

PAIR/P.328/1988

DeutDEUTERIUM DAN OKSIGEN-18 DI DALAM  
air hujan AIR HUJAN

Djijono, Zaenal Abidin, Indrojono,  
past Paston S., dan Darman

## DEUTERIUM DAN OKSIGEN-18 DI DALAM AIR HUJAN

Djijono\*, Zaenal Abidin\*, Indrojono\*, Paston S.\*, dan Darman\*

### ABSTRAK

**DEUTERIUM DAN OKSIGEN-18 DI DALAM AIR HUJAN.** Kandungan deuterium dan oksigen-18 di dalam air hujan diketahui sangat bervariasi tergantung dari waktu dan tempat dimana curah hujan itu diamati. Faktor-faktor yang mempengaruhi diantaranya suhu udara, jumlah curah hujan, dan faktor-faktor geografis lainnya yaitu garis lintang dan ketinggian. Analisis telah dilakukan terhadap contoh air hujan Jakarta yang diambil mulai tahun 1984 sampai dengan tahun 1987. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan deuterium dan oksigen-18 di Jakarta adalah normal untuk daerah tropis yaitu dengan slope lebih kecil dari meteoric water line baik pada pengambilan contoh secara harian maupun secara bulanan.

### ABSTRACT

**DEUTERIUM AND OXYGEN-18 IN THE RAIN WATER.** Deuterium and oxygen-18 content of rain water known to vary considerably with time and location. It is influenced by many factors such as temperature, precipitation, and geographical factors (latitude and altitude). Analysis was carried out on the rain water samples of Jakarta area with collected from 1984 to 1987. The results of this investigation shows that deuterium and oxygen-18 content of Jakarta rain water are normal for the tropical area with slope less than meteoric water line both for daily and monthly sampling as well.

### PENDAHULUAN

Sudah lama diketahui bahwa air di bumi ini mengalami sirkulasi terus menerus yang berbentuk penguapan, presipitasi, dan pengaliran ke laut. Air menguap dari permukaan laut dan tanah. Sesudah mengalami beberapa proses kemudian jatuh lagi ke laut atau daratan sebagai hujan. Namun tidak semua air hujan ini dapat mencapai tanah di permukaan bumi karena sebagian akan tertahan oleh daun-daun dan menguap kembali ke udara. Air hujan yang dapat mencapai bumi akan berinfiltasi masuk ke dalam

tanah dan tersimpan di dalam tanah sebagai groundwater (air tanah) atau dapat juga sebagai surface water (air pemukaan). Sebagian air tanah dan permukaan tersebut akan keluar kembali sebagai air limpasan (runoff).

Sirkulasi terus menerus antara air laut dan air daratan ini disebut daur hidrologi. Namun sirkulasi ini tidak merata, seperti kita lihat bahwa terdapat perbedaan presipitasi dari musim ke musim dan dari wilayah ke wilayah yang lain. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketidakmerataan presipitasi tersebut diantaranya ialah kondisi meteorologi (suhu udara, tekanan udara, dan arah angin) dan kondisi topografi.

\* Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

Uap yang terkondensasi dan jatuh ke daratan dalam rangkaian proses daur hidrologi seperti yang disebutkan di atas atau lazim disebut presipitasi jumlahnya selalu dinyatakan dalam mm. Sedangkan intensitas curah hujan adalah jumlah curah hujan dalam satuan waktu dan biasanya dinyatakan dalam mm/bulan.

Kandungan deuterium dan  $^{18}\text{O}$  di dalam air hujan ternyata ikut bervariasi pada perbedaan intensitas dan curah hujan serta musim dan lokasinya. DANSGARD (3) menemukan hubungan yang sangat bagus antara kandungan rata-rata oksigen-18 air hujan dan rata-rata suhu udara. DANSGARD juga mendapatkan bahwa konsektasi isotop berat dalam air segera menurun terhadap ketinggian tanah serta garis lintang dari lokasi pengamatan-nya.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hubungan antara kandungan oksigen-18 dan deuterium pada contoh air hujan Jakarta yang diambil mulai tahun 1984 sampai tahun 1987.

## TEORI

**Evaporasi.** Pada kenyataannya bahwa curah hujan berasal dari kondensasi yang disebabkan oleh pendinginan suhu udara. Apabila udara mulai jenuh dengan uap air, pendinginan akan menurunkan kandungan air kepada suatu batas kapasitas uap yang terjadi pada suhu yang tertentu. Kondisi ini akan berubah pada perbedaan ketinggian wilayah, sehingga

akan mempengaruhi tinggi daripada jatuhnya butiran curah hujan. Kandungan deuterium dan oksigen-18 dari air hujan akan dipengaruhi oleh suatu kesetimbangan antara butir-butir air hujan dan suhu udara dimana butir-butir tersebut jatuh dan besarnya butiran air hujan. Dalam Tabel 1 dinyatakan hubungan antara butiran, ketinggian, dan waktu yang dicapai sampai di permukaan tanah.

DANSGARD menerangkan bahwa kandungan deuterium dan  $\text{O}-18$  akan menurun pada suhu udara kondensasi, hal mana dinyatakan sehubungan dengan proses pendinginan pada kondisi Rayleigh. Kandungan deuterium dan  $^{18}\text{O}$  menurun dengan kenaikan ketinggian wilayah, dan berubah-ubah pada musim yang berbeda.

Tabel 1. Hubungan antara butiran air hujan, waktu, dan jarak tempuh.

Butiran (cm)	Waktu (detik)	Jarak (m)
0.01	7.4	5.3
0.05	96	380
0.075	171	920
0.1	253	1600
0.15	375	3000

Faktor fraksionasi tergantung dari suhu dan kelembapan udara.

Bentuk umum dari rumus faktor fraksionasi adalah sebagai berikut :

$$\alpha = p/p'$$

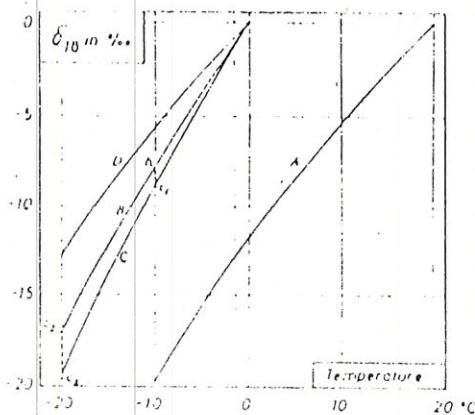
dimana  $p$  = Tekanan uap isotop ringan molekul air ( $\text{H}_2\text{O}^{16}$ )

$p'$  = Tekanan uap isotop molekul air yang lebih berat ( $\text{HDO}$  atau  $\text{H}_2\text{O}^{18}$ )

Pada suhu ruang Dansgard memperoleh harga sebagai berikut :

$$\alpha_D = 1.08 \text{ dan } \alpha_{^{18}O} = 1.009$$

*Pengaruh Suhu Udara (Temperature Effect).* Kondensasi isotermal tidak pernah terjadi di atmosfer bumi. Formasi presepitasi disebabkan oleh proses pendinginan. Maka daripada itu kita tidak dapat secara umum menggunakan komposisi isotop dari jumlah presipitasi sebagai indikasi kondensasi suhu udara. Komposisi isotop yang terdapat pada air hujan lokal merupakan fungsi daripada beberapa parameter, antara lain kondisi termodinamik selama proses pendinginan. Proses pendinginan di bawah kondisi Rayleigh umumnya digunakan sebagai patokan, yang di sini akan terlihat bahwa  $\delta^{18}O$  dari kondensat naik terhadap perubahan suhu udara. Gambar 1 memperlihatkan hubungan antara suhu udara dan  $\delta^{18}O$ .



Gambar 1. Hubungan antara suhu udara dan  $\delta^{18}O$  pada kondisi Rayleigh.

*Pengaruh Jumlah Curah Hujan (Amount Effect).* Di daerah tropis seperti Indonesia, pengaruh jumlah curah hujan akan sangat terasa terhadap kandungan deuterium dan oksigen-18 dalam air hujan. Ketinggian awan dan pada umumnya kelembapan udara yang tinggi menyebabkan sedikit relatif pengayaan oleh penguapan sewaktu jatuhnya butiran air hujan. Pada musim hujan kandungan  $^{18}O$  akan depleted dan sebaliknya pada musim kemarau. Data dari IAEA (5) menyatakan bahwa setiap penambahan curah hujan 100 mm akan meningkatkan depletion sebanyak 1%. Data kandungan isotop dalam diseluruh dunia di dalam air hujan dan presipitasi menunjukkan hubungan linier sebagai berikut:

$$\delta D(5.) = 8 \delta^{18}O + 10$$

Walaupun demikian beberapa negara dan wilayah tidak selamanya mempunyai hubungan antara kandungan deuterium dan oksigen-18 yang dengan slope yang sama. Suatu wilayah atau daerah yang curah hujannya relatif sedikit, hubungan deuterium dan oksigen-18 memiliki slope yang lebih kecil daripada 8.

#### BAHAN DAN METODE

*Pengumpulan Sampel.* Pengumpulan sampel dan Pembacaan jumlah curah hujan dilakukan disebuah stasiun curah hujan yang diletakkan di komplek PAIR Pasar Jumat, Jakarta. Dua macam cara yang dilakukan yaitu pembacaan dan pengam-

bilan sampel secara harian dan secara bulanan. Jumlah curah hujan dicatat dalam mm, dilakukan setiap pagi hari pukul 9, untuk data curah hujan sehari sebelumnya. Pengambilan contoh air untuk bulanan dilakukan dengan menggunakan penampung curah hujan khusus, yaitu suatu penampung curah hujan yang bagian permukaan air hujan dilapisi parafin oil sehingga air hujan tidak dapat menguap. Dengan demikian diharapkan bahwa kandungan deuterium dan  $^{18}\text{O}$  tidak mengalami evaporasi. Contoh air diambil tiap akhir bulan untuk dianalisis sebagai data bulanan disamping data harian yang diambil setiap hari hujan. Pengumpulan contoh dilakukan mulai tahun 1984 sampai sekarang.

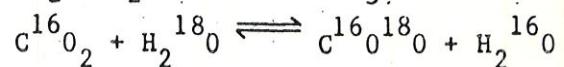
**Spektrometer Masa.** Alat yang dipergunakan untuk menganalisis sampel ialah spektrometer masa Tipe SIRA 9 dan ISOPREP 18 buatan Inggris tahun 1984. Tabung gas kamar pengion divakum sampai  $1 \times 10^{-9}$  mBar. Untuk menganalisis contoh deuterium diperlukan tegangan tinggi sampai 4100 volt dan untuk oksigen -18 diperlukan tegangan tinggi 2600 volt. Elektron diakelerasi melewati medan magnit permanen dan ditangkap menggunakan kolektor. Arus kolektor akan diteruskan kepada head amplifier yang selanjutnya akan diolah menggunakan komputer Packard tipe 868. Rasio spektrometer masa masih harus dikalibrasi untuk mendapatkan deuterium atau oksigen-18 terhadap SMOW (Standard Mean

Ocean Water).

Preparasi deuterium dilakukan dengan cara mereaksikan 10 ml sampel dengan zinc dan dipanaskan pada suhu 450°C selama 30 menit.



Preparasi oksigen-18 dilakukan dengan jalan mengocok 2 ml sampel dengan  $\text{CO}_2$  selama 8 jam. Reaksi isotop exchange-nya adalah sebagai berikut :



## HASIL DAN PEMBAHASAN

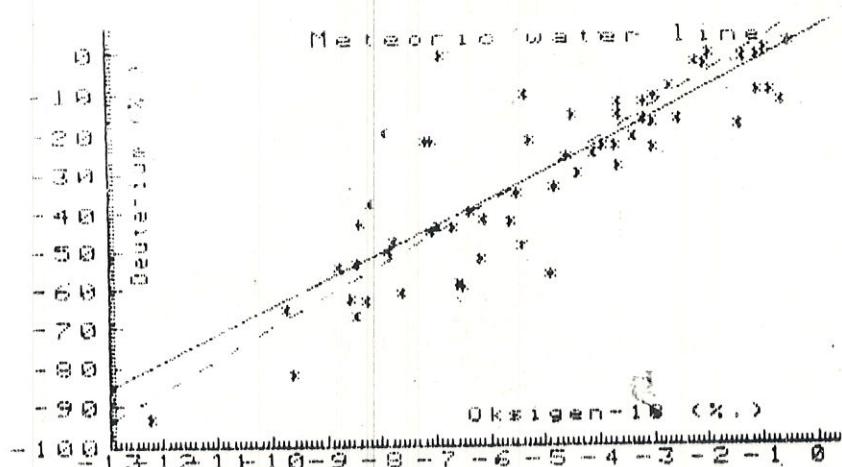
Tabel 2 menunjukkan hasil pengamatan curah hujan harian pada tahun 1986 disertai dengan hasil analisis kandungan deuterium dan oksigen-18nya. Jumlah curah hujan tahun 1986 adalah 2532 mm dengan intensitas rata-rata = 211 mm/bulan. Grafik hubungan antara kandungan deuterium dan oksigen-18 dari curah hujan harian di Jakarta seperti yang terlihat pada Gambar 2 menunjukkan hubungan linear dengan persamaan sebagai berikut :

$$\delta_D = 6.88 \delta^{18}\text{O} + 4.02 \quad (r = 0.81)$$

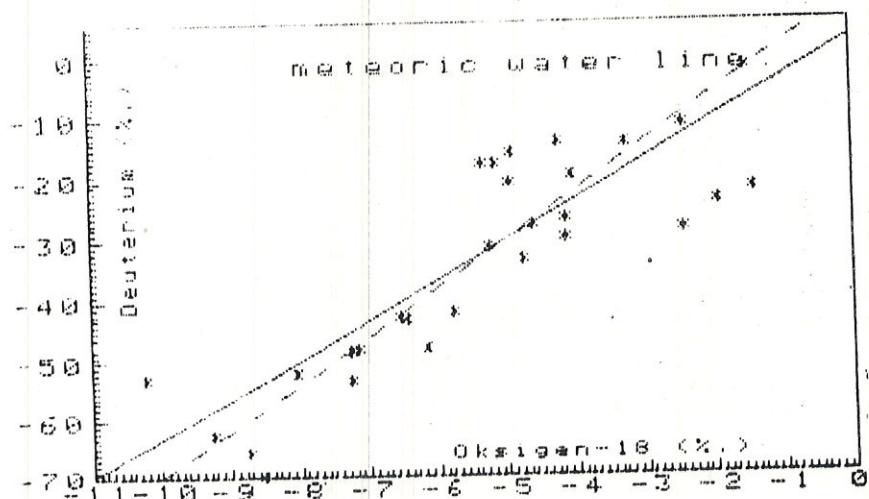
Hasil penelitian ini ternyata mendapatkan harga slope yang lebih kecil dari harga slope meteoric water line (=8). Hal ini menurut CRAIG (1) adalah wajar dan sesuai dengan teori yang disebutkan terdahulu bahwa di daerah tropis dengan suhu udara rata-rata berkisar antara

28°C dan kelembapan udara 65% akan memungkinkan terjadinya penguapan dari pada butiran-butiran curah hujan se-waktu jatuh.

Persamaan linier yang menunjukkan hubungan antara kandungan deuterium dengan oksigen-18 pada curah hujan bulanan adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Hubungan antara kandungan deuterium dan oksigen-18 pada curah hujan harian.



Gambar 3. Hubungan antara kandungan deuterium dan oksigen-18 di dalam curah hujan.

Data curah hujan yang diamati berdasarkan bulanan seperti yang terlihat pada Tabel 3 menunjukkan slope yang hampir sama dengan data curah hujan harian.

$$\delta D = 6.62 \quad \delta O^{18} + 2.93 \\ r = 0.84$$

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada

curah hujan yang lebih kecil dari 10 mm apabila dipisahkan akan menunjukkan slope yang berbeda dari slope curah hujan secara keseluruhan. Demikian juga pada curah hujan yang lebih besar dari 70 mm terlihat lebih mendekati slope dari meteoric water line. Hal ini disebabkan oleh pengaruh jumlah curah hujan (amount effect).

Hubungan antara oksigen-18 dan jumlah curah hujan dapat dilihat pada Gambar 4. Persamaan garis regresi linear dari hubungan antara kandungan oksigen-18 dengan jumlah curah hujan adalah sebagai berikut :

$$\delta O^{18} = 0.01 C - 0.4$$

$$r = 0.87$$

Di sini berarti bahwa setiap kenaikan curah hujan 100 mm akan menurunkan kandungan oksigen-18 sebanyak 1,5%.

Gambar 4.

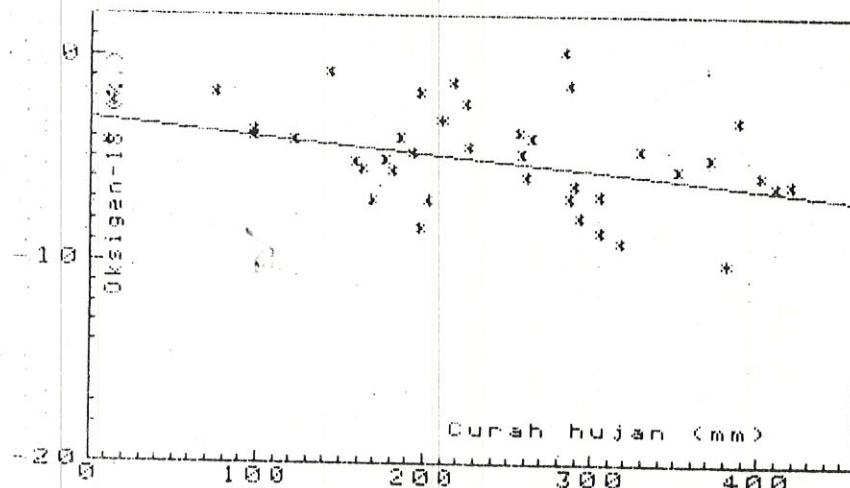
Pada penelitian ini tidak dapat terlihat gejala yang jelas adanya fluktuasi yang ditimbulkan oleh perubahan suhu udara (temperature effect). Suhu udara di tempat pengamatan berkisar antara 25-32°C dengan suhu udara rata-rata 29.5°C. Fluktuasi suhu udara hanya disebabkan oleh perubahan antara siang dan malam dan bukan oleh perubahan musim.

#### KESIMPULAN

Dari hasil-hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan diantaranya adalah sebagai berikut :

Kandungan deuterium dan oksigen-18 di Jakarta adalah normal untuk daerah tropis yaitu dengan slope lebih kecil dari meteoric water line baik pada pengambilan contoh harian maupun bulanan.

Hasil penelitian tidak menunjukkan



Gambar 4. Hubungan antara kandungan oksigen-18 dengan jumlah curah hujan.

pengaruh perubahan suhu udara terhadap kandungan deuterium dan oksigen-18.

Perlu diadakan penelitian pada areal yang berbeda garis lintang dan ketinggian karena keduanya banyak berperan dalam mempengaruhi terjadinya fraksionasi curah hujan.

Hasil penelitian ini dapat dipergunakan untuk pengembangan penelitian masalah air tanah dan kesetimbangan air limpasan di daerah Jakarta dan sekitarnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. CRAIG, H., Isotopic variation in meteoric waters, *Science* 133 (1961) 1702.
2. DANSGAARD, W., The isotopic composition of natural waters, *Medd. Groenland*, 2 (1961) 165.
3. DANSGAARD, W., Stable isotopes in precipitations, *Tellus*, 16 (....)  
...
4. ENHALT, D., KNOT, K., NAGEL, J.F., Deuterium and oxygen-18 in the rain water, *J. Geophysic Res.* 68 (1968) 3775.
5. IAEA, Statistical Treatment of Environmental Isotope Data in Precipitation (Technical Report Series No. 206), IAEA, Vienna (1981).

Tabel 2. Data curah hujan harian di Jakarta

Date	Oxygen-18	D deut.	Rainfall
08-Jan-86	-9.69	-81.95	52.32
12-Jan-86	-4.19	-19.60	21.34
14-Jan-86	-1.63	-28.60	31.24
15-Jan-86	-6.74	-44.40	6.86
17-Jan-86	0.66	-16.00	13.72
23-Jan-86	8.62	6.50	26.16
26-Jan-86	-3.40	-21.40	75.67
27-Jan-86	-1.45	-18.65	9.40
28-Jan-86	-4.04		5.08
03-Feb-86	-8.45	-43.40	72.14
24-Feb-86	-3.69	-29.00	24.64
02-Mar-86	-6.56	-59.70	55.88
15-Mar-86	-6.22	-52.50	52.83
02-Apr-86	-1.78	-60.85	64.77
09-Apr-86	-1.78	-47.15	59.69
15-Apr-86	-5.68	-42.85	21.08
29-Apr-86	-5.37	-10.65	40.64
04-May-86	-6.91	-1.10	42.20
06-May-86	-7.07	-44.00	28.70
08-May-86	-7.11	-22.35	8.20
11-May-86	-7.21	-22.20	43.15
12-May-86	-8.24	-37.85	16.64
14-May-86	-3.05	-24.10	19.05
15-May-86	-2.56	-17.15	12.19
26-May-86	3.84	7.10	3.56
30-May-86	-5.31	-22.30	58.42
03-Jun-86	-3.67	-12.80	10.41
11-Jun-86	-6.15	-42.30	60.98
15-Jun-86	-8.32	-63.20	60.20
16-Jun-86	-8.52	-67.20	52.10
09-Jul-86	-0.87	-10.30	43.18
12-Jul-86	-1.10	-10.50	6.35
15-Jul-86	-2.14		30.23
20-Jul-86	-1.37	-1.90	4.83
21-Jul-86	0.83	-2.40	4.32
23-Jul-86	-5.55	-35.35	2.03
26-Jul-86	-0.67	-12.75	25.40
05-Aug-86	-2.24	-2.90	44.20
06-Aug-86	-4.62	-26.24	35.50
10-Aug-86	-3.73	-23.70	51.56
14-Aug-86	-4.43	-30.70	70.10
03-Sep-86	-1.98	-0.90	5.33
09-Sep-86	-12.32	-93.30	16.76
11-Sep-86	-4.95	-56.50	9.14
14-Sep-86	-8.84	-54.50	38.86
15-Sep-86	-6.63	-58.60	14.48
16-Sep-86	-7.82	-47.75	69.34
19-Sep-86	-2.72	-9.05	9.91
20-Sep-86	-3.21	-16.95	33.78
21-Sep-86	-3.96	-23.65	25.91
23-Sep-86	-3.19	-13.05	33.53
28-Sep-86	-3.66	-16.10	
03-Oct-86	-0.52	1.66	23.87
04-Oct-86	-2.07	-3.55	35.05
05-Oct-86	-1.10	-1.75	19.56
09-Oct-86	-4.52	-16.10	23.11
20-Oct-86	-0.96	0.10	28.96
25-Oct-86	-8.42	-53.65	39.88
26-Oct-86	-7.91	-50.60	6.86
29-Oct-86	-7.42	-45.40	30.23
03-Nov-86	-3.04	-17.80	25.15
04-Nov-86	-4.85	-33.90	47.50
05-Nov-86	-4.13	-25.55	16.26
06-Nov-86	-5.45	-49.15	23.11
10-Nov-86	-6.41	-40.35	4.32
12-Nov-86	-7.68	-61.10	4.57
18-Nov-86	-1.48	-5.10	31.50
24-Nov-86	-3.25	-82.60	52.83
26-Nov-86	-7.96	-19.80	50.55
27-Nov-86	-3.92	-82.75	
11-Dec-86	-3.01	-11.55	45.47
13-Dec-86	-8.63	-62.90	145.30
14-Dec-86	-9.81	-65.55	39.12
15-Dec-86	-10.24	-65.95	71.12
16-Dec-86	-13.49	-92.40	18.03
26-Dec-86	-5.51	-39.85	43.18

Tabel 3. Data curah hujan bulanan di Jakarta.

Date	Total (mm)	<sup>18</sup> O	<sup>2</sup> H
84.01	407		
84.02	259	-6.2	-46.9
84.03	303	-7.1	-59.7
84.05	303	-8.8	-64.9
84.06	96	-4.1	-18.6
84.09	291	-8.1	-51.1
84.10	262	-4.2	-25.9
84.12	195	-8.6	-69.1
85.01	223	-2.5	-10.5
85.02	200	-7.3	-52.2
85.03	73	-2.0	-23.0
85.05	327	-4.8	-32.4
85.07	369	-5.2	-16.6
85.08	11	-2.5	-27.4
85.10	174	-5.3	-30.4
85.11	183	-4.2	-28.9
85.12	156	-5.4	-16.6
86.01	285	-7.2	-47.1
86.02	288	-6.6	-41.8
86.03	315	-9.3	-61.9
86.04	418	-6.5	-42.1
86.05	256	-5.0	-19.7
86.06	166	-7.3	-47.4
86.07	120	-4.3	-13.1
86.08	208	-3.3	-13.4
86.09	285	-1.6	+0.9
86.10	224	-4.7	-27.0
86.11	349	-5.8	-41.3
86.12	388	-10.3	
87.04	191	-5.0	-15.0
87.01	179	-6.1	
87.03	398	-6.6	
87.05	161	-5.8	
87.06	179	-5.8	
87.07	96	-3.8	
87.08	8	-4.4	

