

Pemodelan *Plume* Pencemaran Air Tanah Bebas dengan Menggunakan *Software Visual Modflow* di TPA Leuwigajah Kecamatan Cimahi Selatan Kabupaten Bandung Provinsi Jawa Barat

¹Vanny Liana Kharisma, ²Chushaini Chamid, ³Yuliadi

^{1,2,3}*Program Studi Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,
Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116
email: ¹liana_vanny@yahoo.com*

Abstract. This study modeling of groundwater flow and its leachate was conducted at Leuwigajah landfill located in South Cimahi District of the Bandung Regency, West Java Province. Initial data which needed for the modeling includes groundwater depth and its position, in situ and laboratory water quality. Computer modeling of groundwater and pollution plume was conducted in three times simulation in the 1st day, 219th days, and 365th days. The substances used for modeling of pollution are TDS (Total Dissolved Solid), Fe²⁺ (iron) and Mn²⁺ (Manganese). The Results of this research is found that the vector of pollution movements are the same with the direction of groundwater flow which flows towards the south and southwest of the landfill. Based on the drinking water regulation which set by the Indonesian Minister of Health, the wells water are still suitable for consumption because it is below the standard.

Keyword : Modeling, Pollution, Groundwater.

Abstrak. Penelitian ini dilakukan di TPA Leuwigajah yang berlokasi di Kecamatan Cimahi Selatan, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat, dengan memodelkan aliran air tanah serta air lindi. Data awal yang dibutuhkan untuk pemodelan yakni meliputi kedalaman muka air tanah dan kedudukannya, hasil pengukuran kualitas air insitu dan pengujian sampel air di laboratorium air. Pemodelan *plume* pencemaran ini dilakukan pada tiga simulasi waktu yakni hari ke – 1, hari ke – 219 dan hari ke – 365 dengan zat yang dimodelkan yakni TDS (*Total Dissolved Solid*), Fe²⁺ (Besi) dan Mn²⁺ (Mangan). Hasil Penelitian ini yakni didapatkan bahwa vektor dari *plume* pencemaran bergerak sesuai dengan arah aliran air tanahnya yakni mengalir menuju ke arah selatan dan barat daya dari TPA. Berdasarkan batas yang di tetapkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan RI dapat dilihat air sumur penduduk, masih layak dikonsumsi karena masih berada dibawah batas yang ditetapkan.

Kata Kunci : Pemodelan, *Plume* Pencemaran, Air Tanah.

A. Pendahuluan

TPA (Tempat Pembuangan Akhir) Leuwigajah merupakan sarana tempat pembuangan akhir sampah yang berlokasi di kecamatan Cimahi Selatan Kabupaten Bandung yang dapat menghasilkan air lindi (leachate) dan berpotensi dalam pencemaran air. Pencemaran air yang berasal dari air lindi ini dapat membentuk *plume* pencemaran dalam sistem perairan dengan konsentrasi tinggi.

Didalam air lindi ini mengandung bahan organik dan anorganik yang mengandung berbagai macam mineral dan juga logam - logam berat yang berbahaya. Contohnya TDS (*Total Dissolved Solid*) merupakan banyaknya zat yang terlarut dalam air, selain itu Besi dan Mangan merupakan contoh jenis logam yang keberadaannya dibutuhkan oleh tubuh namun dalam kadar berlebihan akan menyebabkan gangguan pada kesehatan tubuh makhluk hidup.

Melihat kondisi tersebut, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pencemaran air tanah di TPA Leuwigajah dan sekitarnya untuk mengetahui vektor/ arah dari *plume* pencemaran dan juga mengetahui kuantitas/ konsentrasi polutan yang terkandung dalam air tanah terutama untuk zat TDS, Besi dan juga Mangan.

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengukur kualitas air tanah bebas dan memodelkan pola penyebaran plume pencemaran untuk mengetahui vektor/ arah plume pencemaran serta menganalisis hasil permodelan kandungan zat kimia di TPA Leuwigajah dan sekitarnya.

B. Landasan Teori

Sumber Pencemar Air

Pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan (UU No.32 Tahun 2009).

Berdasarkan sumber pencemarannya, terdapat dua jenis sumber pencemar air yakni sumber pencemar titik (*point source pollution*) dan sumber pencemar sebaran menyebar (*non-point source pollution*).

Sumber pencemar titik (*point source pollutions*) di air permukaan dan airtanah biasanya ditemukan dalam bentuk plume yang memiliki konsentrasi tertinggi yang dekat dengan sumber polutannya dan konsentrasi kecil yang lebih jauh dari sumbernya. Sumber pencemar sebaran menyebar (*non - point source pollutants*) ini biasanya ditemukan menyebar pada area yang luas, terkadang sulit untuk mengetahui sumber asli dari polutan tersebut karena bisa saja dihasilkan dari berbagai aktifitas manusia.

Air Lindi

Air lindi didefinisikan sebagai suatu cairan yang dihasilkan dari pemaparan air hujan pada timbunan sampah. Air lindi membawa materi tersuspensi dan terlarut yang merupakan produk degradasi sampah. Komposisi air lindi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis sampah terdeposit, jumlah curah hujan di daerah TPA dan kondisi spesifik tempat pembuangan tersebut. Kuantitas dan kualitas air lindi juga dapat dipengaruhi oleh iklim. Jumlah hujan yang tinggi dan sifat timbunan yang tidak solid akan mempercepat pembentukan dan meningkatkan kuantitas air lindi yang dihasilkan (Pohland dan Harper, 1985).

Parameter air lindi yang dipakai dalam pemodelan air tanah dan *plume* pencemaran ini yakni parameter fisika dan parameter kimia. Salah satu parameter fisika yakni TDS (Total Dissolved Solid), merupakan bahan-bahan terlarut (diameter < 10⁻⁶ mm) dan koloid (diameter 10⁻⁶ mm – 10⁻³ mm) yang berupa senyawa-senyawa kimia dan bahan-bahan lain, yang tidak tersaring pada kertas saring berdiameter 0,45 µm (Rao, 1992 dalam Effendi, 2003). Parameter kimia yakni Besi dan Mangan. Besi dan mangan merupakan jenis logam yang keberadaannya dibutuhkan oleh tubuh makhluk hidup sebagai asupan mineral, namun apabila dalam kadar tinggi akan menyebabkan gangguan bagi kesehatan makhluk hidup.

Aplikasi Modflow

Program Modflow merupakan perangkat lunak yang dapat membantu memvisualisasikan pola aliran air tanah bebas maupun tertekan. Program ini juga mampu menggambarkan pergerakan polutan dalam air tanah untuk media berpori. Modflow menggunakan metode beda hingga (*finite difference method*) yang merupakan suatu teknik dalam memecahkan persamaan differensial yang disebut metode numerik. Program Modflow hanya mensimulasikan aliran air pada daerah

jenuh dan media pori. Modflow tidak dapat mensimulasikan aliran air pada daerah tidak jenuh air, aliran pada media rekahan (kecuali dianggap sama dengan media pori) atau pada akuifer dengan kondisi anisotropy yang berubah - ubah (Fetter,1994).

C. Hasil Penelitian

Data yang dibutuhkan dalam pemodelan air tanah dan *plume* pencemaran ini meliputi data kedudukan sumur, mata air dan air permukaan, pengukuran muka air tanah, pengukuran parameter fisika dan parameter kimia, data topografi, kondisi geologi, kondisi hidrogeologi, nilai *properties* batuan, curah hujan dan data evapotranspirasi.

Dalam pemodelan air tanah dan *plume* pencemaran digunakan tiga simulasi waktu dalam jangka waktu satu tahun yakni hari ke - 1, hari ke - 219 dan hari ke - 365. Pemilihan waktu simulasi ini di dasarkan pada *pplume* yang akan lebih terlihat pergerakannya serta perbedaan konsentrasinya apabila disimulasikan pada rentang waktu yang tidak terlalu jauh dan tidak terlalu dekat.



Gambar 1. a. Pengukuran Kedudukan sumur, mata air dan air permukaan. b. Pengukuran kedalaman MAT. c. Pengukuran Parameter Fisika dan Kimia Air Insitu

Dari hasil pengukuran kualitas air insitu didapatkan data nilai TDS sebagai berikut:

1. Air sumur penduduk sebanyak 30 sampel air dengan kadar TDS dari 60 mg/L - 910 mg/L.
2. Mata air sebanyak 14 sampel air dengan kadar TDS dari 150 mg/L - 1790 mg/L.
3. Air permukaan sebanyak 4 sampel air dengan kadar TDS dari 310 mg/L - 2200 mg/L.

Sedangkan untuk hasil pengujian sampel air di laboratorium air, nilai Fe^{2+} (Besi) yang didapatkan yakni:

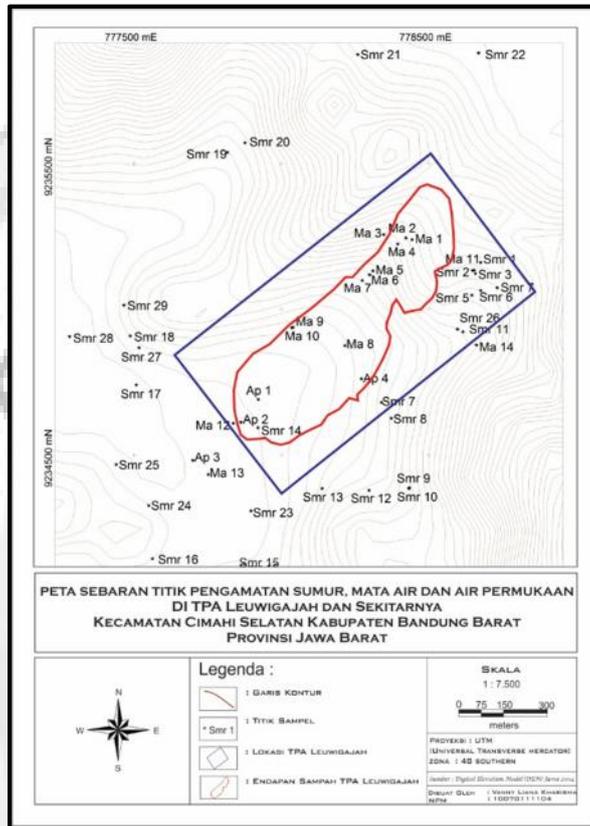
1. Air sumur penduduk sebanyak 7 sampel air dengan kadar Fe^{2+} dari 0 mg/L - 0,24 mg/L
2. Mata air sebanyak 3 sampel air dengan kadar Fe^{2+} dari 0,07 mg/L - 12,96 mg/L.
3. Air permukaan sebanyak 2 sampel air dengan kadar Fe^{2+} dari 1,52 mg/L - 1,59 mg/L.

Untuk hasil pengujian sampel air di laboratorium air, nilai Mn^{2+} (Mangan) yang didapatkan yakni:

1. Air sumur penduduk sebanyak 7 sampel air dengan kadar Mn^{2+} dari 0,01 mg/L - 0,43 mg/L
2. Mata air sebanyak 3 sampel air dengan kadar Mn^{2+} dari 0,03 mg/L - 0,62 mg/L.
3. Air permukaan sebanyak 2 sampel air dengan kadar Mn^{2+} dari 0,38 mg/L - 0,49 mg/L.

Dalam pemodelan air tanah dan *plume* pencemaran ini digunakan dua lapisan batuan yang didapatkan dari hasil intepretasi geolistrik. Lapisan batuan pertama didapatkan yakni lapisan Batupasir Tufaan dan lapisan batuan kedua yakni Andesit.

Untuk data curah hujan yang dipakai yakni jumlah dari nilai rata - rata curah hujan bulanan dari tahun 2009 - 2014 yakni sebesar 2521,3 mm/tahun. Sedangkan untuk nilai evapotranspirasi didapatkan dari hasil pengolahan data curah hujan yakni sebesar 1224,69 mm/tahun untuk tahun 2014.



Gambar 2. Peta Sebaran Titik Pengamatan

Tabel 1. Data *Properties* Batuan

Sifat Fisik/ <i>Properties</i>	Nilai	
	Batupasir Tufaan	Andesit
Konduktifitas Hidrolik (m/s)	6×10^{-6}	3×10^{-4}
Porositas Efektif (%)	27	5
Total Porositas (%)	34	10
<i>Specific Storage</i> (1/m)	$1,89 \times 10^{-5}$	$6,4 \times 10^{-6}$
<i>Specific Yields</i>	27	5
Koefisien Dispersi vertikal	0,1	
Koefisien Dispersi horizontal	1	
Koefisien Difusi (m ² /day)	$1,7 \times 10^{-4}$	

Sumber : Freeze And Cherry, 1979.

Dalam mengerjakan permodelan air tanah ini terdapat beberapa asumsi yang digunakan yakni sebagai berikut ini :

1. Parameter akuifer yang digunakan selama permodelan bernilai konstan.
2. Kondisi batas (*Boundaries*) yang digunakan dalam permodelan yakni *recharge* yaitu data curah hujan dan evapotranspirasi.

3. Nilai konduktifitas hidrolik (K) dianggap homogen yaitu K_x dan K_z adalah sama yaitu nilai K nya sendiri yang diambil dari literatur.
4. Nilai koefisien dispersi yaitu D_x dan D_y diambil dari literatur.
5. Nilai *specific storage* (S_s) dan *specific yields* (s_y) diambil dari literatur.
6. Kondisi air tanah yang digunakan yaitu tidak tertekan dan dalam keadaan tunak (*steady state*).
7. Dimensi arah aliran air tanah secara horizontal lebih dominan daripada arah vertikal.
8. Terdapat dua lapisan batuan yang digunakan dalam permodelan berdasarkan hasil interpretasi geolistrik yakni batupasir tufaan dan andesit.
9. Karena adanya keterbatasan peralatan yang digunakan untuk mengukur rekahan batuan dan juga memodelkan aliran air tanah beserta plume pencemaran, maka aliran air tanah pada rekahan batuan dianggap sama dengan aliran air tanah pada media berpori.

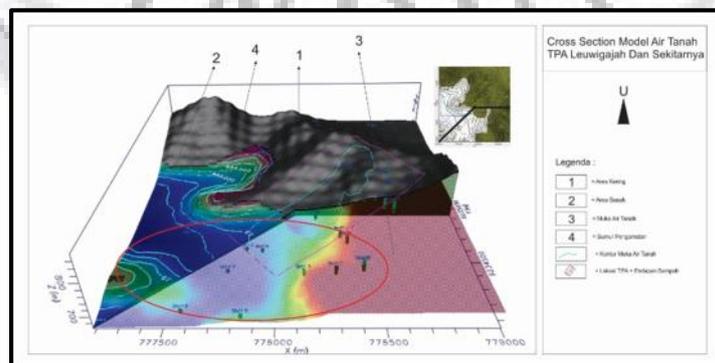
Hasil Pemodelan Air Tanah 2D dan 3D

Berikut ini merupakan model air tanah yang dibuat dengan menggunakan Software modflow dalam bentuk 3D dan juga 2D. Dari model air tanah ini dapat diketahui kontur muka air tanah dan juga arah aliran air tanahnya.

Dapat dilihat pada model air (Gambar 3) terdapat area kering dan juga area basah. Area kering ini merupakan area yang memiliki kedalaman muka air tanah di bawah kedalaman maksimum yang akan kering untuk penyinaran matahari secara terus menerus. Sedangkan untuk area basah ini merupakan area yang memiliki kedalaman muka air tanah di atas kedalaman yang akan kering untuk penyinaran matahari secara terus menerus.

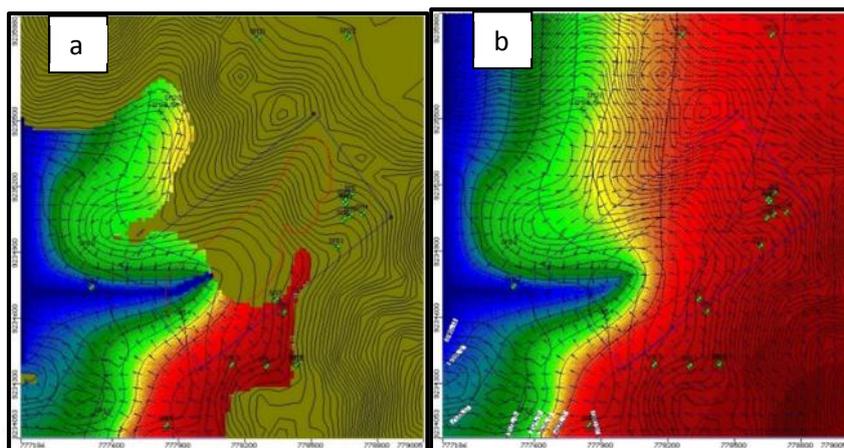
Area kering ini dapat dibuktikan dengan melihat morfologinya yang cenderung berupa bukit yang memiliki elevasi yang lebih tinggi dari area basah, sedangkan area basah ini memiliki elevasi yang lebih rendah dibandingkan dengan area kering. Salah satu contoh area basah ini adalah persawahan.

Dapat dilihat dari hasil permodelan air tanah secara 2D (Gambar 4) bahwa aliran air tanah yakni bergerak menuju ke arah barat daya dan selatan dari TPA Leuwigajah. Hal ini disebabkan pola aliran air tanah mengikuti orientasi topografi yang memiliki kemiringan yang berbeda - beda. Dapat dilihat dari kontur air tanahnya bahwa muka air tanah memiliki elevasi dari 696 m - 710 m.



Sumber: Pengolahan Data Lapangan, 2015.

Gambar 3. Model Air Tanah 3D Daerah Sekitar TPA Leuwigajah



Sumber: Pengolahan Data Lapangan, 2015.

Gambar 4. Model Air Tanah 2D Daerah Sekitar TPA Leuwigajah

Hasil Pemodelan Kontaminan

Dalam pemodelan penyebaran kontaminan dengan menggunakan Software Visual Modflow ini, engine yang digunakan yakni MT3MDS (Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model) karena dapat mensimulasikan transportasi kontaminan pada air tanah secara 3 dimensi. Engine ini dipakai untuk kontaminan yang memiliki sifat yang mudah larut dalam air karena membentuk ion di dalam air. Jika kontaminan berbentuk partikel maka tidak bisa menggunakan engine ini. Permodelan plume pencemaran dilakukan untuk TDS, Fe^{2+} dan Mn^{2+} karena TDS merupakan zat padat yang terlarut dalam air yang memiliki kandungan mineral dan logam-logam yang berbahaya bagi makhluk hidup.

Dari hasil pemodelan penyebaran kontaminan untuk TDS, Fe^{2+} dan Mn^{2+} didapatkan hasil sebagai berikut ini :

1. Hasil Pemodelan Penyebaran TDS (*Total Dissolved Solid*) :
 - Luas area yang tercemar pada hari ke - 1 yaitu seluas 1,19 ha.
 - Luas area yang tercemar pada hari ke - 219 yaitu seluas 5,38 Ha.
 - Luas area yang tercemar pada hari ke - 365 yaitu seluas 6,75 Ha.
2. Hasil Pemodelan Penyebaran Fe^{2+} :
 - Luas area yang tercemar pada hari ke - 1 yaitu seluas 1,29 Ha.
 - Luas area yang tercemar pada hari ke - 219 yaitu seluas 7,19 Ha.
 - Luas area yang tercemar pada hari ke - 365 yaitu seluas 8,11 Ha.
3. Hasil Pemodelan Penyebaran Mn^{2+} :
 - Luas area yang tercemar pada hari ke - 1 yaitu seluas 1,29 Ha.
 - Luas area yang tercemar pada hari ke - 219 yaitu seluas 4,95 Ha.
 - Luas area yang tercemar pada hari ke - 365 yaitu seluas 6,13 Ha.

Kondisi geologi suatu daerah dapat mempengaruhi kondisi hidrogeologi daerah itu juga, hal ini dikarenakan sistem akuifer berhubungan erat dengan litologi batuan yang terdapat di daerah tersebut sesuai dengan kondisi geologinya. Litologi batuan tersebut memiliki sifat fisik yang berbeda-beda, sesuai dengan jenis batuan dan keterbentukannya. Sifat fisik dan keterbentukannya inilah yang dapat mempengaruhi apakah suatu lapisan batuan dapat berperan sebagai lapisan batuan pembawa air.

Sifat fisik batuan yang mempengaruhi dalam pergerakan air lindi ini dapat dilihat dari nilai konduktivitas hidrolis, nilai porositas, dan juga nilai koefisien disperse dan koefisien difusi. Konduktivitas hidrolis akan berpengaruh kepada kemampuan batuan untuk meloloskan air, dari hasil pemodelan penyebaran polutan

dapat dilihat bahwa konsentrasi polutan dari hari ke – 1 sampai hari ke – 365 mulai terjadi penyebaran polutan yang mencakup area yang luas. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh konduktivitas hidrolik yang lebih dominan secara lateral. Untuk penyebaran kontaminan secara vertical tidak terjadi perubahan konsentrasi polutan yang signifikan, dikarenakan lapisan batuan pertama yang memiliki ketebalan 4 m – 10 m sehingga masih memungkinkan kontaminan meresap ke lapisan batuan selanjutnya.

Selain itu pun nilai porositas berpengaruh baik nilai porositas total maupun efektif, karena nilai porositas akan mempengaruhi kemampuan batuan untuk melewatkan fluida. Koefisien dispersi dan koefisien difusi berpengaruh dalam mekanisme perpindahan zat. Koefisien dispersi ini berperan dalam mencairkan zat terlarut dan dari konsentrasi rendahnya, sedangkan koefisien difusi berperan dalam proses perpindahan ion dan molekul yang terlarut dalam air yang berpindah dari area yang berkonsentrasi tinggi ke area yang berkonsentrasi rendah. Semakin besar nilai koefisien dispersi maka penyebaran kontaminannya pun akan semakin besar.

Berikut ini merupakan hasil analisa kualitas air sumur penduduk untuk TDS, Fe²⁺ (Besi) dan Mn²⁺ (Mangan) :

Tabel 2. Hasil Pengujian Kualitas Air Sumur Penduduk

Parameter	Hasil Pengujian (Mg/L)	Kepmenkes RI 907/MENKES/SK/VII/2002 (Mg/L)
TDS (<i>Total Dissolved Solid</i>)	60 - 190	1000
Fe ²⁺ (Besi)	0 - 0,24	0,3
Mn ²⁺ (Mangan)	0,01 - 0,43	0,1

Sumber: Pengolahan Data Lapangan, 2015 & Kemenkes RI 907/MENKES/SK/VII/2002.

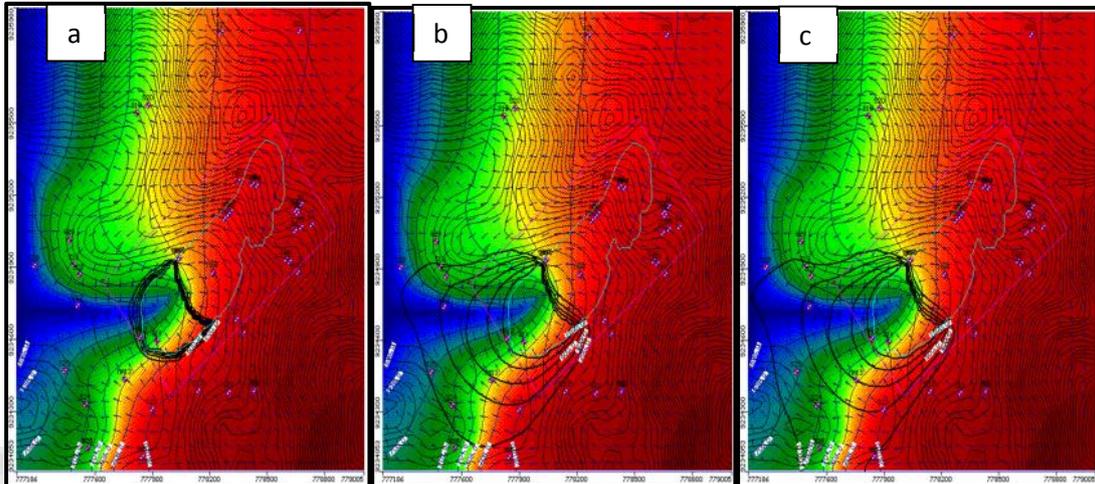
Berdasarkan hasil pengujian air (Tabel 2) dapat dilihat bahwa air sumur penduduk nilai untuk TDS dan juga Besi memiliki nilai konsentrasi yang berada dibawah batasan yang ditetapkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002, sehingga semua air sumur penduduk yang diujikan masih layak untuk dikonsumsi. Sedangkan untuk Mangan terdapat beberapa air sumur penduduk yang memiliki nilai yang berada di atas batas yang ditetapkan.

Tabel 3. Perbandingan Data Lapangan dan Data Hasil Permodelan

Kode Sumur	Koordinat UTM WGS 84	Data Lapangan			Data Hasil Permodelan (365 hari)		
		TDS (Insitu)	Fe ²⁺ (Lab)	Mn ²⁺ (Lab)	TDS	Fe ²⁺	Mn ²⁺
Smr 7	48 M 778339 9234682	130			<100		
Smr 8	48 M 778373 9234627	90			<100		
Smr 13	48 M 778138 9234386	180			<100		
Smr 15	48 M 777843 9234111	190			183,7		
Smr 16	48 M 777562 9234146	400	0,04	0,02	245,76	2,14	0,11
Smr 17	48 M 777507 9234742	420	0,18	0,43	445	3,87	0,20
Smr 18	48 M 777486 9234910	310			236,96		
Smr 23	48 M 777896 9234309	910			401,88		
Smr 24	48 M 777549 9234328	260			308,54		
Smr 25	48 M 777439 9234469	200	0,09	0,01	271,14	2,37	0,12
Smr 27	48 M 777516 9234869	140			314,29		
Smr 28	48 M 777280 9234908	720			176,94		
Smr 29	48 M 777465 9235015	110			<100		
Smr 30	48 M 777562 9234146	270			245,76		

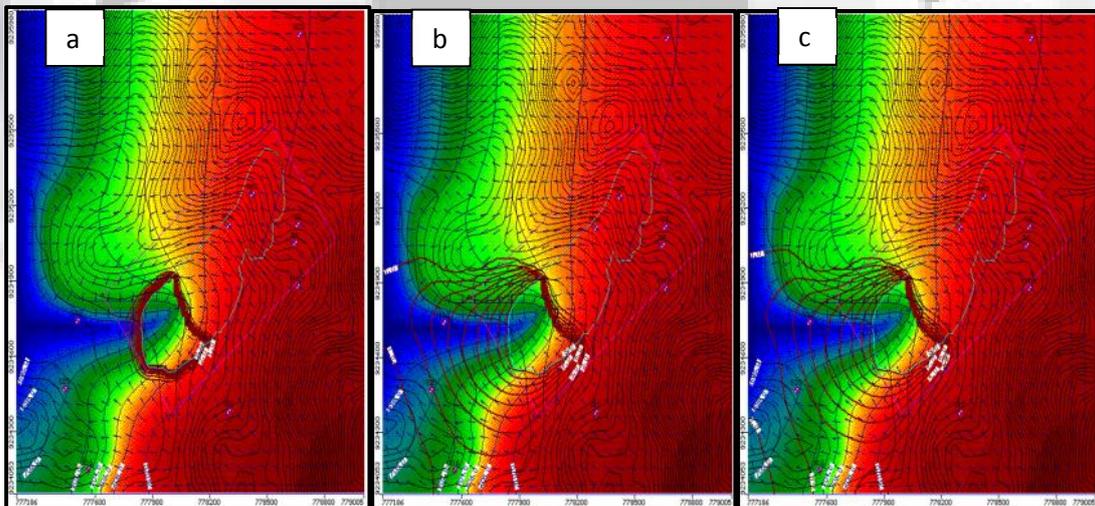
Sumber: Pengolahan Data Lapangan, 2015.

Dari hasil data pemodelan di atas (Tabel 3) dapat dilihat bahwa terdapat beberapa konsentrasi yang nilainya cukup signifikan bila di bandingkan dengan nilai konsentrasi asli di lapangan, hal ini dikarenakan adanya penambahan nilai konsentrasi polutan seiring dengan bertambahnya waktu.



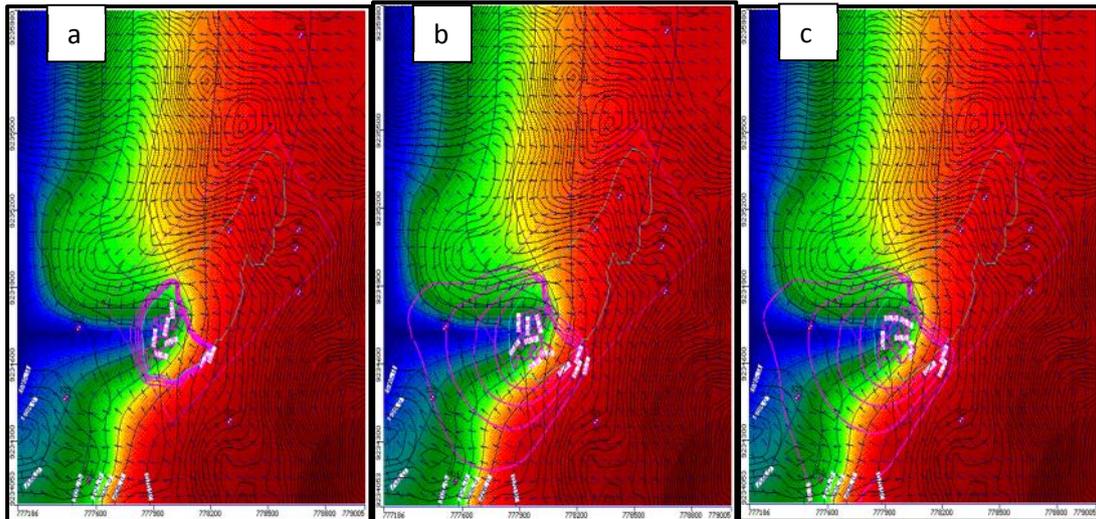
Sumber: Pengolahan Data Lapangan, 2015.

Gambar 5. Model Penyebaran Kontaminan 2D untuk TDS a.Hari ke-1 b.Hari ke-219 c.Hari ke-365



Sumber: Pengolahan Data Lapangan, 2015.

Gambar 6. Model Penyebaran Kontaminan 2D untuk Fe^{2+} a.Hari ke-1 b.Hari ke-219 c.Hari ke-365



Sumber: Pengolahan Data Lapangan, 2015.

Gambar 7. Model Penyebaran Kontaminan 2D untuk Mn^{2+} a. Hari ke-1 b. Hari ke-219 c. Hari ke - 365

D. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil analisa kualitas air tanah, air sumur penduduk dapat dikatakan layak untuk dikonsumsi apabila dilihat dari nilai TDSnya yang memiliki nilai rata-rata 145 mg/L - 390 mg/L dan untuk Besi 0 mg/L - 0,24 mg/L yang masih berada dibawah batas yang ditetapkan oleh (907/MENKES/SK/VII/2002) yakni untuk TDS 1000 mg/L dan untuk besi yakni 0,3 mg/L. Sedangkan untuk Mangan (Mn^{2+}) air sumur penduduk yang masih layak untuk dikonsumsi atau berada di bawah ketentuan yakni 0,1 mg/L adalah sumur 6, sumur 16, sumur 22 dan sumur 25 dengan nilai 0,02 mg/L - 0,07 mg/L.
2. Dari hasil pemodelan dapat diketahui bahwa pola arah aliran air tanah di daerah TPA Leuwigajah berarah menuju selatan dan baratdaya dari TPA sehingga penyebaran polutan mengikuti pola arah aliran air tanahnya, perbedaan konsentrasi polutan antara hasil pengukuran di lapangan dan pengujian di Laboratorium dengan hasil pemodelan dapat terjadi dikarenakan konsentrasi dapat bertambah seiring dengan adanya penambahan waktu simulasi yakni 365 hari.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih yang sebesar - besarnya penulis ucapkan kepada :

1. Ibu Hj. Chusharini Chamid, Ir., M.env.stud., yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian ini.
2. LPPM Universitas Islam Bandung yang telah mendanai dalam kegiatan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Anonim, 2002, Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002 Tentang Syarat Syarat dan pengawasan Kualitas Air Minum : Jakarta.
- Anonim, 2009, Undang – Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 Tentang

Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup : Jakarta.

Chamid, Chusharini, 2014, Kajian Lingkungan Hidrologi dan Hidrogeologi di TPA Leuwigajah Kota Cimahi Jawa Barat, Universitas Islam Bandung : Bandung.

Chamid, Chusharini, 2015, Data Penelitian Permodelan Hidrogeologi dan Plume Pencemaran Air Tanah Bebas di TPA Leuwigajah Kecamatan Cimahi Selatan Kabupaten Bandung Provinsi Jawa Barat, Universitas Islam Bandung : Bandung.

Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber daya dan Lingkungan Perairan, Kanisius : Yogyakarta.

Fetter, C.W., 1994, Applied Hydrogeology, University of Wisconsin : Oshkosh, 3rd edition.

Freeze, A.R., Cherry, J.A. 1979., Groundwater. Prentice – Hall: Englewood - Cliffs, NJ.

Pohland, F.G. dan S.R. Harper, 1985, Critical Review and Summary of Leachate and Gas Production from Landfills, U.S. Environmental Protection Agency : Ohio, 165 p.

