sistem air tanah seperti halnya gas-gas lain yakni bersama-sama dengan air ikut menginfiltrasi ke dalam tanah. Pada umumnya zat-zat tersebut terlarut dalam air dengan konsentrasi yang sangat rendah.

Konsentrasi CFC dalam air tanah tergantung pada konsentrasi pelepasannya ke atmosfer yakni banyaknya penggunaan dalam industri. Seperti terlihat pada gambar 1, konsentrasi CFC di atmosfer mengalami peningkatan sejak tahun 1950 hingga saat ini. Konsentrasi CFC-12 di atmosfer adalah yang paling besar dengan konsentrasi pada tahun 2000-an mencapai 600 pptv (atau  $10^{-12}$  bagian per liter volume).

Pada saat ini CFC telah banyak digunakan di berbagai negara untuk penanggalan air tanah muda dengan skala waktu dari 50 tahun yang lalu. Selain sebagai perunut umur, CFC juga dapat diterapkan untuk memperkirakan sifat-sifat percampuran air tanah dan sebagai pengkalibrasian model aliran air tanah. Aplikasi CFC dalam studi air tanah akan melengkapi dan memperluas penggunaan beberapa perunut lingkungan dalam ilmu hidrologi disamping penggunaan beberapa perunut lain seperti tritium/helium-3, Krypton-85 dan sulfur hexafluoride (SF6)

### ASUMSI CFC UNTUK PENANGGALAN AIR TANAH

Dalam penanggalan air tanah dengan menggunakan perunut lingkungan CFC diperlukan beberapa asumsi untuk menyatakan umur yang sesungguhnya. Asumsi tersebut ialah:

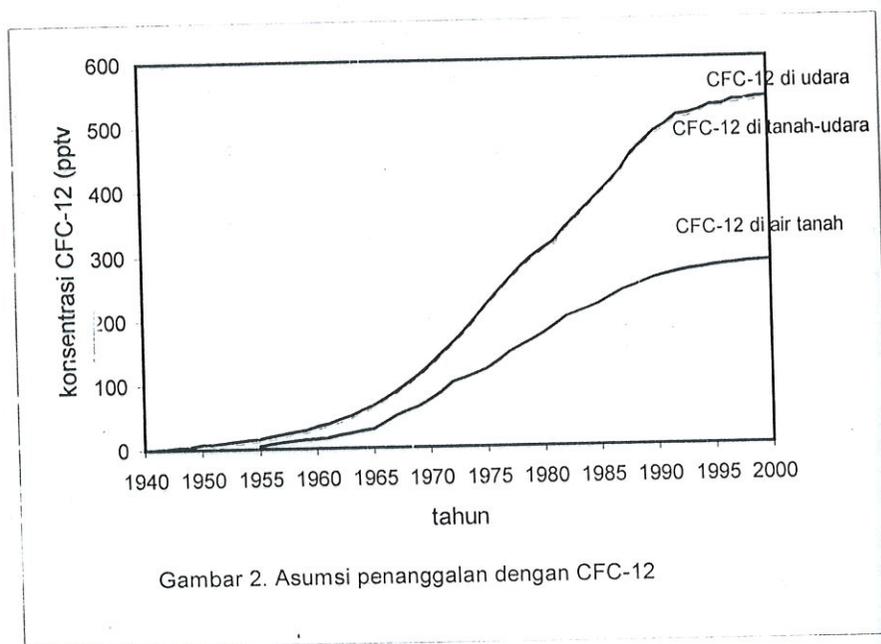
Asumsi 1. yakni sejarah lokal tentang komposisi CFC di udara diketahui.

Asumsi 2. yakni komposisi CFC untuk daerah tak jenuh-udara adalah mirip dengan komposisinya di atmosfer.

Asumsi 3. yakni komposisi CFC dalam contoh air berada dalam kesetimbangan pelarutan dengan daerah tak jenuh pada saat air tersebut mengisi (recharge).

Konsentrasi CFC dalam air =  $K \times$  (tekanan parsial CFC dalam udara)

K adalah konduktivitas hidrolis dalam hukum Darcy.



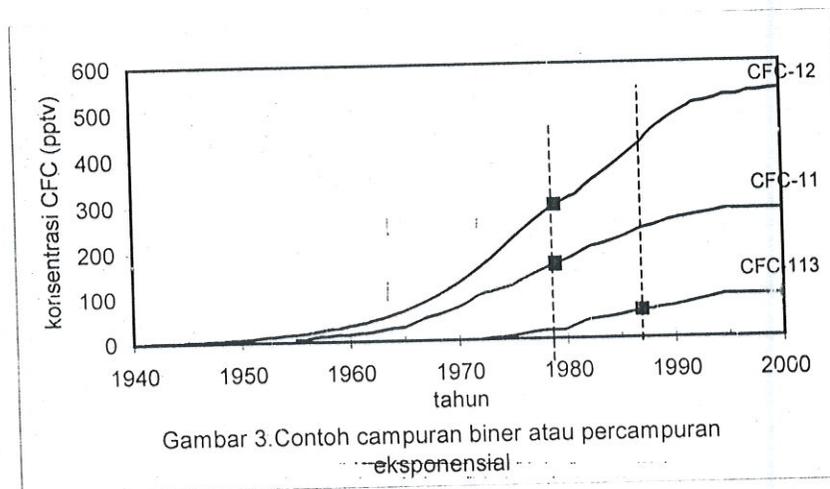
Karena semua gas terlarut adalah sebagai fungsi suhu, tekanan dan konsentrasi zat terlarut maka adalah penting untuk mengestimasi suhu, tekanan, salinitas selama terjadi recharge. Waktu recharge kemudian ditentukan dengan perbandingan tekanan parsial CFC terhitung dalam kesetimbangan pelarutan dengan contoh air terhadap sejarah lokal konsentrasi CFC dalam udara.

### **PENETAPAN "JAM"**

Untuk perunut tritium, "jam" ditetapkan pada saat air menginfiltrasi sehingga umur air tanah akan meliputi juga waktu perjalanan tritium pada daerah jenuh. Sedangkan untuk CFC, "jam" ditetapkan setelah pengisian (recharge) cukup untuk mengisolasi air dari tanah-udara. Umur air tanah tidak meliputi waktu perjalanan pada daerah tak jenuh. Hal ini disebabkan CFC dalam air yang menginfiltrasi dapat mengalami pertukaran dengan CFC dalam daerah tak jenuh selama recharge.

### **Identifikasi keberadaan fraksi "air muda" dalam "air tua"**

Indikasi kualitatif adanya percampuran biner antara air muda (air yang mengandung CFC) dengan air tua (air yang bebas CFC) adalah adanya perbedaan umur nyata yang didasarkan pada konsentrasi CFC-11 dan CFC-12 dengan yang didasarkan pada konsentrasi CFC-113, seperti terlihat pada gambar 3.

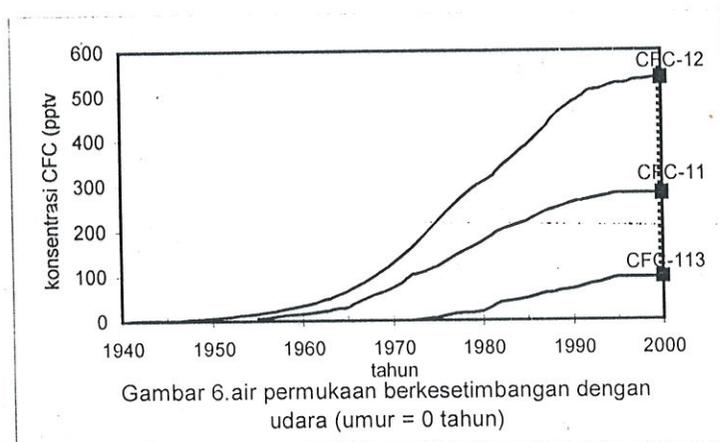
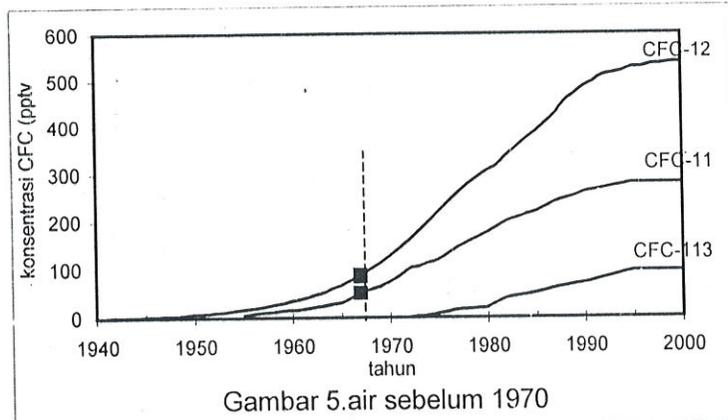
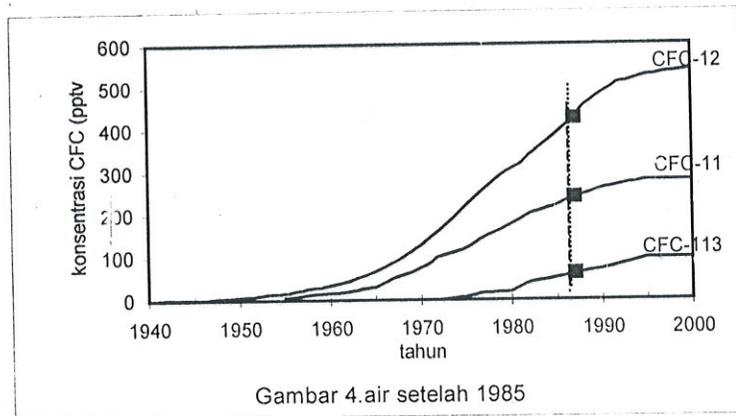


Pada contoh campuran biner sederhana, umumnya umur nyata berdasarkan konsentrasi CFC-113 menjadi lebih muda 3-5 tahun daripada berdasarkan pada konsentrasi CFC-11 dan CFC-12. Tiap-tiap campuran, rasio (CFC-11/CFC-12, CFC-113/CFC-12 dan

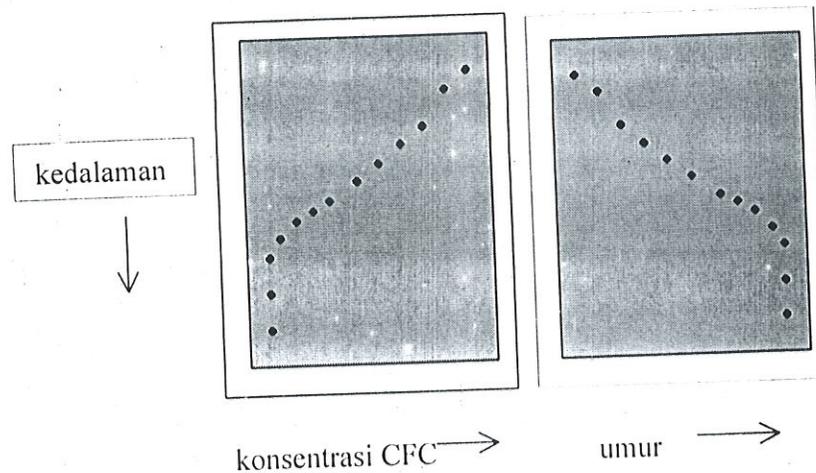
CFC-113/CFC-11) cenderung tetap atau terawetkan di dalam air tanah sehingga membentuk fraksi air tanah tertentu.

Umur dari fraksi air tanah muda ditentukan berdasarkan perbandingan tiap-tiap senyawa CFC sedangkan fraksi percampuran dihitung dari konsentrasi CFC terukur dan konsentrasi yang diharapkan.

Beberapa contoh interpretasi data CFC untuk penanggalan umur air tanah muda seperti terlihat pada gambar 4,5, dan 6.



sehingga membentuk lapisan-lapisan air tanah dengan umur yang berturutan. Pengaruh kedalaman air tanah dan konsentrasi CFC terhadap umur air tanah lebih jelas terlihat pada gambar 9.



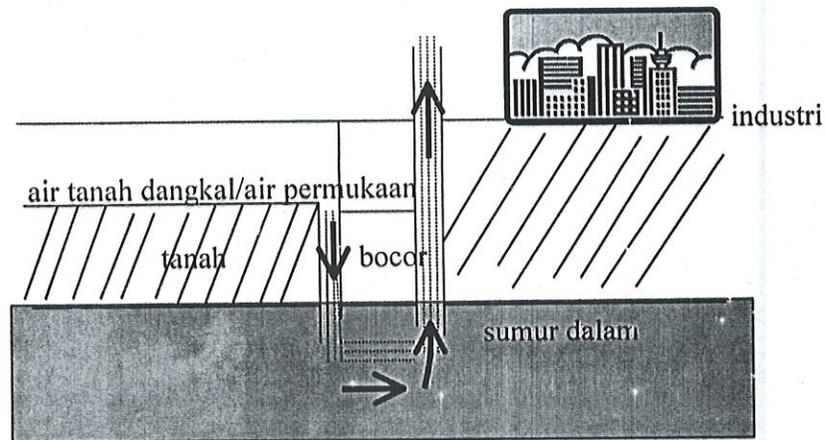
Gambar 9. Pengaruh kedalaman dan konsentrasi CFC terhadap umur air tanah.

Jika umur air tanah diukur pada beberapa lapisan diskrit maka dimungkinkan untuk menghitung laju recharge air tanah. Pada prakteknya, pengambilan air tanah dilakukan pada berbagai kedalaman kemudian kecepatan air tanah vertikal dapat langsung ditentukan dari gradien umur air tanah. Kecepatan recharge air ke dalam aquifer dapat ditentukan dari data ini dengan menggunakan rumusan pada persamaan 1.

### 3. Untuk identifikasi sumur air minum yang aman (secure drinking water) dan menemukan kebocoran air tanah dangkal ke dalam sumur penyedia air minum.

Pada umumnya sumur dalam dikelola sebagai penyedia air minum (atau sumur discharge) karena dianggap aman setelah melalui beberapa penyaringan dalam sistem tanah. Pencemaran air tanah dalam dari kontaminasi air tanah dangkal ataupun air permukaan tidak dikehendaki. Di daerah urban, air tanah dangkal dan air permukaan umumnya telah terkontaminasi baik oleh karena limbah industri ataupun rumah tangga. Senyawa CFC dapat berperan untuk mendeteksi adanya fraksi air muda atau air tanah modern di dalam sumur discharge tersebut dan dapat juga digunakan sebagai parameter untuk menilai kelayakan suatu sumur yang digunakan sebagai penyedia air minum dari kontaminasi sumber air tanah dangkal. Adanya fraksi air modern ditandai dengan konsentrasi CFC-113 lebih besar dari CFC-12 ataupun CFC-11, misalnya CFC-113

sebesar 0,3 %, CFC-11 sebesar 0,04%, CFC-12 sebesar 0,08%. Proses kebocoran ini dapat dilihat seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Skema kontaminasi CFC ke dalam sumur penyedia air minum.

## KESIMPULAN

Senyawa CFC dilepaskan ke atmosfer dari aktivitas industri dan beberapa produk rumah tangga seperti sistem pendingin. Senyawa CFC mulai digunakan tahun 1930 dan konsentrasinya meningkat hingga mencapai 600 pptv pada tahun 2000. Karena sifatnya yang mudah larut dalam air maka CFC mengikuti sistem hidrologi. Beberapa penggunaan CFC dalam bidang hidrologi adalah sebagai parameter untuk menentukan umur (*dating*) air tanah muda, menentukan arah dan kecepatan aliran, estimasi pergerakan air tanah, identifikasi sumber air minum yang aman dan kebocoran air tanah dangkal ke dalam air tanah dalam. Oleh IAEA (International Atomic Energy Agency) senyawa CFC telah dikembangkan untuk *dating* air tanah muda bersama-sama dengan perunut yang lain seperti tritium. Penggunaan CFC untuk *dating* air tanah muda semakin sangat berarti untuk daerah di hemisfer selatan seperti di Indonesia karena konsentrasi tritium di daerah ini tidak tampak atau sangat kecil. Selama ini CFC belum diterapkan di laboratorium Hidrologi-P3TIR-BATAN dan masih menggunakan tritium untuk *dating* air tanah muda. Mengingat pentingnya parameter ini, disarankan agar alat preparasi dan gas kromatografi sebagai alat ukurnya dapat dipasang di laboratorium Hidrologi-P3TIR-BATAN.

## DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA, Guidebook on the of chlorofluorocarbons in Hydrology, edisi 2003, Vienna.
2. IAN CLARK AND PETER FRITZ, Environmental isotopes in Hydrogeology, Lewis publishers, Boca-Ratan-New York (1997).
3. MARKUS HOFER and DIETER, Simultaneous Determination of CFC-11, CFC-12, N<sub>2</sub>, and Ar in water, Anal. Chem. vol 70 (1998).
4. NUR OZYURT M and SERDAR BAYARI C, Validity of chlorofluorocarbons (CFCs) as an Age dating tool in karstic aquifers, Taurids-Southern Turkey , Bull. of Earthsciences Research Center, Hacettepe University (1988).