

# PERMODELAN TRANSPORT TIMBAL (Pb) DAN KHROM (Cr) DALAM LINDI DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE POLLUTE V.7. STUDI KASUS : TPA SANGGRAHAN, TEMANGGUNG

Alfania Sekar F, Badrus Zaman, Titik Istirokhatun  
Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH Tembalang, Semarang

## ABSTRACT

Generally, leachate landfill contain a large number of hazardous compounds including heavy metals especially lead (Pb) and chromium (Cr) which can contaminate soil and groundwater around the landfill. Sanggrahan Landfill has implemented liner (base layer system) to prevent leachate leakage and migration of pollutants through landfill liners. This research describes the result of model transport Pb and Cr in leachate Sanggrahan Landfill using software Pollute v.7 for 12 years. Transport of contaminant which is observed in this model are the layer of gravel, geotextile, geomembrane, compacted soil and native soil of landfill. This transport simulation model resulted that concentration of Pb and Cr would be increasing from 1<sup>st</sup> to 12<sup>th</sup> year. Both of these contaminants are predicted to be worse and potentially contaminate groundwater around the landfill.

Keywords : leachate, lead, chromium, liner

## PENDAHULUAN

Lindi pada umumnya bersifat toksik karena mengandung logam berat dan berbagai polutan organik lainnya yang dapat mencemari tanah dan air tanah (Damaryanti, 2011). Hasil studi pendahuluan yang dilakukan terhadap kandungan logam berat pada TPA Sanggrahan Temanggung menunjukkan bahwa terdapat beberapa parameter yang konsentrasinya melebihi baku mutu menurut Peraturan Daerah Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 yaitu Cr 0,8 mg/l dan Pb 0,93 mg/l.

TPA Sanggrahan Temanggung berdiri pada tahun 2012. TPA ini dilengkapi liner yang terdiri dari gravel, geotekstil, geomembran dan tanah dipadatkan dengan harapan lindi yang dihasilkan dari sampah tidak mencemari air, tanah dan air tanah disekitar TPA. Meskipun demikian TPA Sanggrahan Temanggung dalam beberapa tahun kedepan memiliki potensi kebocoran lindi yang melewati *liner*. Hal ini dikemukakan oleh Shukla, S.K and Jian-Hua Yin, 2006 bahwa kebocoran lindi pada geomembran disebabkan oleh karakteristik geomembran yang bisa mengalami cacat apabila mendapat tekanan dari akumulasi lindi yang mengandung logam berat dalam kurun waktu yang lama dan berpotensi membahayakan lingkungan.

Berdasarkan hal tersebut untuk mengetahui mobilitas kontaminan Pb dan Cr dalam lindi di TPA Sanggrahan Temanggung dalam beberapa tahun kedepan dengan menggunakan Pollute v.7. *Software* ini pernah diaplikasikan pada beberapa penelitian yaitu pada *landfill* di China oleh Xie H, et al pada tahun 2012 dan di Ontario, Canada oleh Hoor and Rowe pada tahun 2012.

## METODOLOGI

### Tahap Persiapan

Melakukan identifikasi terhadap kontaminan logam berat yang terdapat dalam lindi, mengumpulkan, mempelajari serta mengkaji studi pustaka yang berkaitan dengan penelitian. Menentukan wilayah studi yaitu di TPA Sanggrahan, Temanggung serta melakukan sampling dan studi pendahuluan guna menentukan parameter logam berat yang nantinya akan menjadi objek dalam penelitian ini.

### Tahap Pelaksanaan

#### Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk data primer dan sekunder. Data primer didapatkan dengan melakukan pengamatan dan sampling secara langsung di TPA Sanggrahan, Temanggung. Pengambilan sampel mengikuti ketentuan MPA (Metode Penelitian Air).

Data primer yang didapatkan adalah sebagai berikut

1. Kualitas Lindi  
Konsentrasi Pb dan Cr diambil pada inlet kemudian dilakukan uji di laboratorium. Nilai tersebut akan menjadi input dalam *boundary data* pada program Pollute v.7.
2. Karakteristik Tanah  
Untuk mendapatkan karakteristik tanah dilakukan pengeboran tanah kemudian dilakukan uji soil test di laboratorium.
3. Kualitas Sumur Pantau  
Konsentrasi Pb dan Cr yang diperoleh dari SP 1 dan SP 2 akan digunakan sebagai validasi untuk membandingkan hasil pengukuran di lapangan dan hasil perhitungan analitis.

Data sekunder diperoleh dari DPU Kabupaten Temanggung, PPLP Jawa Tengah dan BMKG Jawa Tengah yang berupa data eksisting TPA, karakteristik liner dan data klimatologi.

## Pengolahan Data

Pengolahan dan analisis data yang ditempuh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengolahan data dilakukan dengan perhitungan komputasi menggunakan Ms. Excel 2010, dimana data yang akan menjadi input dalam software Pollute v.7 adalah *darcy velocity*, *porosity*, *dry density*, *coef of hidrodinamic dispersion* dan *distribution coef*.

2. Analisis data.

Untuk membuat analisis yang layak maka perlu studi perbandingan dengan studi-studi lain di tempat yang berbeda. Perkembangan terbaru dari peraturan, *trend* serta isu global menjadi salah satu referensi dalam analisis. Analisis dilakukan dengan mengolah dan menganalisis data yang diperoleh dari hasil analisis laboratorium dan pengamatan di lapangan.

## Permodelan dengan Pollute v.7

Tipe model yang akan digunakan yaitu *blank model* dimana pada model ini jumlah dan jenis layer dapat ditentukan sendiri sesuai dengan kondisi TPA Sanggrahan Temanggung. Input data primer dan data sekunder dimasukkan ke dalam program Pollute v.7 yang sebelumnya telah dilakukan pengolahan data dengan komputasi. Tahap-tahap yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Start \_ create a new project then create a new model
2. Step 1 Type of model  
*Blank Model*
3. Step 2 General Data  
Data yang akan di input adalah *number of layers*, *maximum depth* (total kedalaman layer) dan *darcy velocity*.
4. Step 3 Layer Data  
Data yang akan di input adalah *number of sub layer*, *thickness* (ketebalan layer), *dry density*, *porosity*, *coefficient of hidrodinamic dispersion* dan *distribution coefficient*.
5. Step 4 Boundary Conditions (Batas kondisi dari konsentrasi lindi yang dihasilkan terdiri dari *top boundary* and *bottom boundary*).
6. Step 5 Run Parameters
  - a. Konsentrasi vs kedalaman
  - b. Konsentrasi vs waktu
  - c. Kedalaman vs waktu, dan

Output dalam bentuk grafik dan tabel, masing – masing parameter yang akan dimunculkan dalam grafik atau tabel tersebut dapat dispesifikasi.

## Kalibrasi dan Validasi Model

Dilakukan setelah proses pemasukan data selesai. Kalibrasi dilakukan agar diperoleh hasil simulasi yang lebih mendekati nilai dari data lapangan. Validasi model dilakukan setelah kalibrasi. Validasi bertujuan

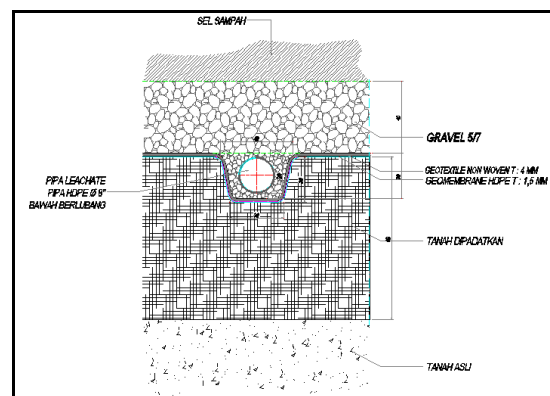
untuk menguji apakah model mencerminkan kondisi di lapangan. validasi dilakukan dengan tiga metode yaitu metode chi kuadrat (Hadi, 2004) dan sum squared for errors dan root square of errors (Notodarmojo, 2005).

## Simulasi dengan Pollute v.7

Untuk mendapatkan hasil model telah dilakukan analisis sensitivitas dengan cara *trial and error* yaitu mengganti nilai *dry density*, permeabilitas dan porositas berdasarkan teori yang ada dan membiarkan nilai parameter lainnya tetap. Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa model ideal terhadap nilai permeabilitas untuk geomembran  $0,5 \times 10^{-11}$  m/s dari range  $0,5 \times 10^{-12} - 0,5 \times 10^{-15}$  m/s (Shukla, S.K and Jian-Hua Yin, 2006), porositas untuk geotekstil 0,55 dari range 0,55 – 0,93 (Shukla, S.K and Jian-Hua Yin, 2006) dan porositas untuk geomembran 0,9 dari 1 (GAEA Technologies Ltd, 2004).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi Liner TPA Sanggrahan



Gambar 1. Detail Liner TPA Sanggrahan  
Sumber : Analisis, 2013

Tabel 1. Data Dry Density Liner

Liner	Ketebalan Layer (m)	Dry Density (gr/cm <sup>3</sup> )	Sumber
Kerikil (gravel)	0,7	2,47	PT Bumi Mas Perdana
Geotekstil	0,004	0,5	Laporan Akhir TPA Sanggrahan
Geomembran	0,0015	0,94	PT Bumi Mas Perdana
Tanah dipadatkan	0,9	1,1352	Data Primer, 2013
Tanah 1	2	1,3087	
Tanah 2	6,39	1,15	
Tanah 3	4	1,22	
Tanah 4	5,505	1,09	

Tabel 2. Data Permeabilitas Liner

Liner	Ketebalan Layer (m)	Permeabilitas (m/s)	Sumber
Kerikil (gravel)	0,7	$1 \times 10^{-2} - 1$	Cipta Aji, 2012
Geotekstil	0,004	0,065	PT Bumi Mas Perdana
Geomembran	0,0015	$0,5 \times 10^{-12} - 0,5 \times 10^{-15}$	Shukla, S.K and Jian-Hua Yin, 2006
Tanah dipadatkan	0,9	$1,764 \times 10^{-8}$	Data Primer, 2013
Tanah 1	2	$5,943 \times 10^{-6}$	
Tanah 2	6,39	$1,519 \times 10^{-6}$	
Tanah 3	4	$6,129 \times 10^{-6}$	
Tanah 4	5,505	$5,374 \times 10^{-6}$	

Tabel 3. Data Porositas *Liner*

Liner	Ketebalan Layer (m)	Porositas (-)	Sumber
Kerikil ( <i>gravel</i> )	0,7	0,35	Davis and DeWiest (1966) disitasi oleh Bear and Cheng (2010)
Geotekstil	0,004	0,55 - 0,93	Shukla, S K and Jian-Hua Yin, 2006
Geomembran	0,0015	1	GAEA Technologies Ltd, 2004
Tanah dipadatkan	0,9	0,57	Data Primer, 2013
Tanah 1	2	0,51	
Tanah 2	6,39	0,56	
Tanah 3	4	0,54	
Tanah 4	5,505	0,58	

Kualitas Lindi dan Air Sumur Pantau

Tabel 4. Konsentrasi Pb dan Cr di Inlet IPL

Tanggal	Parameter	Satuan	Golongan I baku mutu air limbah	Inlet
28-Mar-13	Timbal (Pb)	mg/l	0,1	0,93
	Khrom (Cr)	mg/l	0,1	0,8

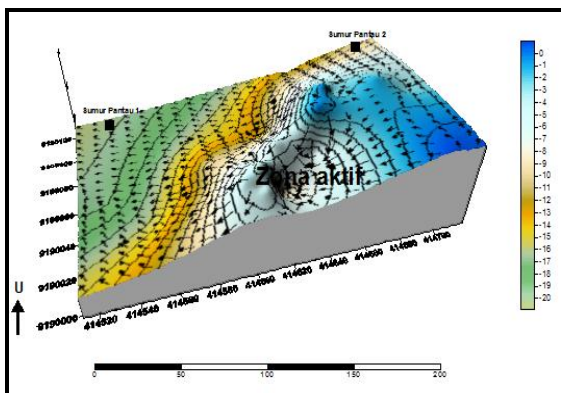
Sumber : *Data Primer, 2013*

Tabel 5. Konsentrasi Pb dan Cr di Sumur Pantau 1 dan Sumur Pantau 2

Tanggal	Parameter	Satuan	Golongan I baku mutu air limbah	Sumur Pantau 1	Sumur Pantau 2
28-Maret13	Timbal (Pb)	mg/l	0,1	0,2	0,18
	Khrom (Cr)	mg/l	0,1	0,18	0,1
28-April-13	Timbal (Pb)	mg/l	0,1	0,13	0,11
	Khrom (Cr)	mg/l	0,1	0,15	0,09
28-May-13	Timbal (Pb)	mg/l	0,1	0,06	0,1
	Khrom (Cr)	mg/l	0,1	0,04	0,06
28-Jun-2013	Timbal (Pb)	mg/l	0,1	0,12	0,082
	Khrom (Cr)	mg/l	0,1	0,105	0,063

Sumber : *Data Primer, 2013*

Hasil tracking elevasi liner sesuai gambar DED layout TPA Sangrahan menunjukkan bahwa arah aliran lindi bergerak dari zona aktif menuju ke sumur pantau 2 yang terletak di hulu TPA dan sumur pantau 1 yang terletak di hilir TPA. Arah aliran lindi ini lebih dominan ke arah sumur pantau 1. Pergerakan aliran lindi disesuaikan dengan elevasi liner yaitu pada elevasi gravel, geotekstle, geomembran, tanah dipadatkan dan tanah asli TPA.



Gambar 2. Arah Aliran Lindi di TPA Sangrahan Temanggung

Sumber : *Analisis, 2013*

Kalibrasi dan Validasi Model

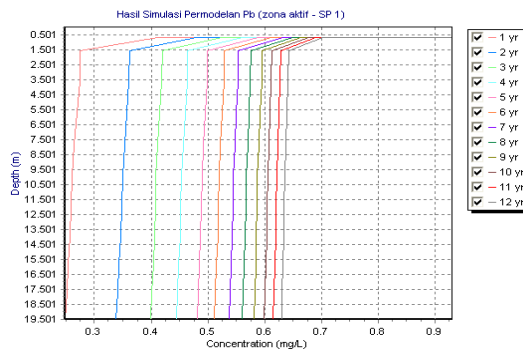
Menurut Notodarmojo (2005) hasil model sesuai dan layak untuk digunakan apabila hasil simulasi model mendekati nilai data lapangan dengan cara

melakukan kalibrasi dan validasi sampai hasil model tersebut diterima. Kalibrasi dilakukan dengan mengubah-ubah beberapa input dalam Pollute v.7 yaitu nilai permeabilitas, porositas dan dry density dari tiap-tiap liner. Validasi dengan menggunakan metode chi kuadrat diperoleh error <10% karena  $x^2_{hitung} < x^2_{tabel}$ , dengan metode SSE dan MRSE diperoleh error < 10% sehingga model diterima dan dapat dilanjutkan dengan simulasi selama 12 tahun kedepan.

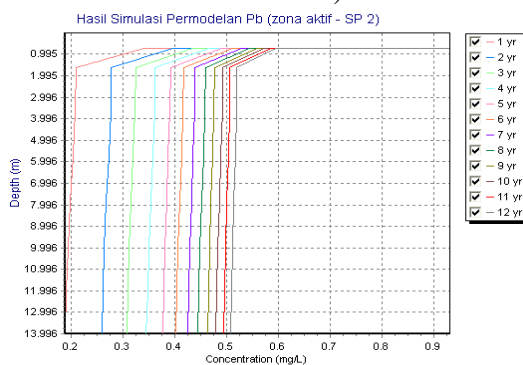
Hasil Simulasi Model

Hasil simulasi Pb dan Cr selama 12 tahun sebagai berikut :

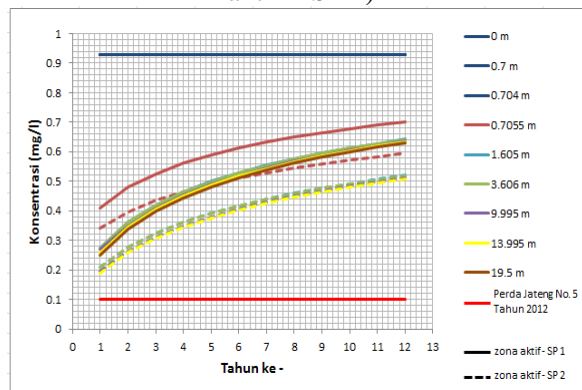
Simulasi Permodelan Pb



Gambar 3. Simulasi Permodelan Transport Pb (zona aktif – SP 1)



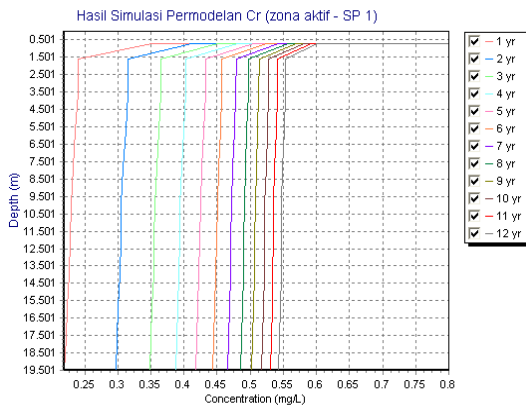
Gambar 4. Simulasi Permodelan Transport Pb (zona aktif – SP 2)



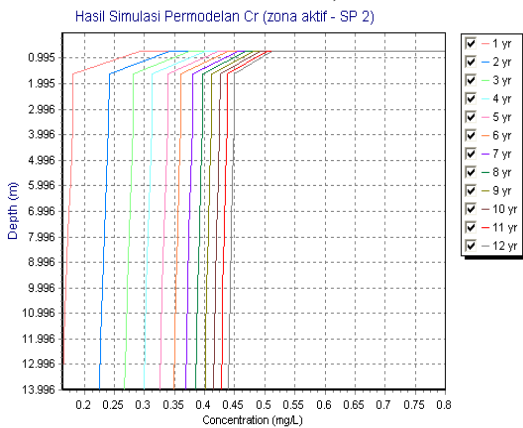
Grafik 1. Perbandingan Simulasi Permodelan Transport Timbal (Pb) Zona aktif – SP 1 dan Zona Aktif – SP 2

Sumber : *Analisis, 2013*

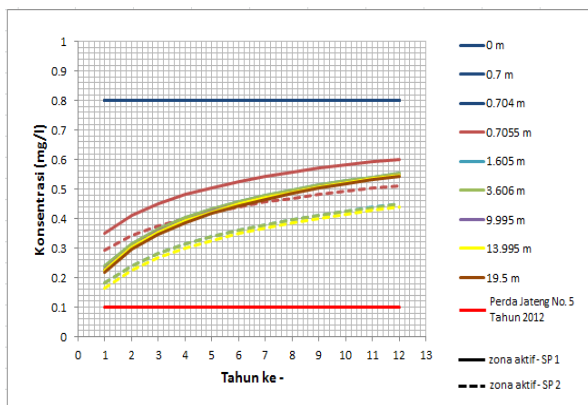
## Simulasi Permodelan Cr



Gambar 5. Simulasi Permodelan Transport Cr (zona aktif – SP 1)



Gambar 6. Simulasi Permodelan Transport Cr (zona aktif – SP 2)



Grafik 2. Perbandingan Simulasi Permodelan Transport Khrom (Cr) Zona aktif – SP 1 dan Zona Aktif – SP 2

Sumber : Analisis, 2013

Hasil simulasi permodelan transport Pb dan Cr menunjukkan bahwa pada kedalaman 0 – 0,7 m yaitu pada lapisan *gravel* konsentrasi lindi diasumsikan murni berasal dari sampah TPA (*constant concentration*) yaitu 0,93 mg/l, dalam hal ini tidak terjadi penurunan konsentrasi karena lindi hanya melewati *gravel* dan mengalir menuju *collecting pipe* untuk dialirkan ke inlet IPL. Gravel yang digunakan pada liner TPA Sangrahan Temanggung berfungsi

untuk menyaring sampah halus agar tidak masuk ke dalam *collecting pipe* dan melindungi lapisan dibawahnya pada saat sampah sedang dalam proses pemadatan menggunakan alat berat. Kontaminan Pb dan Cr dalam lindi bergerak menuju lapisan geotekstil pada kedalaman 0,704 m, setelah melewati lapisan ini konsentrasi Pb dan Cr dalam lindi yang berasal dari *gravel* mengalami penurunan konsentrasi yang kuantitatif baik yang menuju ke sumur pantau 1 maupun sumur pantau 2. Hal ini disebabkan karena geotekstil berfungsi sebagai filter untuk mencegah terbawanya partikel-partikel tanah dan kontaminan logam berat pada lindi (IGS, 2006). Geotekstil yang digunakan sebagai *liner* di TPA ini menggunakan geotekstil *non woven* yang bersifat *permeable* (tembus air) dimana lindi dapat melewati geotekstil tetapi partikel tanah dan kontaminan Pb dan Cr dapat tertahan di lapisan ini.

Kontaminan Pb dan Cr dalam lindi yang telah mengalami filtrasi pada lapisan geotekstil kemudian menuju ke lapisan geomembran pada kedalaman 0,7055 m. Geomembran berfungsi sebagai lapisan kedap agar tidak terjadi kebocoran lindi yang dihasilkan dari sampah (IGS, 2006). Meskipun demikian geomembran dengan nilai permeabilitas  $0,5 \times 10^{-11}$  m/s dan porositas 90% berpotensi untuk meloloskan lindi. Kontaminan Pb dan Cr dalam lindi yang telah melewati lapisan geotekstil dan menuju ke lapisan geomembran mengalami penurunan konsentrasi yang kuantitatif dari konsentrasi awal 0,93 mg/l, dapat dilihat pada tabel dibawah :

Tabel 6. Perbandingan Konsentrasi Pb pada Lapisan Geomembran

Tahun ke-	Konsentrasi awal (mg/l)	Konsentrasi (mg/l)	
		Zona aktif – sumur pantau 1	Zona aktif – sumur pantau 2
1	0.93	0.4105	0.3403
2		0.4795	0.3965
3		0.5256	0.4352
4		0.5604	0.4651
5		0.5884	0.4896
6		0.6117	0.5104
7		0.6316	0.5285
8		0.649	0.5445
9		0.6643	0.5588
10		0.678	0.5718
11		0.6904	0.5826
12		0.7015	0.5945

Sumber : Analisis, 2013

Tabel 7. Perbandingan Konsentrasi Cr pada Lapisan Geomembran

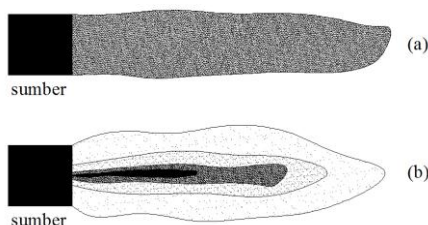
Tahun ke-	Konsentrasi awal (mg/l)	Konsentrasi (mg/l)	
		Zona aktif – sumur pantau 1	Zona aktif – sumur pantau 2
1	0.93	0.3513	0.2928
2		0.4114	0.3416
3		0.4513	0.3751
4		0.4813	0.4009
5		0.5053	0.4221
6		0.5253	0.4401
7		0.5424	0.4456
8		0.5572	0.4694
9		0.5702	0.4817
10		0.5819	0.4929
11		0.5924	0.503
12		0.6019	0.5124

Sumber : Analisis, 2013

Kontaminan Pb dan Cr dalam lindi bergerak dari geomembran menuju lapisan tanah dipadatkan pada kedalaman 1,605 m. Lapisan ini berfungsi sebagai lapisan kedap air yang memiliki nilai permeabilitas kecil sehingga lindi akan sulit lolos atau melewati lapisan tersebut. Oleh karena itu penurunan konsentrasi dari lapisan geomembran menuju ke lapisan tanah dipadatkan relatif kecil.

Kontaminan Pb dan Cr yang berasal dari zona aktif – sumur pantau 1 dan sumur pantau 2 pada kedalaman 13,995 m menunjukkan nilai konsentrasi yang berbeda. Hal ini disebabkan oleh perbedaan jarak dari keduanya, dimana zona aktif – sumur pantau 1 berjarak 106,224 m sedangkan zona aktif – sumur pantau 2 berjarak 150,743 m. Nilai tersebut akan berpengaruh pada gradien hidrolis dan nilai koefisien hidrodinamik dispersi yang diperoleh menggunakan rumus  $D = D_e + D_{md}$  (Notodarmojo, 2005). Semakin jauh jarak zona aktif menuju ke sumur pantau maka konsentrasi akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya.

Fenomena penting yang terjadi pada saat transport kontaminan timbal (Pb) dan khrom (Cr) dalam lindi adalah proses adveksi dan dispersi hidrodinamis yang digambarkan sebagai berikut :



Gambar 7. Peristiwa Adveksi (a); dan Peristiwa Adveksi-Dispersi Hidrodinamis  
Sumber : Analisis, 2013

Berdasarkan gambar diatas fenomena transport Pb dan Cr menunjukkan bahwa kontaminan Pb dan Cr bergerak bersama dengan aliran air tanah dari arah utara menuju barat laut (Gambar a). Menurut Notodarmojo (2005) dispersi hidrodinamis merupakan gabungan antara proses difusi dan dispersi mekanis. Difusi terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi dalam larutan baik lindi maupun tanah dan dispersi mekanis terjadi karena adanya perbedaan distribusi kecepatan aliran yang menyebabkan perbedaan jarak. Berdasarkan hal tersebut maka kontaminan Pb dan Cr akan berpindah dari daerah yang berkonsentrasi tinggi ke daerah berkonsentrasi rendah dengan kecepatan yang berbeda (Gambar b). Peristiwa adveksi dan dispersi hidrodinamis dipengaruhi oleh karakteristik dari masing-masing liner sebagai berikut :

- Permeabilitas ditentukan oleh jenis liner, ukuran dan bentuk butir maupun kepadatannya. Permeabilitas menggambarkan kemampuan liner dalam meloloskan lindi. Semakin besar nilai permeabilitas semakin baik daya tembus airnya (*permeable*).
- Porositas menggambarkan pori-pori atau volume antarbutir tanah dimana lindi dapat bergerak secara

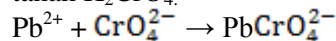
bebas. Semakin besar nilai porositas semakin banyak lindi yang dapat ditampung oleh liner tersebut.

- Dry density* menggambarkan perbandingan antara massa liner (gr) dengan volume liner ( $cm^3$ ). Nilai *dry density* berbanding lurus dengan faktor retardasi dimana semakin besar *dry density* dari suatu liner berakibat semakin menurunnya kecepatan pergerakan kontaminan dikarenakan adanya efek menghambat (*retarding*) dari liner tersebut.

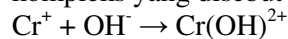
Menurut Notodarmojo (2005) dalam proses transport kontaminan terjadi reaksi kimia yang meliputi sorpsi desorpsi, pertukaran ion dan oksidasi reduksi. Reaksi-reaksi tersebut akan berpengaruh pada mobilitas Pb dan Cr dalam tanah yang memberikan efek bersifat menghambat (*retarding*) sehingga mengakibatkan menurunnya kecepatan pergerakan atau transport kontaminan dalam tanah.

- Pertukaran ion merupakan reaksi yang cukup dominan antara kontaminan Pb dan Cr dengan butir tanah. Dalam kondisi tertentu, ion akan tertarik dan menempel pada permukaan butir atau partikel tanah karena muatan partikel tanah positif (anion) atau negatif (kation).

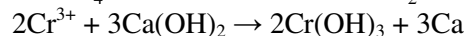
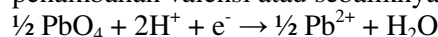
Ion  $Pb^{2+}$  akan berikatan dengan unsur makro dalam tanah  $K_2CrO_4$ .



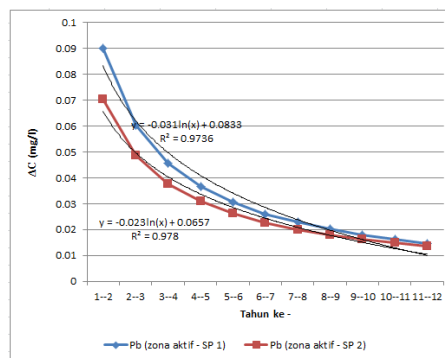
Apabila  $Cr^{3+}$  sebagai kation akan berikatan dengan anion atau molekul yang membentuk senyawa kompleks yang disebut ligand ( $H_2O$ ).



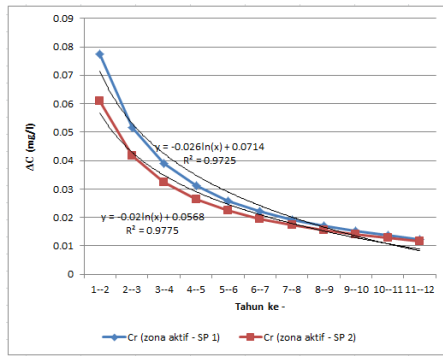
- Reaksi Redoks merupakan gabungan dari reaksi oksidasi dan reduksi yang digambarkan dengan penambahan valensi atau sebaliknya.



Hasil model menunjukkan konsentrasi Pb dan Cr dari tahun ke-1 s.d tahun ke-12 semakin meningkat akan tetapi tren peningkatan konsentrasi dari tahun ke tahun tersebut semakin menurun. Tren penurunan konsentrasi dari tahun ke-1 s.d tahun ke-12 dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

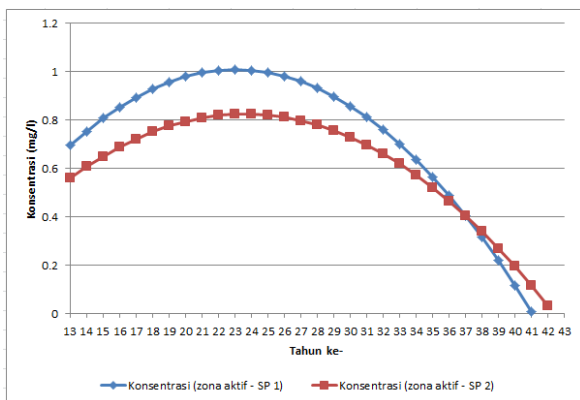


Grafik 3. Tren Penurunan Konsentrasi Pb dari Tahun ke-1 s.d Tahun ke-12  
Sumber : Analisis, 2013



Grafik 4. Tren Penurunan Konsentrasi Cr dari Tahun ke-1 s.d Tahun ke-12  
 Sumber : Analisis, 2013

Grafik diatas menunjukkan tren penurunan konsentrasi dari zona aktif menuju ke sumur pantau 1 dan zona aktif - sumur pantau 2, dimana tren penurunan konsentrasi Pb dan Cr pada sumur pantau 1 disebabkan oleh konsentrasi Pb dan Cr dalam tanah akan terus meningkat dari tahun ke tahun sampai tanah mengalami titik jenuh. Setelah melewati titik jenuh transport Pb dan Cr dalam tanah akan berhenti dan akan menyebabkan terjadinya limpasan (Toha, 2003). Tren penurunan konsentrasi ini juga dikemukakan pada penelitian Salami et al., 2013. Namun berbeda dengan tren penurunan konsentrasi pada sumur pantau 2 akan semakin naik setelah tahun ke-12. Hal ini dikarenakan adanya mekanisme sorpsi-desorpsi dari limpasan Pb dan Cr pada sumur pantau 1. Apabila diproyeksikan setelah TPA ditutup yaitu setelah tahun ke-12 maka pada kedalaman baik sumur pantau 1 maupun sumur pantau 2 konsentrasi Pb dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Grafik 5. Proyeksi Konsentrasi Pb pada Sumur Pantau Setelah Masa Operasi TPA  
 Sumber : Analisis, 2013

Berdasarkan gambar diatas konsentrasi Pb semakin menurun setelah tahun ke-12. Hal ini dikarenakan TPA setelah tahun ke-12 seharusnya tidak beroperasi lagi maka sumur pantau 1 yang terletak di hilir TPA tidak mengalami penambahan konsentrasi karena tidak terjadi proses dekomposisi lindi yang dihasilkan dari sampah. Sedangkan sumur pantau 2 yang terletak di hulu TPA konsentrasinya semakin meningkat karena

adanya mekanisme sorpsi – desorpsi pada tanah dimana air tanah pada sumur pantau 2 yang tidak mengandung kontaminan Pb apabila kontak dengan tanah yang mengandung kontaminan Pb maka dapat terkontaminasi akibat kontaminan yang dilepaskan oleh tanah tersebut (Notodarmojo, 2005). Grafik diatas menunjukkan bahwa pada tahun ke-23 konsentrasi Pb di sumur pantau 1 dan pada tahun ke-24 konsentrasi Pb di sumur pantau 2 mencapai titik puncak.

Hasil simulasi permodelan transport Pb dan Cr dalam lindi menunjukkan nilai konsentrasi yang terus meningkat dari tahun ke-1 s.d tahun ke-12. Hal ini disebabkan oleh karakteristik liner TPA Sanggrahan Temanggung yang berpotensi meloloskan kontaminan Pb dan Cr dalam lindi. Selain itu didukung oleh faktor timbal (Pb) merupakan senyawa konservatif yaitu tidak mudah dihancurkan dan tidak mengalami degradasi, senyawa ini hampir tidak larut dalam air, timbal juga tidak mengalami penguapan (Tyas, R, 1998 disitasi oleh Sudarwin, 2008).

Menurut Fransson (2005) disitasi oleh Hilda (2008) konsentrasi Pb pada lindi TPA pada umumnya berkisar antara 0,001 – 5 mg/l, sedangkan konsentrasi Cr pada lindi TPA pada umumnya berkisar antara 0,02 – 1,5 mg/l. Konsentrasi awal (inlet IPL) sudah menunjukkan konsentrasi Pb dan Cr yang melebihi baku mutu maka hasil simulasi model juga menunjukkan nilai konsentrasi yang terus meningkat dan melebihi baku mutu (> 0,1 mg/l) menurut Peraturan Daerah Jawa Tengah Nomor 5 Tahun 2012. Hal ini disebabkan karena keberadaan Pb dalam lindi berasal dari sampah logam yang jumlahnya sekitar 0,0101 ton/tahun dan Cr 0,00116 ton/tahun (European Commission, 2002) dari total sampah TPA Sanggrahan. Nilai Pb dikatakan tinggi apabila dibandingkan dengan keberadaan kontaminan Cr dalam komposisi sampah logam.

Konsentrasi timbal (Pb) diprediksi lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi khrom (Cr) dalam lindi TPA Sanggrahan Temanggung dikarenakan kadar khrom (Cr) dalam lindi mudah diserap oleh tanaman (Anam dkk, 2011) dan menurut European Commission (2002) kandungan Pb dalam sampah logam di TPA jumlahnya lebih besar dibandingkan dengan kandungan Cr. Proses terbentuknya lindi akan meningkat jika sampah di TPA Sanggrahan Temanggung mengalami penambahan jumlah volume tiap bulannya. Lindi yang semakin lama semakin banyak volumenya akan merembes masuk ke dalam air tanah dangkal yang nantinya akan menyebabkan air bawah permukaan menjadi terkontaminasi. Hal ini akan menyebabkan tercemarnya sumur-sumur dangkal yang dimanfaatkan oleh penduduk sebagai sumber air minum (Putra, 2012).

## KESIMPULAN

1. Hasil validasi yang dilakukan pada hari ke 30, 60 dan 90 menggunakan metode chi kuadrat, sum squared for errors (SSE) dan root mean square of

- errors (RMSE) diperoleh nilai error  $< 10\%$  sehingga model diterima dan dapat digunakan untuk simulasi selama 12 tahun.
- Hasil simulasi permodelan transport timbal (Pb) dan khrom (Cr) dalam lindi pada zona aktif TPA Sanggrahan Temanggung menunjukkan bahwa konsentrasi Pb dan Cr semakin meningkat dari tahun ke-1 s.d tahun ke-12 yaitu konsentrasi Pb di sumur pantau 1 dengan range sebesar 0,2484-0,6298 mg/l, Pb di sumur pantau 2 sebesar 0,1886-0,5078 mg/l, Cr di sumur pantau 1 sebesar 0,2191-0,5432 mg/l dan Cr di sumur pantau 2 sebesar 0,1644-0,4392 mg/l. Kedua kontaminan ini diprediksi dari tahun ke-1 s.d tahun ke-12 akan semakin mengkhawatirkan dan berpotensi mencemari air tanah di sekitar lokasi TPA.
  - Hasil analisis konsentrasi Pb dan Cr pada zona aktif yang tidak dipergunakan lagi mencapai titik puncak (titik jenuh) pada tahun ke-23 di sumur pantau 1 dan tahun ke-24 di sumur pantau 2.
- ### DAFTAR PUSTAKA
- Bear, J and Alexander H-D Cheng. 2010. *Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York.
- Cipta Aji, Herlambang. 2012. *Permodelan Fisik Aliran Air dan Transpor Pencemar pada Media Berpori Jenuh menggunakan Seepage Tank*. Skripsi-S1. PS Teknik Sipil. FT-Universitas Indonesia.
- Damaryanti, L., Muhamad Y., dan Esther R.A. 2011. Identifikasi Tanah Tercemar Lindi Tempat Pembuangan Akhir Sampah Muara Fajar dengan Metode Geolistrik. *Jurnal Bumi Lestari Volume 11 No. 2, Agustus 2011*. Halaman 371-378.
- European Commission DG ENV E3. 2002. Final Report Heavy Metal in Waste.
- Hadi, Sutrisno. 2004. *Statistik Jilid 2*. Andi Offset : Yogyakarta.
- Hilda, Tiara. 2008. *Pemodelan Pergerakan Partikel Kontaminan Timbal (Pb) dan Nikel (Ni) dalam Air Tanah (Studi Kasus : TPA Ngronggo Salatiga)*. Tugas Akhir-S1. PS Teknik Lingkungan. FT-Universitas Diponegoro.
- Hoor A and R. Kerry Rowe. 2012. Application of tire chips to reduce the temperature of secondary geomembranes in municipal solid waste landfills. *Journal of Waste Management, Vol 32 (901-911)*. Hlm 902.
- International Geosynthetic Society. 2006. Guide to the Specification of Geosynthetics. [Available online at [http://geosistem.co.id/pdf/product/geosynthetics\\_specification.pdf](http://geosistem.co.id/pdf/product/geosynthetics_specification.pdf)]
- Putra, I Ketut. 2012. Identifikasi Arah rembesan dan Letak Akumulasi Lindi dengan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner – Schlumberger di TPA Temesi Gianyar. Tesis-S2. Pasca Sarjana-Universitas Udayana.
- Rowe, R.K., Booker, J.R., 2004. *POLLUTEv7: Version 7 Reference Guide*. Distributed by GAEA Environmental Engineering Ltd, 87 Garden Street, Whitby, Ontario, Canada L1N 9E7.
- Salami L, Olaosebikan A. O, et al. 2013. Prediction of Concentration Profiles of Contaminants in Grounwater Polluted by Leachates from A Landfill Site. *Journal IJRRAS, Vol 14 (3)*.
- Sudarwin. 2008. *Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) pada Sedimen Aliran Sungai dari TPA Jatibarang Semarang*. Tesis-S2. PS Kesehatan Lingkungan. Pasca Sarjana-Universitas Diponegoro.
- Suprihanto, Notodarmojo. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. ITB : Bandung.
- Syukla, S.K & Jian-Hua Yin. 2006. *Fundamentals of Geosynthetic Engineering*. Taylor & Francis Group, London, UK.
- Toha, Mohamad. 2003. Model Transport Kontaminan Senyawa Besi (II) dalam Tanah. Tesis-S2. PS Ilmu Lingkungan. Pasca Sarjana-Universitas Diponegoro.
- Xie, H., Zhanghua, L., Yunmin, C., et al. (2012). An Analytical Solution to Organic Contaminant Diffusion through Composite Liners Considering The Effect of Degradation. *Journal of Geotextiles and Geomembranes, Vol 36 (10-18)*. Hlm 11.