

LAPORAN TEKNIS 2015

07.d./AIR 2/OT 02 02/01/2016

STUDI INTERAKSI AIR TANAH DAN AIR SUNGAI
SEPANJANG DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) CILIWUNG
DENGAN ISOTOP ALAM ^{18}O , ^2H , DAN ^{222}Rn

Evarista Ristin Puji Indiyati, Bungkus Pratikno, Agus Martinus



PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
2016

LAPORAN TEKNIS 2015

07.d./AIR 2/OT 02 02/01/2016

STUDI INTERAKSI AIR TANAH DAN AIR SUNGAI
SEPANJANG DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) CILIWUNG
DENGAN ISOTOP ALAM ^{18}O , ^2H , DAN ^{222}RD

Evarista Ristin Puji Indiyati, Bungkus Pratikno, Agus Martinus

Mengetahui/Menyetujui

Kepala Bidang Industri dan Lingkungan



Dr. Sugiharto, MT
NIP. 19620705 198510 1 002

Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi



Dr. Hendig Winarno, M.Sc
NIP. 19600524 198801 1 001

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian terhadap air sungai Ciliwung di sepanjang daerah aliran sungai (DAS) dimulai dari bagian hulunya yaitu di daerah Puncak-Bogor hingga di bagian hilirnya yaitu di daerah Ancol-Jakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kimia dan isotop air sungai Ciliwung karena S. Ciliwung merupakan sungai terbesar yang melintasi Jakarta dan sering menimbulkan banjir. Parameter yang dipakai yaitu hidrokimia dan isotop alam ^2H dan ^{18}O . Nilai konduktivitas listrik (EC) menunjukkan peningkatan dari 0.06 mS/cm di bagian hulu hingga 1.6 mS/cm di bagian hilir, pada musim kemarau terjadi peningkatan EC yang lebih tinggi. Tipe air sungai mengalami evolusi dari CaSO_4 di bagian hulu menjadi tipe NaCl di bagian hilir yang kemungkinan disebabkan oleh masuknya air laut ke badan sungai. Kejadian ini diperkuat oleh data isotop ^2H dan ^{18}O yang mengalami pengkayaan pada air sungai di bagian hilir. Pengkayaan isotop ^2H dan ^{18}O semakin tinggi terjadi pada musim kemarau yang disebabkan oleh penambahan faktor penguapan.

Kata kunci: isotop alam, hidrokimia, sungai Ciliwung dan air laut

PENDAHULUAN

Sungai Ciliwung merupakan sungai terbesar yang mengalir di tengah ibukota Jakarta. Sungai ini berhulu di Gunung Pangrango, Jawa Barat dan mengalir melalui Puncak, Ciawi, lalu membelok ke utara melalui Bogor, Depok, Jakarta dan bermuara di Teluk Jakarta. Sepanjang alirannya, sungai ini melalui daerah pertanian, perumahan dan industri. Pencemaran air Sungai Ciliwung saat ini sudah memasuki tahap pencemaran berat, sebagian besar penyebab pencemaran itu adalah limbah domestik atau sampah rumah tangga. Pencemaran berat akan mengakibatkan biota sungai berkurang dan airnya tidak bisa dimanfaatkan. Menurut Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah (BPLH) DKI Jakarta pemantauan terakhir pada 2008 di enam titik, hanya dua titik pemantauan yang termasuk indek pencemaran airnya kategori sedang, yakni di sekitar Condet dan Kelapa Dua. Sedangkan empat titik pemantauan lainnya kualitas air Ciliwung sudah tercemar berat dilihat dari parameter kimia dan biologinya. Keempat titik tersebut yakni Manggarai, Kwitang, Pantai Marina dan Kapuk Muara (PIK). Pencemaran di sepanjang Sungai Ciliwung tersebut bukan didominasi limbah industri, karena sepanjang sungai Ciliwung tidak terlalu banyak industri. Namun penyebab utamanya adalah kebiasaan warga membuang sampah dan limbah rumah tangga lainnya ke dalam sungai. Selain itu, masuknya air laut ke sungai Ciliwung di bagian hilir turut menurunkan kualitas air sungai.

Eksplorasi air tanah yang berlebihan karena padatnya pemukiman dan industri seperti di Jakarta akan menimbulkan penurunan muka air tanah. Jika hal ini terjadi maka akan terjadi penyusutan air tanah dangkal (*shallow groundwater*), termasuk air permukaan (air sungai), ke air tanah dalam (*deep groundwater*) yang umumnya digunakan sebagai pemasok air bersih. Senyawa pencemar yang terdapat pada air permukaan maupun air tanah dangkal tentu akan ikut mencemari air tanah dalam. Proses penyusutan atau interaksi air sungai ke air tanah dangkal hingga ke akuifer air tanah dalam tentu sangat tidak dikehendaki.

Proses interaksi air tanah dangkal dan air permukaan sangat rumit dimana air sungai dapat mengisi ke badan air tanah atau sebaliknya air sungai memperoleh air dari air tanah di sepanjang alirannya. Perunut alam (^{18}O dan ^2H) dalam senyawa air dapat digunakan untuk mempelajari interaksi antara air tanah dan air permukaan. Grafik ^2H terhadap ^{18}O dapat memperlihatkan ada tidaknya pencampuran atau *mixing* antara air tanah dengan air sungai. Parameter isotop menyediakan data independen yang dapat mendukung data kimia atau bahkan dapat membantah data kimia.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui interkoneksi antara air tanah dangkal dan air sungai Ciliwung. Dalam penelitian ini metode isotop dilengkapi dengan metode konvensional yaitu anion dan kation mayor terlarut dalam air yaitu Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} dan HCO_3^- . Selain itu juga dilakukan pengukuran parameter fisik seperti total padatan terlarut, pH, suhu dan konduktivitas untuk mendapatkan kesimpulan yang komprehensif.

METODE

Bahan dan peralatan

Bahan yang digunakan adalah standar ^{18}O dan ^2H air dari LGR (Los Gatos Research), anhydrous CaSO_4 , HCl , HNO_3 , vial gelas 2ml, kertas saring Anotop 10, nitrogen cair, acetone, BaCl_2 , NaOH , dan larutan standar Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4 .

Peralatan yang digunakan adalah Liquid Water Stable Isotope Analyzer LGR-DT100 yang telah dilengkapi dengan pompa vakum, kolom gelas, CTCLC-PAL liquid Auto Sampler, syringe 1,25 μL , auto sampler tray, poly tetrafluoroethylene (PTFE) septum dan transfer line, Liquid Scintillation Analyzer Tri-Carb 2910TR dari Parkin Elmer, preparation line untuk CO_2 , Ion Chromatography Metrohm, pH meter, Global Positioning System (GPS) dan pengukur portable pH, EC, TDS dan suhu di lapangan.

Lokasi dan Cara Sampling

Lokasi sampling air sungai Ciliwung dimulai dari bagian hulu yakni di Telaga Warna - Puncak-Bogor, di kota Bogor, Depok, Jakarta hingga ke air laut di Ancol dengan jarak 5-10 km per titik. Pengambilan sampel dilakukan pada awal bulan April yang mewakili musim penghujan dan September yang mewakili musim kemarau 2015. Parameter fisik seperti pH, EC, TDS dan suhu diukur di lapangan sesegera mungkin untuk mencegah pengaruh lingkungan. Untuk analisis isotop ^{18}O dan ^2H , sampel air dituang ke dalam botol 15 ml dan ditutup rapat tanpa ada gelembung udara di dalamnya. Untuk analisis kation dan anion mayor, contoh air dimasukkan ke dalam botol 1 liter secara terpisah. Untuk contoh kation, dilakukan pencegahan pengendapan dengan menambahkan HNO_3 encer beberapa tetes.

Metode Analisis

Analisis ^{18}O dan ^2H

Sampel air disaring terlebih dahulu kemudian dipipet 1 ml. Sampel air dan standar air diletakkan ke dalam auto sampler *tray* dimana tiap 5 sampel diikuti 3 standar dengan nilai yang berbeda. Sampel diukur nilai ^{18}O dan ^2H dengan menggunakan alat Liquid water Stable Isotope Analyzer LGR-DT100 yang disambungkan ke CTC LC-PAL auto sampler tray. Konsentrasi molekuler ^2HHO , HH^{18}O dan HHO dihitung dengan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang 1390 nm. Tiap sampel diukur 6 kali untuk mendapatkan kebolehulangan yang baik.

Analisis Anion dan Kation Mayor

Analisis anion mayor (Cl^- dan SO_4^{2-}) dalam contoh air dilakukan dengan Ion Chromatografi 833 Basic plus Metrohm yang dilengkapi dengan 863 Compact Autosampler dengan kolom Metrosep A supp-5 150/4.0. Analisa kualitatif dilakukan dengan membandingkan waktu retensi tiap senyawa pada contoh dengan waktu retensi larutan standar. Urutan waktu retensi adalah sebagai berikut Cl^- sekitar 7 menit dan SO_4^{2-} sekitar 35 menit. Lama pengukuran adalah sekitar 50 menit tiap sampel. Dalam setiap 1 cycle pengukuran perlu disertakan larutan standar untuk menetapkan waktu retensi setiap senyawa dan pergeseran kurva kalibrasi standar. Analisa kuantitatif dilakukan dengan mengukur luas puncak pada waktu retensi tiap senyawa kemudian mengplotkannya ke kurva kalibrasi larutan standar sehingga dapat diketahui konsentrasi tiap senyawa. Analisa bikarbonat dilakukan dengan metode titrasi menggunakan HCl 0.02N, titik titrasi pada $\text{pH}=4.5$ atau dengan indikator metil orange.

Untuk analisa kation mayor (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+}) dilakukan juga dengan Ion Chromatografi 833 Basic plus Metrohm yang dilengkapi dengan 863 Compact Autosampler dengan jenis kolom

Metrosep C-4 250/4.0. Analisa kualitatif dan kuantitatif pada kation sama dengan analisa pada anion. Urutan waktu retensi adalah sebagai berikut: Na sekitar 6 menit, K sekitar 12 menit, Ca sekitar 23 menit dan Mg sekitar 30 menit.

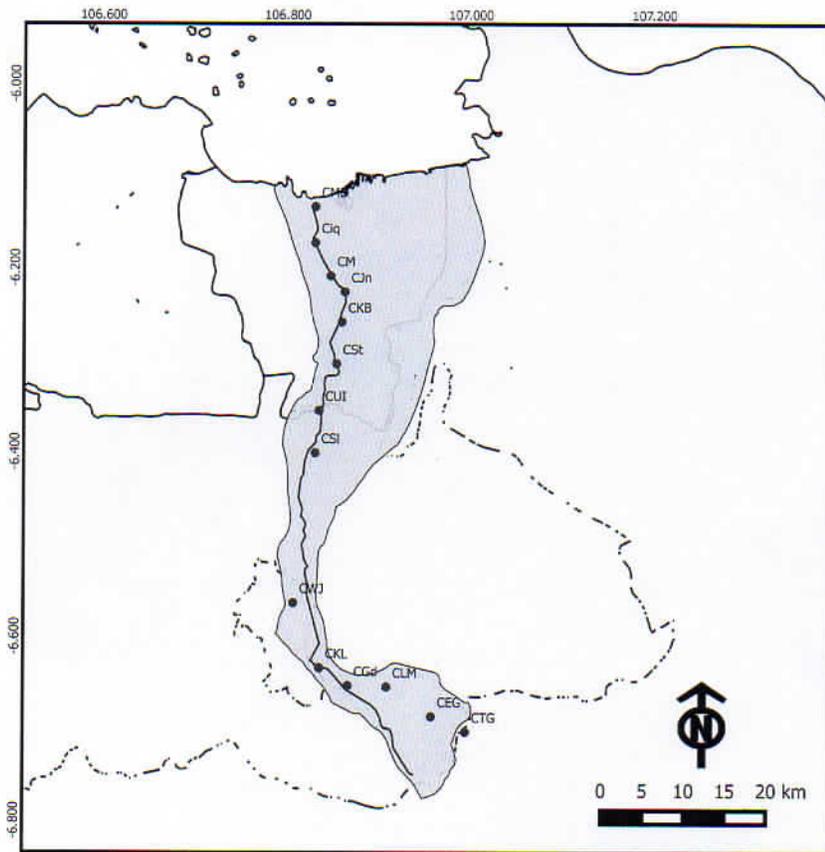
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan contoh air sungai dilakukan dalam 2 periode yaitu musim penghujan (April 2015) dan musim kemarau (September 2015). Data lokasi pengambilan contoh seperti tertera pada Tabel 1 yang kemudian dipetakan pada DAS Ciliwung seperti Gambar 1. Data pengukuran parameter fisik lapangan dalam dua periode pengambilan contoh dicantumkan pada Tabel 2. Konduktivitas listrik (EC dalam $\mu\text{S}/\text{cm}$) sebanding dengan total padatan terlarut (TDS dalam ppm), $\text{TDS} = \text{EC} \times 0.55$. Pada Tabel 2 memperlihatkan kenaikan EC dari hulu sungai Ciliwung di bagian hulu (EC di Telaga Warna sekitar $0.069 \text{ mS}/\text{cm}$) hingga ke hilir (EC di Mangga Dua sekitar $1.6 \text{ mS}/\text{cm}$). Kenaikan ini terlihat baik pada musim penghujan maupun musim kemarau dengan lonjakan lebih tinggi pada musim kemarau. Kenaikan EC pada musim kemarau lebih tinggi sekitar dua kali daripada EC pada musim penghujan, akan tetapi contoh air dari Telaga Warna tidak menunjukkan kenaikan yang signifikan pada kedua musim. Kenaikan EC pada musim kemarau dibandingkan musim penghujan kemungkinan disebabkan oleh faktor penguapan pada badan air yang lebih *stagnant*. Nilai EC di sungai Ciliwung daerah Mangga Dua hingga $1.6 \text{ mS}/\text{cm}$ dibandingkan EC contoh air sungai Ciliwung di daerah Istiqlal ($0.464 \text{ mS}/\text{cm}$) menunjukkan kemungkinan pencampuran dengan air laut.

Pada Tabel 2 nilai pH pada kedua musim tidak menunjukkan perbedaan yang berarti, yakni berkisar pada $\text{pH} = 6.58$ sampai 7.86 . Nilai pH terendah adalah di daerah hulu sungai (Telaga Warna) dan nilai pH tertinggi adalah di daerah hilir (Mangga Dua). Kenaikan pH di daerah hilir menunjukkan adanya pengaruh air laut (pH air laut rata-rata sekitar 8.2) yang masuk ke badan sungai. Kenaikan pH pada daerah hilir mendukung data EC yang juga mengalami peningkatan signifikan.

Tabel 1. Lokasi pengambilan contoh air sungai Ciliwung

No	Lokasi sampling	Kode	Koordinat	
			South	East
1	Telaga Warna	CTG	06 92 9.7	106 59 46.1
2	Evergreen	CEG	06 41 9.5	106 57 31.3
3	Leuwi Malang	CLM	06 39 14.5	106 54 36
4	Gadok	CGd	06 39 8.9	106 52 5.0
5	Katulampa	CKL	06 37 59.6	106 50 13.2
6	Warung jambu	CWJ	06 33 44.9	106 48 28.7
7	Siliwangi	CSI	06 24 1.9	106 49 54.4
8	Universitas Indonesia	CUI	06 21 16.5	106 50 9.4
9	Simatupang	CSt	06 18 13.6	106 51 17.5
10	Kalibata	CKB	06 15 29.3	106 51 37.7
11	Jatinegara	CJn	06 13 30.8	106 50 49.3
12	Manggarai	CM	06 12 28.4	106 50 53.6
13	Istiqlal	Ciq	06 10 19.6	106 49 52.6
14	WTC Mangga Dua	CMD	06 07 59.0	106 49 52.6



Gambar 1. DAS Ciliwung dan lokasi pengambilan sampel air sungai

Tabel 2. Data pengukuran parameter lapangan contoh air Ciliwung

No	Kode	April 2015			September 2015		
		pH	EC (mS/cm)	T (oC)	pH	EC (mS/cm)	T (oC)
1	CTG	6.58	0.063	22.5	7.16	0.069	22.7
2	CEG	6.63	0.085	21.9	7.14	0.143	21.6
3	CLM	7.25	0.106	22	7.22	0.166	22.3
4	CGd	7.38	0.111	22.8	7.25	0.164	23
5	CKL	7.9	0.104	25.9	7.44	0.146	29.4
6	CWJ	7.33	0.118	26.4	7.24	0.278	28.6
7	CSI	7.43	0.136	26.1	7.31	0.229	27.9
8	CUI	7.38	0.142	27.6	7.35	0.322	28.3
9	CSt	7.04	0.149	28.1	7.40	0.353	28.6
10	CKB	7.39	0.185	27.9	7.41	0.457	28.5
11	CJn	7.25	0.181	29.9	7.38	0.422	29.9
12	CM	7.46	0.182	30.1	7.34	0.45	30.2
13	Ciq	7.56	0.447	30.5	7.36	0.464	32.5
14	CMD	7.86	0.623	30	7.59	1.6	31

Tabel 3 menunjukkan data hidrokimia air sungai Ciliwung dari hulu hingga ke hilir pada musim penghujan. Tabel 4 menunjukkan data hidrokimia air sungai Ciliwung pada titik yang sama pada musim kemarau. Pada kedua musim, kation Na-Ca, dan anion Cl-HCO₃ mendominasi kandungan hidrokimia air sungai Ciliwung. Di bagian hulu (Telaga Warna) menunjukkan kandungan hidrokimia paling rendah kemudian mengalami peningkatan sepanjang aliran sungai Ciliwung. Pada bagian hilir (Mangga Dua) menunjukkan kandungan hidrokimia paling tinggi. Evolusi air sungai yang menyebabkan peningkatan salinitas kemungkinan berasal dari:

1. Pencucian dan semburan garam-garam di udara oleh hujan secara langsung, pelarutan mineral evaporit dari permukaan, tanah atau formasi akuifer.
2. Penyusupan oleh air laut atau percampuran dengan air asin yang terperangkap
3. Pemekatan garam karena proses evaporasi
4. Pelarutan sumber-sumber antropogenik seperti pupuk atau limbah industry.

Tabel 3 dan 4 memperlihatkan diagram piper evolusi air sungai pada dua kali pengambilan contoh. Satuan untuk tiap unsur adalah dalam meq/l yang kemudian dihitung ke persentase. Pada musim penghujan (Tabel 3) terlihat bahwa air Telaga Warna dan S. Ciliwung di dekat Hotel Evergreen menunjukkan tipe CaSO₄. Air hujan juga memiliki tipe air CaSO₄ yang

menunjukkan adanya pelarutan mineral gypsum- CaSO_4 . Pada titik di Leuwi Malang (Bogor) hingga di Jatinegara (Jakarta), air sungai Ciliwung mengalami peningkatan kandungan hidrokimia mayor sehingga bergerak ke arah tipe air Ca-Mg-HCO_3 yang menunjukkan adanya pelarutan mineral karbonat - CaCO_3 dan dolomite - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Pada titik Istiqlal, air sungai Ciliwung mengalami pergerakan ke arah tipe air Na-Cl , yaitu tipe air laut, dan semakin terlihat percampuran dengan air laut pada titik Mangga Dua.

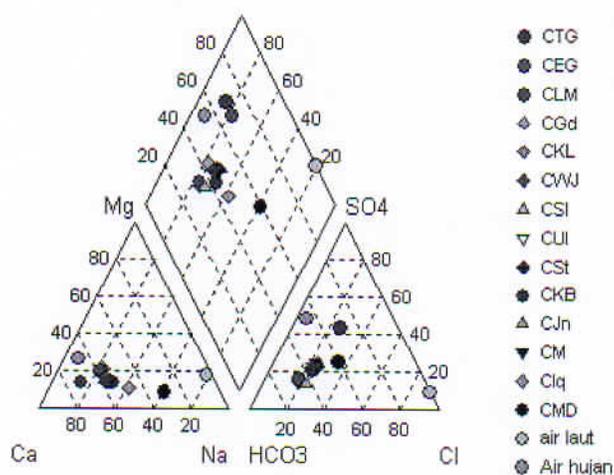
Pada musim kemarau terjadi pergeseran tipe air untuk Telaga Warna dan sungai Ciliwung dekat Hotel Evergreen yang semula di tipe CaSO_4 ke tipe air Ca-Mg-HCO_3 . Air sungai Ciliwung dominan mempunyai tipe air Ca-Mg-HCO_3 kecuali di Mangga Dua yang tetap mempunyai tipe air NaCl . Tipe air Ca-Mg-HCO_3 pada musim kemarau terlihat menunjukkan peningkatan persentase yang signifikan pada ketujuh unsur mayor dalam air. Peningkatan ini disebabkan oleh faktor penguapan yang tinggi dan debit air yang rendah pada musim kemarau sehingga mineral terlarut lebih terpekatkan.

Tabel 3. Data anion dan kation air sungai Ciliwung pada periode pengambilan April 2015

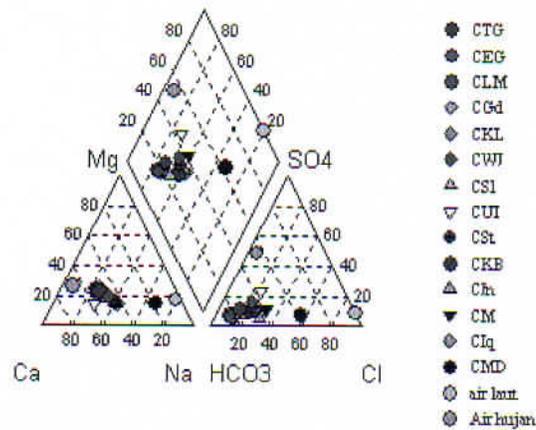
No	Kode	Konsentrasi (ppm)						
		Na	K	Ca	Mg	Cl	SO4	HCO3
1	CTG	2.11	0.42	8.95	1.04	7.19	16.4	14.57
2	CEG	4.15	0.79	9.90	1.95	8.04	18.8	16.99
3	CLM	5.13	1.59	11.78	2.49	8.46	10.3	53.41
4	CGd	5.65	1.47	12.42	2.95	11.43	15.7	50.69
5	CKL	5.58	1.59	11.70	2.61	8.46	8.6	50.98
6	CWJ	6.93	2.08	13.18	2.24	11.85	16.5	51.14
7	CSI	8.20	1.86	15.38	2.45	12.27	9.4	58.27
8	CUI	8.75	2.18	16.26	2.50	13.54	19	58.27
9	CSt	9.23	2.20	16.42	2.33	15.66	20	58.27
10	CKB	12.46	3.14	18.96	2.88	15.23	18.5	65.75
11	CJn	12.21	2.71	19.70	3.06	17.35	24	63.12
12	CMg	11.93	2.52	19.53	3.01	16.93	24.6	67.98
13	Ciq	37.37	6.60	36.89	5.13	31.74	39.2	123.82
14	CMD	78.74	8.92	34.39	5.99	68.55	70.1	140.81

Tabel 4. Data anion dan kation air sungai Ciliwung pada periode pengambilan September 2015

No	Kode	Konsentrasi (ppm)						
		Na	K	Ca	Mg	Cl	SO4	HCO3
1	CTG	3.49	1.07	5.95	1.65	4.68	4.99	43.1
2	CEG	8.15	2.05	16.75	4.85	4.8	5.14	74.4
3	CLM	10.79	2.43	20.38	5.76	7.39	5.79	96
4	CGd	10.47	1.9	17.63	5.65	8.66	6.3	88.3
5	CKL	8.38	1.92	14.89	3.4	7.56	4.63	80
6	CWJ	20.26	4.58	24.47	6.27	16.76	18.68	94.6
7	CSI	15.1	4.41	19.02	4.23	11.46	6.82	90.4
8	CUI	25.53	5.86	25.7	6.19	20.06	9.24	93.9
9	CSt	26.38	6.23	28.71	6.27	19.58	16.03	105.7
10	CKB	37.53	9.38	37.72	8.35	28.09	16.81	162
11	CJn	36.39	7.76	33.78	6.92	46.35	11.556	173.9
12	CMg	37.32	9.05	37.57	7.62	35.68	17.82	114.7
13	Ciq	44.83	9.52	39.47	8.22	30.93	20.41	149.5
14	CMD	213.82	16.71	50.82	26.07	219.48	38.32	252.4



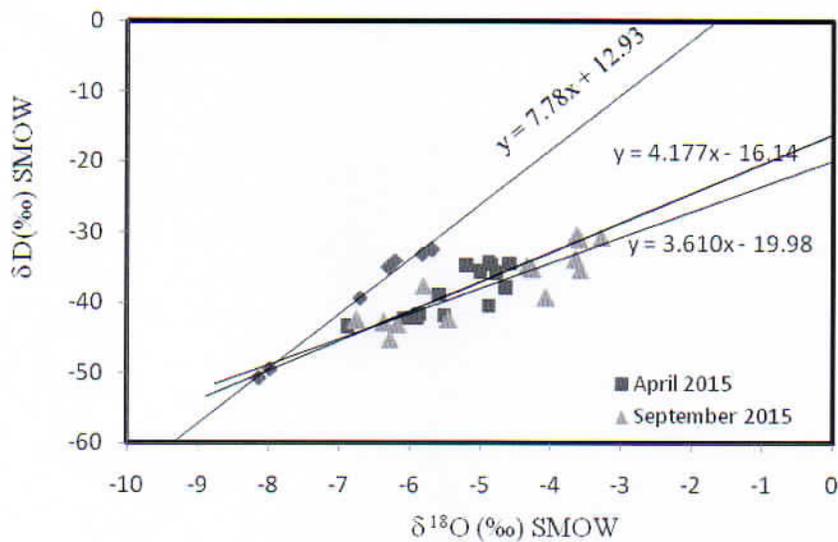
Gambar 3. Diagram Piper air sungai Ciliwung April 2016



Gambar 3. Diagram Piper air sungai Ciliwung September 2015

Tabel 5. Hasil isotop alam air sungai Ciliwung pada pengambilan April dan September 2015

No	Kode	April		September	
		O-18 (‰)	H-2 (‰)	O-18 (‰)	H-2 (‰)
1	CTG	-6.09	-42.1	-6.29	-45.1
2	CEG	-5.86	-41.6	-6.17	-43.0
3	CLM	-6.88	-43.5	-6.37	-42.7
4	CGd	-5.89	-42.1	-6.75	-42.4
5	CKL	-5.52	-41.8	-5.46	-42.3
6	CWJ	-4.89	-40.4	-4.07	-39.2
7	CSI	-5.19	-34.8	-3.59	-35.2
8	CUI	-5.01	-35.7	-3.29	-30.6
9	CSt	-5.58	-38.8	-3.65	-33.7
10	CKB	-4.63	-38	-5.81	-37.5
11	CJn	-4.89	-34.2	-4.26	-35.1
12	CMg	-4.78	-35.9	-4.34	-34.8
13	Ciq	-4.58	-34.4	-3.61	-31.0
14	CMD	-4.85	-34.5	-3.64	-30.3



Gambar 4. Hubungan nilai ^2H dan ^{18}O air sungai Ciliwung pada musim penghujan dan musim kemarau tahun 2015

Data isotop alam ^2H dan ^{18}O dari air sungai Ciliwung di sepanjang daerah alirannya dari hulu di Telaga Warna (Puncak-Bogor) hingga ke hilirnya di daerah Ancol seperti terlihat pada Tabel-5. Gambar 4 memperlihatkan bahwa pada musim kemarau pergeseran nilai ^2H dan ^{18}O dari garis air hujan lokal lebih besar. Garis regresi linier pada musim penghujan adalah $\delta^2\text{H} = 4.177 \delta^{18}\text{O} - 16.14$ sedangkan pada musim kemarau adalah $\delta^2\text{H} = 3.610 \delta^{18}\text{O} - 19.98$. Hasilnya menunjukkan terjadi kecenderungan pengkayaan nilai ^2H dan ^{18}O pada contoh air sungai dari hulu hingga ke hilir. Pengkayaan tersebut semakin meningkat pada pengambilan contoh air di musim kemarau yakni September-2015. Pengkayaan nilai isotop pada bagian hilir kemungkinan disebabkan beberapa faktor diantaranya adalah:

1. Aliran air laut dengan nilai ^2H dan ^{18}O terkayakan ke badan sungai.
2. Penguapan yang semakin tinggi pada badan air yang stagnant (terjadi pada contoh di CMD dan Ciq). Pada contoh CSI, CUI dan CSt pada musim kemarau menunjukkan nilai yang terkayakan, kemungkinan disebabkan oleh ketebalan air sungai yang rendah sehingga laju penguapan lebih besar dari laju air sungai itu sendiri.
3. Penyusupan air tanah dangkal yang lebih terkayakan pada musim kemarau karena formasi tanah yang panas sehingga menguapkan air tanahnya.

KESIMPULAN

Dari pengamatan parameter fisik di lapangan menunjukkan bahwa pH air sungai Ciliwung rata-rata adalah 7. Nilai konduktifitas listriknya (EC) mengalami peningkatan dari 0.06 mS/cm di bagian hulu hingga 1.6 mS/cm di bagian hilir, pada musim kemarau terjadi peningkatan EC yang lebih tinggi. Dari data kimia mayor Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} dan HCO_3^- menunjukkan tipe air S. Ciliwung adalah CaSO_4 di bagian hulu, kemudian berevolusi hingga menjadi tipe NaCl pada bagian hilir. Hal ini kemungkinan disebabkan aliran air laut yang masuk ke badan sungai. Kejadian ini diperkuat oleh data isotop ^2H dan ^{18}O yang mengalami pengkayaan pada air sungai di bagian hilir. Pengkayaan isotop ^2H dan ^{18}O semakin tinggi terjadi pada musim kemarau yang disebabkan oleh penambahan faktor penguapan.

DAFTAR PUSTAKA

1. DONGMEI, H., CLAUS, K., XIANFANG, S., GUOQIANG, X., JILONG, Y., "Geochemical and Isotopic Evidence for Paleo-Seawater Intrusion into the South Coast Aquifer of Laizhou Bay, China". *Applied Geochemistry* 2010, 26, 863-883.2011.
2. WANDOWO., ZAINAL, A., DJIONO," Penelitian Intrusi Air Asin dengan Metode Isotop Alam di Kabupaten Pasuruan", Laporan Lengkap Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi – Badan Tenaga Nuklir Nasional Jakarta, 2005.
3. WANDOWO., ZAINAL, A., "Daerah Resapan Cekungan Jakarta", Pertemuan Ilmiah APISORA, BATAN, Jakarta, 2002.
4. DISBANG DKI JAKARTA – SAPTA DAYA KARYATAMA, "Observasi Intrusi Air Asin/Laut di Wilayah DKI Jakarta", Laporan Akhir, 1997.
5. _____, "Laser Spectroscopy Analysis of Liquid Water Samples for Stable Hydrogen and Oxygen Isotopes – Training Course Series No. 35", IAEA, Vienna, 2009
6. CLARK, I.D., FRITZ, P.," Environmental Isotopes in Hydrogeology Cycle", Lewis Publishers, Boca Raton –New York, 1997.