

Aplikasi Teknologi Isotop Alam untuk Analisis Pola Aliran Airtanah sebagai Studi Awal Pencemaran Airtanah yang Disebabkan Tempat Pemakaman Umum Kauman Kecamatan Demak

Gagad Rahmadi¹, Agus Budhie Wijatna², Satrio³

^{1,2} Jurusan Teknik Fisika FT UGM
Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

¹gagad.rahmadi@gmail.com

²budiwijatna@ugm.ac.id

³satrio@batan.go.id

³ Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi BATAN
Jln. Lebak Bulus Raya 49 Jakarta 12070 INDONESIA

INTISARI

Intisari—Aplikasi isotop alam yang meliputi pemanfaatan deuterium (²H), oksigen-18 (¹⁸O) dan tritium (³H) banyak digunakan dalam penelitian hidrologi. Salah satu pemanfaatannya dalam bidang hidrologi adalah penentuan genesis dan pola aliran airtanah. Tujuan utama penelitian ini adalah pemanfaatan isotop alam untuk menentukan pola aliran airtanah menuju Desa Kadilangu dan mengetahui pengaruh pencemaran oleh Tempat Pemakaman Umum Kauman (TPU Kauman) terhadap kualitas airtanah di Desa Kadilangu. Pada penelitian ini dilakukan analisis deuterium (²H) dan oksigen-18 (¹⁸O) untuk menentukan genesis airtanah. Analisis indikator pencemaran dilakukan di dua titik yaitu, titik sebelum dan sesudah aliran airtanah melewati TPU Kauman. Indikator pencemaran yang digunakan adalah CaCO₃, SO₄²⁻ dan PO₄-P. Hasil analisis menunjukkan airtanah mengalir dari daerah resapan sekitar sumur Desa Mangunjiwan menuju sumur Desa Kadilangu mempunyai kesamaan genesis. Terjadi peningkatan kadar pencemar di sumur Desa Kadilangu dari aliran airtanah sumur Desa Mangunjiwan yang melewati TPU Kauman, tetapi hanya kadar CaCO₃ yang melewati nilai batas ambang air minum yang ditetapkan pemerintah berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan nomor 492/MENKES/Per/IV/2010 yaitu 840 mg/L.

Kata kunci— deuterium, oksigen-18, CaCO₃, SO₄²⁻, PO₄-P.

Abstract— Natural isotopes applications that include utilization deuterium (²H), oxygen-18 (¹⁸O) and tritium (³H) is widely used in studies of hydrology. One of its utilization in the field of hydrology is the determination of the genesis and groundwater flow patterns. The main objective of this study is the application of natural isotopic to determine the pattern of groundwater flow toward Kadilangu and determine the effect of contamination by Kauman General Cemetery (TPU Kauman) for quality of groundwater in Kadilangu. In this research the analysis of deuterium (²H) and oxygen-18 (¹⁸O) to determine the genesis of groundwater. Analysis of indicators of pollution carried in two points, the point before and after the flow of groundwater past the TPU Kauman. Pollution indicators used are CaCO₃, SO₄²⁻ and PO₄-P. The results of the analysis showed groundwater flow from the recharge area around Mangunjiwan to Kadilangu have the same genesis. An increase in the levels of pollutants in Kadilangu which the flow from of groundwater from Mangunjiwan after passing TPU Kauman, but only levels of CaCO₃ that passed the threshold value of drinking water set by the government of the Republic of Indonesia is 840 mg/L.

Keywords— deuterium, oxygen-18, CaCO₃, SO₄²⁻, PO₄-P.

I. PENDAHULUAN

Air merupakan senyawa yang penting dalam kebutuhan hidup manusia. Permukaan bumi secara keseluruhan terdiri dari 71% air. Seluruh air di bumi terdiri dari 97,2% air asin dan 2,8% adalah air tawar. Air tawar lebih banyak dimanfaatkan oleh manusia untuk kebutuhan sehari-hari dibandingkan air asin oleh karena itu kualitas air tawar perlu dijaga untuk memenuhi kebutuhan manusia [1].

Kecamatan Demak merupakan ibu kota Kabupaten Demak dengan luas wilayah 6.113 ha atau 6,81% dari luas wilayah

seluruh Kabupaten Demak [2]. Beberapa titik sumur galian di Kecamatan Demak mempunyai tinggi muka air (*water table*) kurang dari 2 m. Salah satu polutan yang mengancam adalah polutan dari makam. Makam di Indonesia memiliki kedalaman 2 m dari permukaan tanah [3], sehingga kemungkinan besar terjadi pencemaran oleh zat-zat sisa dari jasad manusia yang terurai. Hal ini menyebabkan semakin tinggi risiko airtanah terkena polusi dari makam karena jarak dari permukaan tanah yang relatif pendek.

Elemen sisa dekomposisi tubuh manusia yang berpotensi mencemari lingkungan di antaranya adalah kalsium karbonat

(CaCO₃), ion sulfat (SO₄²⁻), dan fosfat (PO₄). Kalsium pada tubuh manusia terdapat pada tulang (98%) dan sisanya terdapat pada jaringan lunak (2%). Kalsium dalam tulang berbentuk Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂ disebut *hydroxyapatite*. Hydroxyapatite sangat sulit larut di dalam air. Tetapi bentuk kalsium dalam tubuh manusia ada yang dapat larut dalam air yaitu CaCO₃ [7]. Persamaan reaksi kimia yang menyebabkan CaCO₃ terbentuk adalah sebagai berikut:



Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia tahun 2010 nomor 492/MENKES/Per/IV/2010, nilai batas ambang CaCO₃ dalam air bersih adalah 500 mg/L [8]. Ion Sulfat (SO₄²⁻) merupakan salah satu elemen yang esensial bagi makhluk hidup. Sebagian besar sulfur pada tubuh manusia ditemukan pada otot, kulit dan tulang dan beberapa terdapat pada rambut dan kuku, sulfur juga membentuk kolagen dan elastin yaitu protein utama pada jaringan kulit [4]. Dekomposisi pada tubuh manusia yang telah meninggal menyebabkan dekomposisi protein dan sulfur lepas ke lingkungan. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia tahun 2010 nomor 492/MENKES/Per/IV/2010 nilai batas ambang sulfat dalam air bersih adalah 140 mg/L. Mengonsumsi air minum dengan kadar sulfat 600 mg/L dapat menyebabkan *cathartic effect*. Cathartic effect adalah efek yang ditimbulkan seperti setelah mengonsumsi obat pencahar. Dehidrasi juga salah satu akibat bila mengonsumsi air mengandung sulfat [9].

Fosfat (PO₄) adalah salah satu elemen yang penting bagi tubuh sebagai reaksi biokimia seperti materi genetik, transfer energi. Fosfor dalam tubuh manusia berguna sebagai pembentuk membran dan tulang. Dalam bentuk hydroxyapatite fosfor hampir tidak bisa larut dalam air, bentuk cair fosfor mempunyai 2 jenis yaitu phospholipids dan fosfat. Dalam tubuh fosfat berbentuk hidrogen fosfat (HPO₄²⁻) dan dihidrogen fosfat (H₂PO₄²⁻) [10].

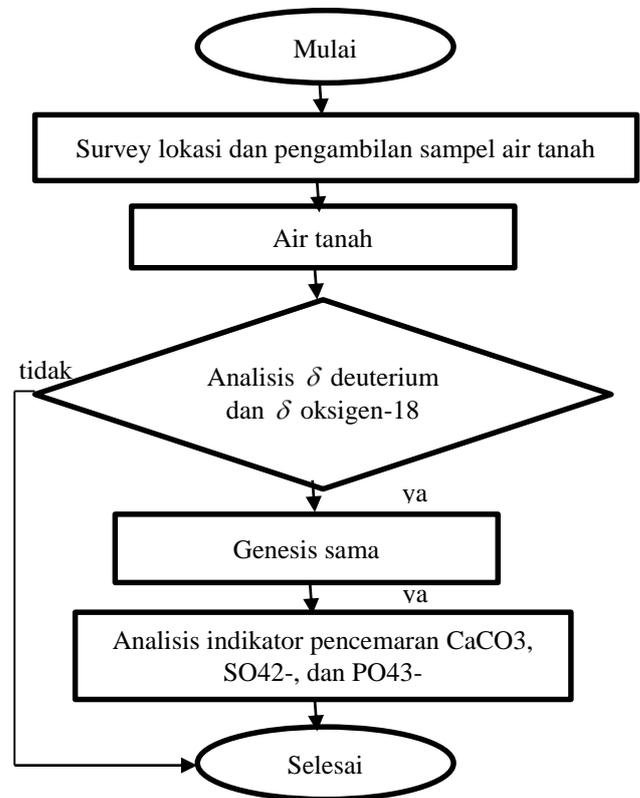
Hubungan antara airtanah dari satu sumur dengan sumur yang lain dapat diketahui dengan menggunakan aplikasi isotop alam dan radioisotop di bidang hidrologi. Isotop alam dalam air dapat digunakan untuk menentukan pola aliran airtanah, isotop alam yang dapat digunakan adalah deuterium (D) dan oksigen-18 (¹⁸O). Penelitian yang dilakukan di pemakaman Portugal, Luz de Tavira dengan indikasi pencemaran unsur fosfor (P), kalsium (Ca), kesadahan (CaCO₃), sulfat (SO₄), sodium (Na), potassium (K), total seng (Zn), total timbal (Pb) dan Total Organic Carbon (TOC). Melalui uji kimia indikasi pencemaran dapat diketahui kadarnya sehingga dapat diketahui kadar zat pencemar mulai dari sampel yang terdekat dengan areal makam hingga yang terjauh dari areal makam. Hasil penelitian pada daerah Luz de Tavira menunjukkan terjadi peningkatan kadar indikator pencemar pada sampel airtanah yang berada di dekat areal makam [5].

Penelitian potensi polusi makam terhadap airtanah juga dilakukan di Beheste Zahra, Teheran. Penelitian dilakukan

dengan mengambil beberapa titik sample dengan jarak yang bervariasi dari lokasi makam terhadap sumur tempat pengambilan sample. Indikator pencemaran yang digunakan adalah kadar BOD₅, COD, pH, SO₄, HCO₃ dan NO₂-N. Hasil dari penelitian didapatkan sampel hasil uji menunjukkan peningkatan kadar BOD₅, COD, pH, SO₄, HCO₃ dan NO₂-N paling tinggi berada pada lokasi pengambilan sampel airtanah yang paling dekat dengan lokasi makam [6].

II. METODE PENELITIAN

Penelitian dimulai dengan pengambilan sampel airtanah di 7 lokasi yang berada di Desa Kalidangu, Desa Kalicilik, Desa Mangunjiwan dan Desa Karangmlati. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan September 2013. Analisis sampel airtanah untuk uji isotop dilakukan di Laboratorium Hidrologi, Bidang Kebumihan dan Lingkungan, Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR), BATAN, Jakarta Selatan. Analisis dilakukan pada bulan November. Uji kimia sampel dilakukan di Laboratorium Hidrologi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Penelitian ini dilaksanakan dengan beberapa proses dan tahapan. Garis besar dan alur dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir pelaksanaan penelitian

Pengukuran kandungan deuterium dan oksigen-18 menggunakan *liquid-water stable isotope analyzer (Los Gatos Research) DLT-100*, sedangkan pengukuran kandungan CaCO₃, SO₄²⁻, dan PO₄-P berdasarkan metode uji SNI 06-6989.31-2005.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

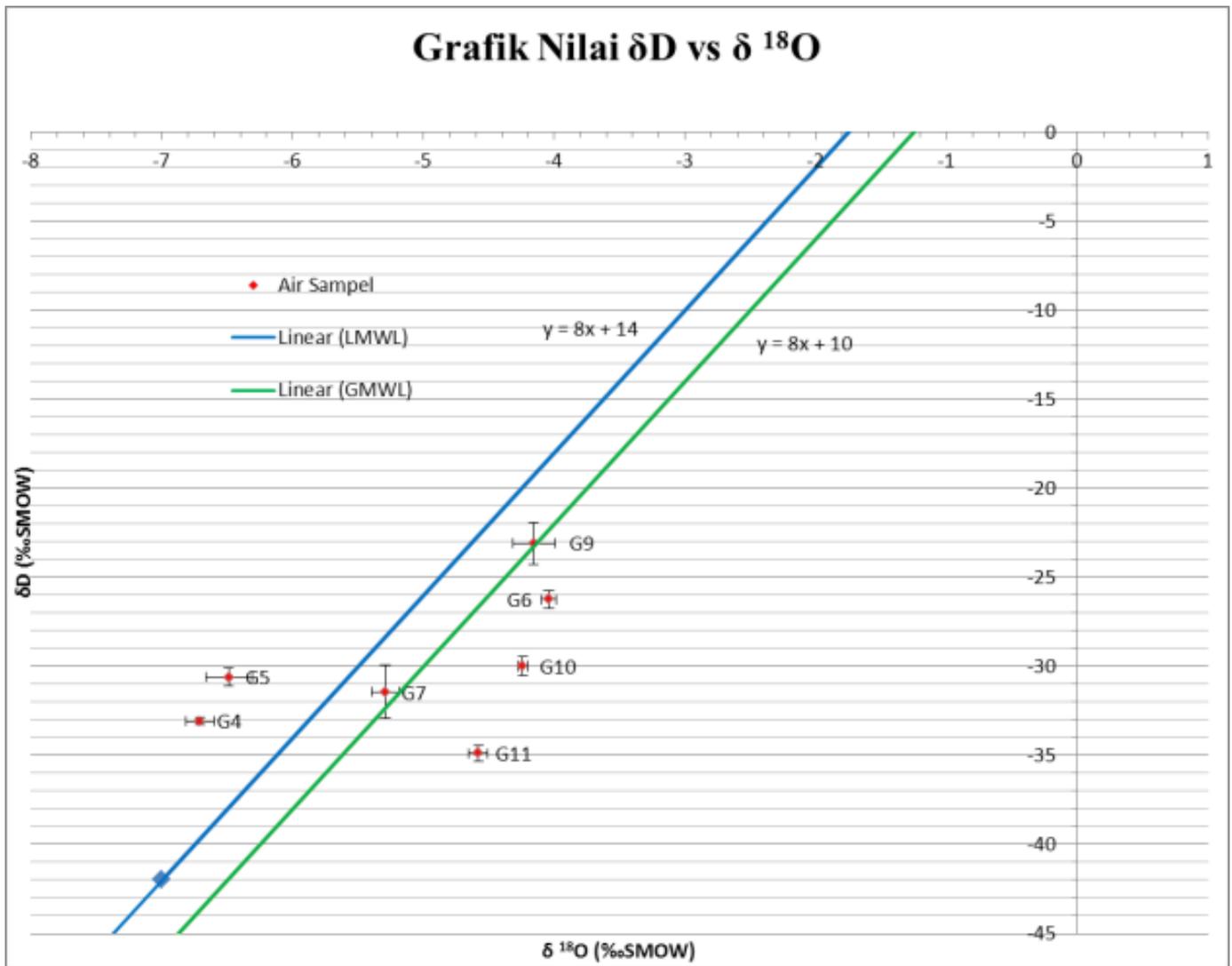
A. Hasil Pengukuran Kandungan Oksigen-18 dan Deuterium

Hasil pengukuran kandungan deuterium dan oksigen-18 menggunakan *liquid-water stable isotope analyzer (Los Gatos Research) DLT-100* ditunjukkan pada Tabel I.

TABEL I

HASIL PENGUKURAN KANDUNGAN OKSIGEN-18 DAN DEUTERIUM

No	Kode sampel	Lokasi	δD (‰SMOW)	$\delta^{18}O$ (‰SMOW)
1	G4	Mangunjiwan	-33,1±0,2	-6,71±0,11
2	G5	Kadilangu	-30,6±0,5	-6,49±0,18
3	G6	Karangmlati	-26,2±0,5	-4,04±0,06
4	G7	Kadilangu	-31,4±1,5	-5,29±0,11
5	G9	Kadilangu	-23,1±1,2	-4,16±0,16
6	G10	Kalicilik	-30,0±0,5	-4,24±0,04
7	G11	Kadilangu	-34,9±0,5	-4,58±0,07



Gambar 2. Grafik nilai δD vs $\delta^{18}O$ dan perbandingan GMWL dengan LMWL Indonesia

Hasil pengukuran kandungan deuterium dan oksigen-18 kemudian diplot dalam grafik δD vs $\delta^{18}O$, grafik tersebut dibandingkan dengan GMWL dan LMWL untuk daerah Indonesia, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

B. Pembahasan Analisis Kandungan Oksigen-18 dan Deuterium untuk Menentukan Genesis dan Pola Aliran Airtanah

Lokasi G5 dan G4 berada di atas LMWL sedangkan G6, G7, G9, G10, dan G11 berada di bawah garis LMWL. Hal

tersebut menunjukkan bahwa lokasi pengambilan sampel pada G5 dan G7 memiliki kelembapan lebih rendah dibandingkan dengan kelembapan rata-rata lokal. Gradien garis linear antara titik sampel airtanah memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan gradien garis linear LMWL dan GMWL yaitu 1,8526. Hal tersebut kemungkinan karena telah terjadi proses evaporasi. Hasil pengukuran deuterium menunjukkan bahwa daerah G5, daerah G7 dan daerah G11 memiliki genesis yang sama. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan nilai δD berturut-turut adalah $-30,6 \pm 0,5 \%$, $-31,4 \pm 1,5 \%$, dan $-30,0 \pm 0,5 \%$, tetapi pada hasil pengukuran nilai $\delta^{18}O$ ketiga daerah tersebut tidak menunjukkan kesamaan genesis. Daerah G5 berada di atas garis LMWL, G7 dan G11 berada di bawah garis LMWL, sedangkan jika dilihat dari garis GMWL G5 dan G7 berada di daerah yang sama yaitu di atas garis GMWL dan G11 berada di bawah garis GMWL. Kemungkinan antar sample memiliki satu genesis sama semakin kecil jika antar sample dipisahkan garis LMWL. Gambar 5.2. menunjukkan arah aliran yang berasal dari G7 kemudian menuju lokasi G5, tetapi arah aliran dari G5 lebih menuju G6 daripada G10 walaupun G10 memiliki *water table* yang lebih rendah dari G5, sehingga lokasi G5, G7 dan G10 tidak satu genesis.

Lokasi G4 dan G5 dari hasil pengukuran deuterium tidak menunjukkan kesamaan genesis. Hal ini karena nilai δD berturut-turut adalah $-33,1 \pm 0,2 \%$ dan $-30,6 \pm 0,5 \%$. Sedangkan dari hasil uji oksigen-18 menunjukkan kesamaan genesis, berturut-turut nilai $\delta^{18}O$ adalah $-6,71 \pm 0,11 \%$ dan $-6,49 \pm 0,18 \%$. Kesamaan genesis G4 dan G5 diperkuat dengan posisi kedua lokasi berada di atas garis LMWL. Gambar 5.2. juga menunjukkan kemungkinan G4 mengalir menuju G5. Sehingga lokasi G4 dan G5 diduga memiliki kesamaan genesis. Lokasi G4 kemungkinan merupakan daerah resapan untuk lokasi G5 karena nilai δD tidak berbeda terlalu jauh.

Lokasi G6 dan G9 dari hasil pengukuran deuterium tidak menunjukkan kesamaan genesis. Hal ini karena nilai δD berturut-turut adalah $-26,2 \pm 0,5 \%$ dan $-23,1 \pm 1,2 \%$. Sedangkan dari hasil uji oksigen-18 menunjukkan kesamaan genesis, berturut-turut nilai $\delta^{18}O$ adalah $-4,04 \pm 0,06 \%$ dan $-4,16 \pm 0,16 \%$. Pada grafik 5.1. menunjukkan lokasi G6 dan G9 berada di bawah garis LMWL. Tetapi pada Gambar 5.2, lokasi G9 menuju G6 terhalang lokasi G4 dan G7 yang memiliki *water table* lebih tinggi sehingga kecil kemungkinan G6 dan G9 memiliki kesamaan genesis.

C. Hasil Analisis Kimia

Analisis kimia dilakukan di Laboratorium Hidrologi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Hasil analisis kadar $CaCO_3$ dalam air sampel ditunjukkan pada Tabel II. dan hasil analisis kadar PO_4-P dalam air sampel ditunjukkan pada Tabel III., sedangkan hasil analisis kadar SO_4^{2-} ditunjukkan pada Tabel IV.

TABEL II
HASIL ANALISIS KADAR $CaCO_3$ DALAM AIR SAMPEL DAN NILAI BATAS
AMBANG DALAM AIR MINUM

No	Kode	Lokasi	Kadar	Nilai Batas
----	------	--------	-------	-------------

Sampel			Kesadahan ($CaCO_3$) (mg/L)	Ambang (mg/L) [11]
1	G4	Mangunjiwan	312	
2	G5	Kadilangu	840	
3	G6	Karangmlati	184	
4	G7	Kadilangu	660	500
5	G9	Kadilangu	560	
6	G10	Kalicilik	232	
7	G11	Kadilangu	308	

TABEL III
HASIL ANALISIS KADAR PO_4-P DALAM AIR SAMPEL DAN NILAI BATAS
AMBANG DALAM AIR MINUM

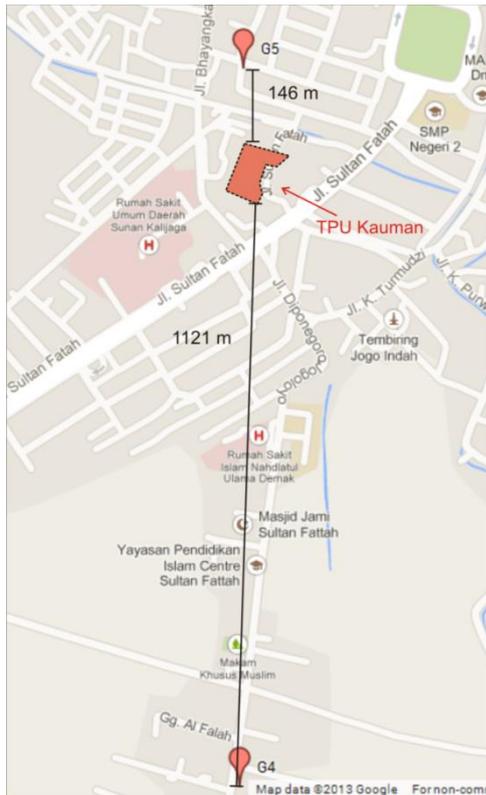
No	Kode Sampel	Lokasi	Kadar Fosfat (PO_4-P) (mg/L)	Nilai Batas Ambang (mg/L) [11]
1	G4	Mangunjiwan	$\leq 0,02$	
2	G5	Kadilangu	0,032	
3	G6	Karangmlati	0,369	
4	G7	Kadilangu	0,206	5
5	G9	Kadilangu	$\leq 0,02$	
6	G10	Kalicilik	$\leq 0,02$	
7	G11	Kadilangu	0,496	

TABEL IV. HASIL ANALISIS KADAR SO_4^{2-} DALAM AIR SAMPEL DAN NILAI
BATAS AMBANG DALAM AIR MINUM

No	Kode Sampel	Lokasi	Kadar Sulfat (SO_4^{2-}) (mg/L)	Nilai Batas Ambang (mg/L) [11]
1	G4	Mangunjiwan	0,57	
2	G5	Kadilangu	3,49	
3	G6	Karangmlati	11,45	
4	G7	Kadilangu	1,85	250
5	G9	Kadilangu	22,07	
6	G10	Kalicilik	2,83	
7	G11	Kadilangu	2,83	

D. Analisis Pencemaran Airtanah oleh TPU Kauman

TPU Kauman terletak pada koordinat $6^{\circ}53'48''S$, $110^{\circ}38'8''E$, TPU TPU Kauman berada diantara titik G4 dan titik G5, sehingga TPU Kauman berada di aliran airtanah dari lokasi G4 menuju lokasi G5. Jarak titik G4 dengan TPU Kauman adalah 1121m, sedangkan jarak titik G5 terhadap TPU Kauman adalah 146 m. Apabila terjadi pencemaran oleh TPU Kauman maka lokasi G5 akan terjadi peningkatan kadar zat pencemar dibandingkan dengan lokasi G4. Di antara lokasi G4 dan TPU Kauman ada makam kecil khusus muslim, tetapi makam ini luasnya relatif kecil yaitu 784 m^2 dibandingkan dengan luas TPU Kauman sebesar 9696 m^2 . Lokasi G4, G5 dan koordinat TPU Kauman digambarkan pencitraannya dengan perangkat lunak *Google Maps* yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pencitraan lokasi TPU Kauman terhadap lokasi titik G4 di Desa Mangunjiwan dan titik G5 di Desa Kadilangu

Daerah yang memiliki kesamaan genesis yaitu G4 dan G5 terjadi peningkatan kadar kesadahan dari daerah resapan G4 yang pada awalnya bernilai 314 mg/l kemudian meningkat menjadi 840 mg/l pada lokasi G5. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh lokasi makam yang berada di antara titik G4 dan G5, sehingga terjadi pencemaran CaCO_3 oleh TPU Kauman.

E. Analisis Pencemaran Kesadahan (CaCO_3)

Diantara ketujuh sampel yang diuji, sampel G5 yang paling tinggi kandungan CaCO_3 840 mg/l. Pada lokasi G7 dan G9 berturut-turut kadar CaCO_3 pada air sampel yaitu 660 mg/l dan 560 mg/l. Hal tersebut menunjukkan bahwa kandungan air lokasi G5, G7 dan G9 telah melampaui nilai batas ambang air minum. Lokasi G5 kemungkinan disebabkan oleh pencemaran TPU Kauman. Lokasi G7 mempunyai kadar CaCO_3 yang melebihi nilai batas ambang padahal lokasi G7 dan G9 mempunyai ketinggian yang lebih besar dibandingkan dengan lokasi TPU Kauman, sehingga tidak mungkin lokasi G7 dan G9 tercemar oleh zat pencemar TPU Kauman. Kemungkinan lokasi G7 dan G9 berada pada daerah dengan kadar batu kapur yang cukup tinggi, sehingga kadar CaCO_3 melebihi nilai batas ambang, kemungkinan juga aliran airtanah menuju lokasi G7 dan G9 melewati akuifer yang terdiri dari batu kapur. Lokasi G5, G6, G10 dan G11 mempunyai kadar di bawah nilai batas ambang sehingga aman dikonsumsi menurut kandungan CaCO_3 yang terdapat dalam sampel airtanah.

F. Analisis Pencemaran Fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$)

Daerah yang memiliki kesamaan genesis yaitu G4 dan G5 terjadi peningkatan kadar fosfat dari daerah resapan G4 yang pada awalnya bernilai ≤ 0.02 mg/l kemudian meningkat menjadi 0.032 mg/l pada lokasi G5. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh lokasi makam yang berada di antara titik G4 dan G5, sehingga terjadi pencemaran fosfat oleh TPU Kauman. Fosfat bentuk fosfor dalam air, fosfor adalah salah satu produk zat kimia yang berasal dari pembusukan jasad manusia yang telah meninggal. Tubuh manusia laki-laki dengan berat badan 70 kg mengandung 500 gram fosfor. Potensi pelepasan fosfor untuk pembusukan 1 jasad manusia dengan berat badan 70 kg dalam 1 tahun adalah 0,250 kg.

Lokasi G11 mempunyai kadar fosfat tertinggi yaitu 0,496 mg/l sedangkan nilai kadar terendah $\leq 0,02$ mg/l yaitu pada lokasi G4, G9 dan G10. Nilai ambang batas fosfat pada air minum adalah 5 mg/l [12], semua lokasi pengambilan sampel sehingga aman di konsumsi menurut kandungan fosfat pada air sampel. Lokasi G11, G7 dan G6 berturut-turut mengandung pospat 0,496 mg/L, 0,206 mg/L dan 0,369 mg/L. Hal tersebut menunjukkan nilai kandungan fosfat pada G11, G7 dan G6 lebih tinggi dari lokasi G5 yang asumsikan tercemar oleh TPU Kauman. Kemungkinan hal tersebut di sebabkan oleh lokasi G11, G7 dan G6 yang berada di dekat sungai, di dalam air sungai juga terdapat kadar fosfat yang berasal dari tanah dan batuan kemudian merembes keluar menuju perairan.

G. Analisis Pencemaran Sulfat (SO_4^{2-})

Daerah yang memiliki kesamaan genesis yaitu G4 dan G5 terjadi peningkatan kadar sulfat dari daerah resapan G4 yang pada awalnya bernilai 0,57 mg/L kemudian meningkat menjadi 3,49 mg/L pada lokasi G5. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh lokasi makam yang berada di antara titik G4 dan G5, sehingga terjadi pencemaran sulfat oleh TPU Kauman. Sulfat adalah salah satu produk zat kimia yang berasal dari pembusukan jasad manusia yang telah meninggal. Potensi pelepasan sulfat untuk pembusukan setiap jasad manusia dengan berat badan 70 kg dalam 1 tahun adalah 0,210 kg [4].

Kandungan sulfat tertinggi adalah lokasi G9 yaitu 22,27 mg/L, paling rendah adalah G4 dengan kandungan sulfat sebesar 0,57 mg/L. Nilai ambang batas sulfat dalam air minum adalah 140 mg/L [32]. Nilai kandungan sulfat pada semua sampel berada di bawah nilai ambang batas sehingga aman untuk dikonsumsi menurut nilai kandungan sulfat pada air sampel. Kandungan sulfat pada sampel air G10, G11, G7, G5 dan G4 berturut-turut adalah 2,85 mg/L, 2,85 mg/L, 1,85 mg/L, 3,49 mg/L dan 0,57 mg/L, dari lima sampel tersebut jika dibandingkan nilai pada G9 relatif rendah. Tingginya nilai kadar sulfat pada lokasi G9 kemungkinan karena G9 terletak pada batuan yang kaya belerang (sulfur) dan rendah dengan senyawa organik, kemungkinan juga aliran air menuju G9 berupa akuifer yang berupa batuan kaya belerang dan rendah dengan senyawa organik. Kandungan sulfat pada G6 sebesar 11,45 mg/L, hal tersebut mungkin disebabkan G6 mempunyai

kondisi yang hampir sama dengan G9 tetapi kadar belerangnya lebih sedikit.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat diketahui bahwa pola aliran airtanah bergerak dari daerah di sekitar Desa Mangunjiwan pada titik G4 menuju daerah di sekitar Desa Kadilangu pada titik G5 karena memiliki genesis yang sama. Sumur gali di Desa Kadilangu pada titik G5 mengalami pencemaran jika ditinjau dari indikator awal (CaCO_3 , SO_4^{2-} dan PO_4P) yang dianalisis, namun hanya pencemaran CaCO_3 yang melebihi nilai batas ambang air minum yaitu sebesar 840 mg/L. Pencemaran diketahui berasal dari TPU Kauman berdasarkan letak yang berada di antara aliran dari Desa Mangunjiwo pada titik G4 menuju daerah di sekitar Desa Kadilangu pada titik G5.

REFERENSI

- [1] (2013) Water on and in Earth [Online]. Available: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclesummary.html>
- [2] (2013) Kecamatan Demak [Online]. Available: <http://www.demakkab.go.id/index.php/tentang-demak/wilayah-administrasi/180-kecamatan-demak>
- [3] *Peraturan Pemerintah No. 9 Tahun 1987 Tentang: Penyediaan Penggunaan Tanah untuk Keperluan Tempat Pemakaman*. Dokumen Teknis, Pemerintah Republik Indonesia, 1987.
- [4] Boyd B.D., "The hydrogeological context of cemetery operations and planning in australia", Thesis, The University of Technology, Sidney, 2006.
- [5] L.Rodrigues and A.Pacheco, "Groundwater contamination from cemeteries cases study", in *Proc. of Environmental 2010: Situation and Perspectives for the European Union*, Porto, Portugal, 2003.
- [6] S.K. Pour and S.M. Khezri, "Assessing the groundwater resources pollution potential by Beheshte Zahra cemetery". *International Conference on Chemistry and Chemical Engineering*, 414-418, 2010.
- [7] D.K. Todd, *Groundwater Hydrology*, 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, 1980.
- [8] G.P. Kruseman, and N.A. De Ridder, *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*, 2nd Ed., International Institute for Land Reclamation and Improvement: Gweningen, 1991.
- [9] Bambang Triamodjo, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset: Yogyakarta, 2006.
- [10] Andiko Perdana, "Aplikasi teknologi isotop alam untuk analisis pola aliran airtanah menuju Umbul Seturan sebagai studi awal pencemaran airtanah", 2011. Skripsi, Jurusan Teknik Fisika, Universitas GadjahMada, Yogyakarta, 2011.
- [11] *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. Dokumen Teknis, Pemerintah Republik Indonesia, 2010.
- [12] *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Tentang Pengelolaan Kualitas Air Minum*. Dokumen Teknis, Pemerintah Republik Indonesia, 2001.