

KAJIAN PENCEMARAN AIR TANAH OLEH LINDI DI SEKITAR TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR SAMPAH AIR DINGIN KOTA PADANG

Yaumal Arbi¹, Ronald Siregar² dan Tri Padmi Damanhuri³

¹Universitas Negeri Padang

²Universitas Sumatra Utara

³Institut Teknologi Bandung

E-mail: ¹yaumalarbi@ft.unp.ac.id, ³tripadmi@gmail.com

Abstrak: Tempat pembuangan akhir Air Dingin Kota Padang operasionalnya menggunakan sistem *Open dumping*. Terdapat perumahan penduduk pada radius 200 m dari TPA yang menjadikan air sumur dangkal sebagai sumber air utama dan perlu dilakukan permodelan menggunakan model *Domenico and Swartz* untuk mengetahui sejauh mana penyebaran lindi pada air tanah. Parameter yang di simulasi meliputi *Chemical Oxygen Demand* (COD), Timbal (Pb) dan Besi (Fe). Dari hasil pengukuran lindi TPA melebihi baku mutu Kep. No. 51/MENLH/I0/1995 Fe 5,4 mg/L, Pb 0,85 mg/L dan COD 3400 mg/L. Pengukuran kontaminan pada sumur warga di lakukan pada 3 sumur dengan jarak 300, 600 dan 900 meter dari TPA searah aliran air tanah. Hasil pengukuran parameter pada sumur warga menunjukkan nilai COD yang tinggi. Simulasi Fe dan Pb yang berasal dari lindi telah menyebar ± 175 m dari TPA mengikuti aliran air tanah. Penyebaran kontaminan COD mencapai ± 40 m arah longitudinal dan ± 200 m arah transversal. Prediksi Pencemaran Fe dan Pb pada air tanah terjadi 93 tahun yang akan datang dan mencapai jarak 312 meter dari TPA. Sedangkan konsentrasi COD mengalami fase *steady state* pada jarak 40 meter dari TPA. Tingginya nilai kontaminan COD yang terukur pada sumur warga di sekitar TPA Air Dingin Padang bukan disebabkan oleh pencemaran lindi TPA, namun disebabkan faktor lain seperti kandungan COD yang tinggi pada air tanah di sekitar lokasi TPA.

Kata kunci: TPA, besi, timbal, COD, model *Domenico and Schwart*.

Abstract: Air dingin landfills in Padang city operations using *Open dumping* system. There are residents in a radius of 200 m from the landfill that makes the water shallow wells as the main source of water and need to be modeled using the model of *Domenico and Swartz* to determine the extent of the spread of leachate on groundwater. The parameters in the simulation include the *Chemical Oxygen Demand* (COD), Lead (Pb) and iron (Fe). From the measurement results of landfill leachate exceeded the quality standard of Kep. No.. 51/MENLH/I0/1995 Fe 5.4 mg / L, Pb 0.185 mg / L and COD 3400 mg / L. The measurements of contaminants in the wells is done at a distance of 3 wells with 300, 600 and 900 meters from the landfill in the direction of groundwater flow. The results of measurements of parameters in wells showed high value of COD. The simulation of Fe have spread ± 150 m and Pb spread ± 250 m from the landfill following the groundwater flow. The spread of contaminants COD reaches ± 25 m longitudinal direction and ± 200 m transversal direction. The pollution prediction of Fe and Pb in groundwater will be occur in 80 years ahead and reach 312 meters from the landfill. While the COD concentration through a steady state phrase at 25 meters from landfill. The increasing of the contaminants COD values measured in wells around the landfill around Air Dingin Padang not caused by pollution of landfill leachate, but due to other factors such as high COD content in the groundwater around landfill sites.

Keywords: Landfill, Iron, Lead, COD, *Domenico and Schwart* model

PENDAHULUAN

Tempat pembuangan akhir (TPA) Air Dingin Kota Padang telah beroperasi sejak

tahun 1986. Walaupun didesain dengan sistem *Sanitary Lanfill*, operasionalnya tetap menggunakan sistem *Open dumping*. Lindi

dari *landfill* seringkali berpotensi mencemari air tanah maupun air sungai (Lu *et al.*, 2008). Ketika lindi mencapai sumber air, maka dapat menyebabkan pencemaran pada sumber air tersebut (Aljaradin & Peerson, 2012). Kontaminan terbawa oleh pergerakan air melalui tanah, mengkontaminasi tanah, air tanah, dan air sungai (Kassenga dan Mbuligwe, 2009).

Daerah sekitar TPA Air Dingin di Kota Padang mulai di padati oleh pemukiman penduduk. Berdasarkan SNI 19-2454-2002, kriteria jarak TPA ke perumahan terdekat lebih besar dari 500 m. Namun pada kenyataannya terdapat perumahan pada radius 200 m dari TPA yang menjadikan air sumur dangkal sebagai sumber air utama. Dekatnya jarak TPA dengan perumahan, berkemungkinan akan mempengaruhi kualitas air sumur tersebut.

Pencemaran lindi terhadap air tanah disebabkan adanya rembesan lindi yang kemudian menyebar mengikuti aliran air tanah. Pada lingkungan tanah dan air tanah, proses transport yang utama adalah adveksi, difusi, disperse, adsorpsi (Bedient *et al.*, 1999). Saat ini, model matematika untuk masalah kualitas air di sungai merupakan alat yang efisien dalam manajemen sumber daya air (Benedini, 2011). Model matematika bermanfaat untuk pemanfaatan sumber daya air, mereduksi pembuangan dari sumber tertentu, estimasi dampak perubahan teknologi terhadap lingkungan (Arbi & Aidha, 2017), pengembangan metode dan fasilitas pemantauan, dan manajemen pengelolaan kualitas lingkungan (Kachiashvili *et al.*, 2009). Permodelan penelitian ini menggunakan solusi persamaan *Domenico and Schwartz*. Parameter yang menjadi fokus adalah *Chemical Oxygen Demand* (COD), Timbal (Pb) dan Besi (Fe).

METODOLOGI

Lokasi penelitian

TPA Air Dingin terletak di Air Dingin, Kecamatan Koto Tangah dengan luas 30,30 Ha. TPA Air Dingin ini digunakan oleh 11

kecamatan di Kota Padang dengan rata-rata jumlah timbulan sampah yang masuk per hari ke TPA Air Dingin tahun 2008 dari data Dinas Kebersihan dan Pertamanan (DKP) Kota Padang adalah sebesar 1.930,92 m³/hari atau 317,37 ton/hari.

Pengumpulan data primer

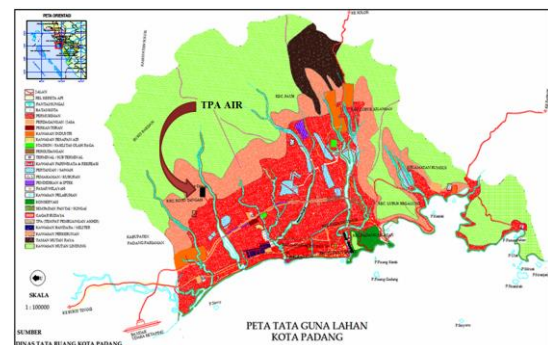
Untuk mengetahui pengaruh air lindi TPA Air Dingin terhadap air tanah dangkal disekitarnya, sampling dilakukan pada lima lokasi yaitu air lindi TPA Air Dingin, sumur uji TPA Air Dingin, sumur tanah dangkal dan sumur kontrol.

Aplikasi model

Rancangan model analitik menggunakan solusi analitis Domenico and Schwartz (1990), model ini dikembangkan berdasarkan persamaan adveksi, dispersi dan reaksi sebagai berikut:

$$C_{(x,y,z,t)} = \frac{C_0}{8} \operatorname{erfc} \left[\frac{(x-vt)}{2(\alpha_x vt)^{\frac{1}{2}}} \right] \operatorname{erf} \left[\frac{(y+\frac{Y}{2})}{2(\alpha_y x)^{\frac{1}{2}}} \right] - \operatorname{erf} \left[\frac{(y-\frac{Y}{2})}{2(\alpha_y x)^{\frac{1}{2}}} \right] \operatorname{erf} \left[\frac{(z+Z)}{2(\alpha_z x)^{\frac{1}{2}}} \right] - \operatorname{erf} \left[\frac{(z-Z)}{2(\alpha_z x)^{\frac{1}{2}}} \right]$$

Persamaan 1



Gambar 1. Lokasi TPA Air Dingin

Sedangkan untuk senyawa non-konservatif berdasarkan persamaan berikut:

$$C_{(x,y,z,t)} = \left(\frac{C_0}{8} \right) \exp \left\{ \left(\frac{x}{2\alpha_x} \right) \left[1 - \left(1 + \frac{4\lambda\alpha_x}{v} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\} \operatorname{erfc} \left[\frac{Rx - vt \left(1 + \frac{4\lambda\alpha_x}{v} \right)^{\frac{1}{2}}}{2(R\alpha_x vt)^{\frac{1}{2}}} \right] \left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{(y+\frac{Y}{2})}{2(\alpha_y x)^{\frac{1}{2}}} \right] - \operatorname{erf} \left[\frac{(y-\frac{Y}{2})}{2(\alpha_y x)^{\frac{1}{2}}} \right] \right\} \left\{ \operatorname{erf} \left[\frac{(z+\frac{Z}{2})}{2(\alpha_z x)^{\frac{1}{2}}} \right] - \operatorname{erf} \left[\frac{(z-\frac{Z}{2})}{2(\alpha_z x)^{\frac{1}{2}}} \right] \right\}$$

Persamaan 2

Dimana C adalah konsentrasi kontaminan pada titik x dan waktu t; C₀ merupakan konsentrasi kontaminan pada titik sumber yang di dapat kan dari pengukuran di lapangan; R_f faktor retardasi; V adalah kecepatan air tanah / kecepatan

kontaminan yang sudah dikoreksi dengan faktor retardasi; λ koefisien transformasi laju orde satu ($1/T = (\ln 2)/(t_{1/2})$), waktu (t); Y lebar sumber pencemar; Z kedalaman sumber pencemar; α_x dispersivitas longitudinal; α_y dispersivitas traverse; α_z dispersivitas vertical; x jarak horizontal dari sumber dalam arah aliran air tanah; y jarak dari titik tengah sumber pencemar tegak lurus arah aliran; z jarak vertikal dari top akuifer.

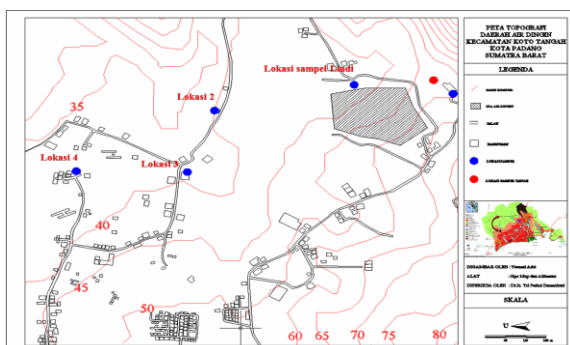
HASIL DAN PEMBAHASAN

Titik Lokasi Sampling

Lokasi pengambilan sampel dilakukan di sekitar TPA Air Dingin Kecamatan Koto Tangah, Kota Padang. Sampel lindi diambil dari saluran penampungan lindi. Sampel Air tanah diambil pada sumur warga yang berada di arah utara dari TPA. Pengambilan sampel air tanah dilakukan pada 4 titik lokasi sampling.

Tabel 1. Lokasi pengambilan sampel lindi dan air tanah

Lokasi	Koordinat		Waktu tanggal	Elevasi mdpl
	Lon	Lat		
TPA	100°22'53.325"E	0°49'75.518"S	041213	44
Lokasi I	100°23'6.7664"E	0°49'942336"S	041213	61
Lokasi II	100°22'34.476"E	0°49'905527"S	041213	39
Lokasi III	100°22'30.769"E	0°49'677373"S	041213	37
Lokasi IV	100°22'14.792"E	0°49'842423"S	041213	32



Gambar 2 Titik sampling

Analisis Sampel Lindi

Parameter fisik yang terukur adalah suhu 33 °C, DO 4,9 mg/l, pH 8,06, DHL 5,5 mS/cm. Nilai pH 8,06 menunjukkan lindi bersifat basa dan masih memenuhi baku mutu Kep. No.51/MENLH/I0/1995. Suhu pada lindi cukup tinggi (33 °C) akan mempengaruhi aktivitas

mikroorganisme dalam penguraian bahan-bahan organik.

Tabel 2. Karakteristik Air Lindi TPA Air Dingin

Parameter	Satuan	Kep. No. 51/MENLH/I0/1995	Air Lindi
pH	-	6-9	8,06
DO	mg/l	-	2,5
Temperatur	°C	40	33
DHL	mS/cm	-	5,5
BOD ₅	mg/l	150	351,4
COD	mg/l	300	3400
TSS	mg/l	400	710
Fe	mg/l	5	5,4
Zn	mg/l	10	0,03
Pb	mg/l	0,1	0,185

Analisis Sampel Air Tanah

Analisis sampel air tanah dilakukan laboratorium untuk menentukan parameter Fe, Pb, dan COD yang terkandung pada sumur air tanah dangkal.

Berdasarkan **Tabel 3**, kandungan besi (Fe) di sumur warga berkisar 0,407 - 1 mg/L. Nilai tersebut melebihi baku mutu menurut Keputusan Menteri Kesehatan No 907 tahun 2002 yaitu sebesar 0,3 mg/L. Nilai besi (Fe) terbesar terdapat pada sumur yang berjarak 300 m dari TPA dan semakin menurun seiring bertambahnya jarak TPA dari sumur warga.

Tabel 3. Karakteristik Air tanah

Titik sampling	Parameter		
	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	COD (mg/L)
Lokasi I	0,407	0,039	56
Lokasi II	1	0,066	75
Lokasi III	0,778	0,053	60
Lokasi IV	0,593	0,033	48

Batas maksimum COD menurut Keputusan Menteri Kesehatan No 907 tahun 2002 yaitu sebesar 10 mg/L, sedangkan rentang konsentrasi yang terdeteksi di sumur warga adalah 48 - 75 mg/L. Konsentrasi COD tertinggi terdapat pada sumur yang berjarak 300 m dari TPA.

Konsentrasi Pb yang melewati baku mutu terdeteksi pada sumur warga dengan jarak 300, 600 dan 900 m dari TPA. Baku mutu Pb menurut Menteri Kesehatan No 907 tahun 2002 adalah 0,01 mg/L.

Analisis Sampel Tanah

Analisis karakteristik tanah dilakukan untuk menentukan parameter fisik tanah dan pergerakan kontaminan dalam tanah. Sampel tanah di ambil pada kedalaman ± 1 m di hulu TPA Air Dingin, sehingga di dapatkan tanah yang belum terkontaminasi oleh lindi TPA. Selanjutnya sampel tanah di analisis di Laboratorium. Hasil yang di dapatkan dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Hasil Uji Karakteristik Tanah

Hasil Uji Karakteristik Tanah	Satuan	Nilai
Porositas (n)	-	0,52
Kadar air (θ)	%	19,5
Rapat jenis tanah (ρ_b)	kg/m ³	1,97
Konduktivitas Hidrolis (K)	m/hari	0,11
Lempung	%	69
Pasir	%	8
Kerikil	%	5
Liat	%	18

Jenis sampel tanah yang diambil merupakan *Silt Loam*. Nilai konduktivitas hidrolis yang di dapat yaitu sebesar 0,11 m/hari.

Arah dan Kecepatan Air tanah

Pengukuran muka air tanah bertujuan untuk penentuan gradien hidrolis. Gradien hidrolis menunjukkan perubahan tekanan dalam aquifer yang menghasilkan aliran air tanah, dilakukan pengukuran ketinggian muka air tanah pada 3 buah sumur yang berjarak 300, 600 dan 900 m dari TPA.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Tinggi Muka Air Tanah

Lokasi	X (m)	Y (m)	Elevasi tanah	muka air	Head hidrolis
Sumur 1	653041	9908974	39 m	3 m	36 m
Sumur 2	652926	9908609	37 m	2,6 m	34,4 m
Sumur 3	652444	9908614	32 m	2,8 m	29,2 m

Dengan nilai koefisien konduktivitas hidrolis (K) dan porositas diperoleh dari hasil uji karakteristik fisik tanah dengan nilai masing-masing sebesar 0,11 m/hari dan 0,52. Penentuan kecepatan air tanah menggunakan metode yang diperkenalkan oleh Pinder *et al.*, (1981), maka kecepatan aliran air tanah diperoleh sebesar 0,053 m/hari.

Model Penyebaran Kontaminan

Pemodelan penyebaran kontaminan lindi menggunakan pengembangan solusi analitik Domenico. Model ini mampu menggambarkan persebaran kontaminan dalam air tanah. **Tabel 6** menunjukkan asumsi yang dipergunakan dalam model Domenico and Schwartz.

Tabel 5. Parameter yang diperlukan dalam model (Domenico and Schwartz, 1990)

Parameter	Satuan	Nilai	Sumber
Lebar sumber	Meter	410	Data Lapangan
Kedalaman sumber	Meter	6	Data Lapangan
Porositas (n)	-	0,52	Data Lapangan
Konduktivitas (K)	Meter/hari	0,011	Data Lapangan
Waktu (t)	Hari	9855	Data Lapangan
(α_x)	Meter	0,1x	Studi literatur
(α_y)	Meter	0,33 α_L	Studi literatur
(α_z)	Meter	0,056 α_L	Studi literatur
Koefisien distribusi			
• Fe	L/Kg	0,7	Studi literatur
• Pb	L/Kg	0,4	Studi literatur
• COD	L/Kg	0,597	Studi literatur
Faktor retardasi (R_f)			
• Fe	-	3,65	Perhitungan
• Pb	-	2,51	Perhitungan
• COD	-	1,54	Perhitungan
λ benzene (C_0)	/hari	0,01	Studi literatur
• Fe	mg/L	5,4	Data Lapangan
• Pb	mg/L	0,185	Data Lapangan
• COD	mg/L	3400	Data Lapangan

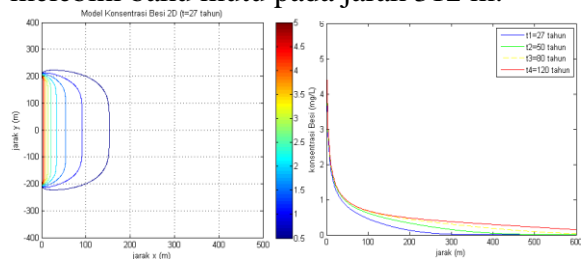
Kedalaman dan lebar sumber didapatkan dari data lapangan. Nilai porositas dan konduktivitas berdasarkan analisis karakteristik tanah yang dilakukan. Nilai waktu 27 tahun diasumsikan sama dengan umur TPA. Kondisi awal kontaminan Fe 5.4 mg/L, Pb 0,185 mg/L, dan COD 3400 mg/L. Nilai dispersivitas transversal (α_x), dispersivitas transversal (α_y), dan dispersivitas vertikal (α_z) menggunakan literatur menurut Tong *et al.*, 2013. Koefisien distribusi (K_d) yang digunakan berasal dari range K_d Allison *et al.* (2005). Sehingga K_d yang dipilih untuk Fe dan Pb adalah 0,7 dan 0,4 L/Kg. Sedangkan koefisien distribusi yang digunakan untuk COD adalah koefisien distribusi senyawa *Benzene*, dan nilai λ *Benzene* = 0,01/hari (DeVaull *et al.*, 1997). R_f untuk Fe 3,65, R_f Pb 2,51 dan R_f COD 1,54. Dengan menggunakan **Persamaan 1** untuk kontaminan Fe, Pb dan **Persamaan 2** untuk

kontaminan COD dilakukan simulasi model dengan bantuan program *Matlab*.

Model Penyebaran Kontaminan Besi (Fe)

Simulasi model dilakukan secara dua dimensi dengan waktu 27 tahun sesuai dengan umur TPA Air Dingin. **Gambar 3** menunjukkan simulasi model dua dimensi penyebaran Fe pada air tanah dangkal. Dari simulasi model 2D dapat disimpulkan pencemar menyebar mencapai jarak ± 150 m dari TPA. Hasil simulasi belum menjangkau jarak titik observasi terdekat yaitu 312 m.

Gambar 4 menunjukkan prediksi simulasi Fe satu dimensi ketika usia operasional TPA 27, 50, 80, dan 120 tahun. Konsentrasi dan jarak penyebaran diperidiksi meningkat sesuai bertambahnya usia operasional TPA. Hasil simulasi menunjukkan pada waktu 120 tahun dari mulai TPA beroperasi, kontaminan Fe melebihi baku mutu pada jarak 312 m.

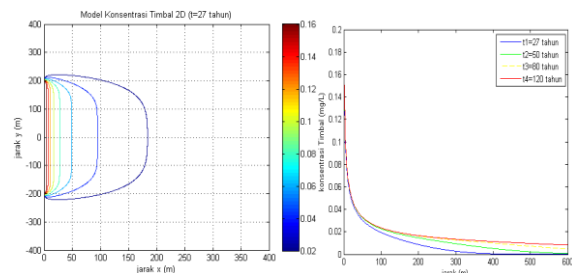


Gambar 3. Simulasi Fe 2D

Gambar 4. Simulasi 1D Fe

Model Penyebaran Kontaminan Timbal (Pb)

Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi persebaran kontaminan Pb, dapat dilihat penyebaran kontaminan Pb mencapai jarak 175m. **Gambar 6** menunjukkan prediksi simulasi Pb satu dimensi. Hasil prediksi menunjukkan konsentrasi Pb akan melebihi baku mutu menurut Keputusan Menteri Kesehatan No 907 tahun 2002 pada waktu 120 tahun . yang akan datang sebesar 0,0108 mg/L pada jarak 312 m dari TPA.



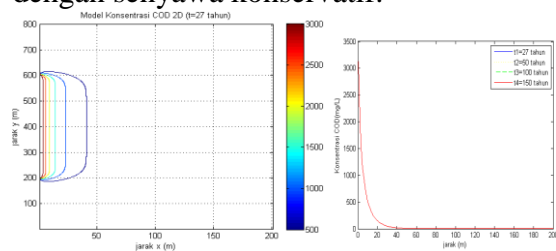
Gambar 5. Simulasi Pb 2D

Gambar 6. Simulasi 1D Pb

Model Penyebaran Kontaminan COD

Gambar 7 menunjukkan simulasi model dua dimensi COD pada saat ini ketika usia operasional TPA 27 tahun diketahui bahwa penyebaran kontaminan COD mencapai ± 100 m arah longitudinal dan ± 200 m arah transversal. Konsentrasi COD hasil observasi pada sumur warga yang berkisar 48 –75 mg/L tidak berasal dari lindi TPA.

Gambar 8 dapat dilihat bahwa COD mengalami fase *steady state* pada jarak 40 meter dari TPA, sehingga tidak akan terjadi perubahan konsentrasi kontaminan. Proses *steady state* lebih cepat terjadi dibandingkan dengan senyawa konservatif.



Gambar 7. Simulasi COD

Gambar 8. Simulasi 1D COD

KESIMPULAN

Konsentrasi Fe, Pb dan COD pada air tanah di sekitar lokasi TPA tidak memenuhi baku mutu yang di tetapkan oleh Keputusan Menteri Kesehatan No 907 tahun 2002. Konsentrasi Fe, Pb dan COD menurun seiring dengan bertambahnya jarak dari TPA. Tingginya nilai kontaminan yang terukur pada sumur warga disekitar TPA Air Dingin Padang bukan disebabkan oleh pencemaran lindi TPA, namun disebabkan faktor lain seperti kandungan Fe, Pb yang tinggi pada air tanah di sekitar lokasi TPA.

Kontaminan Fe telah menyebar sejauh 150 m dan kontaminan Pb menyebar sejauh 175 m dari TPA mengikuti aliran air tanah.

Penyebaran kontaminan COD mencapai 40 m arah longitudinal.

Prediksi Pencemaran Fe akan melewati baku mutu pada waktu 120 tahun semenjak TPA beroperasi. Prediksi Pencemaran Pb akan melewati baku mutu 93 tahun yang akan datang dengan konsentrasi 0.0108 mg/L pada jarak 312 m dari TPA. Prediksi Pencemaran COD mengalami fase *steady state* pada jarak 40 meter dari TPA, sehingga tidak akan terjadi perubahan konsentrasi kontaminan.

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, J. D., dan T. L. Allison. (2005) : *Partition Coefficients For Metals In Surface Water, Soil, and Waste*. US EPA.
- Arbi, Y., & Aidha, E. R. (2017). *Simulation Of Mercury Transport From Gold Mining Activities In Pelawan River , Sarolangun* (Vol. 4, pp. 567–571).
- Bedient, Philip B., Rifai, Hanadi S., Newell, Charles J. (1999) : *Ground Water Contamination: Transport And Remediation : 2nd Edition*. Prentice Hall PTR: Upper Saddle River, USA.
- Benedini, M. (2011) : Water Quality Models for Rivers and Streams. State of the Art and Future Perspectives. *European Water* 34 : 27-40.
- Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Padang. (2011) : *Dokumen Evaluasi Lingkungan Hidup TPA Air Dingin*. Padang.
- DeVaull, G.E., Ettinger, R.A., Salanitro, J.P., Gustafson, J.B., (1997) : *Benzene toluene, ethylbenzene, and xylenes degradation in vadose zone soils during vapor transport: first-order rate constants*. November 12-14 pp. 365-379.
- Damanhuri, Enri. (2008) : *Diklat Landfiling Limbah*, Institut Teknologi Bandung.
- Domenico, P. A., and F. W. Schwartz. (1990) : *Physical and Chemical Hydrogeology*, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Kassenga G. R. & Mbuligwe S. E. (2009) : Impacts of a Solid Waste Disposal Site on Soil, Surface Water, and Groundwater Quality in Dar es Salaam City, Tanzania. *Journal of Sustainable Development in Africa* Vol. 10 : 73-94.
- Kachiashvili, K., Gordeziani, G., Lazarov, R. & Melikdzhanian, D. (2009) : Modeling and Simulation of Pollutants Transport in Rivers. *Applied Mathematical Modelling* 31: 11371-1396
- 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
- Lü, F., Zhang, H., Chang, C. H., Lee D. J. He, P. J., Shao L. M. & Su, A. (2008) : Dissolved Organic Matter and Estrogenic Potential of Landfill Leachate. *Chemosphere* 72 : 1381-1386.
- Schnoor, J. L. (1996) : *Environmental Modeling Fate and Transport of Pollutants in Water, Air, and Soil*, New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Tong, W., Y. Rong. (2013) : *Dominico Spreadsheet Analytical Manual*. California Regional Water Quality Control Board, Los Angles.