

**PERMODELAN TRANSPORT KADMIUM (Cd) DAN NIKEL (Ni) DALAM LINDI
MENGUNAKAN SOFTWARE POLLUTE V7
(STUDI KASUS: TPA SANGGRAHAN, TEMANGGUNG)**

**Lintang Tyas Perdana, Badrus Zaman, Mochtar Hadiwidodo
Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof.H.Soedarto,S.H Tembalang-Semarang, Kode Pos 50275
Website: <http://www.enveng.undip.ac.id>
Email : lintangtyas@yahoo.com; enveng@undip.ac.id**

Abstract

Sanggrahan Landfill (Temanggung), completed with gravel, geotextile, geomembrane, and compacted clay. It's still has potential of contaminant mobilization through those liners that comes from solid waste in landfill. The purposes of this research for knowing the movement cadmium (Cd) and nickel(Ni) in leachate vertically in every depth. The contaminant movement from active zone head for control 1-well and from active zone head for control 2-well could be predicted by using model pollute v7 software. Pollute v7 is one dimension model, where needed the characteristic of the liners (depth, permeability, porosity, dry density, coef dispersion of hydrodynamics). This model describe the contaminant mobilization affected by dispersion, advection, diffusion, and retardation phenomenon. Based on 12 years forward model simulation in this study, the concentration of Cd and Ni will get increase. The results showed, value of cadmium concentration in control 1-well is 0,496 mg/l and in control 2-well is 0,4064 mg/l. Whereas, the value of nickel concentration in control 1-well is 0,382 mg/l and in control 2-well is 0,3665 mg/l. This prediction showed that Sanggrahan Landfill has potential in leachate mobilization. The study suggests that the application of geomembrane should has lower permeability than $0,5 \times 10^{-12} m/s$ for retarding contaminant transport.

KEYWORDS : *Geotextile, Geomembrane, Transport, Cadmium (Cd), Nickel (Ni)*

PENDAHULUAN

Salah satu faktor yang selalu menjadi permasalahan sebuah tempat pembuangan akhir sampah (TPA) adalah keberadaan lindi yang dikhawatirkan akan termobilisasi ke tanah dan air. Menurut Mc.bean, permasalahan lingkungan yang biasanya ditimbulkan oleh TPA dikarenakan adanya migrasi lindi dari TPA ke tanah dan air sekitar. Lindi adalah cairan yang kaya akan kandungan mineral yang keluar dari TPA, terdapat banyak material organik dan anorganik, secara umum berwarna kecoklatan dan merupakan sumber kontaminan (Hasan, 1995). Salah satu material pada lindi yang relatif tinggi adalah kandungan logam berat. Kandungan logam berat pada air lindi dikhawatirkan akan mencemari air tanah, serta lingkungan disekitar TPA.

METODOLOGI PENELITIAN

Tahap Persiapan

Melakukan identifikasi mengenai permasalahan pencemaran yang sedang terjadi. Dalam hal ini merupakan kekhawatiran masyarakat mengenai

pencemaran yang ditimbulkan oleh sebuah TPA, dimana salah satu penyebabnya adalah lindi. Mengumpulkan dan mempelajari studi pustaka mengenai pencemaran oleh lindi khususnya kontaminan yang dianggap paling mengkhawatirkan yaitu kontaminan logam berat. Melakukan uji pendahuluan untuk menentukan parameter kontaminan yang dominan pada lindi, yaitu Kadmium (Cd) dan Nikel (Ni).

Tahap Pelaksanaan

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk data primer dan data sekunder. Data primer yang dibutuhkan yaitu :

1. Konsentrasi Cd dan Ni lindi pada inlet IPL
2. Konsentrasi Cd dan Ni pada sumur pantau 1 dan sumur pantau 2.
3. Karsaterik tanah TPA Sanggrahan (permeability, porosity, dry density, grain size).

Untuk data sekunder adalah teknis TPA Sanggrahan Temanggung (jenis lapisan yang terdapat di TPA Sanggrahan, peta lokasi TPA Sanggrahan, luas TPA,

ketebalan lapisan TPA). Diperoleh dari kementerian pekerjaan umum Kab. Temanggung. Serta curah hujan, kelembapan, yang diperoleh dari BMKG provinsi Jawa Tengah.

Pengolahan Data

1. Analisis studi pustaka

Analisis ini dilakukan dengan membandingkan permasalahan yang sama dengan studi lain dan dikembangkan dengan landasan teori yang ada, agar mampu membuat sebuah analisis yang layak.

2. Analisis kuantitatif dan kualitatif

Analisis ini dilakukan dengan cara mengolah dan menganalisis data yang diperoleh dari hasil sampling di laboratorium, dari hasil pengamatan di lapangan serta perhitungan-perhitungan yang digunakan.

3. Analisis secara modifikasi dan prediksi. Analisis ini dilakukan dengan mengembangkan data yang didapat baik dari perhitungan maupun dari hasil sampling

PERMODELAN DENGAN POLLUTE V7

Hasil pengolahan data secara komputasi digunakan sebagai input model, adapun langkah-langkah sebagai berikut :

Start

New project

New Model

Blank Model

Data entry :

Langkah 1 *General Data*

Langkah 2 *Layer Data*

Langkah 3 *Boundary Condition*

Langkah 4 *Running Parameter*

Langkah 5 *Running Program*

Setelah dilakukan proses *running* maka *output* dari program Pollute v7 ini adalah daftar prediksi berupa tabel serta grafik yang menunjukkan hasil perhitungan, dimana hasil tersebut dapat berupa besaran konsentrasi kontaminan terhadap waktu, besaran konsentrasi kontaminan terhadap kedalaman, serta kedalaman terhadap waktu.

ASUMSI DAN PENYEDERHANAAN

Dalam melakukan permodelan ini ada beberapa asumsi dan batasan yang dibuat, antara lain:

1. Air tanah bergerak melalui lubang antar butir batuan dengan kondisi aliran *steady state*, yaitu aliran air tanah tidak akan berubah karena pengaruh waktu.
2. Jenis tanah TPA Sanggrahan dianggap homogen.
3. Informasi topografi dianggap akurat.
4. Kandungan parameter Cd dan Ni pada TPA sama dengan kandungan Cd dan Ni uji laboratorium.
5. Sumber kontaminan dianggap konstan (*Constant Concentration Of Source*).

KALIBRASI DAN VALIDASI

Setelah output dari software Pollute v7. Kalibrasi dilakukan agar diperoleh hasil model yang mendekati dengan hasil di lapangan. Validasi bertujuan untuk menguji apakah model mencerminkan dengan data lapangan (Anderson, 1991). Validasi dilakukan dengan metode relatif bias. Yaitu, membandingkan data yang dihasilkan model dengan data yang ada di lapangan. Data lapangan yang digunakan pada kasus transport Cd dan Ni pada lindi TPA Sanggrahan adalah konsentrasi Cd dan Ni di sumur pantau 1 dan sumur pantau 2. Dengan hipotesis jika $-0,5 \leq rB \leq 0,5$ dan $0,5 \leq F \leq 1,5$ maka model dapat diterima $rB < -0,5$ atau $rB > 0,5$ dan $F < 0,5$ atau $F > 1,5$ maka model ditolak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

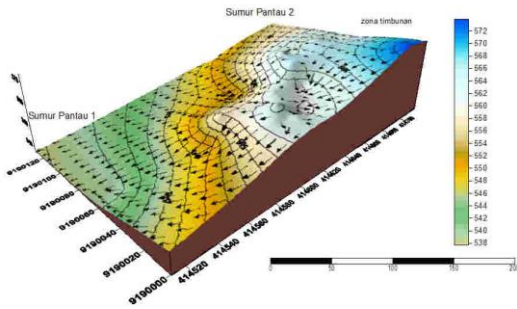
Hasil Lapangan

Berdasarkan pengambilan data konsentrasi Cd dan Ni inlet lindi dilapangan, yang digunakan sebagai *source contaminant* pada model sebagai berikut:

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Konsentrasi
Cd	Mg/l	0,05	0,75
Ni	Mg/l	0,2	0,42

Sumber: *Data Pimer, 2013*

Dalam permodelan kali ini penting untuk mengetahui pola aliran air tanah, hal tersebut dikarenakan adanya pengaruh proses adveksi yaitu proses perpindahan kontaminan yang sesuai dengan arah pergerakan medium dimana kontaminan itu berada (Notodarmodjo, 2005).



Gambar 1. Pola Aliran Air Tanah TPA Sanggrahan
 Sumber: Data Primer, 2013

Pola aliran tanah pada TPA Sanggrahan terlihat bahwa arah aliran air dari zona aktif pemrosesan sampah lebih dominan kearah sumur pantau 1, jika dibandingkan dengan arah aliran air tanah yang menuju sumur pantau 2. Hal ini disebabkan elevasi sumur pantau 1 merupakan elevasi terendah pada lokasi tersebut.

Setelah dipastikan pola aliran dan arah air tanah di wilayah TPA Sanggrahan, menuju sumur pantau 1 dan sumur pantau 2. Maka nilai konsentrasi Cd dan Ni pada lokasi tersebut dapat digunakan sebagai data validasi. Berikut adalah konsentrasi Cd dan Ni :

Tanggal	Sumur Pantau 1		Sumur pantau 2	
	Cd	Ni	Cd	Ni
Mar,2013	0,2	0,07	0,17	0,13
Apr,2013	0,18	0,2	0,15	0,17
Mei,2013	0,04	0,05	0,02	0,03
Jun,2013	0,08	0,16	0,075	0,16

Sumber: Data Primer, 2013

Hasil Lapangan

Setelah dilakukan input data seperti langkah yang telah diterangkan sebelumnya maka hasil dari model berupa grafik yang menghubungkan antara konsentrasi dengan kedalaman, kedalaman dengan waktu serta konsentrasi terhadap waktu. Sebelum model digunakan untuk simulasi, terlebih dahulu dilakukan validasi. Hasil output model berikut digunakan sebagai data untuk melakukan validasi dengan cara membandingkan hasil konsentrasi Cd dan Ni pada model dengan kondisi di lapangan. Berikut perbandingan hasil model dengan data lapangan :

Ket	Hari	Data Lapangan	Data output model	Validasi
Model Transport Cd (Zona Aktif-SP1)	30	0,18	0,04	rB : - 0,4755 F: 0,5027
	60	0,04	0,06	
	90	0,083	0,086	

Ket	Hari	Data Lapangan	Data output model	Validasi
Model Transport Cd (Zona Aktif-SP2)	30	0,15	0,0347	rB : - 0,4746 F: 0,5228
	60	0,02	0,055	
	90	0,075	0,0708	
Model Transport Ni (Zona Aktif-SP1)	30	0,2	0,7843	rB : - 0,2084 F: 0,7742
	60	0,05	0,12	
	90	0,164	0,1475	
Model Transport Ni (Zona Aktif-SP2)	30	0,17	0,081	rB :- 0,0457 F: 0,7375
	60	0,03	0,11	
	90	0,16	0,1440	

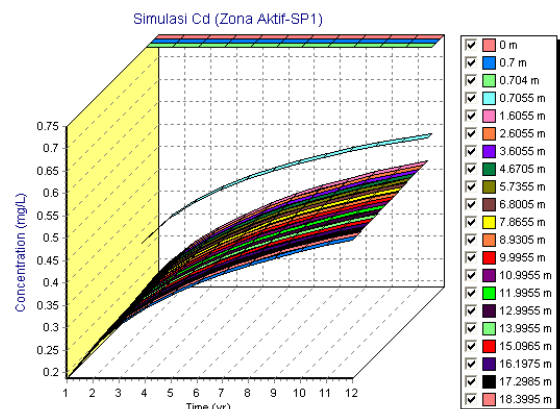
Sumber Analisis Pribadi, 2013

Model yang sudah sesuai dengan kriteria validasi, kemudian dilakukan simulasi untuk 12 tahun kedepan hingga tahun 2025 sesuai dengan masa operasional TPA Sanggrahan. Karakteristik lapisan TPA Sanggrahan yang digunakan sebagai data input model sebagai berikut:

Liner	Depth (m)	Density (gr/cm ³)	Porosity
Gravel	0,7	2,47	0,35
Geotekstil	0,004	0,5	0,93
Geomembran	0,0015	0,94	0,9
Compacted soil	0,9	1,1352	0,5739
Native soil 1	2	1,3087	0,51
Native soil 2	6,39	1,15	0,56
Native soil 3	4	1,22	0,54
Native soil 4	5,505	1,09	0,58

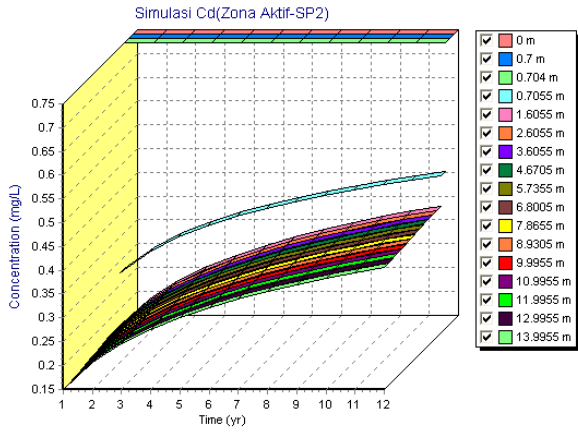
Sumber : Data Primer & Data Sekunder 2013

Hasil Simulasi

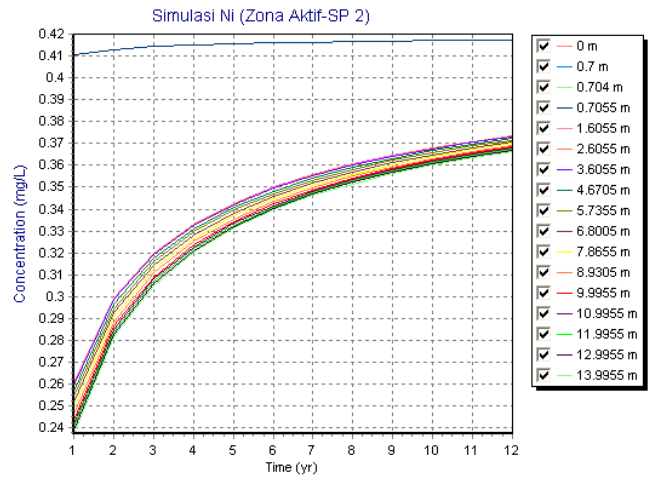


Gambar 1. Simulasi Cd(Zona Aktif-SP1)

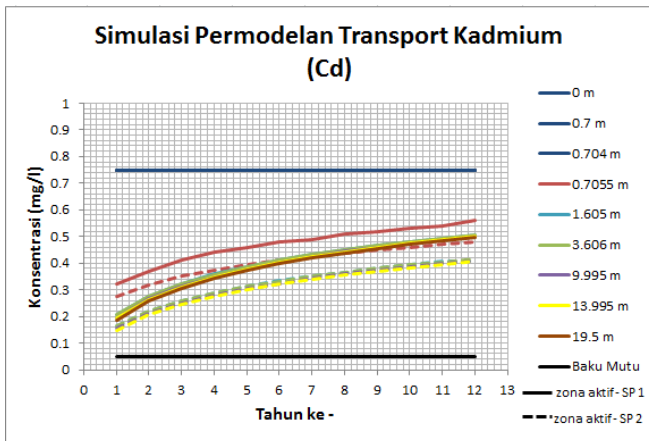
Sumber: Hasil Model, 2013



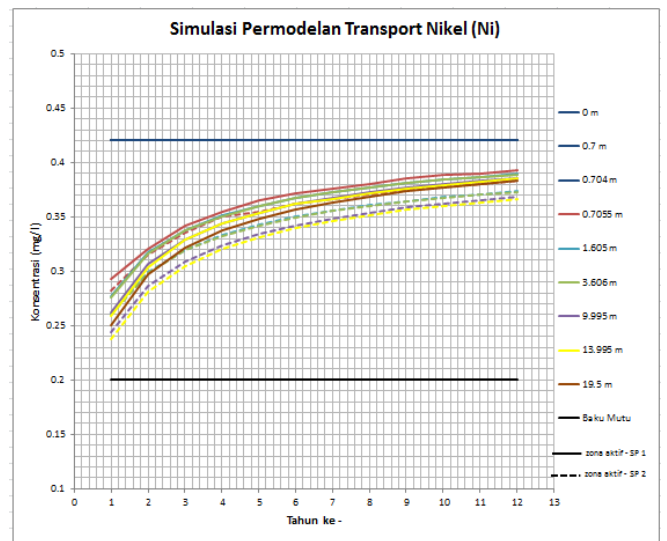
Gambar 2 Simulasi Cd (Zona Aktif-SP2)
 Sumber: Hasil Model, 2013



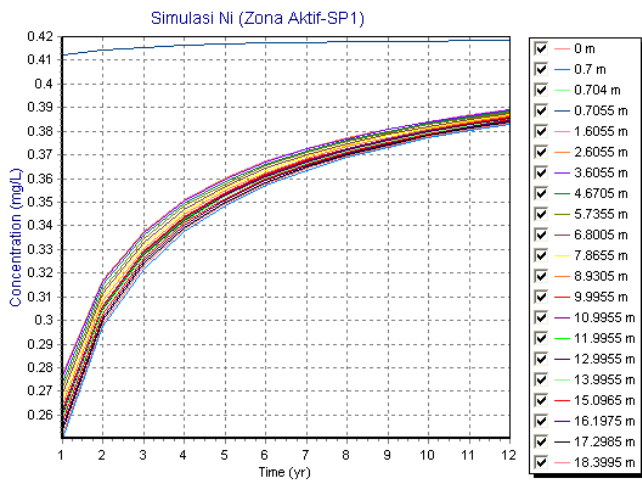
Gambar 5. Simulasi Ni (Zona Aktif-SP2)
 Sumber: Hasil Model, 2013



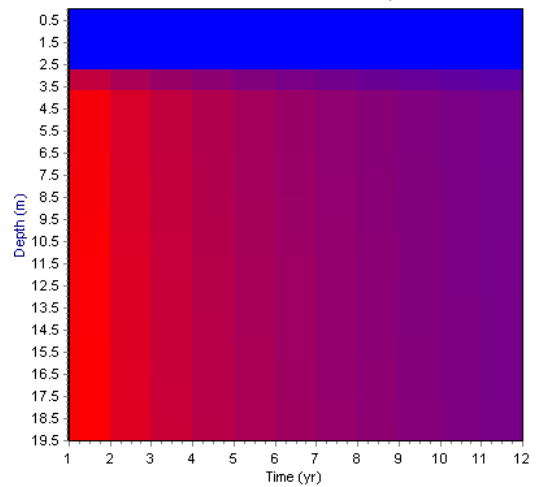
Gambar 3. Perbandingan Konsentrasi Cd SP1 dan Konsentrasi Cd SP2
 Sumber: Analisis Pribadi, 2013



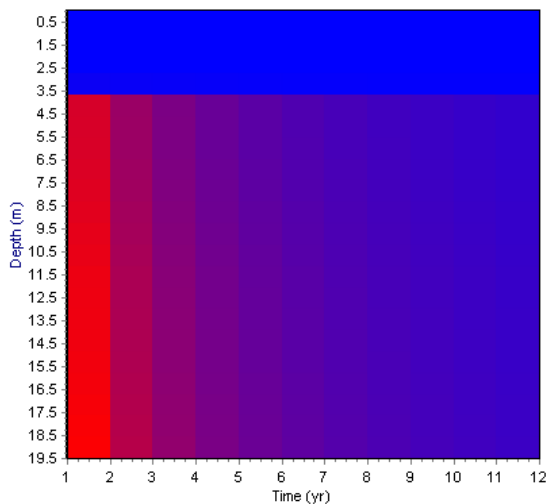
Gambar 6. Perbandingan Konsentrasi Ni SP1 dan Konsentrasi Ni SP2
 Sumber: Analisis Pribadi, 2013



Gambar 4. Simulasi Ni (Zona Aktif-SP1)
 Sumber: Hasil Model, 2013



Gambar 7. Sebaran Konsentrasi Cd berdasarkan kedalaman dan waktu
 Sumber: Analisis Pribadi, 2013



Gambar 8. Sebaran Konsentrasi Cd berdasarkan kedalaman dan waktu
 Sumber: Analisis Pribadi, 2013

Berdasarkan hasil simulasi, besaran konsentrasi Cd dan Ni pada kedalaman 0m-0,704m untuk kedua model tersebut tidak ada pengurangan konsentrasi kadmium dari besaran konsentrasi sumber kontaminan. Hal ini disebabkan mobilisasi lindi pada kedalaman tersebut berjalan lancar. Pada kedalaman tersebut merupakan lapisan *gravel* atau kerikil, yang memiliki nilai permeabilitas cukup besar 1m/s, hal tersebut menunjukkan kemampuan lapisan dalam meloloskan air sangat mudah terjadi. Penggunaan lapisan kerikil pada TPA hanya mencegah sampah-sampah kecil masuk kedalam pipa pengumpul lindi. Pada lapisan kerikil dalam model transport Cd serta Ni memiliki konsentrasi yang tetap dari sumber asal kontaminan.

Pada lapisan geotekstil, nilai konsentrasi Cd dan Ni tidak mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan fungsi geotekstil sebagai lapisan penyaring atau filter (Shukla,2006) dimana kontaminan tertahan pada lapisan tersebut. Selain itu, karena nilai permeabilitas geotekstil sebesar 0,065 m/s yang menyebabkan adanya mobilisasi lindi pada lapisan tersebut. Setelah melewati lapisan geotekstil dan geomembran pada kedalaman 0,7m-0,7055m besaran konsentrasi Cd dan Ni mengalami penurunan nilai konsentrasi yang cukup signifikan terlihat pada gambar hasil simulasi. Lindi yang bergerak menuju lapisan geomembran, dipengaruhi oleh proses difusi yang menyebabkan kecenderungan kontaminan bergerak dari konsentrasi lebih tinggi menuju tempat dimana konsentrasi yang lebih rendah. Lapisan geomembran memiliki nilai permeabilitas yang sangat kecil sebesar $4,4 \times 10^{-12}$ m/s dan porositas 0,9 kemampuan meloloskan air yang sangat kecil mengindikasikan lapisan geomembran merupakan

lapisan kedap air, menyebabkan sulitnya pergerakan lindi melewati lapisan tersebut.

Untuk model transport Cd dan Ni menuju sumur pantau 1 dan sumur pantau 2 mengalami kenaikan konsentrasi disetiap tahunnya. Hal ini dikarenakan masih adanya sumber kontaminan yang dihasilkan berasal dari zona aktif pemrosesan sampah. Selisih kenaikan konsentrasi dari tahun ke tahun mengalami perbedaan. Peningkatan konsentrasi pada geomembran mulai stabil setelah melewati pada tahun ke 8, dikarenakan peningkatan konsentrasi dari tahun-ketahun mengalami penurunan. Kinerja geomembran juga dipengaruhi oleh umur geomembran (Shukla, 2006).

Pada lapisan tanah baik tanah yang dipadatkan maupun tanah asli TPA Sanggrahan penurunan konsentrasi Cd dan Ni tidak terlalu signifikan seperti pada lapisan sebelumnya terlihat pada gambar, hal ini dikarenakan nilai koefisien permeabilitas dan porositas pada tanah tidak terlalu berbeda satu sama lain. Nilai permeabilitas untuk tanah yang dipadatkan sebesar $1,764 \times 10^{-8}$ m/s serta nilai porositas 0,57, dengan nilai permeabilitas tersebut untuk lapisan *compacted soil* sebuah TPA sudah memenuhi syarat berdasarkan kriteria sebesar 10^{-9} m/s – 10^{-5} m/s (McBean, et.al 1995). Dibutuhkan tanah dengan permeabilitas yang kecil pada sebuah TPA dimaksudkan untuk memperlambat mobilisasi zat pencemar yang mengalir melalui tanah sekitar untuk meminimalisasi konsentrasi kontaminan yang bisa mencemari air tanah.

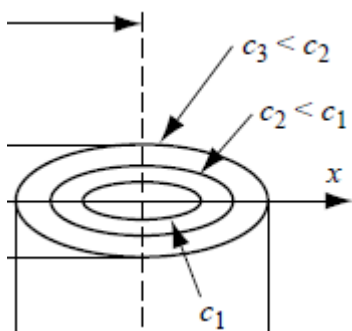
Pergerakan lindi setelah melalui tanah dipadatkan akan bergerak ke tanah asli TPA sesuai dengan fenomena difusi yang memiliki kecenderungan bergerak menuju konsentrasi lebih rendah. Berdasarkan data primer, didapat empat nilai permeabilitas dengan rata-rata sebesar 10^{-6} m/s. Untuk model transport Cd dan Ni menuju sumur pantau 1, kedalaman lapisan tanah asli yang ditempuh lindi hingga sumur pantau 1 sebesar 17,895m sedangkan untuk model transport Cd dan Ni menuju sumur pantau 2 sejauh 12,39m.

Sama seperti pada lapisan-lapisan sebelumnya, konsentrasi Cd dan Ni mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, hal ini dikarenakan terus adanya penambahan dari sumber kontaminan.

Jika dibandingkan antara model transport dari zona aktif menuju sumur pantau 1 dengan model transport dari zona aktif menuju sumur pantau 2, pada lapisan yang sama memiliki nilai konsentrasi yang berbeda. Konsentrasi kandungan Cd dan Ni yang bergerak menuju sumur pantau 1 lebih besar dari pada

menuju sumur pantau 2. Hal ini dipengaruhi oleh adanya perbedaan elevasi. Elevasi TPA Sanggrahan cenderung lebih rendah kearah sumur pantau 1 dari pada sumur pantau 2. Dengan keadaan topografi tersebut, lindi akan lebih banyak mengalir ke sumur pantau 1 dari pada sumur pantau 2.

Jarak antara zona aktif hingga sumur pantau mempunyai peran dalam mempengaruhi perbedaan konsentrasi, jarak zona aktif menuju sumur pantau 1 sejauh 106.224m, oleh karena itu lebih dekat jika dibandingkan jarak menuju sumur pantau 2 sejauh 150.743m. Semakin jauh jarak tersebut maka akan semakin besar jarak tempuh yang dilalui oleh kontaminan Cd dan Ni, hal ini tentu mempengaruhi kecepatan. Perbedaan kecepatan inilah yang membedakan terjadinya perbedaan konsentrasi, semakin kecil kecepatan lindi yang melewati lapisan TPA maka akan semakin lama waktu yang dibutuhkan kontaminan untuk bergerak yang menyebabkan semakin kecil konsentrasinya, hal ini didukung dengan fenomena *macrodispersion*. Hal Pengaruh variasi ukuran pori serta lintasan yang berliku menyebabkan kecepatan pergerakan lindi yang tidak seragam (Notodarmojo,2005).



Gambar 9. Fenomena dispersi

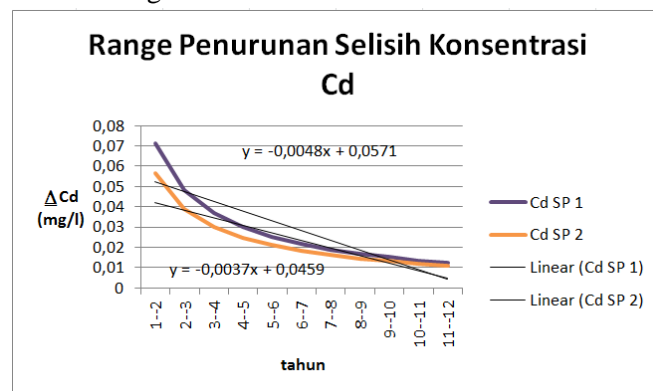
Sumber : Bear, 2010

Pola aliran air tanah yang lebih mengarah kepada sumur pantau 1 mempengaruhi pergerakan Cd dan Ni, adanya pengaruh adveksi yang merupakan mobilisasi kontaminan Cd dan Ni sesuai terhadap pergerakan media dimana kontaminan itu berada. Karena pergerakan pola aliran air lebih dominan menuju sumur pantau 1 maka lebih banyak konsentrasi dari kontaminan tersebut yang terbawa melewati sumur pantau 1 dari pada menuju sumur pantau 2.

Selain perbedaan konsentrasi pada sumur pantau 1 dan sumur pantau 2, berdasarkan hasil simulasi terjadi perbedaan konsentrasi disetiap kedalaman dari masing-masing model tersebut. Berdasarkan grafik simulasi model diketahui bahwa

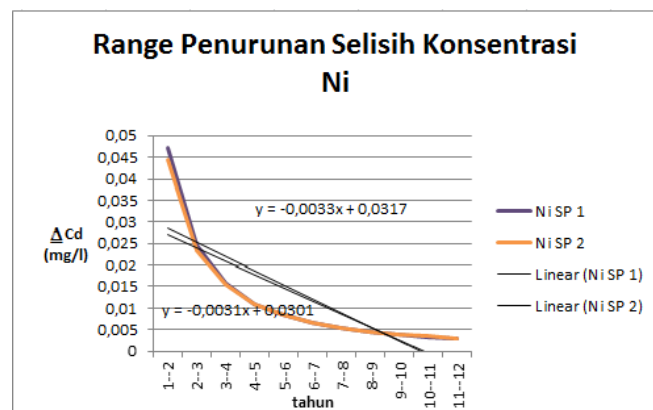
semakin besar kedalaman maka semakin kecil konsentrasi kontaminan. Selain karena nilai koefisien permeabilitas yang kecil pada setiap lapisannya, perubahan konsentrasi kontaminan yang menurun ini dikarenakan adanya faktor retardasi (penghambat). Salah satunya karena sorpsi oleh tanah. Kontaminan yang kontak dengan tanah konsentrasinya akan berkurang karena terikat pada permukaan tanah tersebut. Proses pengurangan konsentrasi kontaminan terjadi karena adanya kontak dengan partikel atau butiran tanah terlihat dari nilai distribusi koefisien. Tanah memiliki kemampuan untuk mengikat kontaminan. Jenis tanah pada TPA Sanggrahan merupakan tanah liat yang memiliki nilai porositas cukup besar, karena adanya gaya tarik menarik antar partikel pada ruang tersebut maka dengan porositas yang besar (50%-60%) memperlambat pergerakan lindi.

Berdasarkan tabel baik pada sumur pantau 1 dan sumur pantau 2 konsentrasi kontaminan mengalami kenaikan, akan tetapi selisih kenaikan konsentrasi dari tahun ke tahun mengalami penurunan. Tren selisih perbedaan kenaikan konsentrasi dari tahun ke-1 hingga tahun ke-12 yang semakin menurun dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 10. Grafik Penurunan Selisih Kenaikan Konsentrasi Cd

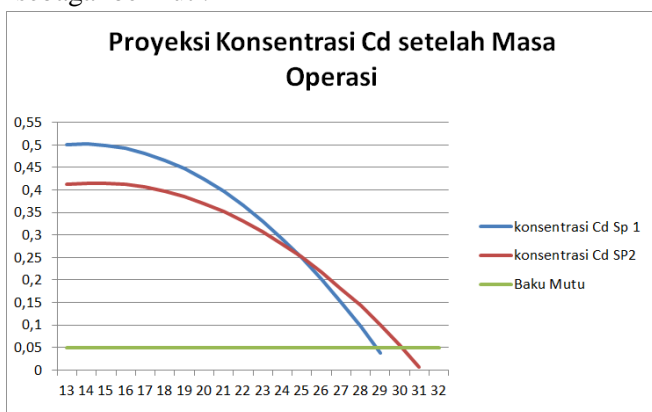
Sumber: Analisis Pribadi, 2013



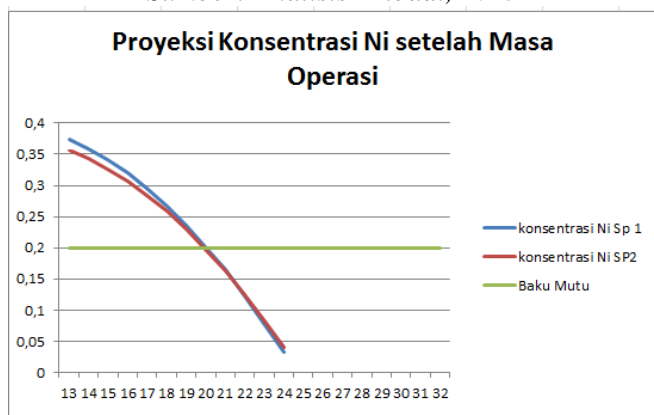
Gambar 11. Grafik Penurunan Selisih Kenaikan Konsentrasi Ni

Sumber: Analisis Pribadi, 2013

Berdasarkan grafik diatas, selisih kenaikan konsentrasi Cd dan Ni pada sumur pantau 1 akan terus mengalami penurunan, hal ini berbeda dengan tren yang terjadi pada sumur pantau 2. Selisih konsentrasi dari tahun ketahun pada sumur pantau 2 mengalami peningkatan. Hal ini menyebabkan suatu saat konsentrasi Cd dan Ni pada sumur pantau 2 akan lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi Cd dan Ni pada sumur pantau 1. Bila dilakukan proyeksi menggunakan persamaan diatas, dengan tidak ada lagi penambahan konsentrasi pada sumber kontaminan Cd dan Ni berasal maka didapatkan nilai konsentrasi Cd dan Ni pada sumur pantau 1 dan sumur pantau 2 sebagai berikut :



Gambar 12. Grafik Konsentrasi Cd Sumur Pantau 1 dan Sumur Pantau 2 Setelah Masa Operasi
 Sumber: Analisis Pribadi, 2013



Gambar 13. Grafik Konsentrasi Ni di Sumur Pantau 1 dan Sumur Pantau 2 Setelah Masa Operasi
 Sumber: Analisis Pribadi, 2013

Pada tahun ke-25 konsentrasi Cd pada sumur pantau 2 menjadi lebih besar dari pada konsentrasi Cd pada sumur pantau 1, sedangkan untuk konsentrasi Ni hal yang serupa turut terjadi pada tahun ke- 22. Hal ini terjadi karena pada saat zona aktif ditutup atau tidak ada penambahan sumber kontaminan maka pergerakan kontaminan pada tahun ke-25 dan ke-22 untuk masing-masing kontaminan di sumur pantau 1 sudah termobilisasi sesuai dengan fenomena adveksi. Untuk

pergerakan kontaminan pada tahun yang sama di sumur pantau 2 baru sampai pada titik tersebut. Fenomena tersebut turut dipengaruhi kemampuan tanah dalam mengikat lindi atau sorpsi tanah. Karena sebelumnya lindi mengalir lebih dominan kearah sumur pantau 1 maka pada diperkirakan pada tahun ke 22 lapisan tanah menuju sumur pantau 1 sudah lebih jenuh (*saturated*) dibandingkan lapisan tanah menuju sumur pantau 2, sehingga kemampuan mengikat lindi berkurang. Hal tersebut mengakibatkan lindi menuju sumur pantau 1 langsung termobilisasi tanpa adanya faktor retardasi.

Berdasarkan model yang memprediksi konsentrasi Cd dan Ni pada TPA Sanggrahan jika hasil keduanya dibandingkan maka ditemukan perbedaan. Kandungan konsentrasi kadmium lebih besar jika dibandingkan dengan konsentrasi nikel. Menurut Claret (2011), bahwa logam kadmium merupakan logam yang paling sulit terdegradasi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh R.Kowe (1995), diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan logam kadmium untuk peluruhan selama 11,6 tahun. Hal ini sesuai menurut penelitian Elliott et al, (1986) dalam Mc.Lean (1992) bahwa didalam tanah, logam Cd lebih sulit teradsorpsi dibandingkan dengan Ni, oleh karena itu kemampuan mobilisasi kadmium akan lebih besar dibanding nikel (Hickey&Kittrick, 1984 dalam Mc.Lean 1992). Hal tersebut diperkuat dari hasil analisis bahwa konsentrasi Cd pada sumur pantau 1 mulai mengalami penurunan pada tahun ke 17-18 tahun 2030, sedangkan untuk konsentrasi Ni pada sumur pantau mulai mengalami penurunan konsentrasi pada tahun ke 13 yaitu tahun 2025

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil permodelan transport Cd dan Ni pada lindi di TPA Sanggrahan, Temanggung diprediksikan bahwa konsentrasi kedua parameter tersebut akan terus meningkat setiap tahunnya selama masa operasional TPA. pada tahun 2024, konsentrasi Cd pada sumur pantau 1 sebesar 0,496 mg/l dan sumur pantau 2 sebesar 0,406 mg/l. Konsentrasi Ni pada sumur pantau 1 sebesar 0,382 mg/l dan sumur pantau 2 sebesar 0,3665 mg/l.

DAFTAR PUSTAKA

Anderson, P Mary; William W Woessner. 1991. *Applied Groundwater Modelling Simulation of Flow and Advective Transport*. UK: Academic Press.

Hasan, E Syed. 1996. *Geology Hazardous Waste Management*. USA: Prentice Hall.

Mc, Bean; Frank A Rovers; Grahame J Farquhar.1995. *Solid Waste Landfill Engineering And Design*. USA: Prentice Hall PTR.

Mc. Lean.Joan E, Berd E Bledsoe. 1992. *Ground Water Issue*. Washington DC: Environmental Agency Protection (EPA).

Notodarmodjo, Suprihanto. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Bandung: Penerbit ITB

Shukla, Sanjay Kumar; Jian Huan Yin. 2006. *Fundamentals of Geosynthetic Engineering*. London: Taylor & Francis Group.