

PAIR/P.251/1987

PENGARUH PROSES PENGUAPAN TERHADAP
PERBANDINGAN MOLEKUL $\text{HDO}/\text{H}_2^{16}\text{O}$
DAN $\text{H}_2^{18}\text{O}/\text{H}_2^{16}\text{O}$ DALAM AIR

Paston Sidauruk, Wandowo,
Z. Abidin, dan Indroyono

K.P. 608

PAIR / P. 251 / (198)

PENGARUH PROSES PENGUAPAN TERHADAP PERBANDINGAN MOLEKUL HDO/H₂¹⁶O DAN H₂¹⁸O/H₂¹⁶O DALAM AIR

Paston Sidauruk*, Wandowo*, Zainal Abidin*, dan Indroyono*

ABSTRAK

PENGARUH PROSES PENGUAPAN TERHADAP PERBANDINGAN MOLEKUL HDO/H₂¹⁶O DAN H₂¹⁸O/H₂¹⁶O DALAM AIR. Perbedaan massa molekul-molekul air menyebabkan perbedaan sifat fisis molekul-molekul tersebut. Molekul yang lebih ringan mempunyai kemampuan untuk menguap yang lebih besar daripada molekul-molekul yang lebih berat. Dengan demikian, rasio isotop (HDO/H₂¹⁶O atau H₂¹⁸O/H₂¹⁶O) sampel air yang tinggal tidak sama sebelum dan sesudah penguapan. Rasio isotop sampel air yang tinggal sesudah penguapan sangat tergantung pada suhu dan kelembapan relatif udara selama penelitian. Penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan besar faktor m pada suhu dan kelembapan relatif tertentu.

ABSTRACT

INFLUENCE OF EVAPORATION PROCESSES ON MOLECULE RATIO HDO/H₂¹⁶O AND H₂¹⁸O/H₂¹⁶O IN WATER. The different mass of water makes the difference in physical property. Light molecule (H₂¹⁶O) evaporates faster than heavy molecule (HDO or H₂¹⁸O). Accordingly, isotope ratio of sample (HDO/H₂¹⁶O or H₂¹⁸O/H₂¹⁶O) after evaporation doesn't same as before. Temperature and relative humidity of the air around the sample will influence the isotope ratio of remaining water sample after evaporation. The aim of these experiments is to point out the effect of temperature and relative humidity of the air around the sample to m factor.

PENDAHULUAN

Air di alam terdiri atas senyawa-senyawa isotop hidrogen dengan oksigen. Molekul-molekul air tersebut mempunyai sifat fisis yang berbeda disebabkan perbedaan berat molekul. Karena perbedaan berat molekul ini, maka kecepatan masing-masing molekul untuk menguap tidak sama. Molekul yang bobotnya lebih ringan mempunyai kemungkinan lebih besar untuk menguap dibandingkan dengan molekul yang lebih berat. Dengan demikian, apabila sampel air mengalami proses penguapan akan terjadi perubahan dalam komposisi molekulnya.

Dalam penelitian-penelitian di bidang hidrologi tidak mungkin mengamati molekul-molekul air secara keselu-

ruhan. Biasanya cukup diamati molekul-molekul yang mempunyai kelimpahan paling besar. Maka dalam penelitian-penelitian di bidang hidrologi, molekul air yang diambil sebagai tracer adalah : H₂¹⁶O, (HD¹⁶O), H₂¹⁸O karena molekul-molekul inilah yang mempunyai kelimpahan paling besar dalam air.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses penguapan terhadap komposisi molekul air yang tinggal pada sampel yang mengalami penguapan. Karena berat molekul H₂¹⁶O lebih ringan dari molekul HDO maupun H₂¹⁸O, maka apabila air mengalami proses penguapan akan terjadi pengayaan molekul HDO maupun H₂¹⁸O relatif terhadap molekul H₂¹⁶O dalam sampel air yang tinggal. Pengayaan molekul HDO rela-

*Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

tif terhadap molekul $H_2^{16}O$ disebut pengayaan deuterium. Pengayaan molekul $H_2^{18}O$ relatif terhadap molekul $H_2^{16}O$ disebut dengan pengayaan oksigen-18. Pengayaan deuterium dan pengayaan oksigen-18 adalah sebanding.

Karena proses penguapan dipengaruhi oleh suhu dan kelembapan relatif udara, maka penelitian juga bertujuan untuk meneliti pengaruh suhu dan kelembapan terhadap pengayaan deuterium dan pengayaan oksigen-18 maupun terhadap faktor m. Faktor m adalah suatu besaran yang sangat penting yang dapat memberikan hubungan antara komposisi isotop (δ) dengan fraksi air yang tinggal.

TEORIDASAR

Komposisi isotop air disajikan dalam bentuk harga selisih relatif (δ) dengan suatu referensi tertentu. Harga selisih relatif (δ) dapat ditulis sebagai berikut.

$$\delta = \frac{(R_s - R_{st})}{R_{st}} \cdot 1000 \text{ ‰} \quad (1,2,3) \dots (1).$$

R_s = rasio isotop air yang dianalisis
 R_{st} = rasio isotop air standar

Dengan demikian persamaan (1) dapat ditulis menjadi :

$$\delta_D = \frac{(HDO/H_2^{16}O)_s - (HDO/H_2^{16}O)_{st}}{(HDO/H_2^{16}O)_{st}} \cdot 10000 \dots (2)$$

$$\delta_{18O} = \frac{(H_2^{18}O/H_2^{16}O)_s - (H_2^{18}O/H_2^{16}O)_{st}}{(H_2^{18}O/H_2^{16}O)_{st}} \cdot 1000 \quad (3)$$

Standar internasional untuk melaporkan komposisi isotop atau harga selisih relatif (δ) air biasanya adalah SMOW (Standard Mean Ocean Water) dan SLAP (Standard Light Antarctic Precipitations). Dalam makalah ini standar yang dipakai adalah SMOW. Untuk daerah-daerah tertentu, SMOW tidak selalu tersedia. Dengan demikian, perlu ada referensi (standar) lokal yang mudah ditemukan dan tersedia setiap saat. Untuk daerah Jakarta referensi standar lokal adalah JAWS (Jakarta Water Standard). Harga selisih relatif air dengan standar lokal JAWS biasa ditulis dengan δ_{JAWS} , dan harga selisih relatif dengan standar SMOW ditulis dengan δ_{SMOW} .

Harga-harga selisih relatif yang dapat langsung dari pengukuran dengan spektrometri massa adalah δ_{JAWS} . Dengan demikian perlu diketahui hubungan antara δ_{JAWS} dengan δ_{SMOW} , karena bagaimanapun harga selisih relatif tersebut harus disajikan dengan standar internasional SMOW. Hubungan tersebut dapat ditulis sebagai berikut :

$$\delta_{SMOW} = \delta_{JAWS.SMOW} + \delta_{JAWS} + 10^{-3}(\delta_{JAWS.SMOW} \cdot \delta_{JAWS}) \quad (1,2,3) \dots (4)$$

di mana $\delta_{JAWS.SMOW}$ adalah harga selisih relatif air referensi JAWS dengan standar SMOW yang telah mempunyai harga tertentu. Perlu diingat bahwa air standar dianggap mempunyai komposisi isotop tertentu dan selalu stabil.

Menurut Craigh dan Gordon kecepatan menguap masing-masing molekul air ke

atmosfir dapat ditulis sebagai berikut :

$$E_x = (K_{x1} - K_{xa}) / \rho_x \quad (2) \dots \dots \dots (5).$$

- E_x = kecepatan menguap dari molekul
- K_{x1} = konsentrasi molekul x dalam air
- K_{xa} = konsentrasi molekul x di atmosfir di permukaan air
- ρ_x = flow resistance molekul x pada media tertentu

Jika sampel air terdiri dari N molekul isotop ringan dan Ni molekul isotop berat (HDO atau $H_2^{18}O$), maka kecepatan menguap masing-masing molekul dapat ditulis sebagai berikut.

$$E = -dN/dt = (1 - h) / \rho \quad (6).$$

$$E_i = -dN_i/dt = (\alpha^* R_i - h R_a) / \rho_i \quad (7).$$

di mana :

- E = kecepatan menguap molekul $H_2^{16}O$
- E_i = kecepatan menguap molekul HDO atau $H_2^{18}O$
- ρ = flow resistance (perlawanan alir) molekul $H_2^{16}O$ melalui udara
- ρ_i = flow resistance molekul HDO atau $H_2^{18}O$ di udara
- $\alpha^* = 1/\alpha$, ---> α = faktor fraksionasi isotop pada proses kesetimbangan
- h = kelembapan relatif udara
- R_i = rasio isotop air
- R_a = rasio isotop uap air di atmosfir.

Dalam proses yang bukan dalam kesetimbangan sebagaimana halnya proses penguapan didefinisikan sebagai berikut.

$$\frac{dN_i/dN}{N_i/N} = \frac{E_i/E}{R_i} \quad (8).$$

Persamaan ini dapat disederhanakan menjadi :

$$\frac{d \ln R_i}{d \ln f} = \frac{E_i/E}{R_i} - 1 \quad \text{--->} \quad f = \frac{N + N_i}{N_0 + N_{0i}} = N/N_0 = \frac{h(R_i - R_a)/R_i - (1 - \alpha^* + \Delta \epsilon)}{1 - h + \Delta \epsilon} \quad (9).$$

$\Delta \epsilon =$ faktor pengayaan kinetik $(1-h) \cdot (\rho_i/\rho - 1) = E \rho_i - (1-h)$, yaitu suatu besaran yang dibentuk oleh Craigh dan Gordon.

Rumus-rumus di atas ditentukan dimana komposisi molekul air dianggap homogen, akan tetapi keadaan ini tidak selalu terjadi. Sebagai contoh sampel air yang mengalami penguapan terus menerus, maka konsentrasi molekul-molekul yang lebih berat akan lebih besar di permukaan atas jika dibandingkan dengan lapisan dibawahnya. Untuk hal ini, Craigh dan Gordon mengadakan koreksi terhadap persamaan (9) dengan memasukkan harga E_i yang telah dikoreksi sebagai berikut.

$$E_i = E R_i - (R_s - R_i) / \rho_i \quad (2) \dots \dots \dots (10).$$

- R_s = rasio isotop lapisan jenuh permukaan
- R_i = rasio isotop air.

Dengan adanya koreksi ini, maka harga E_i yang didapat sebelumnya yang dimaksud dengan ratio isotop air dalam hal itu adalah ratio isotop uap jenuh di permukaan (R_s). Dengan adanya koreksi ini, maka persamaan (9) dapat ditulis sebagai berikut.

$$\frac{d \ln R_i}{d \ln f} = \frac{h(R_i - R_a)/R_i - (\Delta \epsilon + \epsilon^*)}{\Delta \epsilon + (1-h) + \alpha^* E \rho} \quad (11).$$

$\epsilon^* = 1 - \alpha^* =$ faktor pengayaan pada proses kesetimbangan. Menurut Craigh dan Gordon, suku $\alpha^* E \rho_i \ll \ll 1$, sehingga dapat diabaikan untuk tujuan praktis. Dengan demikian, persamaan (11)

dalam harga selisish relatif (δ) sebagai berikut.

$$\frac{d \delta}{d \ln f} = \frac{h(\delta - \delta_a)/(1 + \delta) - \epsilon}{\Delta \epsilon + (1 - h)} \dots \dots \dots (12).$$

$\epsilon = \epsilon^* + \Delta \epsilon =$ faktor pengayaan total

Apabila proses penguapan berjalan terus-menerus, maka akhirnya suatu keadaan yang walaupun penguapan itu berlangsung terus, akan tetapi harga selisish relatif (δ) tidak berubah. Keadaan ini disebut keadaan tunak (steady state), dan harga selisish relatif dalam keadaan ini disimbulkan dengan δ_s . Harga selisish relatif keadaan tunak (δ_s) dapat dicari dari persamaan (12) sebagai berikut.

$$\frac{d \delta}{d \ln f} = \frac{h(\delta_s - \delta_a)/(1 + \delta_s) - \epsilon}{\Delta \epsilon + (1 - h)} = 0$$

maka didapat :

$$\delta_s = \frac{h \delta_a + \epsilon}{h - \epsilon} \quad (2) \dots \dots \dots (13).$$

Dari persamaan (13) dapat dilihat, bahwa δ_s dipengaruhi oleh h , δ_a , dan ϵ , sedangkan ϵ sendiri tergantung dari suhu dan kelembaban. Dengan demikian, dapat dikatakan δ_s tergantung pada h , t , dan δ_a .

Harga selisish relatif uap air yang meninggalkan sampel air dapat diturunkan sebagai berikut.

$Re = E_i/E$, dari persamaan (6) dan (7) didapat :

$$Re = \frac{\alpha^* R_1 (1 + E \rho_1) - h R_a}{E (\rho_i + \alpha^* \rho_1)}$$

Dengan demikian, harga selisish relatif uap air (δ_e) dapat ditulis sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \delta_e &= \frac{\alpha^* \delta (1 + E \rho_1) - h \delta_a - \epsilon}{\Delta \epsilon + (1 - h)} \\ &= \frac{\alpha^* \delta (1 + E \rho_1) - \delta_s (h - \epsilon)}{\Delta \epsilon + (1 - h)} \dots \dots \dots (14). \end{aligned}$$

Jika persamaan (14) dimasukkan ke dalam persamaan (11) akan didapat :

$$\begin{aligned} \frac{d \delta}{d \ln f} &= \frac{(\delta_e - \delta)}{(1 + \delta)} = (\delta_e - \delta) \dots \dots \delta \ll 1. \\ &= \frac{(\delta - \delta_s)(h - \epsilon)}{\Delta \epsilon + 1 - h} \dots \dots \dots (15). \end{aligned}$$

maka akan didapat :

$$(\delta - \delta_s)/(\delta_0 - \delta_s) = f^{in} \dots \dots \dots (16).$$

$$\text{di mana : } m = \frac{(h - \epsilon)}{\Delta \epsilon + 1 - h} \quad (2) \dots \dots \dots (17).$$

$\delta_0 =$ harga selisish relatif pada awal proses

$f =$ fraksi (v/v_0) dari air yang tinggal

Untuk iklim tertentu harga m dapat dianggap konstan (tetap). Besaran m biasa disebut dengan faktor m dan merupakan suatu besaran yang sangat penting. Dengan mengetahui besaran ini (faktor m), maka ditentukan fraksi air yang menguap dengan mengukur harga selisish relatif (δ) dari air tersebut. Rumus ini dapat langsung digunakan untuk mengukur fraksi air yang hilang oleh penguapan pada reservoir air yang terisolasi.

TATA KERJA

Peralatan.

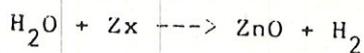
1. Pan evaporasi sebanyak empat buah.

2. Termometer; Hygrometer; Timbangan; perangkat Spektrometri massa; alat pemanas (oven) dan komputer.
3. Bahan-bahan pendingin : nitrogen cair dan campuran antara aseton dan CO₂ padat.
4. Tabung reaksi yang terbuat dari kaca pyrex dan penutup yang terbuat dari teflon.

Tata Cara Pengambilan Sampel.

1. Menimbang pan evaporasi dalam keadaan kosong yang kemudian diisi air yang akan dianalisis kira-kira tiga per empat dari tinggi pan evaporasi, kemudian menimbangnyanya.
2. Meletakkan pan evaporasi pada tempat-tempat yang berbeda untuk menjalani proses penguapan.
3. Pada setiap interval waktu tertentu pan evaporasi dan air di dalamnya ditimbang kembali, kemudian diambil sampel air untuk dianalisis sebanyak 10 ml. Setiap pengambilan sampel, suhu dan kelembapan relatif udara dicatat.
4. Sampel-sampel yang telah diambil harus ditutup rapat-rapat agar tidak terjadi interaksi dengan udara luar.

Penentuan Harga selisih relatif untuk HDO (δD). Untuk mengetahui harga selisih relatif deuterium (δD), maka sampel lebih dahulu direduksi dengan unsur Zn aktif. Reaksi yang terjadi dapat ditulis sebagai berikut :



Reaksi reduksi dapat terjadi pada suhu 450°C. Gas hidrogen (H₂ dan HD) yang terbentuk dialirkan ke dalam Spektrometri massa untuk dianalisis.

Langkah-langkah pelaksanaannya :

1. Mempersiapkan tabung-tabung reaksi, yaitu mencuci, kemudian mengeringkan tabung reaksi tersebut dan selanjutnya divakumkan.
2. Unsur Zn aktif dimasukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian air yang akan dianalisis dimasukkan juga sebanyak 10⁻³ ml. Selanjutnya didinginkan dengan nitrogen cair (-190°C). Apabila sampel air di dalam tabung reaksi telah beku, maka tabung reaksi divakumkan kembali dan ditutup rapat.
3. Selanjutnya, tabung reaksi dipanaskan dengan alat pemanas (oven) selama 50 menit pada suhu 450°C. Dalam selang waktu 50 menit reaksi reduksi antara sampel air dengan unsur Zn telah terjadi. Gas hidrogen (H₂ dan HD) dari hasil reduksi siap dianalisis dalam Spektrometri massa.

Penentuan Harga Selisih Relatif H₂¹⁸O ($\delta^{18}O$). Cara yang dipergunakan untuk menganalisis (menentukan) selisih relatif untuk oksigen-18 ($\delta^{18}O$) air adalah dengan jalan mengukur gas CO₂ yang terjadi dari reaksi kesetimbangan antara sampel air dan gas referensi CO₂. Reaksi yang terjadi dapat ditulis sebagai berikut: H₂¹⁸O + CO₂¹⁶ ⇌

$H_2^{16}O + C^{16}O^{18}O$. Apabila reaksi ini telah mencapai kesetimbangan, maka gas CO_2 yang terjadi dialirkan ke dalam Spektrometri massa untuk dianalisis.

Langkah-langkah pelaksanaannya.

1. Ke dalam labu reaksi dimasukkan sampel yang akan dianalisis sebanyak 2 ml, selanjutnya labu reaksi dipasang pada preparasi sampel.
2. Udara di dalam labu reaksi dikosongkan. Untuk menghindari terjadinya fraksionasi isotop selama pengosongan udara, maka pengosongan udara tersebut dilakukan melalui pipa yang luas penampangnya $0,2 \text{ mm}^2$ dan panjang 50 mm.
3. Labu reaksi dihubungkan dengan tangki gas CO_2 yang telah diketahui komposisi isotopnya, kemudian diaduk dengan alat pengaduk selama 8 jam. Dalam jangka waktu 8 jam reaksi $H_2^{18}O + C^{16}O \rightleftharpoons H_2^{16}O + C^{16}O^{18}O$ yang telah mencapai kesetimbangan telah diperoleh. Selanjutnya, gas CO_2 dari hasil reaksi kesetimbangan tersebut dialirkan ke Spektrometri massa untuk dianalisis. Untuk menghindari sampel air tidak ikut masuk ke dalam Spektrometri massa (ruang medan magnet), maka gas CO_2 dialirkan melalui suatu pipa yang memakai pendingin dari CO_2 padat yang dilarutkan dalam aseton ($-70^\circ C$).

Hubungan Antara δD dengan $\delta^{18}O$.

Tabel 1 menunjukkan bahwa faktor m maupun slope (kemiringan) garis regresi δD dengan $\delta^{18}O$ dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban relatif udara.

Keempat garis regresi δD dengan $\delta^{18}O$ menunjukkan bahwa masing-masing garis mempunyai slope yang lebih kecil dari delapan. Hal ini menunjukkan bahwa proses penguapan yang dialami sampel adalah proses yang bukan kesetimbangan. Pada proses kesetimbangan besar slope adalah delapan.

Dapat dilihat, bahwa makin tinggi kelembaban relatif udara makin besar slope S garis regresi δD dengan $\delta^{18}O$. Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut. Jika pada kelembaban relatif lebih rendah, molekul HDO mempunyai kemungkinan yang lebih besar menguap jika dibandingkan dengan molekul $H_2^{18}O$, sehingga pertambahan konsentrasi molekul $H_2^{18}O$ lebih cepat dibanding dengan molekul HDO. Akan tetapi, jika kelembaban relatif bertambah besar, maka molekul-molekul yang lebih berat baik molekul HDO maupun $H_2^{18}O$ semakin sulit untuk menguap. Dengan demikian pertambahan konsentrasi $H_2^{18}O$ dapat diimbangi oleh molekul HDO atau dengan kata lain slope $S = (\Delta \delta D) / (\Delta \delta^{18}O)$ akan lebih besar dari keadaan di mana kelembaban relatif lebih rendah. Pada persamaan (12), slope garis δD dengan $\delta^{18}O$ dapat ditulis sebagai berikut.

Tabel 1. Hubungan antara δ_D dengan $\delta_{O^{18}}$.

Pan evaporasi	h (%)	t (C)	Persamaan garis regresi	Faktor m	
				D	^{18}O
A	58	22	$\delta_D = 5,18 \delta_{O^{18}} - 8,65$	8,49	5,76
B	57	30	$\delta_D = 4,54 \delta_{O^{18}} - 10,17$	2,05	2,49
C	74	42	$\delta_D = 4,24 \delta_{O^{18}} - 11,35$	1,33	1,06
D	68	28	$\delta_D = 5,14 \delta_{O^{18}} - 12,69$	6,40	6,64

h = humidity
t = temperatur

Keterangan :

A = Pan evaporasi dalam ruangan yang mempergunakan humidifier.

B = Pan evaporasi di lapangan bebas.

C = Pan evaporasi dalam oven.

D = Pan evaporasi di teras laboratorium Hidrologi PAIR.

$$S = \frac{h \left(\frac{\delta - \delta a}{\delta + 1} \right)_D - (\Delta \epsilon + \epsilon^*)_D}{h \left(\frac{\delta - \delta a}{\delta + 1} \right)_{^{18}O} - (\Delta \epsilon + \epsilon^*)_{^{18}O}}$$

Di mana $(\Delta \epsilon)_D > (\Delta \epsilon)^{18}O$, dan $(\delta - \delta a)/(\delta + 1) \ll 1$. Dengan demikian, jika h bertambah besar, maka slope S akan bertambah besar.

Sebaliknya, dari hasil yang didapat menunjukkan semakin tinggi suhu semakin kecil slope garis regresi δ_D dengan $\delta^{18}O$. Hal ini dapat diterangkan bahwa jika suhu bertambah besar, maka kemampuan masing-masing molekul untuk menguap semakin besar. Akan tetapi, jika suhu masih dalam batas tertentu, maka kemampuan molekul-molekul yang lebih ringan akan jauh lebih besar. Dengan demikian, pertambahan konsentrasi molekul $H_2^{18}O$ lebih cepat jika dibandingkan molekul HDO. Jadi, slope S =

$(\Delta \delta_D)/(\Delta \delta^{18}O)$ semakin kecil jika suhu bertambah.

Pengaruh Suhu dan Kelembapan Relatif Terhadap Faktor m. Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi kelembaban relatif h pada lokasi penelitian, untuk suhu yang hampir sama diperoleh nilai faktor m yang semakin besar, baik untuk deuterium maupun untuk oksigen-18. Hal ini sesuai dengan rumus $m = (h - \epsilon)/(1 - h + \Delta \epsilon)$, dapat dilihat semakin tinggi h semakin besar harga m. Atau dapat juga dilihat dalam hubungan: $(\delta - \delta s)/(\delta o - \delta s) = f^m$. Pada h yang relatif besar penambahan δ berjalan relatif lebih lambat untuk setiap penurunan fraksi f. Hal ini dapat dipenuhi jika m besar.

KESIMPULAN

Dari uraian-uraian di atas dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Semakin tinggi kelembaban relatif udara pada lokasi penelitian, semakin besar slope regresi δD dengan $\delta^{18}O$.
2. Untuk suhu yang relatif tinggi diperoleh slope (kemiringan) garis regresi δD dengan $\delta^{18}O$ yang semakin kecil.
3. Semakin besar konsentrasi molekul yang lebih berat, yaitu HDO maupun $H_2^{18}O$, maka akan diperoleh nilai faktor m yang semakin kecil.
4. Semakin tinggi suhu, maka nilai faktor m yang diperoleh semakin kecil.

DISKUSI

ROCHESTRY SOFYAN :

Dari hasil penelitian anda bagaimana kiranya perbedaan pengayaan D dan ^{18}O di daerah tropis dan subtropis ?

PASTON S. :

Dari penelitian yang kami lakukan, ternyata pengayaan D dan ^{18}O adalah linier. Hubungan antara δ_D dan $\delta^{18}O$

5. Semakin tinggi kelembaban relatif, semakin besar nilai faktor m yang diperoleh.

DAFTAR PUSTAKA

1. DINCER, T., The use of oxygen-18 and deuterium concentration in water balance of lakes, Water R. 4 (1968) 1289.
2. IAEA, Stable Isotope Hydrology. (Technical Report Series No. 210), IAEA, Vienna (1981)
3. WELHAN, J.A., and FRITZ, P., Evaporation pan behaviour as an index of isotopic evaporation condition, Geochim, Cosmochim. Acta 41 (1977) 682.

dipengaruhi oleh kelembapan dan suhu rata-rata pada lokasi penelitian. Jadi, kami tidak dapat memberikan perbedaan atau hubungan antara δ_D dan $\delta^{18}O$ pada daerah tropis dan subtropis. Semakin tinggi kelembapan relatif, semakin besar slope garis regresi δ_D dan $\delta^{18}O$. Semakin tinggi suhu, akan diperoleh slope garis regresi δ_D dan $\delta^{18}O$ yang semakin kecil.