

# PENENTUAN KOMPOSISI ISOTOP D DAN <sup>18</sup>O PADA KEADAAN *STEADY STATE* DARI PANCI PENGUAPAN DENGAN MODEL OPTIMASI

Bungkus Pratikno dan Paston Sidauruk  
Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN

## ABSTRAK

**PENENTUAN KOMPOSISI ISOTOP D DAN <sup>18</sup>O PADA KEADAAN *STEADY STATE* DARI PANCI PENGUAPAN DENGAN MODEL OPTIMASI.** Telah dilakukan penelitian untuk menentukan nilai komposisi isotop D dan <sup>18</sup>O dalam keadaan "steady state" sampel air dari panci penguapan dengan model optimasi. Penentuan dilakukan berdasarkan data penelitian dari panci penguapan yang kondisi *steady state*-nya belum tercapai. Hasilnya menunjukkan bahwa dengan model optimasi diperlukan data hingga fraksi air pada panci penguapan rata-rata tinggal 43,3 % untuk isotop D dan 50,2 % untuk <sup>18</sup>O. Hal ini sangat membantu jika dibandingkan dengan cara langsung dimana keadaan *steady state* dapat diamati paling tidak jika fraksi air tinggal 26 %. Model yang dikembangkan telah diverifikasi dengan batas toleransi di bawah 10 %.

## ABSTRACT

**ASCERTAINMENT OF ISOTOPE COMPOSITION OF D AND <sup>18</sup>O IN STEADY STATE CONDITION FROM EVAPORATION PAN WITH OPTIMIZATION MODEL.** An investigation has been conducted to determine steady state isotope composition of deuterium and oxygen-18 in the water from evaporation pan using optimization model. The model is developed to extrapolate the steady state isotope composition before reaching steady state condition. This very helpful because in average the model can estimate the steady state isotope composition even the fraction of the water left still 50.2 % for <sup>18</sup>O and 43.3 % for deuterium. The model has been verified using direct method with sufficiently satisfied result that is about 10 % tolerance.

## PENDAHULUAN

Air di alam terdiri atas senyawa-senyawa isotop hidrogen dan oksigen yang membentuk molekul air dengan komposisi seperti berikut : <sup>1</sup>H<sub>2</sub><sup>16</sup>O, <sup>1</sup>HD<sup>16</sup>O, <sup>1</sup>H<sub>2</sub><sup>18</sup>O, <sup>1</sup>HD<sup>18</sup>O, D<sub>2</sub><sup>16</sup>O, <sup>1</sup>H<sub>2</sub><sup>17</sup>O, <sup>1</sup>HD<sup>17</sup>O, D<sub>2</sub><sup>17</sup>O, D<sub>2</sub><sup>18</sup>O. Isotop-isotop tersebut dikenal sebagai isotop stabil. Dalam penelitian-penelitian dibidang hidrologi yang memanfaatkan metode isotop stabil, biasanya molekul-molekul yang diamati sebagai perunut (*tracer*) adalah molekul-molekul : H<sub>2</sub><sup>16</sup>O, HD<sup>16</sup>O dan H<sub>2</sub><sup>18</sup>O, karena molekul-molekul inilah yang mempunyai kelimpahan terbesar dalam air.

Pemanfaatan isotop alam <sup>18</sup>O dan Deuterium yang terkandung dalam molekul air telah banyak diterapkan dalam bidang hidrologi, diantaranya digunakan untuk menentukan besarnya tingkat penguapan air pada suatu danau/waduk. Dalam pengukuran tingkat penguapan suatu danau/waduk dengan metode isotop alam/stabil, ada suatu parameter dalam persamaan kesetimbangan isotop yang digunakan dalam perhitungan yang harus diukur, yaitu komposisi isotop air danau/waduk dalam keadaan "steady state" yang disimbolkan sebagai  $\delta_{ss}$ .  $\delta_{ss}$  adalah harga selisih

dari rasio jumlah isotop berat terhadap rasio jumlah isotop yang lebih ringan dalam molekul air relatif terhadap suatu standar tertentu pada keadaan tunak (*steady state*), yang dapat dinyatakan dengan rumusan sebagai berikut :

$$\delta = \frac{R_s - R_{st}}{R_{st}} \quad \text{atau} \quad \delta = \frac{(N_i/N)_s - R_{st}}{R_{st}} \times 1000 \text{ permil}$$

Besarnya  $\delta_{ss}$  biasanya ditentukan berdasarkan eksperimen pada panci penguapan, yang hasilnya dinyatakan dalam bentuk grafik hubungan antara  $\delta$  dari isotop <sup>18</sup>O atau D dengan fraksi air sisa yang tertinggal. Untuk mendapatkan  $\delta$  dari <sup>18</sup>O atau D pada keadaan "steady state" berdasarkan grafik hasil eksperimen panci penguapan sering dirasakan sulit dan banyak mengalami hambatan, diantaranya disebabkan oleh :

- Waktu pengamatan dan pengambilan sampel air pada panci penguapan relatif lebih lama, hal ini menyebabkan meningkatnya biaya operasional di lapangan,
- Tingkat suhu udara dan kelembaban yang diharapkan sering terganggu oleh gangguan

alam, hambatan ini dapat mengacaukan hasil analisis sampel sebelumnya, dan kecermatan serta ketepatan penentuan nilai  $\delta_{ss}$  menjadi sulit didapat.

Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dibuat suatu model matematis yang dapat digunakan untuk mengekstrapolasi grafik hubungan antara  $\delta$  dengan fraksi sehingga didapat nilai  $\delta_{ss}$ , dimana grafik tersebut didasarkan dari data pengamatan sampel air sebelum kondisi "steady state" tercapai.

Penelitian tentang penentuan komposisi isotop dari panci penguapan hingga kondisi "steady state"-nya dicapai telah dilakukan, dan didapat hasil seperti berikut :

Harga Selisih relatif steady state ( $\delta_{ss}$ ) dan faktor m Pada suhu dan kelembaban berbeda

No.	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	$\delta_{ss}$		Faktor m	
			D	<sup>18</sup> O	D	<sup>18</sup> O
1.	22 °C	58	20	4,98	2,35	2,55
2.	30 °C	57	30	8,4	1,86	1,94
3.	28 °C	68	9	4,5	2,3	2,3

**DASAR TEORI**

Dalam penelitian-penelitian tentang tingkat penguapan air, biasanya digunakan alat bantu sebuah panci penguapan (*evaporation pan*), penggunaan panci penguapan ini dikarenakan variabel-variabel yang mempengaruhi proses penguapan secara isotopik danau dapat dilihat dari keadaan isotopik di panci penguapan yang dipasang dekat danau (Welhan dan Fritz, 1977).

Nilai  $\delta^{18}O$  dan  $\delta D$  sampel air yang diambil dari panci penguapan, dianalisis dengan menggunakan piranti pengukur rasio isotop Spektrometer Massa SIRA-9. Sedangkan panci penguapan yang digunakan dalam penelitian yang telah dilakukan adalah Panci Penguapan kelas A.

WELLMAN dan FRITZ (1977) telah menurunkan persamaan untuk mengevaluasi faktor karakteristik panci penguapan yang dipengaruhi oleh keadaan cuaca. Formulasi melalui panci penguapan yang telah diturunkan sebagai berikut :

$$\frac{\delta - \delta_{ss}}{\delta_0 - \delta_{ss}} = f^m \quad \dots\dots\dots (1)$$

dimana :  $\delta$  = rasio isotop air setelah mengalami penguapan pada kondisi f  
 $\delta_0$  = rasio isotop awal dari sampel air pada panci penguapan

$\delta_{ss}$  = konsentrasi isotop pada keadaan "steady state"

f = fraksi air sisa

m = faktor karakteristik dari panci penguapan atau danau yang dipengaruhi oleh keadaan cuaca (suhu, kelembaban, angin dan lainnya).

Parameter  $\delta_0$ , dan  $\delta_{ss}$  ditentukan nilainya dari hasil analisis sampel air pada panci penguapan dengan alat spektrometer massa, sedangkan fraksi air pengukurannya dilakukan langsung di lapangan, berdasarkan selisih volume air pada panci penguapan yang diamati.

Model matematis untuk mendapatkan nilai optimal  $\delta_{ss}$  yang kemudian digunakan untuk mendapatkan faktor m dari panci penguapan, dilakukan dengan cara melinierkan formulasi Welhan & Fritz pada persamaan (1) seperti berikut :

$$\frac{\delta_i - \delta_{ss}}{\delta_0 - \delta_{ss}} = f_i^m \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\ln (\delta_{ss} - \delta_i) = m \ln f_i + \ln (\delta_{ss} - \delta_0) \quad \dots\dots (2)$$

Untuk mendapatkan suatu garis terbaik melalui data adalah dengan meminimalkan jumlah kuadrat kesalahan (Error)-nya, sehingga persamaan (2) menjadi :

$$S_r = \sum_{i=1}^n E_i^2 = \sum_{i=1}^n [\ln (\delta_{ss} - \delta_i) - m \ln f_i - \ln (\delta_{ss} - \delta_0)]^2 \quad \dots\dots (3)$$

Besarnya nilai  $\delta_{ss}$  dan faktor m dari persamaan (3) ditentukan dengan mendiferensialkan persamaan tersebut terhadap masing-masing variable yang belum diketahui dan membuatnya sama dengan nol, sehingga dihasilkan harga kesalahan  $S_r$  minimal.

$$\frac{\partial S_r}{\partial m} = 2 \sum_{i=1}^n \{ [\ln (\delta_{ss} - \delta_i) - m \ln f_i - \ln (\delta_{ss} - \delta_0)] \cdot - \ln f_i \} = 0 \quad \dots\dots (4)$$

$$m = \frac{\sum [\ln(\delta_{ss} - \delta_i) \ln f_i] - \sum [\ln(\delta_{ss} - \delta_0) \ln f_i]}{\sum [(\ln f_i)^2]} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial \delta_{ss}} = 2 \sum_{i=1}^n \left\{ [\ln (\delta_{ss} - \delta_i) - m \ln f_i - \ln (\delta_{ss} - \delta_0)] \cdot \frac{1}{\delta_{ss} - \delta_i} - \frac{1}{\delta_{ss} - \delta_0} \right\} = 0 \quad \dots\dots (6)$$

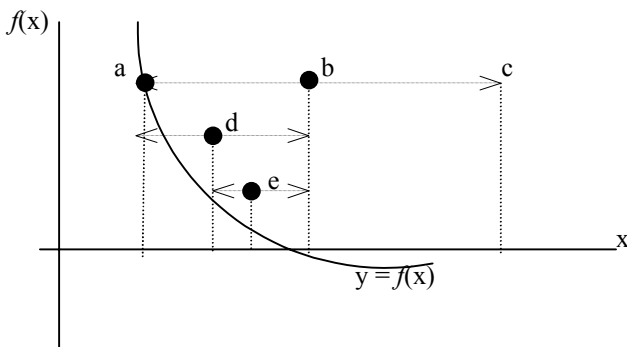
Penyelesaian terbaik untuk dua persamaan 5 dan 7 yaitu dengan menggunakan metoda bagi dua (*Bisection method*), yaitu suatu cara dalam metoda numerik untuk mencari akar pada suatu persamaan yang tidak linier dan kompleks dari

$$0 = \frac{\sum(\delta_i - \delta_o) \ln(\delta_{ss} - \delta_i)}{(\delta_{ss} - \delta_i)(\delta_{ss} - \delta_o)} - \frac{\sum(\delta_i - \delta_o) m \ln f_i}{(\delta_{ss} - \delta_i)(\delta_{ss} - \delta_o)} - \frac{\sum(\delta_i - \delta_o) \ln(\delta_{ss} - \delta_o)}{(\delta_{ss} - \delta_i)(\delta_{ss} - \delta_o)} \dots\dots\dots (7)$$

suatu fungsi  $f(\delta_{ss}) = 0$ . Dengan metoda ini nilai  $\delta_{ss}$  dan faktor  $m$  diambil berdasarkan terjadinya perubahan tanda, dari positif ke negatif atau sebaliknya ketika program di eksekusi dengan masukan (input) nilai  $\delta_{ss}$  tertentu. Hal ini dapat digambarkan secara grafik seperti di bawah ini.

Pada *input* pertama dari  $\delta_{ss}$  akan di dapat nilai  $f(\delta_{ss})$  yang kasar, kemudian setelah diketahui daerah perubahan tandanya, program diulangi dengan *input* batas awal  $\delta_{ss}$  sebesar daerah terjadinya perubahan tanda dari  $f(\delta_{ss})$ , sehingga akan di dapat nilai  $f(\delta_{ss})$  yang lebih mendekati nol.

Jika  $f(x)$  nyata dan kontinyu dalam interval dari  $x = a$  hingga  $x = c$ , serta  $f(a)$  dan  $f(c)$  berlainan tanda yakni :  $f(a) \times f(c) \leq 0$ , maka terdapat sekurang-kurangnya satu akar nyata diantara  $a$  dan  $c$ , seperti gambar berikut :



Jika interval  $(a,c)$  dibagi dua di titik  $b$ , dimana  $b=(a+c)/2$ , kemudian dilakukan pengujian dari  $f(a) \times f(b)$  dan  $f(b) \times f(c)$ , jika  $f(a) \times f(b) \leq 0$  maka akar dari  $f(x)=0$  berada di antara  $[a,b]$ , begitu pula untuk  $f(b) \times f(c)$ . Daerah interval yang mengandung akar dibagi dua lagi, kemudian diuji kembali, proses ini dilakukan pengulangan untuk memperoleh taksiran yang diperhalus. Ada beberapa metoda lain yang cukup aplikatif dalam metoda numerik untuk menghitung besarnya akar dari suatu fungsi  $f(x)=0$ , diantaranya dengan Metode Posisi Salah (*Metode of false Position* atau *regulasi falsi*), Metode Iterasi Satu Titik, dan Metode Newton-Raphson.

Pemilihan dari beberapa metode di atas sangat tergantung dari bentuk persamaan (fungsinya), untuk fungsi yang tidak dapat didefinisikan karena akar/variabel yang dicari dari persamaan tersebut tidak dapat dikeluarkan dari fungsinya, seperti fungsi  $f(x)$  dari hasil model optimasi dalam tugas akhir ini, maka penggunaan metoda bagi dua (*biseksi*) merupakan pilihan yang tepat, karena lebih mudah dikerjakan, sederhana serta tidak diperlukan diferensiasi dari fungsi tersebut.

**BAHAN DAN METODE**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah panci penguapan, yaitu suatu wadah berbentuk panci yang terbuat dari besi yang tak digalvanisir. Pengambilan sampel air pada panci penguapan sebanyak 20 ml yang dilakukan pada kondisi awal dan pada setiap terjadinya penurunan muka air akibat penguapan. Sampel tersebut kemudian dianalisis kandungan isotop  $^{18}\text{O}$  dengan menggunakan *Mass Spectrometer SIRA-9*. Perubahan ketinggian muka air dicatat untuk dihitung fraksi air sisanya.

Data-data sekunder yang digunakan dalam penyusunan model ini didapat dari hasil penelitian tersebut yang didisain untuk mendapatkan komposisi isotop keadaan *steady state* dari panci penguapan secara langsung di lapangan, yang dipresentasikan dalam suatu grafik hubungan antara fraksi air sisa dalam panci penguapan dengan komposisi isotopnya, data-data sekunder tersebut dapat dilihat pada Lampiran-1.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil penelitian dalam makalah ini berupa nilai dari  $\delta_{ss}$  dan faktor  $m$  setelah dihitung dengan model optimasi, dan besarnya error masing-masing dibandingkan dengan hasil pengamatan dari penelitian Sidauruk P.dkk. seperti pada tabel 5.1.1 di bawah ini :

Dari data hasil perhitungan dengan model optimasi di atas tampak bahwa, dengan menggunakan model optimasi nilai  $\delta_{ss}$  dari panci penguapan dapat diketahui, baik berdasarkan data isotop deuterium maupun oksigen-18 pada kondisi keadaan "steady state"-nya belum tercapai. Dari data isotop deuterium terlihat pada pengamatan dengan suhu yang berbeda dan kelembaban berbeda pula, rata-rata diperlukan pengamatan dari sampel pada panci hingga fraksi air sisanya sebesar 43,3 %. Sedangkan jika digunakan data isotop oksigen-18 diperlukan fraksi air sisa sebesar 50,2 %. Besarnya selisih (*error*) dari  $\delta_{ss}$  yang dihasilkan berdasarkan model optimasi, dibandingkan dengan  $\delta_{ss}$  dari hasil penelitian langsung untuk kedua fraksi air tersebut di atas, masih berada pada batas toleransi sebesar 10 %.

Tabel-1. Nilai  $\delta_{ss}$  dan faktor m dari data isotop Deuterium dan besarnya error masing-masing pada  $T = 22^{\circ}\text{C}$  dan  $h = 58\%$

No.	Fraksi (%)	$\delta_{ss}$	Faktor m	$f(\delta_{ss})$	Error $\delta_{ss}$ (%)	Error Faktor m (%)
1.	0,248	20,4	2,26	0,0000	2	3,8
2.	0,372	21,1	2,19	-0,0000	6	6,8
3.	0,425	22,0	2,12	-0,0000	10	9,8
4.	0,499	22,3	1,98	-0,0000	11,5	15,7
5.	0,588	29,9	1,71	-0,0000	49,5	27,2
6.	0,619	48	1,22	-0,0000	140	48,1

Tabel-2 Nilai  $\delta_{ss}$  dan faktor m dari data isotop  $^{18}\text{O}$  Dan besarnya error masing-masing pada  $T = 22^{\circ}\text{C}$  dan  $h = 58\%$

No.	Fraksi (%)	$\delta_{ss}$	Faktor m	$f(\delta_{ss})$	Error $\delta_{ss}$ (%)	Error Faktor m (%)
1.	0,248	5,1	2,60	-0,0000	2,4	2,0
2.	0,372	5,11	2,59	-0,0000	2,6	1,5
3.	0,425	4,9	2,73	0,0000	1,6	7,1
4.	0,499	4,6	2,80	0,0000	7,6	9,7
5.	0,588	3,7	3,56	0,0000	25,7	39,6
6.	0,619	3,5	3,73	0,0000	29,7	46,3

Tabel-3. Nilai  $\delta_{ss}$  dan faktor m dari data isotop Deuterium dan besarnya error masing-masing pada  $T = 30^{\circ}\text{C}$  dan  $h = 57\%$

No.	Fraksi (%)	$\delta_{ss}$	Faktor m	$f(\delta_{ss})$	Error $\delta_{ss}$ (%)	Error Faktor m (%)
1.	0,2881	31,8	1,78	0,0000	6	4,3
2.	0,2999	32,8	1,73	-0,0000	9,3	6,9
3.	0,4184	33,0	1,70	-0,0000	10	8,6
4.	0,4803	20,4	2,49	-0,0000	32	33,9
5.	0,5632	14,8	3,08	-0,0000	50,7	65,6

Tabel-4. Nilai  $\delta_{ss}$  dan faktor m dari data isotop  $^{18}\text{O}$  dan besarnya error masing-masing pada  $T = 30^{\circ}\text{C}$  dan  $h = 57\%$

No.	Fraksi (%)	$\delta_{ss}$	Faktor m	$f(\delta_{ss})$	Error $\delta_{ss}$ (%)	Error Faktor m (%)
1.	0,2881	8,5	1,99	0,0000	1,2	2,6
2.	0,2999	8,8	1,91	0,0000	4,8	1,5
3.	0,4184	10,7	1,53	0,0002	27,4	21,6
4.	0,4803	8,04	2,08	0,0001	4,3	6,7
5.	0,5632	5,9	2,86	0,0000	29,8	47

Tabel-5. Nilai  $\delta_{ss}$  dan faktor m dari data isotop Deuterium dan besarnya error masing-masing pada  $T = 28^{\circ}\text{C}$  dan  $h = 68\%$

No.	Fraksi (%)	$\delta_{ss}$	Faktor m	$f(\delta_{ss})$	Error $\delta_{ss}$ (%)	Error Faktor m (%)
1.	0,310	8,8	2,38	-0,0000	2,2	3,5
2.	0,346	8,4	2,43	-0,0000	6,7	5,6
3.	0,460	8,3	2,48	-0,0000	7,8	7,8
4.	0,528	5,3	2,86	0,0000	41,1	24,3
5.	0,552	4,1	3,03	0,0000	54,4	31,8
6.	0,595	1,4	3,48	0,0000	84,4	51,1

Tabel-6 . Nilai  $\delta_{ss}$  dan faktor m dari data isotop  $^{18}\text{O}$  dan besarnya error masing-masing pada  $T = 28^{\circ}\text{C}$  dan  $h = 68\%$

No.	Fraksi (%)	$\delta_{ss}$	Faktor m	$f(\delta_{ss})$	Error $\delta_{ss}$ (%)	Error Faktor m (%)
1.	0,310	4,2	2,47	-0,0000	6,6	7,4
2.	0,346	3,8	2,77	-0,0000	15,6	20,4
3.	0,460	4,15	2,58	-0,0000	8,8	8,9
4.	0,528	4,1	2,69	0,0000	8,9	10
5.	0,552	3,7	2,82	0,0000	17,8	22,6
6.	0,595	3,3	3,09	0,0000	26,7	34,3

## KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pembahasan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Model optimasi dapat digunakan untuk menentukan besarnya komposisi isotop keadaan "steady state" ( $\delta_{ss}$ ) dan faktor  $m$  baik untuk isotop deuterium maupun  $^{18}\text{O}$  pada berbagai kelembaban dan suhu, tanpa harus menunggu kondisi "steady state"-nya tercapai.
2. Penggunaan model optimasi ini dalam menentukan  $\delta_{ss}$  dan faktor  $m$  hanya berlaku hingga fraksi air sisa rata-rata sebanyak :
  - a. 43,3 % untuk isotop deuterium
  - b. 50,2 % untuk isotop  $^{18}\text{O}$
3. Besarnya selisih (error) dari hasil model dibandingkan dengan hasil pengamatan masih berada pada batas toleransi sebesar 10 %.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ZAINAL A. dkk., "Studi Evaporasi Air Waduk Bening Menggunakan Isotop  $^{18}\text{O}$  dan Deuterium", Risalah Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi dalam bidang hidrologi, BATAN, 1991.
2. DJIONO dkk., "Studi interelasi antara air danau dan air tanah disekitarnya dengan metoda isotop alam", Risalah Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi dalam bidang hidrologi, BATAN, 1991.
3. GAT J.R., GONFIANTINI R., "Stable Isotop Hydrology deuterium and oxygen-18 in the water cycle", Technical Report Series No. 210, IAEA, Vienna, 1981.
4. SUPRIYONO, WISNU ARYA WARDHANA, "PEMODELAN DAN SIMULASI DALAM ANALISIS LINGKUNGAN", PUSDIK-LAT- BATAN, 1998.
5. CHAPRA S.T. and CANALE.R.P., "Numerical Methods for Engineers", McGraw-Hill, 1988.
6. Sidauruk P., "Pengaruh Proses Penguapan terhadap Perbandingan molekul HDO/ $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{H}_2\text{O}^{18}/\text{H}_2\text{O}^{16}$  dalam air", Skripsi, FMIPA-Universitas Nasional, Jakarta, 1987.

7. SIDAURUK P., WANDOWO, ABIDIN Z., IDROYONO., "Pengaruh proses Penguapan terhadap perbandingan molekul HDO/H<sub>2</sub>O dan H<sub>2</sub>O<sup>18</sup>/H<sub>2</sub>O<sup>16</sup> dalam air", Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta, 1987.
8. BALZA A., "Dasar Pemodelan dan Simulasi Komputer", PUSDIKLAT-BATAN, 1998.
9. GAT, J.R., "Isotopic Fractionation", Stable Isotope Hidrology: Deuterium and Oxygen-18 in water cycle, IAEA, Vienna, 1981.
10. GILATH, C.H., GONFIANTINI, R., "Lake Dynamics"; Guides Books on nuclear techniques in hydrology, IAEA, Vienna, 1983.
11. ALLISON, G.B., BROWN, R.M., FRITZ, P., "Evaluation of water balance parameters from isotopic measurement in evaporation pans", Isotope in lake studies, IAEA, Vienna, 1979.
12. WELHAN, J.A., FRITZ, P., "The water budget of Perch lake from stable isotope studies", Hydological studies on the Canadian shield, Atomic Energy of Limited Chalk River Nuclear Laboratories, Canada, 1975.
13. ABRAMOWITZ, M. and, L.A.STEGUN," Handbook of Mathematical function", Natural Bureau of standards, 1970.
14. CONTE,S.D. and C.de BOOR," Elementary Numerical Anaysis", 3<sup>rd</sup>, Mc. Grow Hill, 1980.
15. DUANE H. & BRUCE LITTLEFIELD, "MATLAB, Bahasa Komputasi Teknis", Terjemahan Y. Edyanto, Yogyakarta, 2001.

LAMPIRAN-1

DATA-DATA SEKUNDER DARI HASIL PENELITIAN LANGSUNG YANG DIGUNAKAN DALAM PENGUJAIAN MODEL OPTIMASI

Besarnya  $\delta D$  dan  $\delta O^{18}$  pada tiap fraksi dari panci penguapan untuk suhu rata-rata 22°C dan kelembaban relatif rata-rata 58 %

No.	Fraksi	$\delta D$	$\delta O^{18}$
1.	1	-29,1	-4,2
2.	0,955	-25,71	-3,21
3.	0,916	-21,1	-2,13
4.	0,879	-17,2	-1,27
5.	0,852	-16,7	-0,84
6.	0,73	-4,4	1,33
7.	0,694	-1,9	1,52
8.	0,655	3,4	1,99
9.	0,619	4,4	2,09
10.	0,588	4,7	2,57
11.	0,499	10,44	3,56
12.	0,425	13,46	4,09
13.	0,372	15,12	4,45
14.	0,248	18,2	4,85

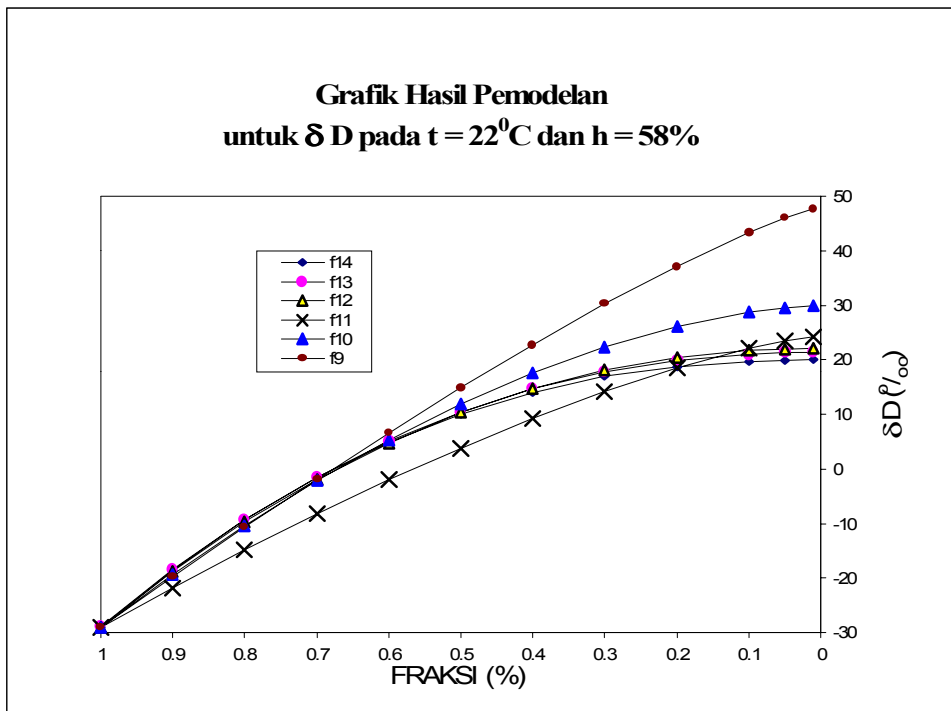
Besarnya  $\delta D$  dan  $\delta O^{18}$  pada tiap fraksi dari panci penguapan untuk suhu rata-rata 30°C dan kelembaban relatif rata-rata 57 %

No.	Fraksi	$\delta D$	$\delta O^{18}$
1.	1	-29,1	-4,2
2.	0,8974	-19,8	-1,76
3.	0,8162	-5,7	-0,05
4.	0,7186	-1,5	2,10
5.	0,6529	1,9	3,34
6.	0,5632	7,7	3,71
7.	0,4803	13,0	5,53
8.	0,4184	22,4	7,10
9.	0,2999	24,3	7,18
10.	0,2881	24,6	7,28

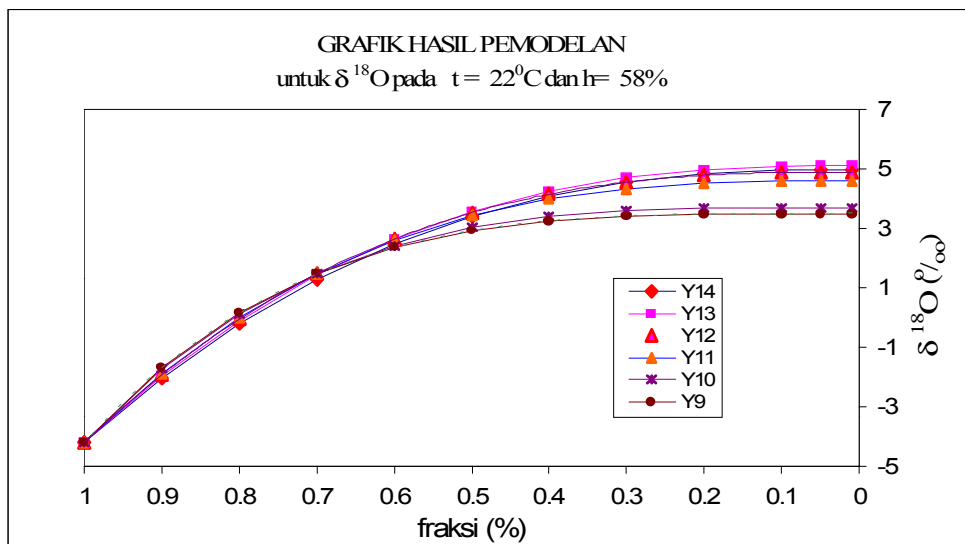
Besarnya  $\delta D$  dan  $\delta O^{18}$  pada tiap fraksi dari panci penguapan untuk suhu rata-rata 28°C dan kelembaban relatif rata-rata 68 %

No.	Fraksi	$\delta D$	$\delta O^{18}$
1.	1	-32,6	-4,1
2.	0,975	-32,2	-3,6
3.	0,955	-29,7	-3,43
4.	0,920	-26,9	-2,74
5.	0,886	-23,8	-2,1
6.	0,869	-16,3	-1,1
7.	0,649	-5,9	1,44
8.	0,595	-4,3	1,76
9.	0,552	-1,42	2,3
10.	0,528	-0,4	2,52
11.	0,46	2,21	3,06
12.	0,346	5,45	3,35
13.	0,31	6,4	3,85

LAMPIRAN 2A

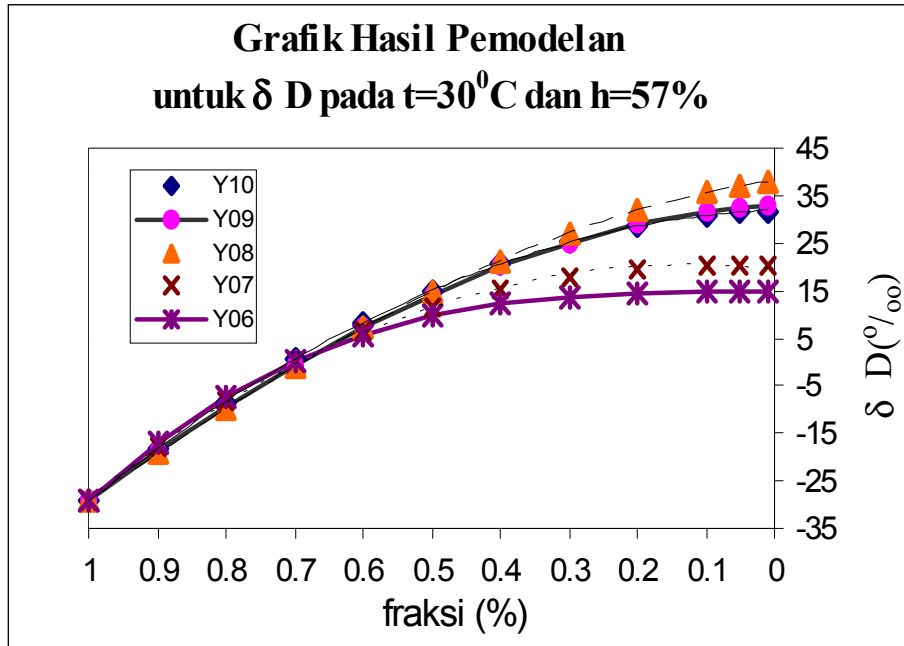


LAMPIRAN 2B

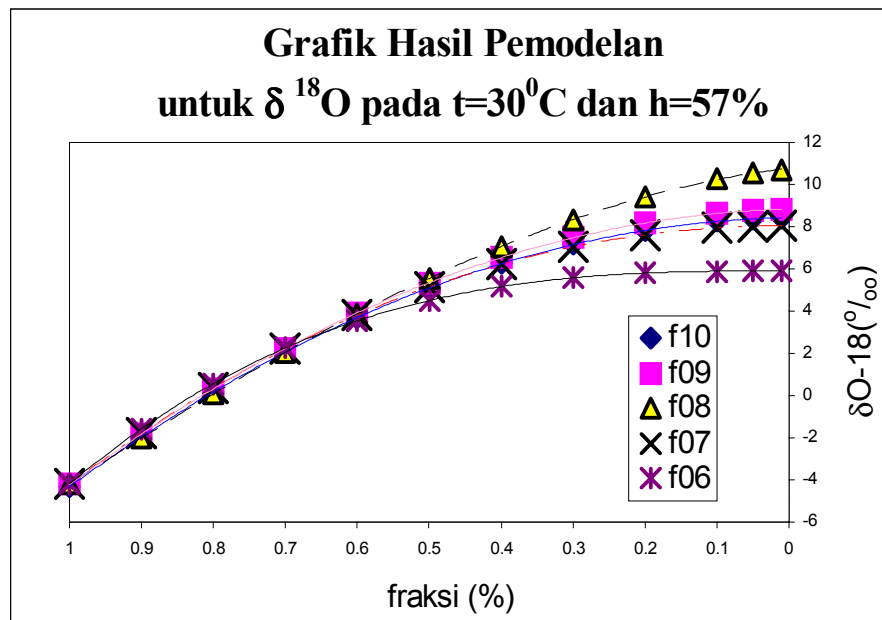




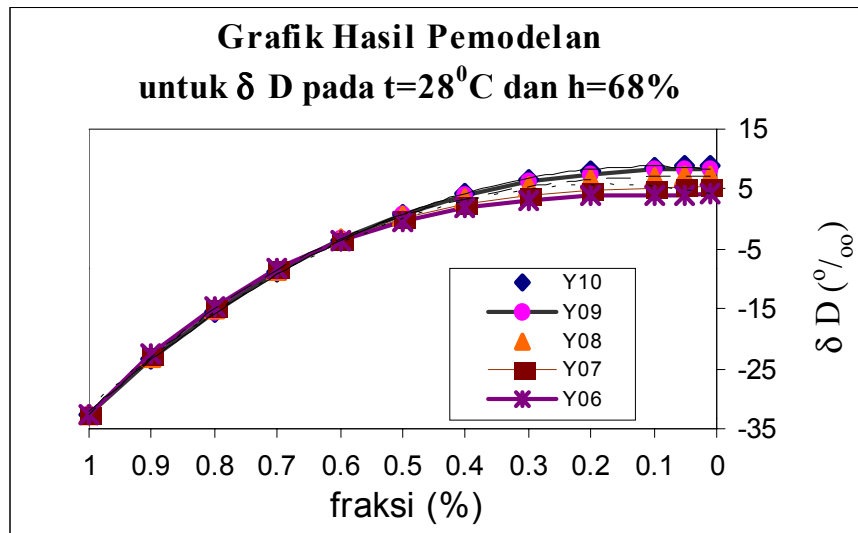
LAMPIRAN 2C



LAMPIRAN 2D



LAMPIRAN 2E



LAMPIRAN 2F

