

IDENTIFIKASI SEBARAN LOGAM BERAT ARSEN (As) DARI SISTEM PANAS BUMI PADA AIR TANAH DANGKAL DENGAN METODE KRIGING

IDENTIFICATION OF GEOTHERMAL HEAVY METAL ARSENIC (As) IN SHALLOW GROUNDWATER USING KRIGING METHOD

Nuha Amiratul Afifah¹ dan Suprihanto Notodarmojo²

Program Studi Teknik Lingkungan, FTSL, Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha No. 10 Bandung 40132

Email: [1amiranuha0@gmail.com](mailto:amiranuha0@gmail.com) dan [2suprihantonotodarmojo@gmail.com](mailto:suprihantonotodarmojo@gmail.com)

Abstrak: Arsen adalah elemen jejak bersifat toksik dan dapat menyebabkan berbagai dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Salah satu sumber paparan arsen untuk manusia adalah melalui air tanah. Air tanah yang terindikasi memiliki kandungan arsen tinggi salah satunya adalah air tanah yang berada pada lokasi yang terpengaruh oleh sistem panas bumi. Kontaminasi arsen pada air tanah merupakan suatu permasalahan global yang cukup serius dan telah didapati kontaminasi arsen pada air tanah terjadi di Taiwan, Chile, Bangladesh, Argentina, Meksiko, China, dan India. Sub-DAS Ciwidey merupakan area di salah satu lereng Gunung Patuha yang terletak di selatan Cekungan Bandung memiliki banyak manifestasi panas bumi yang merupakan salah satu sumber polutan alami yang merupakan polutan vulkanogenik. Penelitian yang dilakukan pada sampel air tanah dangkal di Sub-DAS Ciwidey menunjukkan bahwa konsentrasi arsen berkisar 0.001 mg/l sampai dengan 3.25 mg/l, melebihi batas aman yang telah ditetapkan oleh WHO dan Indonesia yaitu 0.01 mg/l. Metode geostatistik dengan Simple Kriging tanpa transformasi memberikan hasil prediksi yang paling akurat. Interpretasi kehadiran arsen berdasarkan analisa geokimia air tanah menggunakan Diagram Schoeller menunjukkan hasil bahwa air tanah di lokasi studi berasal dari sumber yang sama, dan terpengaruh oleh sistem panas bumi. Dengan demikian, maka diperkirakan sebanyak 430,600 jiwa berisiko terpapar oleh kontaminasi arsen di air tanah dangkal yang melebihi batas aman yang telah ditetapkan WHO.

Kata kunci: arsen, panas bumi, air tanah dangkal, Sub-DAS Ciwidey, metode kriging

Abstract: Arsenic is a toxic trace element that can cause various negative impacts on human health. One of arsenic exposure source for humans is through groundwater. One of groundwater indicated with high arsenic content, is groundwater in a location affected by geothermal systems. Arsenic contamination in groundwater is a serious global problem and arsenic contamination in groundwater has occurred in Taiwan, Chile, Bangladesh, Argentina, Mexico, China and India. Ciwidey Sub-watershed is an area on Mount Patuha slope located in the south of Bandung Basin has many geothermal manifestations which is one source of volcanogenic pollutant, including arsenic. A study conducted on shallow groundwater samples in Ciwidey Sub-watershed showed that arsenic concentrations ranged from 0.001 mg/L to 3.25 mg/L, exceeded the safe limits established

by WHO and Indonesia. Geostatistical methods with Simple Kriging without transformation provide the most accurate prediction results. Interpretation of arsenic presence based on groundwater geochemical analysis using Schoeller Diagram shows the result that groundwater at the study site comes from the same source, which is influenced by geothermal system. Thus, an estimated 430,600 people are at risk of exposure to arsenic contamination in shallow groundwater beyond the safe limits established by WHO.

Keywords: arsenic, geothermal, shallow groundwater, Ciwidey Sub-watershed, kriging method

PENDAHULUAN

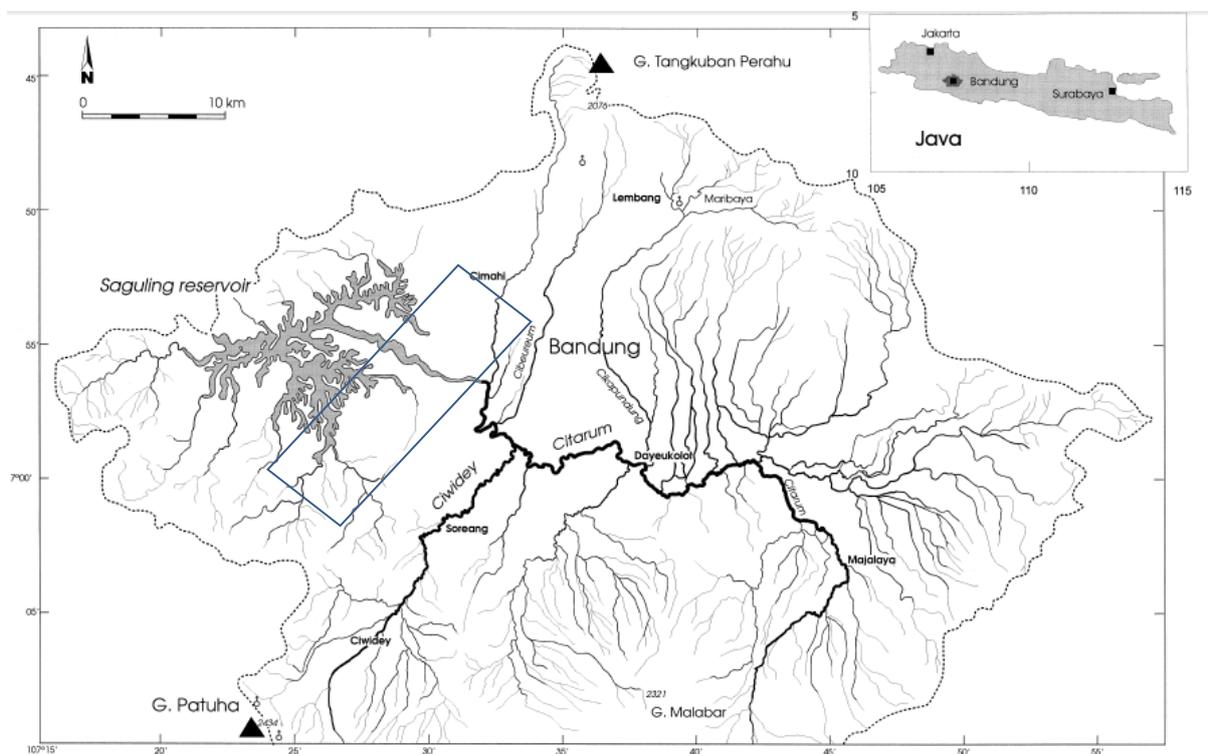
Arsen adalah elemen jejak yang bersifat toksik dan dapat menyebabkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia seperti penyakit kulit, penyakit pencernaan, dan kanker (NRC, 1999). Salah satu sumber paparan arsen untuk manusia adalah melalui air tanah yang dimanfaatkan oleh manusia untuk berbagai macam keperluan (Smedley dan Kinniburgh, 2002). Permasalahan kesehatan manusia yang berkaitan dengan kontaminasi arsen pada air tanah telah didapati terjadi di Taiwan (Chen, dkk., 1994), Chile (Smith, dkk., 1998), Bangladesh (Roy and Hossain, 2013), Argentina (Bates, dkk., 2004), Meksiko (Meza, dkk., 2004), China (Fujiona, dkk., 2004), dan India (Jangle, dkk., 2016). Salah satu air tanah yang terindikasi mengandung arsen adalah air tanah suhu tinggi yang berada pada lokasi yang terpengaruh oleh sistem panas bumi (Smedley dan Kinniburgh, 2002).

Daerah aliran sungai (DAS) Ciwidey merupakan area di salah satu lereng Gunung Patuha adalah lokasi yang memiliki banyak manifestasi panas bumi. Iskandar, dkk. (2013) melakukan penelitian tentang tipe dan sumber mata air hangat dan panas pegunungan di sekitar Cekungan Bandung dan kaitannya dengan potensi kotaminan alami. Dari penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa air di mata air panas Walini (selatan cekungan Bandung) berhubungan dengan proses aliran fluida termal dan bercampur dengan air tanah dangkal. Konsentrasi arsen di Kawah Putih mencapai 279 $\mu\text{g/l}$, konsentrasi arsen di mata air hangat Alun-alun Ciwidey adalah 6,9 $\mu\text{g/l}$, dan konsentrasi arsen di mata air hangat Baturunggul Ciwidey mencapai 45 $\mu\text{g/l}$ (Sriwana dkk., 1998). Herdianita dan Priadi (2008) menyebutkan bahwa konsentrasi arsen pada mata air panas Cimanggu, Ciwidey adalah < 0,1 mg/l. Purnomo dan Pichler (2014) menyatakan bahwa konsentrasi arsen pada mata air panas di sistem panas bumi Gunung Patuha adalah 43,1 $\mu\text{g/l}$, dan konsentrasi arsen pada Kawah Putih adalah 236,5 $\mu\text{g/l}$. Beberapa konsentrasi arsen pada manifestasi panas bumi Gunung Patuha jauh melebihi batas aman konsentrasi arsen yang diperbolehkan oleh WHO untuk sumber air minum yaitu 10 $\mu\text{g/l}$ (WHO, 2006).

Jumlah penduduk di DAS Ciwidey yang meliputi 5 Kecamatan yaitu Kecamatan Soreang, Katapang, Banjaran, Pasir Jambu, dan Ciwidey adalah 536,684 jiwa (Badan Pusat Statistik, 2017). Jika mengacu pada data PDAM Kabupaten Bandung tahun 2013, persentase penduduk terlayani oleh PDAM Kabupaten Bandung adalah sebesar 19.75%. Dengan demikian, sekitar 81.25% penduduk di Sub-DAS Ciwidey memanfaatkan air tanah sebagai sumber air minum. Hal ini semakin menguatkan bahwa air tanah masih menjadi sumber air minum utama bagi sebagian besar penduduk Indonesia, bahkan di beberapa negara lain pun sama (Prilia dan Kamil, 2011).

METODOLOGI

Lokasi penelitian berada pada DAS Ciwidey (**Gambar 1**), yaitu Gunung Patuha sebagai batas selatan dan Sungai Citarum sebagai batas utara. Batas barat dan timur mengikuti pola aliran sepanjang DAS Ciwidey dengan luas 288.31 km². DAS Ciwidey terdiri atas 5 Kecamatan yaitu Kecamatan Soreang, Kecamatan Katapang, Kecamatan Banjaran, Kecamatan Pasir Jambu, dan Kecamatan Ciwidey.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Sriwana, dkk., 1998, dengan modifikasi)

Sampel penelitian terdiri atas 1 sampel air Kawah Putih (U 39), 1 sampel mata air panas (U 40), 2 sampel air mata air dingin (MA 01 dan MA 02), dan 38 sampel air tanah dangkal yang diambil dari sumur gali warga dengan jarak pengambilan sampel \pm 500 meter atau dengan kata lain tersebar secara merata mewakili seluruh area penelitian. Pengukuran kedalaman muka air tanah dilakukan untuk mengetahui pola aliran air tanah dangkal pada wilayah penelitian. Parameter suhu, pH, dan daya hantar listrik diukur secara langsung di lapangan. Adapun parameter arsen diukur di laboratorium dengan menggunakan metode uji EPA SW-846 *Method 6020B: Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*. Sebanyak 100 ml sampel air disimpan dengan menggunakan botol HDPE (*high density polyethylene*) dan diawetkan dengan menggunakan HNO₃. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian adalah data yang dapat mendukung analisa data primer. Beberapa data sekunder yang dibutuhkan antara lain: Peta Topografi, Peta Geologi Indonesia Lembar Bandung, Lembar Sidangbarang dan Banjarwaru, Lembar Garut dan Pameumpuk, dan Peta Rupa Bumi Kabupaten Bandung.

Berkaitan dengan cara untuk identifikasi sebaran arsen dalam air tanah, digunakan metode geostatistik kriging. Hossain, dkk. (2006) melakukan penelitian mengenai manajemen berbasis geostatistik untuk air tanah yang terkontaminasi arsen di Bangladesh. Hasil penelitian ini menyebutkan bahwa metode geostatistik kriging sangat efektif untuk membuat keputusan awal mengenai manajemen air tanah yang terkontaminasi arsen. Metode kriging digunakan untuk mengetahui nilai konsentrasi arsen di air tanah pada lokasi yang tidak dilakukan pengambilan sampel air tanah. Penelitian lain terkait dengan penggunaan metode geostatistik dilakukan oleh Venkatraman, dkk. (2016). Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengevaluasi kontaminan air tanah dan sumbernya di Kota Miryang, Korea. Kriging merupakan salah satu teknik geostatistik yang dapat digunakan untuk interpolasi data sehingga nilai pada lokasi yang tidak diketahui nilainya dapat diprediksi dengan menggunakan nilai dari lokasi terdekat (Adhikari, dkk., 2010). Penelitian ini menggunakan dua (2) tipe metode kriging, yaitu *ordinary kriging* (OK) dan *simple kriging* (SK). Perbedaan kedua metode ini terletak pada asumsi stasioneritas dimana SK menggunakan asumsi nilai rerata dan distribusi di seluruh wilayah adalah konstan sedangkan OK tidak menggunakan asumsi ini dan sebagai gantinya adalah menghitung ulang rerata di seluruh wilayah dengan pergeseran radius pencarian (Wood dan Miller, 2016).

Data konsentrasi arsen dari 42 titik pengambilan sampel dilakukan uji distribusi untuk melihat bagaimana persebaran data. Data lingkungan umumnya terdistribusi tidak normal dan memerlukan transformasi terlebih dahulu. Hal ini dilakukan karena secara prinsip metode

kriging mengharuskan data terdistribusi normal. Pada penelitian ini, aplikasi metode kriging menggunakan perangkat lunak ArcMap 10.2.1. Dengan menggunakan perangkat lunak ini, dapat dilakukan uji distribusi, transformasi data, dan pembuatan peta prediksi sebaran konsentrasi arsen di wilayah penelitian. *Ordinary kriging* dilakukan dengan dan tanpa transformasi data. Transformasi yang digunakan adalah logaritma dan Box-Cox. Pada *simple kriging* dilakukan hal yang sama dan ditambah dengan transformasi *normal score*. Hasil dari seluruh metode kriging tersebut dibandingkan nilai *root mean square* (RMS), *mean standardized*, *RMS standardized*, dan *average standard error* untuk mengetahui tipe kriging terbaik dan model prediksi yang paling akurat.

Sebelum membuat Peta Sebaran Arsen, terlebih dahulu dilakukan pembuatan Peta Aliran Air Tanah dengan menggunakan data kedalaman air tanah yang telah didapatkan. Data yang dibutuhkan pada pembuatan peta ini adalah data koordinat (x dan y) dan data kedalaman muka air tanah (z). kedua data tersebut diolah dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.2.1 menggunakan metode interpolasi kriging. Dalam pembuatan peta tersebut langkah yang dilakukan adalah dengan menggunakan *tools Geostatistical Analysis*. Pada *tools* tersebut, dilakukan transformasi data terlebih dahulu apabila data yang didapatkan tidak terdistribusi normal. Setelah didapatkan Peta Aliran Air Tanah, langkah selanjutnya adalah melakukan pembuatan Peta Prediksi Sebaran Arsen dengan menggunakan perangkat lunak yang sama. Data yang digunakan adalah data koordinat (x dan y) dan data konsentrasi arsen (z). Perangkat lunak ArcGIS menyediakan berbagai macam pilihan metode kriging, sehingga dapat dibandingkan metode kriging yang paling tepat untuk data yang didapatkan.

Untuk melakukan penentuan tipe air tanah, dilakukan dengan metode Kurlov dan Diagram Piper. Untuk dapat menggunakan kedua metode tersebut, konsentrasi ion mayor berupa Ca, Mg, Na, Cl, HCO_3 , SO_4 , NO_3 , CO_3^{2-} , K, SiO_2 yang didapatkan dalam bentuk berat per volume (mg/L), harus diubah menjadi berat miliekuivalen per volume. Penamaan air tanah dengan metode Kurlov dilakukan dengan mengurutkan jumlah unsur kation diikuti oleh unsur anion dengan jumlah $\geq 25\%$ (Suharyadi, 1984). Sedangkan dengan Diagram Piper, maka konsentrasi yang telah diubah menjadi berat ekuivalen per volume diplotkan ke dalam Diagram Piper untuk mendapatkan jenis atau tipe air tanah. Setelah didapatkan tipe air tanah, maka dapat diketahui tipe batuan akifer air tanah di Sub-DAS Ciwidey. Selain itu, dilakukan analisis geokimia air tanah menggunakan Diagram Schoeller untuk mengetahui apakah arsen yang terkandung dalam air tanah merupakan arsen yang berasal dari sistem panas bumi atau berasal dari sumber lain selain panas bumi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

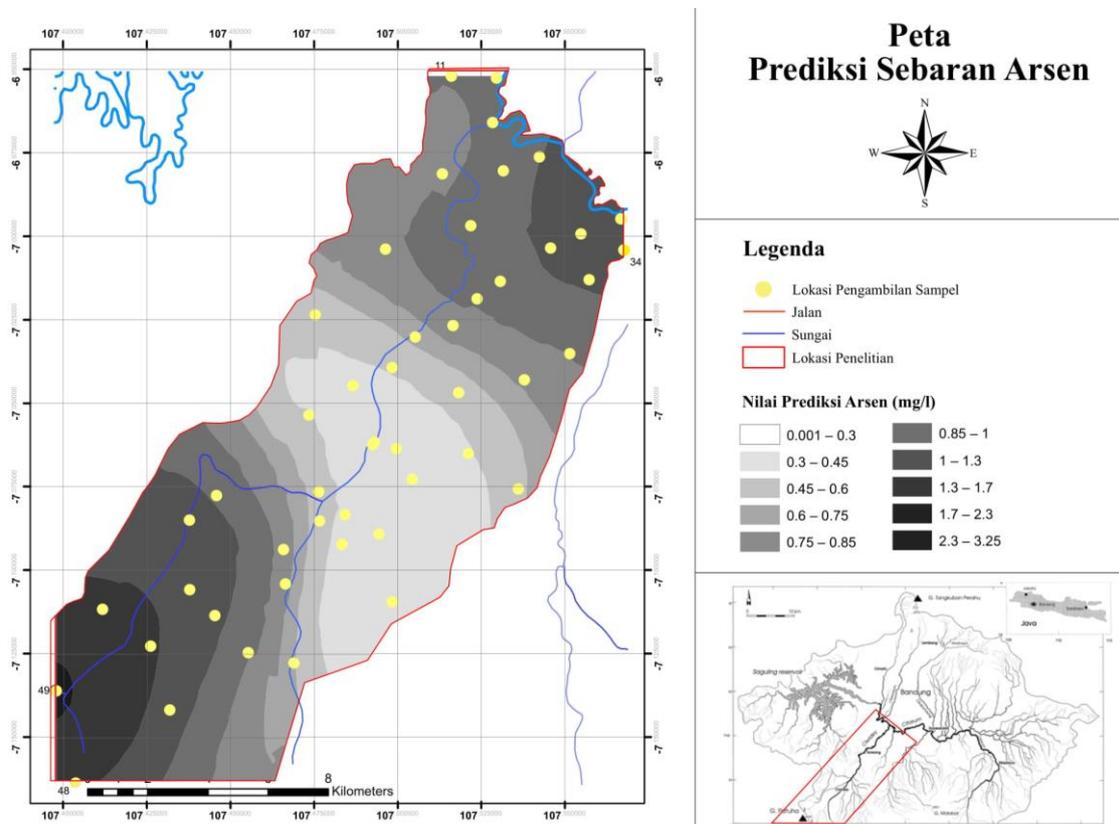
Hasil pengukuran lapangan untuk kedalaman muka air tanah menunjukkan bahwa aliran air tanah dangkal mengikuti bentukan topografi pada wilayah penelitian yaitu dari selatan ke utara (Gunung Patuha sebagai hulu, dan Sungai Citarum sebagai hilir). Adapun parameter pH menunjukkan nilai antara 5 hingga 7 kecuali pH pada Kawah Putih (Gunung Patuha) yang berkisar antara pH 1 hingga 2. Analisa laboratorium untuk parameter arsen (**Tabel 1**) menunjukkan konsentrasi yang bervariasi dari 0.001 mg/l sampai dengan 3.25 mg/l yang sebagian besar melebihi batas aman konsentrasi arsen pada air minum yang telah ditetapkan oleh WHO dan Menteri Kesehatan Indonesia, yaitu 0.01 mg/l.

Tabel 1. Hasil analisa laboratorium untuk parameter arsen

Nomor Sampel	Longitude	Latitude	Elevasi (meter)	Muka air tanah (meter)	Arsen (mg/l)
U 01	107.542483	-6.97638	690	2.9	1.301
U 02	107.528477	-6.96617	676	2	0.515
U 03	107.529647	-6.95277	711	5.5	0.864
U 04	107.516088	-6.95222	641	0.6	1.14
U 05	107.531651	-6.98055	669	1.1	0.852
U 06	107.523871	-7.01887	746	1.3	0.934
U 07	107.521926	-6.99693	683	1.4	1.04
U 08	107.513368	-6.98142	640	0.4	0.378
U 09	107.49631	-7.00403	652	0.8	1.09
U 10	107.505262	-7.03024	743	0.5	0.74
U 11	107.516645	-7.02688	769	0.9	0.742
U 12	107.411543	-7.11161	1285	3.8	1.31
U 13	107.437766	-7.10577	1315	2.4	1.37
U 14	107.425986	-7.1226	1294	2.2	0.963
U 15	107.431705	-7.14176	1384	2	0.858
U 16	107.455266	-7.1246	1248	2	1.21
U 17	107.445711	-7.07761	1252	2.6	0.987
U 19	107.484273	-7.08333	1256	2	0.679
U 20	107.521151	-7.0651	1197	0.5	0.617
U 21	107.536196	-7.07562	1094	1.7	0.471
U 22	107.465823	-7.09382	1087	1	1.01
U 23	107.483321	-7.09216	1063	1.5	0.334
U 24	107.493045	-7.06162	931	1.2	0.382
MA 01	107.492489	-7.06245	930	0	0.621
U 25	107.554982	-6.99943	693	2.8	0.7
U 26	107.56776	-7.00414	682	1.1	0.998
U 27	107.545823	-7.00359	685	0.7	1.14
U 28	107.551648	-7.03524	691	0.6	0.746
U 29	107.538041	-7.04302	720	16	0.865

Nomor Sampel	Longitude	Latitude	Elevasi (meter)	Muka air tanah (meter)	Arsen (mg/l)
U 30	107.498318	-7.0394	853	1.5	0.545
U 31	107.476652	-7.08522	1071	0.8	0.399
MA 02	107.476373	-7.0765	1080	0	0.548
U 32	107.498314	-7.10938	1137	0.4	0.027
U 33	107.468928	-7.12771	1194	3	0.003
U 34	107.494432	-7.08911	1080	2.6	0.123
U 35	107.486649	-7.04469	1069	0	0.178
U 36	107.475266	-7.02358	1040	0	0.187
U 37	107.504431	-7.07272	1153	0	0.001
U 38	107.473431	-7.05356	1074	0	0.374
U 39	107.403595	-7.16353	2187	0	1.321
U 40	107.397760	-7.13604	1746	0	3.25

Hasil kriging (**Gambar 2**) menunjukkan bahwa sumber dari kontaminasi arsen pada air tanah dangkal di Sub-DAS Ciwidey adalah berasal dari manifestasi panas bumi yang ada di wilayah tersebut yaitu mata air panas yang berdekatan dengan Kawah Putih dengan nilai 3.25 mg/l. Konsentrasi arsen semakin berkurang menuju hilir, akan tetapi mengalami peningkatan lagi di daerah hilir (Sungai Citarum).



Gambar 2. Peta Prediksi Sebaran Arsen di Sub-DAS Ciwidey

Pada masing-masing tipe kriging didapatkan nilai prediksi kesalahan berupa nilai rerata (*mean*), *Root Mean Square (RMS)*, *Mean Standardized*, *Root Mean Square Standardized*, dan *Average Standard Error*. Perbandingan nilai prediksi kesalahan pada *Ordinary Kriging* disajikan dalam **Tabel 2**, sedangkan nilai prediksi kesalahan pada *Simple Kriging* disajikan dalam **Tabel 3**.

Dilihat dari nilai prediksi kesalahan di atas dan dibandingkan dengan nilai target, urutan metode kriging terbaik untuk memprediksi sebaran arsen di Sub-DAS Ciwidey adalah *Simple Kriging* tanpa transformasi, dilanjutkan dengan *Simple Kriging* transformasi Box-Cox, *Simple Kriging* transformasi *Normal Score*, *Ordinary Kriging* tanpa transformasi, dan *Ordinary Kriging* transformasi Box-Cox. Adapun untuk transformasi logaritma baik *Simple Kriging* maupun *Ordinary Kriging* menunjukkan nilai *Average Standard Error* yang cukup tinggi sehingga dapat dikatakan bahwa kedua metode kriging ini paling tidak akurat untuk memprediksi sebaran konsentrasi arsen di Sub-DAS Ciwidey. Dari nilai prediksi kesalahan ini, dapat diketahui bahwa metode *Simple Kriging* lebih tepat digunakan untuk tipe data yang didapatkan.

Tabel 2. Prediksi kesalahan *ordinary kriging*

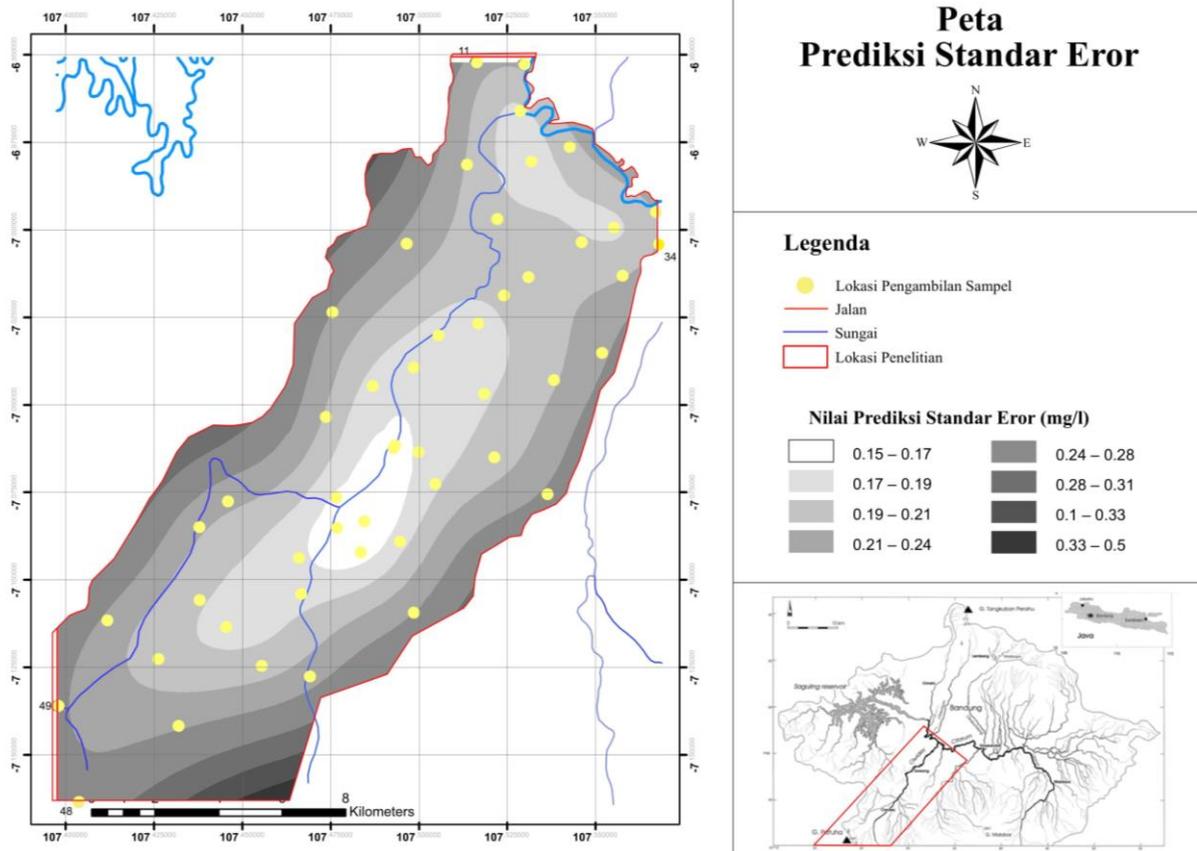
Prediksi Kesalahan	Nilai Target	Tanpa transformasi	Transfor-masi Logaritma	Transfor-masi Box-Cox
<i>Mean</i>		-0.0076	0.6301	0.0025
<i>Root Mean Square (RMS)</i>	Paling rendah	0.4863	0.8806	0.4870
<i>Mean Standardized</i>	0	-0.0204	0.1205	0.0131
<i>RMS Standardized</i>	1	1.2688	0.2978	1.2952
<i>Average Standard Error</i>	Paling mendekati RMS	0.3633	4.8248	0.3486

Tabel 3. Prediksi kesalahan *simple kriging*

Prediksi Kesalahan	Tanpa transformasi	Transformasi Logaritma	Transformasi Box-Cox	Transformasi <i>Normal Score</i>
<i>Mean</i>	-0.0297	0.6046	-0.0094	-0.0243
<i>Root Mean Square (RMS)</i>	0.4873	0.8083	0.4888	0.4833
<i>Mean Standardized</i>	-0.0564	0.1734	-0.0067	-0.0061
<i>RMS Standardized</i>	0.9581	0.2239	1.0078	1.0340
<i>Average Standard Error</i>	0.4916	3.727	0.4585	0.4401

Selain disajikan Peta Prediksi Sebaran Arsen, disajikan pula Peta Prediksi Standar Error (**Gambar 3**) yang menggambarkan sebaran rentang kesalahan prediksi nilai arsen pada wilayah penelitian. Nilai prediksi standar eror ini serupa dengan simpangan baku. Dengan adanya prediksi standar eror, maka dapat dihitung nilai interval prediksi dengan rumus: $\mu \pm z \sigma$ (Bearden, 2014), dimana μ adalah nilai pada peta prediksi, σ adalah nilai prediksi standar eror, dan z didapatkan dari tabel Z statistik, yaitu 1.96 untuk *confidence interval* 95%. Sebagai contoh, pada satu titik di wilayah DAS Ciwidey yang memiliki nilai prediksi 0.847 mg/l arsen dan memiliki nilai prediksi standar eror 0.195 mg/l, maka rentang nilai pada titik tersebut adalah 0.465 mg/l sampai dengan 1.229 mg/l.

Analisa geokimia menggunakan Diagram Schoeller (**Gambar 4**) dilakukan untuk mengetahui apakah kontaminan arsen pada air tanah dangkal berasal dari sistem panas bumi Gunung Patuha. Dengan melakukan analisa geokimia air tanah menggunakan Diagram Schoeller, maka dapat diketahui apakah air tanah pada masing-masing formasi batuan berasal dari sumber yang sama. Analisa dilakukan dengan menggambarkan konsentrasi ion utama air tanah pada diagram semi-logaritma Schoeller. Hasil analisa menunjukkan untuk sampel M-01, M-02, dan M-03 dan M-04 menunjukkan pola yang sama, dimana sampel M-03 merupakan sampel air tanah yang berasal dari manifestasi panas bumi.



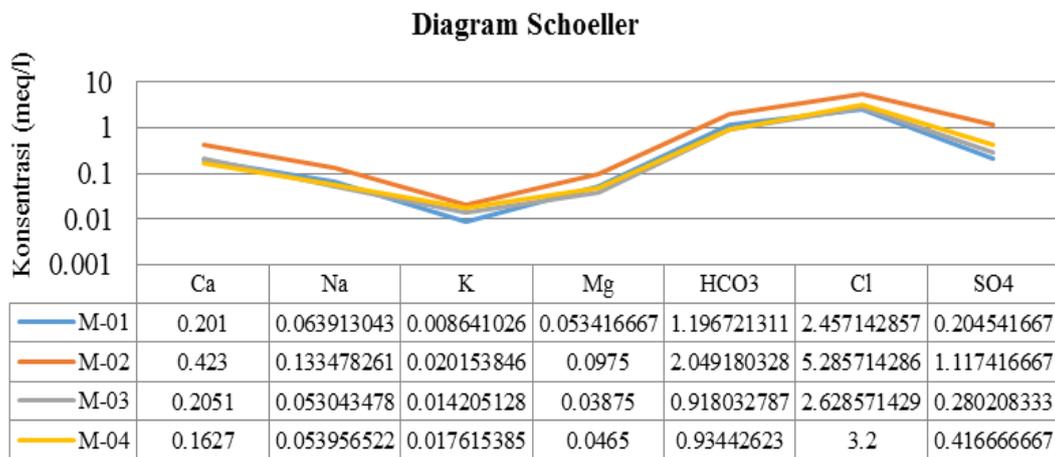
Gambar 3. Peta Prediksi Standar Error Sebaran Arsen di DAS Ciwidey

Pada Sub-DAS Ciwidey, sesuai dengan hasil analisa geokimia air tanah yang telah dilakukan, kandungan arsen di Formasi Beser, Formasi Lahar dan lava Gunung Kendeng, dan Formasi Lava dan lahar Gunung Patuha berasal dari sistem panas bumi Gunung Patuha. Kehadiran arsen pada manifestasi panas bumi disebabkan oleh pelarutan batuan induk atau pencampuran dengan volatil magmatik saat air bersirkulasi dalam sistem panas bumi. Konsentrasi tertinggi arsen terdeteksi pada mata air panas (sampel U-39) yaitu 3.25 mg/L. Air pada mata air panas ini diperkirakan merupakan fluida panas bumi langsung yang tidak tercampur dengan air tanah pada perjalanannya ke permukaan. Kemudian, sebagian fluida panas bumi lainnya bercampur dengan air tanah dangkal dan mengalir mengikuti pola aliran air tanah, oleh karena itu konsentrasi arsen semakin mengecil menuju hilir.

Kontaminasi arsenik di air tanah dangkal Formasi Kosambi tinggi karena bebatuan dalam formasi mengandung banyak arsenik. Studi sebelumnya telah dilakukan oleh Iskandar et al (2013), menyatakan bahwa kandungan arsenik dalam sedimen dan batuan di sekitar mata air panas Ciwalini mencapai 102 mg/kg sedangkan kandungan arsenik dalam sedimen dan batuan di sekitar mata air dingin di Formasi Kosambi mencapai 52 mg/kg. Dengan demikian,

wajar bahwa kandungan arsenik dalam air tanah dangkal di kedua formasi geologi cenderung tinggi.

Dari hasil analisis laboratorium, diketahui bahwa air tanah dangkal di Sub-DAS Ciwidey mengalami kontaminasi oleh arsen dengan konsentrasi melebihi ambang batas yang diperkenankan oleh WHO dan Menteri Kesehatan Indonesia. Jumlah penduduk di Sub-DAS Ciwidey yang meliputi 5 Kecamatan yaitu Kecamatan Soreang, Katapang, Banjaran, Pasir Jambu, dan Ciwidey adalah 536,684 jiwa (Badan Pusat Statistik, 2017). Jika mengacu pada data PDAM Kabupaten Bandung tahun 2013, persentase penduduk terlayani oleh PDAM Kabupaten Bandung adalah sebesar 19.75%. Berdasarkan hal ini, maka jumlah penduduk di DAS Ciwidey yang terpapar arsen karena memanfaatkan air tanah sebagai sumber air minum adalah sebanyak 430,600 jiwa.



Gambar 4. Analisis geokimia air tanah menggunakan Diagram Schoeller

KESIMPULAN

1. Air tanah dangkal di Sub-DAS Ciwidey mengalami kontaminasi oleh logam berat arsen (As) dengan konsentrasi 0.001 mg/l sampai dengan 3.25 mg/l.
2. Metode kriging yang paling tepat digunakan sehingga menghasilkan nilai prediksi sebaran arsen di Sub-DAS Ciwidey adalah *Simple Kriging* tanpa transformasi data.
3. Sebanyak 430,600 jiwa terpapar oleh arsen karena memanfaatkan air tanah sebagai sumber air minum.

DAFTAR PUSTAKA

- Delhi, India using geostatistical approach, *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol 167, pp. 599-615 (2010)
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Bandung, 2017, Kabupaten Bandung dalam Angka
- Bates, M. N., Rey, O. A., Biggs, M. L., Hopenhay, C., Moore, L. E., Kalman, D., Steinmaus, C., Smith, A. H., Case-control study of bladder cancer and exposure to arsenic in Argentina, *Am. J. Epidemiol*, 159, pp. 381 – 389 (2004)
- Bearsen, B., 2014, http://www.awwa-hiwps.org/uploads/4/6/2/6/46269853/bbearden_supplemental_gis_interpolation.pdf
- Chen, S. L., Dzung, S. R., Yang, M. H., Chiu, K. H., Shieh, G. G., Wai, C. M., Arsenic species in groundwaters of the blackfoot disease area, Taiwan, *Environ Sci Technol*, 33, pp. 877 – 881 (1994)
- EPA SW-846 Method 6020B: Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/6020b.pdf>)
- Ferreccio, C., Sancha A. M., Arsenic exposure and its impact on health in Chile, *J Health Popul Nutr* pp. 164 – 175 (2006)
- Fujiona, Y., Guoc, X., Liuc, J., Youc, L., Miyataked, M., Yoshimura, T., Japan Inner Mongolia Arsenic Pollution (JIAMP), Study group mental health burden amongst inhabitants of an arsenic-affected area in Inner Mongolia, China, *Social Science & Medicine*, 59, pp. 1969 – 1973 (2004)
- Herdianita N R, Priadi B, Arsenic and Mercury concentrations at several geothermal systems in West Java, Indonesia, *ITB J. Sci.* Vol 40 A No. 1 pp 1-14 (2008)
- Hiscock, K. (2005), *Hydrogeology: Principles and Practice*, 389 halaman. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Hossain, F., Hill, J., Bagtzoglou, A., C., Geostatistically based management of arsenic contaminated ground water in shallow wells of Bangladesh, *Water Resour Manage* 21. pp 1245 – 1261 (2007)
- Iskandar, I., Notosiswoyo, S., Purnadi, C., Pasaribu, T., Type and Origin of Springs and Hotsprings at Surrounding Ridges of Bandung Basin, Related with its Potential Natural Contamination, *Procedia Earth and Planetary Science* 6. pp 262 – 268 (2013)
- Jangle, N., Sharma, V., Dror, D. M., Statistical geospatial modelling of arsenic concentration in Vaishali District of Bihar, India, *Sustain Water Resour, Manag*, pp 285 – 295, (2016)
- Karim, M. M., Arsenic in groundwater and health problems in Bangladesh, *Water Res.* 34(1). pp 304 – 310 (2000)
- Koesmono, M., Kusnama, Suwarna, N., (1996) Peta Geologi Lembar Sindangbarang dan Bandarwaru, Jawa, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi
- Mazumder, D. G., Dasgupta, U. B., Chronic arsenic toxicity: studies in West Bengal India, *Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 27, pp. 360 – 370 (2011)
- Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2010, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010
- NRC, 1999, *Arsenic in Drinking Water*, National Academy Press, Washington, D.C.
- Prilia, D., & Kamil, I. M. (2011). PENENTUAN KUALITAS AIR TANAH DANGKAL BERDASARKAN PARAMETER MIKROBIOLOGI (STUDI KASUS: KECAMATAN UJUNGBERUNG, KOTA BANDUNG). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 17(2), 11-21.

- Purnomo, B. J., Pichler, T., Geothermal systems on the island of Java, Indonesia, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 285. pp 47 – 59 (2014)
- Roy, P., K., Hossain, S. S., Predicting arsenic concentration in groundwater of Bangladesh using Bayesian geostatistical model, *Environ Ecol Stat*, pp. 583 – 597, (2014)
- Smedley P. L., Kinniburgh D. G., A review of the source, behavior, and distribution of arsenic in natural waters, *Appl. Geochem* 17. pp 517-568 (2002)
- Smith, A. H., Goycolea, M., Haque, R., Biggs, M. L., Marked increase in bladder and lung cancer mortality in a region of northern Chile due to arsenic drinking water, *American Journal Epidemiology*, 147, pp. 660 – 669 (1998)
- Sriwana, T., van Bergen, M. J., Sumarti, S., de Hoog, J. C. M., van Os, B. J. H., Wahyuningsih, R., Dam, M. A. C., Volcanogenic pollution by acid water discharges along Ciwidey River, West Java (Indonesia), *Journal of Geochemical Exploration* 62. pp 161 - 182 (1998)
- Venkatraman, S., Chung, A. Y., Kim, T. H., Kim, B. W., Selvam, S., Geostatistical techniques to evaluate groundwater contamination and its source in Miryang City, Korea, *Environ Earth Sci* (2016) 75:994
- Webster, J. G. dan Nordstrom, D. K. (2002), *Arsenic in Groundwater*, Chapter 4: Geothermal Arsenic: The source, transport and fate of arsenic in geothermal systems, 475 halaman. New York: Kluwer Academic Publisher.
- WHO, 2006, *Guidelines for Drinking-water Quality*, WHO Press, Geneva
- Wood, C., Miller, B., 2016,
https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.co.id/&httpsredir=1&article=1033&context=honors_posters

