

ANALISIS POLA PENYEBARAN LOGAM BERAT PADA AIR TANAH DANGKAL AKIBAT LINDI DI SEKITAR TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) JATIBARANG, SEMARANG

ANALYSIS OF HEAVY METAL DISTRIBUTION IN UNSATURATED ZONE DUE TO LEACHATE AROUND JATIBARANG LANDFILL, SEMARANG

^{1*}Deardo Chandra Vaskanus Purba dan ²Idris Maxdoni Kamil

^{1,2}Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jl Ganesha 10 Bandung 40132

^{1*}vaskapurba@gmail.com, dan ²idris_kamil@yahoo.

Abstrak: TPA Jatibarang yang terdapat di kota Semarang memiliki daya tampung sebesar 4,15 juta m³. Tetapi pada tahun 2002, timbunan sampah yang berada di TPA telah mencapai ±5,2 juta m³ sampah. Bilamana sampah yang ditimbun pada TPA telah melebihi daya tampung yang diijinkan, maka dapat menyebabkan air lindi menjadi sulit untuk dikendalikan. Air lindi akan berinfiltrasi ke dalam air tanah dan mencemari sumur penduduk yang tinggal di sekitar TPA. Penelitian bertujuan untuk mengetahui penyebaran kontaminan logam berat yang terkandung dalam lindi pada air tanah dangkal. Penelitian ini dilakukan di TPA Jatibarang, Kelurahan Kedungpane Kecamatan Mijen Kota Semarang. Metode yang dilakukan adalah dengan menggunakan pemodelan matematis analitik. Hasil studi menunjukkan bahwa konsentrasi kromium hexavalen, kadmium dan timbal telah melebihi baku mutu yang dianjurkan. Konsentrasi kromium Hexavalen (Cr⁶) dan Timbal (Pb) pada lindi masing-masing adalah sebesar 1,389 mg/l dan 0,131 mg/l. Kecepatan aliran air tanah sebesar 0,06 m/hari mengalir dari kontur yang lebih tinggi menuju kontur yang lebih rendah. Pengambilan sampel air tanah dilakukan pada permukiman terdekat yang berjarak 300 meter sampai pada jarak 600 meter. Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa konsentrasi kromium hexavalen pada wilayah air tanah dangkal 0,0135-0,045 mg/l, konsentrasi Timbal 0,0005-0,0042 mg/l, Daya hantar listrik 0,49-0,85 mS/cm, dan pH 5,66-6,45. Hasil simulasi model menunjukkan bahwa konsentrasi kromium hexavalen pada lindi masi dapat terdeteksi pada jarak ± 300 meter, sedangkan konsentrasi timbal pada lindi masi dapat terdeteksi pada jarak ± 200 meter. Berdasarkan simulasi model dalam memprediksi persebaran kontaminan pada air tanah, bila tanpa adanya pengelolaan yang baik maka 10 tahun mendatang, konsentrasi kromium hexavalen pada air tanah akan melebihi baku mutu yang ditetapkan, sedangkan pada parameter timbal, air tanah akan tercemar timbal setelah 50 tahun.

Kata kunci: Air tanah, Tempat Pemrosesan Akhir (TPA), lindi

Abstract : Jatibarang Landfill, is located in Semarang city, and has the capacity of 4.15 million m³. In 2002, the total solid waste disposed reached approximately 5.2 million m³. When the volume of solid waste disposed exceeds a landfill's capacity, it causes difficulties in the leachate management. Leachate will infiltrate to the soil surface and migrate to the groundwater table then penetrate to residents' wells. The aim of this study is to analyze the distribution of heavy metal contaminants in the leachate, in the unsaturated zone. This research was conducted in Jatibarang landfill, Kelurahan Kedungpane, Kecamatan Mijen, Kota Semarang. The research uses analytical mathematic model. The study results show that Chromium Hexavalent (Cr⁶) and Lead (Pb) concentrations were above prescribed standards. Chromium Hexavalent and Lead concentrations are 1.389 mg/l dan 0.131 mg/l, respectively. Seepage velocity is observed at 0.06 m.day⁻¹ which flowed from higher contour to the lower contour. Groundwater sample was taken from the nearest settlement, 300-600 meters from Jatibarang Landfill. Laboratory analysis showed that Chromium hexavalent and lead concentrations in unsaturated zone ranged from 0.0135-0.045mg/l and 0.0005-0.0042 mg/l, respectively. Electric conductivity was in the range of 0.49-0.85 mS/cm and pH, 5.66-6.4. Model simulations show that Chromium Hexavalent has reached wells located ± 300 meters from the Landfill, whereas Lead has reached wells located ± 200 meters from the Landfill. Model simulation in predicting contaminants spreading, shows that Chromium Hexavalent concentration in groundwater will

reach above standard after 10 years, whereas Lead concentration will contaminate the groundwater after 50 years.

Key words: *Groundwater, Landfill, Leachate*

PENDAHULUAN

Salah satu sumber yang mengancam kualitas dan kuantitas air tanah berasal dari pengelolaan sampah yang dilakukan di Tempat Pengelolaan Akhir (TPA). Pada umumnya pemrosesan akhir sampah di Indonesia berupa proses landfilling yang dilaksanakan secara open-dumping. Sampah yang terdapat pada TPA membentuk proses biokimia dan fisika yang kompleks, sehingga dapat menimbulkan lindi dan emisi gas (Aljaradin et al., 2012). Timbulan (debit) lindi serta kualitasnya yang keluar dari timbunan sampah sangat berfluktuasi karena bergantung pada curah hujan serta karakter sampah yang ditimbun. Ketika lindi mencapai sumber air, maka dapat menyebabkan pencemaran pada sumber air tersebut (Aljaradin & Peerson, 2012).

Kota Semarang hanya memiliki sebuah TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) yaitu TPA Jatibarang. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Jatibarang memiliki daya tampung sebanyak 4,15 juta m³. Pada tahun 2002, timbunan sampah sudah mencapai ± 5,2 juta m³ sampah. Dengan demikian daya tampung TPA Jatibarang telah melebihi daya tampung yang diijinkan. Sampah yang ditimbun pada TPA telah melebihi daya tampung yang diijinkan, maka akan menyebabkan air lindi menjadi sulit untuk dikendalikan. Umur pakai TPA Jatibarang juga sebenarnya sudah habis pada tahun 2002, tapi karena belum ada lahan untuk TPA baru sehingga harus tetap dioperasikan

Studi yang dilakukan oleh Wiharyanto Oktawan (2008), menunjukkan bahwa limpasan lindi TPA Jatibarang yang memiliki debit sebesar 60,66 m³/hari telah melimpas menuju sungai krejo yang merupakan sumber air baku yang digunakan oleh PDAM. Kondisi beberapa sarana dan prasarana yang dalam kondisi kurang baik juga menyebabkan sulitnya air lindi untuk dikendalikan. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sudarwin (2008) terhadap sedimen yang menunjukkan bahwa parameter logam berat seperti Pb dan Cd termasuk dalam kategori pencemaran tinggi. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi lindi yang berada di TPA Jatibarang telah melebihi baku mutu mencemari air sungai dan sedimen yang berada di outlet lindi TPA Jatibarang. Maka perlunya dilakukan kajian pada persebaran kontaminan dalam air tanah. Studi yang dilakukan oleh Hendaryana (2010), menunjukkan bahwa lindi yang terdapat di TPA Jatibarang telah memasuki sistem air tanah.

Air tanah merupakan salah satu sumber air yang digunakan oleh warga yang bermukim di sekitar TPA Jatibarang. Air tanah di sekitar lokasi TPA Jatibarang berupa air sumber dan juga air sumur penduduk dengan kedalaman berkisar antara 10-20 meter dari permukaan tanah. Kondisi penyebaran air lindi yang sulit dikendalikan tersebut berpotensi menyerang sumur warga. Nagarajan et.al. (2012) mengemukakan bahwa lindi menimbulkan dampak yang signifikan pada kualitas air tanah pada area di sekitar TPA. Hal ini dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada masyarakat yang tinggal di sekitar TPA Jatibarang.

Putranto (2011) mengemukakan bahwa air tanah pada dasarnya adalah sebuah sumber daya yang tersembunyi, karena itu studi tentang air tanah dibawah memerlukan teknik pemodelan dalam aplikasinya. Pemodelan air tanah menggambarkan proses aliran airtanah menggunakan persamaan matematika didasarkan pada asumsi penyederhanaan tertentu (Kumar, 2006 dalam Putranto, 2011).

METODOLOGI

Lokasi penelitian adalah Tempat Pengelolaan Akhir (TPA) Jatibarang, Kelurahan Kedungpane Kecamatan Mijen Kota Semarang. Luas area TPA Jatibarang adalah 460,183 m², dengan rincian luas areal buang ± 276.469,8 m² dan infrastruktur ± 184.073,2 m². Parameter yang akan dianalisis adalah logam berat, yaitu Timbal (Pb) dan Kromium hexavalen (Cr6) yang

terkandung dalam air lindi dan sumur warga di sekitar TPA Jatibarang. Analisis laboratorium pada sampel dilakukan sesuai dengan SNI 6989.16:2009.

Lindi TPA Jatibarang sebagai kontaminan yang akan bergerak pada model dan sampel air tanah yang dilakukan pada pengambilan air sumur guna validasi model. Pengambilan sampel air tanah mengacu pada SNI 6989.58:2008. Pengambilan sampel dilakukan secara *grab sampling*. Lokasi sampling air tanah dilakukan pada 6 titik yang terdiri dari 5 titik di bagian hilir TPA Jatibarang dan 1 titik di bagian hulu TPA Jatibarang. Analisis laboratorium pada sampel dilakukan dengan menggunakan metode *Atomic Adsorption Spectrophotometer (AAS)*. Sampling tanah dilakukan dengan menggunakan tabung sample (*tube sampler*). Pengujian sampel tanah dilakukan berdasarkan aturan pengujian ASTM D-2216 dan ASTM D-854 pada pengukuran indeks properties tanah dan pengujian berdasarkan ASTM D 2434-68 pada pengujian permeabilitas tanah. Pengukuran kecepatan air tanah dilakukan sesuai dengan hukum *Darcy* (Notodarmodjo, 2005). Rumus pada Pers.1 dan Pers.2 digunakan untuk menentukan kecepatan air tanah (Pinder, 1981).

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} = -\frac{1}{\theta} \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} \\ K_{yx} & K_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial h}{\partial x} \\ \frac{\partial h}{\partial y} \end{bmatrix} \dots\dots\dots \text{Persamaan 1}$$

$$v_r = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2}$$

Faktor retardasi pada air tanah dangkal (*unsaturated zone*) di ditentukan dengan menggunakan **Persamaan 3**, dimana yang mempengaruhi faktor retardasi adalah kadar air (*water content*) (Troldborg et al., 2009).

$$R = 1 + \frac{\rho_b}{\theta_w} K_d \dots\dots\dots \text{Persamaan 3}$$

$$\frac{\partial(R\theta_w + K_H\theta_a)C_w}{\partial t} = \nabla(\theta_w D_w + K_H\theta_a D_a)\nabla C_w - q_w \frac{\partial C_w}{\partial z} - \theta_w \lambda C_w \dots\dots\dots \text{Persamaan 4}$$

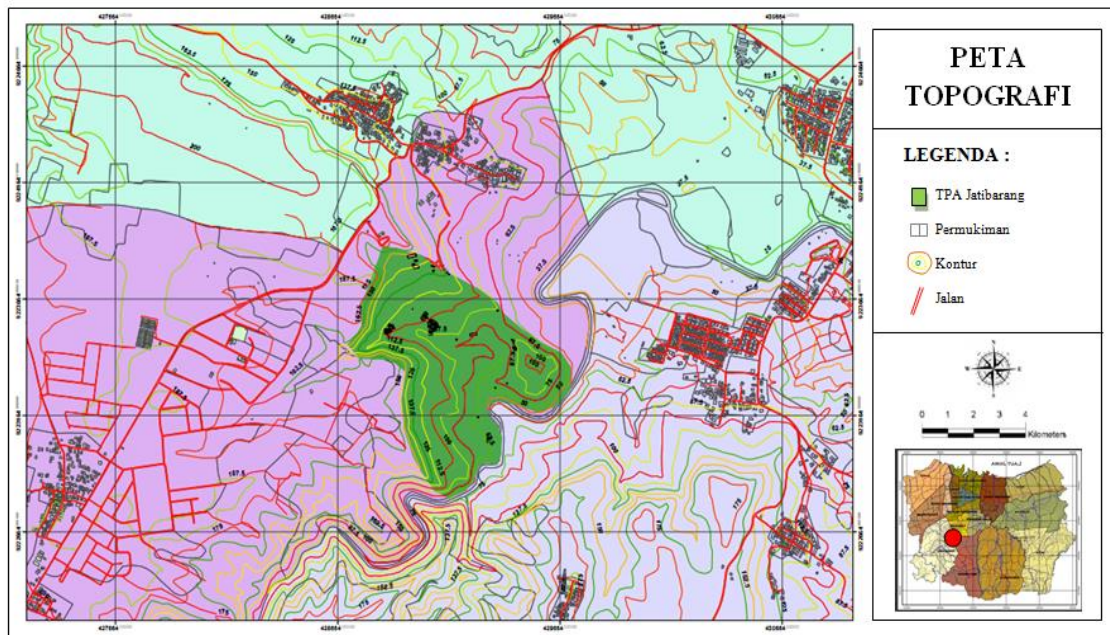
- Dimana:
- C_w = Konsentrasi kontaminan pada fase cair (M/L³)
 - v_r = Kecepatan air tanah (M/T)
 - R = Faktor Retardasi
 - K_H = Konstanta Henry
 - θ_w = Kandungan air (*water content*)
 - θ_a = Kandungan udara (*air content*)
 - D_w = Dispersi tensor dalam air (L²/T)
 - D_a = Koefisien difusi (L²/T)
 - q_w = Infiltrasi (L/T)

Solusi analitik yang digunakan adalah solusi analitik yang dikembangkan oleh Dominio. Simulasi model dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab. Analisis sensitivitas, validasi dan kalibrasi model dibutuhkan untuk menganalisis hasil simulasi model dengan hasil sampel pada lokasi studi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran umum wilayah studi

TPA Jatibarang terletak di Kelurahan Kedungpane Kecamatan Mijen Kota Semarang. TPA Jatibarang mulai dioperasikan sejak bulan Maret 1992 untuk mengganti beberapa TPA di Kota Semarang yang telah ditutup, berturut-turut dari TPA Tapak, TPA Gombel Lama, TPA Mangunharjo dan terakhir TPA Kedungmudu. Luas areal TPA Jatibarang adalah ± 460183 m². Berdasarkan data dari Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Semarang (2011) menunjukkan bahwa data produksi sampah harian Kota Semarang sebesar 4500 m³/hari (3000 m³/hari sampah domestik, 1500 m³/hari sampah non domestik).



Gambar 1. Topografi wilayah studi

TPA Jatibarang termasuk kawasan akuifer berpotensi sedang (2-9,73 l/detik). Permeabilitas (kelulusan air) di lokasi TPA berkisar pada angka $7,149 \times 10^{-7}$ hingga $7,120 \times 10^{-5}$ cm/detik. Kondisi topografi lokasi TPA Jatibarang merupakan daerah perbukitan dan bergelombang dengan ketinggian 65-200 meter dari permukaan laut. Lokasi TPA terletak pada bagian lereng pegunungan yang terjal dan relatif sempit dengan kemiringan lereng berkisar antara 24% (Siregar, 2009).

Sifat fisik dan permeabilitas tanah

Karakteristik tanah dilakukan untuk mengetahui pengaruh tanah terhadap pergerakan air tanah dan kecepatan air tanah. Pengambilan sample tanah dilakukan dengan menggali tanah dengan kedalaman ± 1 meter (*unsaturated zone*). Sampling dengan menggunakan *tube sampler* tersebut dilakukan pada kondisi terganggu (*disturbed*). Penentuan karakteristik tanah diperoleh berdasarkan pengujian sampling tanah yang dilakukan pada laboratorium mekanika tanah. Pengujian sampel tanah yang dilakukan adalah penentuan sifat fisik tanah dan uji permeabilitas. Sifat fisik tanah dapat dilihat pada **Tabel 1**. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, menunjukkan bahwa tanah memiliki porositas yang lumayan besar ($n=0,53$) dan kadar air (*density*) sebesar $1,6 \text{ gr/cm}^3$.

Tabel 1. Sifat fisik dan permeabilitas tanah

No	Pengujian	Satuan	Hasil Analisa
1	<i>Wet Density</i>	gr/cm ³	1,60
2	<i>Moisture Content</i>	%	31,37
3	<i>Specific Gravity</i>	-	2,61
4	<i>Dry Density</i>	gr/cm ³	1,21
5	<i>Void Ratio</i>	-	1,14
6	Porositas	-	0,53
7	Permeabilitas	m/hari	0,05

Berdasarkan hasil uji laboratorium, menunjukkan bahwa tanah termasuk dalam kategori tanah berlempung yang memiliki permeabilitas yang kecil yaitu $5,75 \times 10^{-5}$ cm/detik atau 0,05 m/hari. Angka permeabilitas merupakan salah satu komponen yang mempengaruhi kecepatan air

tanah, dimana semakin kecil nilai permeabilitas tanah maka kecepatan air tanah akan semakin lambat sesuai dengan aturan pada hukum Darcy.

Karakteristik lindi

Kuantitas lindi yang dihasilkan pada TPA tergantung pada jumlah masuknya air dari luar, terutama air hujan, Selain itu, kuantitas lindi juga dipengaruhi oleh aspek operasional yang diterapkan di TPA seperti aplikasi tanah penutup, kemiringan permukaan, kondisi iklim, dan sebagainya sehingga bervariasi dan fluktuatif (Englehardt, 2006). Pengambilan lindi dilakukan pada saluran drainase pada saluran drainase lindi yang tidak dilapisi beton dan langsung berbatasan dengan permukaan tanah, sehingga dapat diasumsikan bahwa lindi akan langsung terinfiltrasi ke tanah dan menuju aliran air tanah (*unsaturated zone*).

Tabel 2. Karakteristik lindi TPA Jatibarang

No.	Parameter	Satuan	Hasil analisa	Golongan baku mutu air limbah berdasarkan Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah Nomor 5 tahun 2012	
				Golongan I	Golongan II
1	Temperatur	°C	31	38	38
2	pH	-	8,5	6-9	
5	Kromium hexavalen (Cr ⁶⁺)	mg/l	1,389	0.1	0.5
6	Timbal (Pb)	mg/l	0,131	0.1	1

Berdasarkan hasil sampling yang dilakukan pada lindi di TPA Jatibarang, menunjukkan bahwa parameter logam berat telah melebihi baku mutu yang telah ditetapkan berdasarkan Peraturan Daerah Propinsi Jawa Tengah nomor 5 tahun 2012. Pohland dan Harper (1985) menyatakan bahwa umur tumpukan sampah juga bisa mempengaruhi kualitas air lindi dan gas yang terbentuk. Kualitas lindi yang melebihi baku mutu tersebut selain dipengaruhi oleh jumlah tumpukan yang masuk, juga dipengaruhi oleh timbunan sampah yang telah tertumpuk sejak lama.

Kualitas air tanah

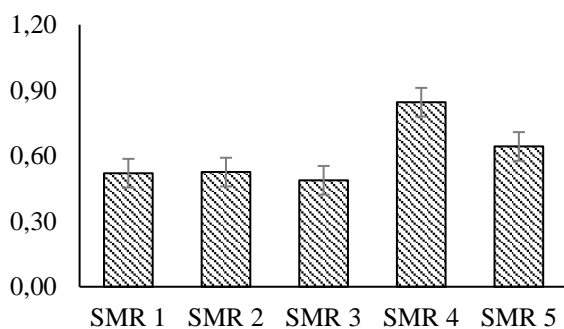
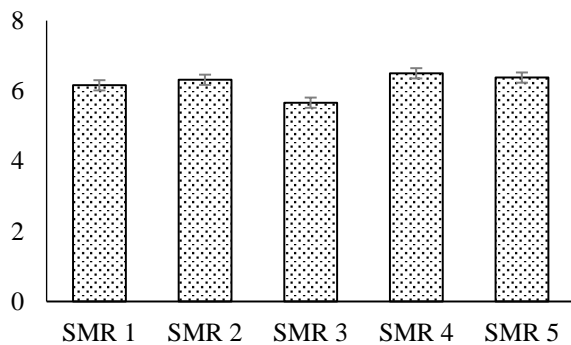
Air tanah merupakan salah satu sumber utama yang digunakan oleh masyarakat yang bermukim di sekitar TPA Jatibarang. Kawasan sekitar TPA memiliki kemungkinan terbesar terkena kontaminasi pencemaran air tanah akibat lindi (Salami, 2013). Pengambilan sampel air tanah dilakukan di permukiman yang terdekat dengan TPA Jatibarang yaitu Kelurahan Bambankerep Kecamatan Ngaliyan. Berdasarkan RKPD Jawa Tengah Tahun 2013, pengkategorian sumur air tanah dangkal berada pada kedalaman lebih kecil daripada 40 meter.

Hasil pemantauan di lapangan menunjukkan bahwa kedalaman sumur air tanah dangkal yang digunakan oleh warga yang bermukim di sekitar TPA Jatibarang adalah berkisar 10-15 meter. Maka sumur yang digunakan oleh warga kelurahan Bambankerep adalah sumur bor. Pengambilan sampel dilakukan pada rata-rata kedalaman 12,2 meter, sesuai dengan tinggi muka air sumur. Pengambilan sampel air tanah dilakukan pada 5 sumur warga yang berjarak 300-600 meter. **Tabel 3** menunjukkan lokasi pengambilan sampel yang dilakukan dalam penelitian.

Tabel 3. Lokasi titik sampling

Kode	Koordinat	Elevasi (Mdpl)	Kedalaman Sumur (Meter)	Tinggi Air Muka tanah (Meter)	Jarak dari TPA (Meter)	
						1
2	SMR 21.610	S7 01.061 E110	115	10	3,15	617

3	SMR	S7	01.098	E110	113	10	7,93	500
4	SMR	S7	01.084	E110	111	13	9,35	435
5	SMR	S7	01.076	E110	113	15	10,65	520

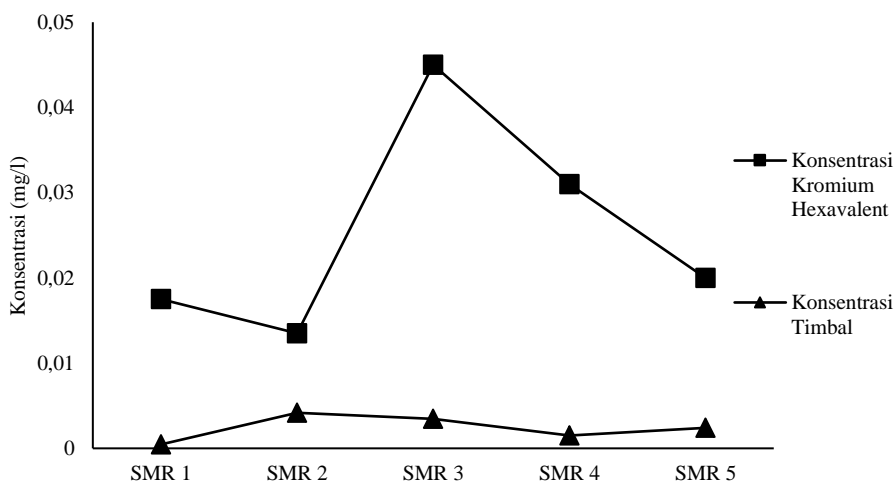


(a) pH

(b) DHL

Gambar 2. Kualitas air tanah pada parameter fisik

Pengukuran parameter fisik yang dilakukan adalah pengukuran derajat keasaman (pH) dan pengukuran Daya Hantar Listrik (DHL). Hasil pengukuran dilapangan menunjukkan bahwa pH air tanah pada kondisi yang lebih cenderung asam yang berkisar 5,66-6,45. Berdasarkan Keputusan Menteri nomor 907 tahun 2002 mengenai syarat-syarat pengawasan kualitas air minum, batas baku mutu pH yang diijinkan adalah berkisar 6,5-8,5, maka air sumur di sekitar TPA Jatibarang dapat dikategorikan tidak baik untuk dikonsumsi secara langsung. DHL pada air tanah menunjukkan nilai yang cukup tinggi yaitu berkisar 0,49-0,85 ms/cm.



Gambar 3. Kualitas air tanah pada parameter kimia

Pengukuran parameter kimia meliputi senyawa logam berat yaitu, kromium hexavalen dan timbal. Konsentrasi kromium hexavalen pada sumur pengamatan adalah berkisar 0,0175-0,045 mg/L, sedangkan konsentrasi timbal adalah berkisar 0,0005-0,0042 mg/l. konsentrasi ini termasuk kecil dan dibawah baku mutu yang ditetapkan dalam Keputusan Menteri nomor 907 tahun 2002, mengenai syarat-syarat pengawasan kualitas air minum dimana batas maksimal yang diijinkan pada kromium hexavalen adalah 0,05mg/L dan konsentrasi timbal adalah 0,01 mg/L

Kecepatan air tanah

Pengukuran kecepatan air tanah dilakukan dengan menggunakan prinsip dalam hukum Darcy. Sesuai dalam penerapan Hukum Darcy, maka diasumsikan bahwa tanah dalam kondisi homogen, isotrop, tidak ada aliran yang menyebar, dan terdapat pengaliran air yang terus menerus. Berdasarkan asumsi tersebut maka nilai konduktivitas hidrolis pada setiap arah adalah Sama ($K_x = K_y = K_z$).

Penentuan kecepatan air tanah dilakukan dengan menerapkan pengembangan hukum Darcy yang dikembangkan oleh Pinder (1981). Pengukuran dilakukan dengan mengobservasi 3 buah sumur yang terletak di hulu TPA Jatibarang. Parameter yang dibutuhkan dalam mengukur kecepatan dan arah air tanah adalah koordinat, elevasi, tinggi muka air tanah, dan kedalaman sumur. Penentuan kecepatan air tanah dilakukan dengan menggunakan **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** sehingga diperoleh bahwa kecepatan air tanah adalah 0,062 m/hari.

Model penyebaran logam berat pada air tanah

Solusi analitik yang digunakan dalam penelitian ini adalah solusi analitik yang dikembangkan oleh Ogata-Banks dan solusi analitik yang dikembangkan oleh Dominico-Robbins. Komponen-komponen yang digunakan dalam menyelesaikan model penyebaran kontaminan pada air tanah diperoleh berdasarkan data lapangan dan data asumsi yang diperoleh dari studi literatur.

Sumber kontaminan adalah TPA Jatibarang maka lebar dan panjang sumber diperoleh berdasarkan hasil perhitungan dan analisis peta TPA Jatibarang, berdasarkan hasil analisis peta, diperoleh bahwa panjang TPA Jatibarang adalah 1552,87 meter, sedangkan lebar TPA Jatibarang adalah 734,25 meter. Kedalaman TPA Jatibarang diasumsikan sama dengan kedalaman sumur warga yang tinggal di sekitar TPA Jatibarang yang memiliki kedalaman rata-rata 12,2 meter. Konsentrasi kontaminan logam berat pada lindi diasumsikan sebagai konsentrasi awal (C_0) dimana berdasarkan hasil analisa laboratorium menunjukkan bahwa konsentrasi kromium hexavalent (Cr^6) adalah 1,389 mg/l dan konsentrasi timbal (Pb) adalah 0,131 mg/l. Pergerakan air tanah dipengaruhi oleh karakteristik fisik tanah dan permeabilitas, hasil pengujian tanah menunjukkan bahwa nilai porositas tanah adalah 0,53, dan besarnya kadar air pada tanah adalah sebesar 0,3, nilai *bulk density* adalah sebesar 1,60 gr/cm³, dan nilai permeabilitas tanah adalah 0,05 m/hari.

Data asumsi yang digunakan dalam model adalah nilai koefisien distribusi, dispersivitas, dan waktu peluruhan. Allison et al. (2005) menyatakan bahwa Koefisien distribusi pada logam adalah rasio konsentrasi logam yang terabsorb terhadap konsentrasi logam yang terlarut. Nilai K_d pada tanah tergantung pada karakter geokimia pada tanah dan pada air yang mengalir pada pori tanah berdasarkan studi literatur dimana koefisien distribusi untuk parameter kromium hexavalent adalah berkisar -0,7-3,3 L/kg (Allison et al, 2005). Berdasarkan range yang ada dalam literature, maka nilai koefisien dispersivitas untuk parameter kromium hexavalen yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,175 L/Kg, sedangkan koefisien distribusi untuk parameter timbal adalah 0,4 L/kg (Pidriansy, 2013).

Dalam memodelkan transport kontaminan, perlunya dilakukan penentuan seluruh efek-efek dari proses dispersi yang terjadi pada 2 komponen, yaitu dispersivitas longitudinal, dan dispersivitas transversal (Younger, 2007). Notodarmojo (2005) menyatakan bahwa dispersivitas

cenderung proporsional dengan jarak yang ditempuh oleh molekul atau ion, dan dapat diperkirakan secara kasar sebagai 0,1 kali jarak tempuh ion atau molekul. Penentuan nilai dispersivitas dapat dilakukan dengan menggunakan rumus (Tong et al, 2013):

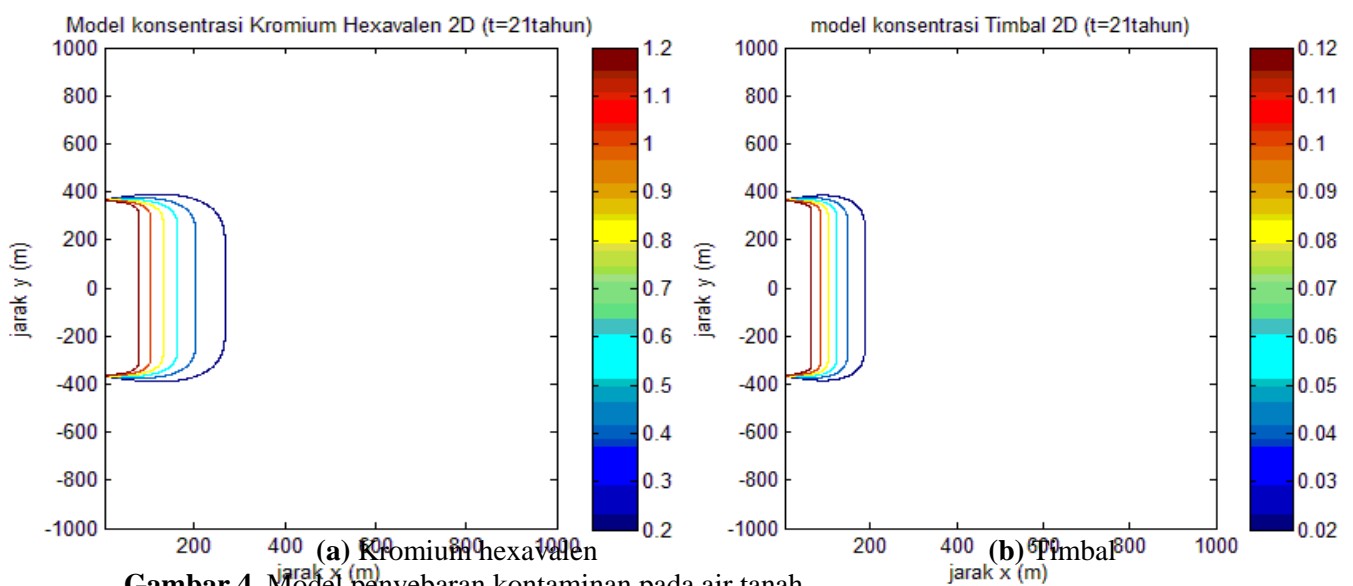
$$\alpha_x = 0,1 * X \dots\dots\dots \text{Pers 5}$$

$$\alpha_y = 0,33 * \alpha_x \dots\dots\dots \text{Pers 6}$$

$$\alpha_z = 0,056 * \alpha_x \dots\dots\dots \text{Pers 7}$$

Dimana X adalah jarak dari sumber ke sumur terdekat, α_x adalah dispersivitas longitudinal, α_y adalah dispersivitas transversal, dan α_z adalah dispersivitas vertikal. Berdasarkan rumus tersebut maka diperoleh bahwa nilai dispersivitas longitudinal adalah 39,6. Sedangkan nilai dispersivitas transversal adalah 13,068, dan nilai dispersivitas vertikal adalah 2,176.

Simulasi model dilakukan dalam kurun waktu selama 21 tahun, sesuai dengan umur TPA Jatibarang. Adapun asumsi-asumsi yang digunakan dalam model adalah kecepatan air tanah yang bersifat *steady-state* dan indeks properties tanah yang seragam, dan konsentrasi kontaminan yang konstan.



Gambar 4. Model penyebaran kontaminan pada air tanah

Simulasi model dilakukan secara 2 dimensi selama 21 tahun sesuai dengan umur TPA Jatibarang, dengan asumsi bahwa konsentrasi kontaminan adalah konstan. Parameter-parameter utama yang mempengaruhi perubahan persebaran kontaminan pada air tanah adalah proses adveksi, dispersi dan retardasi.

Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi model persebaran kromium hexavalen (Cr^6) akibat pada lindi di air tanah sekitar TPA Jatibarang. Berdasarkan hasil simulasi model, terlihat bahwa persebaran kromium hexavalen masi dapat terdeteksi pada jarak ± 300 meter. Hal ini dapat membahayakan penduduk yang tinggal di sekitar TPA jatibarang. Hasil simulasi model pada lokasi titik sampling lapangan menunjukkan nilai konsentrasi kromium hexavalent sebesar 0,005-0,044 mg/l. Hasil simulasi model terhadap parameter timbal (Pb) menunjukkan bahwa persebaran timbal (Pb) masi dapat terdeteksi pada jarak ± 200 meter. Berdasarkan hasil simulasi model, konsentrasi pada lokasi titik sampling adalah berkisar 0,007-0,021 mg/l.

Analisis sensitivitas

Berdasarkan analisis sensitivitas pada simulasi model, parameter utama yang mempengaruhi perubahan persebaran kontaminan pada air tanah adalah proses adveksi, dispersi dan retardasi. Berdasarkan simulasi model pada parameter kromium hexavalen menunjukkan bahwa variabel kecepatan air tanah yang mempengaruhi adveksi adalah faktor utama yang paling

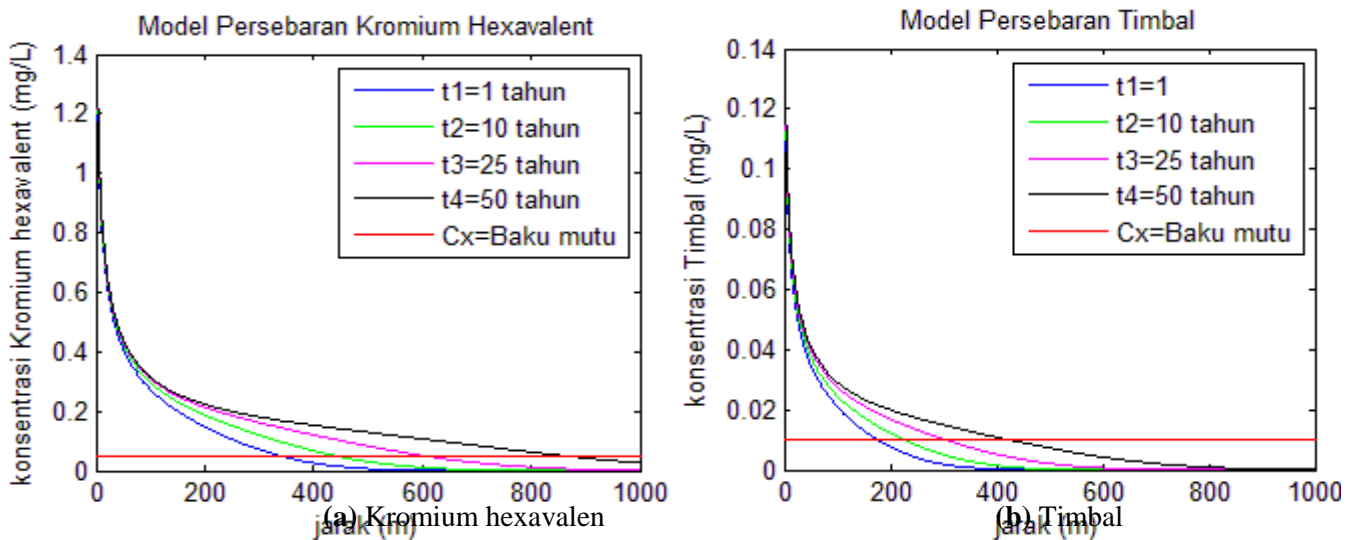
mempengaruhi persebaran kontaminan pada air karena adveksi memiliki nilai indeks sensitivitas yang paling tinggi dibandingkan dengan variabel lainnya, kemudian diikuti oleh dispersivitas longitudinal yang mempengaruhi dispersi dan faktor retardasi.

Kalibrasi dan validasi model

Kalibrasi dan validasi model dilakukan dengan menggunakan *chi square test*. Hasil perhitungan kalibrasi dan validasi model menunjukkan bahwa nilai χ^2 pada parameter kromium hexavalen adalah sebesar 0,100 sedangkan pada parameter timbal adalah sebesar 0,039. Maka model dapat diterima dengan tingkat kepercayaan 95%.

Prediksi model

Prediksi model dilakukan setelah model telah di analisis dan di validasi. Prediksi model dilakukan guna melihat persebaran kontaminan pada air tanah untuk waktu yang mendatang. Prediksi model dilakukan pada rasio 1 tahun, 10 tahun, 25 tahun, dan 50 tahun. **Gambar 5.** Menunjukkan hasil simulasi model dalam memprediksi persebaran kontaminan pada air tanah pada kurun waktu tertentu



Gambar 5. Simulasi model dalam memprediksi persebaran kontaminan pada air tanah

Berdasarkan simulasi 1 dimensi maka terlihat jelas bahwa konsentrasi kromium hexavalen melewati baku mutu yang ditetapkan sampai pada berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 907/MENKES/SK/VII/2002 pada semua titik setelah 10 tahun. Sedangkan pada parameter timbal, menunjukkan bahwa air tanah akan terkontaminasi timbal yang berasal dari lindi TPA Jatibarang setelah 50 tahun.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa konsentrasi kromium hexavalen dan timbal pada lindi TPA Jatibarang telah melebihi standar baku mutu yang ditetapkan. Konsentrasi kontaminan pada air tanah yang digunakan oleh warga pada parameter kromium hexavalent telah berada pada masa rentan pada standar baku mutu, yaitu 0,0135-0,045 mg/l sedangkan standar baku mutu yang ditetapkan adalah sebesar 0,05 mg/l. sedangkan konsentrasi parameter timbal adalah 0,0005-0,0042 mg/l dimana konsentrasi maksimal yang diijinkan adalah 0,01 mg/l

Faktor yang paling mempengaruhi persebaran kontaminan pada air tanah berdasarkan simulasi model adalah adveksi, kemudian dispersi dan yang terakhir adalah faktor retardasi. Hasil

simulasi model menunjukkan bahwa persebaran kromium hexavalen masi dapat terdeteksi pada jarak ± 300 meter. Sedangkan persebaran timbal (Pb) masi dapat terdeteksi pada jarak ± 200 meter.

Berdasarkan simulasi model dalam memprediksi persebaran kontaminan pada air tanah, bila tanpa adanya pengelolaan yang baik maka 10 tahun mendatang, konsentrasi kromium hexavalen pada air tanah akan melebihi baku mutu yang ditetapkan, sedangkan pada parameter timbal, air tanah akan tercemar timbal setelah 50 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- Aljaradin, M. Persson, K.M. 2012. Environmental Impact of Municipal Solid Waste Landfills in Semi-Arid Climates-Case Studies-Jordan. *The Open Waste Management Journal P: 28-39*. Bentham Science
- Allison, Jerry .D.. Allison, Terry L. 2005. Partition Coefficients for Metals in Surface Water, Soil, and Waste. USEPA: Washington
- Englehardt, J. D., 2006. Treatment of Landfill Leachate by the Fenton Process. *Journal of Water Research Volume 40. Issue 20, Pages 3683–3694*: Elsevier
- Hendrayana, Heru. Putra, Doni, P. E., Purtanto, Thomas T., Xaixongdeth, Ponhalath. 2010. Jatibarang Landfill Of Semarang City: Is It Potential as The Water Contamination Source. *Journal SE Asian. Appl Geol., Jan-April 2010, Vol 2(1), Pp 40-46*
- Nagarajan, Rajkumar. Thirumalaisamu, Subramani. Lakshumanan, Elango. 2012. Impact Of Leachate On Groundwater Pollution Due To Non-Engineered Municipal Solid Waste Landfill Sites Of Erode City, Tamil Nadu, India. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*:
- Notodarmojo, S. 2005. Pencemaran Tanah & Air Tanah. Bandung: Penerbit ITB.
- Oktiawan, Wiharyanto Dan Priyambada, Ika Bagus. 2008. Pola Penyebaran Limpasan Logam Lindi TPA Jatibarang pada Sungai Kreo. *Jurnal Presipitasi Vol. 4 Hal. 56-6*. Universitas Diponegoro.
- Pidriansy, Qadriana. 2013. Kajian Pencemaran Air Tanah Dangkal dan Analisis Resiko Kesehatan Manusia Akibat Lindi dari Landfill. Tesis. TL-ITB Bandung
- Pinder, George. F., Celia, Michael. Gray, William G. 1981. Velocity Calculation from Randomly Located Hydraulic Heads. *Journal of Groundwater vol. 19 p 262-264*
- Putranto, Thomas. 2011. Aplikasi Pemodelan Aliran Airtanah Dalam Konsep Air Tanah Berbasis Cekungan. Proceeding Olimpiade Karya Tulis Inovatif (OKTI)
- Salami, L., Olafadehan, A. O., Babagana, G., Susu, A.A. 2013. Prediction of Contaminants in Groundwater Polluted By Leachates from a Landfill Site. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences. Vol. 15 Issue 3*
- Siregar, Ronald. 2009. Perencanaan Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Di TPA Jatibarang Semarang. Universitas Diponegoro Semarang
- Sudarwin. 2008. Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb Dan Cd) Pada Sedimen Aliran Sungai Dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang. Tesis Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.
- Tong, W., Y. Rong. 2013. Dominico Spreadsheet Analytical Manual. California Regional Water Quality Control Board: Los Angles.
- Troldborg, Mads., Binning, P.J., Nielsen, Signe., Kjeldsen, Peter., Christensen, A.G. 2009. Unsaturated Zone Leaching Models for Assessing Risk to Groundwater of Contaminated Sites. *Journal of Contaminant Hydrology Vol 105. Pg. 28-37: Elsevier*.
- Younger, Paul L..2007. Groundwater in the Environment: An Introduction. Blackwell Publishing: USA