

## POLA PENYEBARAN NITROGEN DAN ISOTOP ALAM DI SUNGAI CILIWUNG

Djijono, Zainal Abidin dan Wandowo  
Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta

### ABSTRAK

#### POLA PENYEBARAN NITROGEN DAN ISOTOP ALAM DI SUNGAI CILIWUNG.

Telah dilakukan penelitian terhadap pola penyebaran nitrogen dan isotop alam di sungai Ciliwung. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui pola pencemaran amonia, nitrit dan nitrat. Tujuan lainnya adalah mengetahui pola distribusi kandungan Deuterium, Oksigen-18, Karbon-13 dan Nitrogen-15 serta mencari kemungkinan adanya korelasi antara pencemaran nitrogen dan isotop alam. Sampling dilakukan di hulu, pertengahan, hilir sungai pada musim penghujan dan kemarau. Hasilnya menunjukkan bahwa sungai Ciliwung tercemar amonia dan terakumulasi ke arah hilir. Pola penyebaran kandungan Deuterium dan Oksigen-18 menunjukkan adanya efek altitudo. Karbon-13 dan Nitrogen-15 menunjukkan adanya kecenderungan *enriched* dan akumulasi polutan ke arah hilir.

### ABSTRACT

#### NITROGEN AND STABLE ISOTOPE DISPERSION IN CILIWUNG RIVER.

Investigation has been done for nitrogen and stable isotope dispersion in Ciliwung river. The aim of the investigation is to know the pollution of ammonium, nitrate and nitrite. Another aim is distribution of Deuterium, Oxygen-18, Carbon-13 and Nitrogen-15 and to study the possibility of any correlation of nitrogen pollution and stable isotope. Water sample was taken at the upstream and down stream of the river. Results show that Ciliwung river is contaminated by ammonium pollution and accumulated in the downstream direction. The Deuterium and Oxygen-18 is affected by altitude. Concentration of Carbon-13 and Nitrogen-15 shows the accumulation of pollution toward downstream.

### PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumberdaya utama dalam menunjang kehidupan makhluk hidup dan tumbuhan. Pada masa yang akan datang kebutuhan air akan semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, kebutuhan air per kapita akan semakin meningkat sesuai perkembangan sosial budaya masyarakat. Salah satu sumber air yang potensial di Jakarta adalah Sungai Ciliwung. Penggunaan air yang tidak terarah dapat menyebabkan pencemaran air permukaan dan mengurangi daya dukung sungai sebagai salah satu sumberdaya utama bagi kehidupan di Jakarta.

Diperlukan upaya yang terintegrasi dan terpadu untuk menghindari resiko penurunan kualitas air sungai bagi kehidupan sekarang maupun generasi yang akan datang. Pengelolaan sumberdaya sungai termasuk pengelolaan limbah yang tepat merupakan tantangan manusia agar setiap generasi dapat mewariskan sumberdaya sungai yang berkualitas kepada generasi yang akan datang (Kumar, 1979 dan Singh, 1980).

Pada umumnya bertambahnya jumlah penduduk pada suatu wilayah dapat meningkatkan

konsumsi sumberdaya air. Aktifitas manusia dalam menunjang kehidupannya dapat menimbulkan gangguan pada perubahan kualitas air sungai pada akhirnya terjadi degradasi kualitas air sungai (Todd, 1980).

Berbagai polutan telah ditemukan dalam air sungai Ciliwung. Pengelolaan sistem drainase pada daerah perkotaan tidak dapat mengikuti derasnya polutan yang mengancam kualitas air sungai. Makin berat tekanan kontaminan terhadap kualitas air sungai maka semakin kecil kemungkinan penggunaan air sungai untuk keperluan rumah tangga tanpa pengolahan dengan teknologi yang semakin rumit dan mahal. Biaya rumah tangga untuk memenuhi kebutuhan air semakin tinggi, dan ini merupakan salah satu bentuk eksternalitas yang harus ditanggung oleh setiap rumah tangga akibat aktivitas manusia yang tidak serasi dalam pengelolaan tata guna air sungai (Fetter, 1988).

Dalam kenyataannya keterbatasan biaya dan teknologi membatasi ketersediaan air bersih untuk masyarakat secara merata. Di lain pihak tidak semua masyarakat dapat menggantungkan kebutuhan air bersih yang dihasilkan oleh sistem pengolah air sentral seperti Perusahaan Air Mi-

num (PAM). Baru sebagian kecil dari penduduk perkotaan yang dapat menikmati pelayanan distribusi PAM. Lainnya harus menggunakan air tanah dangkal dan air sungai untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga dan keperluan lainnya seperti industri kecil dan sarana sosial lain. Dengan demikian dapat dimengerti bahwa penelitian dan pengelolaan secara terpadu terhadap sungai selayaknya ditingkatkan. Perlu dilakukan penelusuran tentang kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhinya dan cara menanggulangnya secara benar dan terpadu. Limbah domestik dan industri adalah merupakan salah satu penyebab terjadinya penurunan kualitas air sungai.

Aliran sungai Ciliwung melewati daerah pertanian di hulu, perkotaan di Bogor, daerah industri di sekitaran Cibinong dan Depok, dan di hilir masuk perkotaan di Jakarta. Semakin ke hilir kualitas air sungai Ciliwung semakin menurun, karena akumulasi bahan pencemar dari bagian hulu. Di Puncak polutan di perkiraan terdiri atas bahan pestisida dan nitrat dari daerah pertanian. Di daerah pertengahan terdiri atas limbah domestik di kota Bogor dan limbah industri di sekitar Cibinong dan Depok.

Kandungan senyawa organik dan anorganik dalam perairan dirombak oleh bakteri dengan menggunakan oksigen terlarut. Perombakan ini dapat menimbulkan masalah apabila jumlah senyawa organik dan anorganik tersebut cukup besar, karena penguraian tersebut membutuhkan oksigen dalam jumlah yang cukup besar pula. Kadar oksigen terlarut dalam sungai mengalami penurunan sampai tingkat yang rendah, proses dekomposisi terhenti dan sebagai gantinya bakteri anaerob berperan dalam pemecahan ini. Produk pemecahan menghasilkan senyawa yang berbahaya karena beracun dan mengeluarkan bau (Laws, 1981 dan Bouwer, 1978).

Beberapa indikator pencemaran sungai diantaranya adalah bahan senyawa organik dan anorganik, logam berat, pestisida, bakteri *Coliform*. Dalam penelitian ini dikaji keterkaitan antara beberapa indikator pencemar diantaranya amonia, nitrit dan nitrat, dengan kandungan isotop stabil diantaranya Deuterium, Oksigen-18, rasio isotop  $\delta^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  dan  $\delta^{13}\text{C}$  dalam sampel air (Appello, 1996).

## BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Secara keseluruhan jumlah sumberdaya air di bumi adalah konstan karena air selalu mengalami suatu siklus yang disebut dengan siklus hidrologi. Siklus air yang terdapat di bumi disebut daur hidrologi atau siklus hidrologi. Siklus hidrologi meliputi suatu proses alamiah pergerakan air dimulai dari laut sampai akhirnya kembali ke

laut lagi. Proses alamiah ini meliputi penguapan dan presipitasi. Perjalanan air dimulai dari penguapan air permukaan ke atmosfer melalui proses evaporasi, dari tumbuhan melalui proses transpirasi dan dari gabungan antara keduanya melalui proses evapotranspirasi. Uap air yang terbentuk dari proses evaporasi, transpirasi dan evapotranspirasi tersebut setelah mencapai temperatur titik kondensasi membentuk awan, jatuh ke bumi sebagai air hujan atau presipitasi. Sebagian air tersebut mengalir sebagai aliran permukaan melalui berbagai bentuk badan air seperti sungai, danau, rawa kemudian mengalir ke laut. Sebagian air yang lain mengalami infiltrasi dan perkolasi membentuk aliran di bawah permukaan tanah menjadi aliran air tanah. Dengan melalui berbagai macam cara akhirnya air tanah mengalir menuju laut (Todd, 1980). Kandungan isotop dalam air yang mengalami pergerakan berbeda dari satu subsistem ke subsistem berikutnya yang pada dasarnya dipengaruhi oleh faktor suhu. Pada suhu yang lebih tinggi kemungkinan terjadi fraksinasi kandungan isotop semakin besar (Geih, 1980).

**Kualitas Air Sungai.** Salah satu manfaat air bagi kehidupan manusia adalah untuk memenuhi kebutuhan domestik dan industri. Tiap kebutuhan diperlukan kualitas air tanah yang berbeda satu sama lain. Kualitas air sungai adalah kondisi fisik kimia air sungai yang digambarkan oleh parameter fisik, kimia dan biologi dari air sungai tersebut yang dikaitkan dengan kualitas hidup. Istilah lain yang digunakan adalah mutu air sungai, yaitu kualitas air sungai yang digunakan bagi peruntukan tertentu. Penentuan kualitas air sungai didasarkan pada parameter konsentrasi zat kimia yang terkandung di dalamnya. Air merupakan bahan pelarut dari unsur-unsur atau senyawa kimia yang terlarut di dalamnya. Secara umum kualitas air dapat diukur dengan analisis kimia fisik dan biologi (Odum, 1971).

**Kimia Air.** Seperti telah disebutkan sebelumnya, unsur atau senyawa kimia yang terkandung di dalam air tidak hanya ditentukan oleh limbah buangan dari kegiatan manusia, tetapi litologi tanah dan batuan ikut menentukan zat kimia yang terkandung di dalamnya. Aktivitas manusia di bumi mempengaruhi komposisi materi-materi yang ada dalam atmosfer misalnya transportasi dan industri. Hujan asam selain disebabkan oleh polutan akibat kejadian alam seperti gunung api, dapat disebabkan oleh tercemarnya atmosfer oleh kegiatan manusia, misalnya kegiatan industri yang menghasilkan polutan sulfat dan nitrat. Semakin kompleks kehidupan di atas bumi semakin banyak bahan polutan yang mencemari atmosfer bumi, dan kualitas air hujan sama-

kin menurun. Reaksi kimia yang terjadi antar materi di atmosfer disebabkan oleh katalis beberapa unsur logam, sinar matahari dan sinar ultra violet (Manahan, 1994).

Air hujan yang jatuh ke bumi dikonsumsi oleh sejumlah elemen yang ada di atmosfer selama dalam proses kondensasi dan jatuhnya air hujan sampai diatas permukaan bumi. Air tersebut sebagian mengalir sebagai air limpasan (*run off*) dan sebagian lainnya terinfiltrasi masuk ke dalam tanah. Air hujan yang jatuh di daerah perkotaan dan menjadi air limpasan di daerah perkotaan (*urban runoff*) merupakan sumberdaya air sungai yang sangat diharapkan bagi kehidupan di daerah perkotaan. Selama jatuhnya dan perjalanannya sebagai *urban runoff* tersebut air hujan ini telah membasuh dan melarutkan bahan kimia dari berbagai macam limbah perkotaan yang ada, yang terdapat pada pepohonan, bangunan, dan pada badan-badan air seperti selokan, rawa, sungai dan danau yang telah tercemar oleh polutan perkotaan. Sepanjang perjalanannya, konsentrasi polutan tidak konstan tetapi tergantung dari media yang dilewati. Air limpasan perkotaan (*urban runoff*) yang mengandung sejumlah bahan kimia polutan tersebut, *urban runoff* mengalir mengikuti gaya gravitasi menuju elevasi lebih rendah menuju badan-badan air seperti sungai, danau, dan ke laut. Sebagian air meresap ke dalam tanah sebagai akuifer dan mengalir sebagai aliran air tanah (Lazaro, 1990).

**Isotop Alam.** Isotop alam adalah isotop yang secara alamiah terdapat di alam, atau keberadaannya disebabkan oleh adanya peristiwa-peristiwa yang terjadi di alam. Dalam kaitannya dengan riset pencemaran ini maka isotop alam yang dimaksudkan adalah isotop dari atom penyusun molekul air ( $H_2O$ ) yang terdiri atas isotop Deuterium ( $H_2$ ), Oksigen-18 ( $^{18}O$ ),  $^{15}N$  dan  $^{13}C$ . Komposisi isotop alam dalam air ini memiliki fenomena hidrologis sistem hidrologi air yang dapat diungkapkan, antara lain mekanisme pencemaran dan asal usul bahan polutan (IAEA, 1981).

**Deuterium.** Ada tiga jenis isotop hidrogen yang ada di alam diantaranya adalah hidrogen yang bermassa satu ( $^1H$ ), isotop dengan masa dua yaitu Deuterium ( $^2H$ ), dan isotop hidrogen bermassa tiga yaitu tritium ( $^3H$ ). Ketiga jenis isotop tersebut dapat membentuk senyawa molekul air ( $H_2O$ ). Besarnya kelimpahan atom  $^2H$  terhadap  $^1H$  di alam adalah berkisar antara  $(1,5 - 2) 10^{-4}$ .

**Oksigen-18.** Di alam terdapat tiga jenis isotop oksigen yaitu isotop oksigen dengan masa 16 ( $^{16}O$ ), isotop oksigen dengan masa 17 ( $^{17}O$ ), dan oksigen dengan masa 18 ( $^{18}O$ ). Kelimpahan

atom  $^{17}O$  dan  $^{18}O$  terhadap  $^{16}O$  masing-masing adalah  $1/10.000$  dan  $1/1.250$ .

Berbagai kemungkinan komposisi hidrogen dan oksigen di dalam molekul air adalah  $H_2^{16}O$ ,  $H^2H^{16}O$ ,  $^2H_2^{16}O$ ,  $H_2^{17}O$ ,  $H^2H^{17}O$ ,  $^2H_2^{17}O$ ,  $H_2^{18}O$ ,  $H^2H^{18}O$ , dan  $^2H_2^{18}O$ . Dari sembilan kemungkinan komposisi tersebut yang terpenting dalam kaitannya dengan ketelitian analisisnya adalah komposisi  $H_2^{16}O$ ,  $H^2H^{16}O$ , dan  $H_2^{18}O$ . Komposisi isotop alam Deuterium dan Oksigen-18 dalam air dinyatakan dengan suatu harga selisih relatif terhadap standar, yaitu *Standard Mean Ocean Water* (SMOW). Nilai kandungan isotop alam dinyatakan dalam hubungan :

$$\delta = \frac{Rs - Rst}{Rst} \times 1000 \quad o / oo$$

Nilai kandungan rasio isotop relatif  $\delta$  (delta) dinyatakan dalam satuan permil,  $Rs$  adalah rasio isotop  $^2H/H$  atau  $^{18}O/^{16}O$  dari sampel dan  $Rst$  adalah rasio isotop  $^2H/H$  dan  $^{18}O/^{16}O$  dari standar. Nilai delta yang positif menunjukkan kandungan isotop berat suatu sampel lebih besar dari standar (*enriched*). Sedangkan delta dengan nilai negatif menunjukkan bahwa sampel tersebut mempunyai komposisi isotop berat yang lebih kecil dari standar (*depleted*).

**Fraksinasi Isotop.** Fraksinasi isotop dapat terjadi apabila suatu sampel yang memiliki  $N$  molekul isotop ringan dan  $Ni$  molekul isotop berat mengalami proses penguapan dan mengakibatkan perubahan komposisi molekul isotop ringan menjadi  $N^*$  dan isotop berat menjadi  $Ni^*$ . Apabila komposisi isotop  $Ni/N$  tidak sama dengan  $Ni^*/N^*$ , maka sampel tersebut telah mengalami proses fraksinasi isotop. Di dalam sampel air, yang dimaksud dengan  $Ni/N$  tidak lain adalah molekul  $H_2^{18}O/H_2^{16}O$  untuk oksigen dan  $H^2H^{16}O/H_2^{16}O$  untuk hidrogen (IAEA, 1998).

Penyebab utama terjadinya proses fraksinasi dalam penguapan, pertama perbedaan berat molekul dari senyawa air yang mengandung isotop berat dan yang mengandung isotop ringan. Penyebab lain adalah perbedaan difusitas antara molekul  $H_2O$ ,  $H^2H^{16}O$ , dan  $H_2^{18}O$ . Di dalam proses penguapan, masa air menerima energi panas dari luar dan menyebabkan molekul-molekul tersebut meninggalkan masa air dengan kecepatan yang berbeda. Makin kecil berat molekul, maka semakin cepat molekul air tersebut meninggalkan masa sampel air. Pada suhu rendah, energi kinetik dari molekul air juga rendah sehingga kecepatan menguap juga rendah. Ada kemungkinan molekul yang menguap akan terkondensasi kembali ke permukaan sampel air. Tetapi pada suhu yang tinggi energi panas yang diterima oleh

masing-masing molekul air juga tinggi, sehingga masing-masing molekul mempunyai kesempatan yang sama untuk meninggalkan fase cair. Faktor fraksinasi atau koefisien fraksinasi isotop alam ( $\alpha$ ) merupakan fungsi dari suhu yaitu rasio uap/rasio cair, pada Deuterium dan Oksigen-18 (Hoefs, 1980).

**Kriteria Baku Mutu Air Sungai.** Air yang dipergunakan untuk memenuhi peruntukan tertentu memerlukan persyaratan tertentu agar penggunaannya tidak menimbulkan akibat yang tidak diinginkan. Peruntukan air minum bagi penduduk menuntut persyaratan yang tertinggi karena menyangkut kehidupan manusia secara langsung tanpa peluang terjadinya penguraian atau pengurangan konsentrasi bahan yang membahayakan dan tanpa peluang untuk menambah bahan yang dibutuhkan (Adnan, 1995).

Bahan-bahan yang terkandung di dalam air minum diharapkan mengandung ukuran yang cukup bagi bahan yang dibutuhkan dan mengandung ukuran yang sekecil mungkin bagi bahan yang membahayakan kehidupan manusia. Oleh karena itu dalam hal kriteria ukuran maka ditentukan ukuran maksimum bagi pembatasan bahan yang membahayakan dan ukuran minimum bagi bahan yang tidak dibutuhkan atau diajukan ukuran minimum dan maksimum bagi bahan yang dibutuhkan sampai pada kadar tertentu. Konsumsi yang kurang dari batas minimum dapat mengalami defisiensi dan lebih dari maksimum dapat mengalami toksisitas (Waite, 1984).

Penetapan kriteria parameter umumnya didasarkan atas macam bahan yang kelebihannya atau kekurangannya segera menimbulkan gangguan terhadap fungsi hidup organ manusia atau sistem kehidupan lainnya. Oleh karena itu dapat dimengerti kalau kemudian dari berbagai parameter yang diajukan untuk suatu peruntukan tertentu terdapat perbedaan antara satu peraturan dengan peraturan lainnya, mengingat kemungkinan bentuk tanggapan yang berbeda antara kelompok manusia di suatu tempat dengan tempat lainnya (Fardiaz, 1995).

Kedua macam kriteria tersebut yaitu kriteria macam dan ukuran parameter kualitas air dapat dikatakan sebagai pembatas peruntukan pada tiap sumberdaya air yang ada. Apabila ini diabaikan apalagi dilewati, maka kemungkinan dapat terjadi akibat yang tidak diinginkan. Ada dua macam akibat yang dapat terjadi kalau kendala tersebut dilewati, yaitu akibat yang segera tampak (akut) dan akibat yang penampakannya berjalan dalam waktu yang lama (kronis) (Fergusson, 1991).

Dengan memperhatikan kemungkinan timbulnya akibat yang akut maupun yang kronis ter-

sebut, mendorong diadakannya aturan-aturan yang memberi batas aman bagi penggunaan suatu sumber air bagi peruntukan tertentu. Aturan yang dibuat dimaksud untuk memberikan batasan macam parameter yang perlu diperhatikan berikut ukuran yang dapat diterima, apabila air dari suatu sumber akan digunakan langsung bagi suatu peruntukan tanpa pengolahan. Pengolahan air bagi peruntukan tertentu dengan demikian diarahkan untuk tercapainya kriteria ukuran yang ditetapkan di dalam aturan tersebut (Domenico, 1990).

Di Indonesia dewasa ini yang dipergunakan sebagai dasar aturan yang menyangkut peruntukan air minum adalah Peraturan Menteri Kesehatan R.I. No. 416/MENKES/PER/IX/1990 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air. Dari peraturan ini diajukan macam-macam parameter menyangkut parameter fisika, kimia, radioaktivitas dan mikrobiologi. Peraturan ini mempergunakan juga dua macam kriteria batas yaitu minimal dan maksimal yang diperbolehkan dan dengan demikian memberi peluang bagi penyesuaian terhadap keadaan Indonesia (Kusumaatmaja, 1994).

Pengambilan sampel air sungai dilakukan di daerah hulu sungai Ciliwung yaitu di Puncak, daerah pertengahan di Bogor dan Depok, serta di hilir yaitu di daerah Jakarta. Sampel air diambil sebanyak 1000 ml dengan menggunakan botol plastik untuk analisis kimia dan 20 ml dengan menggunakan botol gelas kedap udara untuk analisis isotop. Pengambilan air sungai dilakukan pada musim penghujan dan kemarau.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Nitrogen yang terdapat dalam air sungai berada dalam bentuk amonia, nitrit dan nitrat. Dengan oksidasi secara biologis amonia diubah menjadi nitrit dan nitrat dengan bantuan bakteri aerob. N-organik dalam air akan mengendap sedangkan amonium, nitrit dan nitrat larut dalam air. Pencemaran nitrogen berasal dari limbah domestik, pertanian, dan industri. Kadar amonia dalam sungai tidak boleh melebihi 0,5 ppm agar kehidupan akuatik tidak terganggu (Mitcel, 2000). Kadar amonium diatas 1,0 ppm dapat menyebabkan ikan mati lemas karena daya serap haemoglobin terhadap oksigen terhambat (Waldbott, 1973).

Berdasarkan hasil pengukuran nitrogen di sungai Ciliwung (Tabel 1) dapat diketahui bahwa kisaran kandungan amonium berkisar antara 0,01 - 1,83 ppm pada musim penghujan dan 0,01 - 1,41 ppm pada musim kemarau. Dengan demikian kandungan amonia di sungai Ciliwung telah melewati baku mutu lingkungan 0,5 ppm (Kep-

51/MENKLH/1995). Penyebabnya adalah limbah domestik dan industri yang berada sekitar sungai dan limbahnya dibuang ke sungai tanpa melalui proses pengolahan limbah yang benar.

Kandungan nitrit sungai Ciliwung berkisar antara 0,008 - 0,16 ppm di musim penghujan dan 0,001 - 0,336 ppm di musim kemarau. Dari hilir ke hulu menunjukkan fluktuasi tidak konsisten. Secara umum terjadi peningkatan pada musim kemarau. Baku mutu air golongan B menurut Kep-51/MENKLH/1995 adalah 1,0 ppm. Keracunan nitrit pada manusia dapat menyebabkan penyakit methemoglobinemia atau penyakit bayi biru.

18 berkisar antara - 7,0 sampai - 4,7 ‰ dan Deuterium berkisar antara - 41 sampai - 25 ‰.

Kandungan C-13 menunjukkan kecenderungan enriched ke arah hilir dengan kisaran antara - 13,8 sampai - 9,5 ‰ PDB. Hal ini disebabkan oleh adanya exchange antara batuan dan karbonat sepanjang aliran sungai serta CO<sub>2</sub> udara. Limbah organik juga memberikan kontribusi terhadap besaran kandungan C-13 dalam perairan.

Kandungan δ<sup>15</sup>N menunjukkan adanya kecenderungan enriched ke arah hilir dengan kisaran nilai antara - 12 sampai + 12 ‰. Limbah domestik dan penggunaan pupuk pada lahan pertanian memberi kontribusi kenaikan kan-

Tabel 1. Kandungan amonia, nitrit dan nitrat Sungai Ciliwung.

NO	LOKASI SAMPLING	NH <sub>3</sub> -N (PPM)	NO <sub>2</sub> -N (PPM)	NO <sub>3</sub> -N (PPM)
1	PUNCAK (MUSIM HUJAN)	0,10 - 0,14	1,78 - 2,35	0,06 - 0,1
	(MUSIM KEMARAU)	0,01 - 0,17	0,00 - 2,99	0,01 - 0,33
2	BOGOR (MUSIM HUJAN)	0,11 - 0,12	1,51 - 2,45	0,01 - 0,02
	(MUSIM KEMARAU)	0,12 - 0,45	0,00 - 2,56	0,00 - 0,39
3	DEPOK (MUSIM HUJAN)	0,13 - 0,58	1,83 - 2,79	0,03 - 0,09
	(MUSIM KEMARAU)	0,12 - 0,66	0,00 - 3,24	0,01 - 0,33
4	JAKARTA (MUSIM HUJAN)	1,20 - 1,83	0,26 - 3,10	0,00 - 0,16
	(MUSIM KEMARAU)	0,11 - 1,41	0,04 - 4,28	0,01 - 0,05

Tabel 2. Kandungan isotop alam Sungai Ciliwung dari hulu ke hilir.

NO	LOKASI SAMPLING	δ <sup>18</sup> O (‰)	δ <sup>2</sup> H (‰)	δ <sup>13</sup> C (‰)	δ <sup>15</sup> N (‰)
1	PUNCAK	- 7,0	- 41,0	- 13,8	- 12,0
2	BOGOR	- 6,3	- 35,0	- 12,4	+ 4,0
3	DEPOK	- 6,2	- 34,0	- 12,0	+ 6,0
4	JAKARTA	- 4,7	- 25,0	- 9,5	+ 12,0

Kandungan nitrat di kali Ciliwung berfluktuasi tidak menentu dari hulu ke hilir dan variasi musim. Nilai kandungan nitrat berkisar antara 0,26 - 3,10 ppm pada musim penghujan dan 0,001 - 4,28 ppm pada musim kemarau. Terdapat kecenderungan lebih besar pada musim kemarau karena proses pengenceran terjadi pada musim penghujan. Ambang batas baku mutu lingkungan untuk air golongan B adalah 10 ppm. Dengan demikian air sungai Ciliwung untuk kandungan nitrat masih dalam taraf aman.

Kandungan isotop alam untuk sungai Ciliwung (Tabel 2) terutama kandungan Deuterium dan Oksigen-18 menunjukkan kecenderungan enriched ke arah hilir. Hal ini disebabkan oleh pengaruh altitude dari sungai Ciliwung yang mengalir dari elevasi sekitar 1500 m di Puncak sampai 0 m di Jakarta. Nilai kandungan Oksigen-

dungan δ<sup>15</sup>N yang semakin kaya. Penggabungan antara kandungan δ<sup>15</sup>N dengan Oksigen-18 dari amonia dapat dipergunakan merunut sumber polutan nitrogen dalam perairan.

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan kandungan nitrogen di sungai Ciliwung sudah menunjukkan adanya pencemaran terutama kandungan amonia. Sedangkan nitrit dan nitrat masih di bawah baku mutu lingkungan. Konsentrasi polutan cenderung meningkat ke arah hilir. Pada musim kemarau konsentrasi polutan lebih tinggi karena tidak terjadi pengenceran.

Kandungan Deuterium dan Oksigen-18 mengalami *enriched* ke arah hilir disebabkan efek

altitude. Kandungan  $\delta^{13}\text{C}$  dan  $\delta^{15}\text{N}$  mengalami *enriched* ke arah hilir disebabkan oleh akumulasi bahan polutan yang semakin tinggi ke arah hilir.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. ADNAN, G. Dampak Pencemaran Air Permukaan dan Air Tanah pada Lingkungan, Bappedal, Jakarta (1995).
2. APPELO, C.A.J and POSTMA, D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. A.A. Balkema, Rotterdam (1996).
3. BOUWER, HERMAN. *Groundwater Hydrology*. Mc. Graw Hill Kogakusha LTD, Tokyo (1978).
4. DOMENICO, P.A. DAN SCHWARTZ, F.W. *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley & Sons, New York (1990).
5. FARDIAZ, S. Polusi Air dan Udara. Kanisius, Yogyakarta (1995).
6. FERGUSSON, J.E. *The Heavy Element. Chemistry Environmental Impact and Health Effect*. Pergamon Press (1991).
7. FETTER, C.W. *Applied Hydrogeology*. 2<sup>nd</sup> Ed. Merrill Publishing Company, Ohio (1988).
8. GEIH, M.A. *Interpretation of Environmental Isotopic Groundwater Data, Arid Zone*, IAEA (1980).
9. HOEFS, J. *Stable Isotope Geochemistry*, Third Edition, New York (1980).
10. IAEA. *Stable Isotope Hydrology*, Technical Report Series 210, Vienna, Austria (1981).
11. IAEA-TECDOC-1046. *Application of Isotope Techniques to Investigate Groundwater Pollution*, Vienna, Austria (1998).
12. KUMAR, G.S. *Water Resources and Hydrology*. Khanna Publishers, New Delhi, India (1979).
13. KUSUMAATMAJA, S. Pengelolaan Sumberdaya Air Berwawasan Lingkungan, Menteri Negara Lingkungan Hidup, Jakarta (1994).
14. LAWS, E.A. *Aquatic Pollution. Introductory Text*. John Wiley and Sons Inc., New York (1981).
15. LAZARO, T. *Urban Hydrology a Multidisciplinary Perspective*. Revised Edition Technomic Publishing Company, Inc. Pennsylvania (1990).
16. MANAHAN, S.E. *Environmental Chemistry*, Sixth Edition, London (1994).
17. MITCEL, B. Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan, (Terjemahan "Resource and Environmental Management"). Gadjah Mada Univ. Press. Yogyakarta (2000).
18. ODUM, P.E. *Fundamental of Ecology* (3<sup>rd</sup> ed.) W.B. Saunders Company. Philadelphia (1971).
19. SINGH, G. *Water Supply and Sanitary Engineering*. Standard Publishers Distributors. Nai Sarak. Delhi (1980).
20. TODD, K.D. *Groundwater Hydrology*, John Wiley & Sons, New York (1980).
21. WAITE, T.D. *Principles of Water Quality*. Academic Press Inc. Canada (1984).
22. WALDBOTT dan GEORGE, L. *Health Effect of Environmental Pollutant*. Masby Comp. Saint Louis (1973).

## **DISKUSI**

SOFYAN YATIM

1. Dimana Anda melakukan pengukuran N-15 dan dalam sampel apa pengukuran tersebut dilakukan ?
2. Apakah hasil analisis nitrogen dalam ammonium nitrat dan nitrit atau analisis total ammonium nitrat dan nitrit ?
3. Kesimpulan Anda kelihatannya masih sementara, karena belum jelas asal usul sumber pencemar ?

DJIJONO

1. Pengukuran dilakukan di laboratorium, sampel dalam bentuk sedimen (padat) senyawa nitrat.
2. Analisis nitrogen dalam senyawa nitrat dianggap lebih stabil dari senyawa nitrit yang sangat labil karena proses nitrifikasi dan fiksasi.
3. Kesimpulan dalam makalah ini masih sementara dan bersifat kualitatif karena belum mempunyai data base fingerprint limbah padat, misalnya limbah pupuk pertanian, peternakan, industri dan limbah domestik.

