

## POLA PENYEBARAN SIANIDA PADA AIR TANAH DANGKAL DI LOKASI PERTAMBANGAN EMAS

RONALD LEONARDO SIREGAR<sup>1</sup>, YAUMAL ARBI<sup>2</sup>

Teknik Lingkungan Universitas Sumatera Utara

Email: ronalsiregar@usu.ac.id

**Abstrak :** Kegiatan pertambangan berupa eksploitasi dan ekstraksi mineral akan menghasilkan hasil samping berupa tailing. Salah satu potensi pencemar yang ada di tailing selain logam berat adalah sianida. Salah satu bentuk penanganan tailing oleh industri pertambangan, khususnya tambang bawah tanah adalah dengan backfilling yaitu kegiatan pengisian kembali rongga yang terbentuk akibat kegiatan pertambangan dengan material tailing. Kegiatan backfilling memiliki potensi mencemari air tanah yaitu ketika material backfilling terkena air kemudian melarutkan pencemar yang ada di tailing seperti sianida sehingga sangat dimungkinkan terbawa ke lapisan air tanah. Sebaran pencemar di lapisan air tanah sulit untuk dikendalikan karena tidak mudah menentukan arah dan batas-batas alirannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana sianida dapat menyebar di dalam air tanah pada lokasi pertambangan. Metode yang dilakukan adalah dengan pemodelan solusi analitis Domenico berdasarkan persamaan adveksi, dispersi dan retardasi. Simulasi pemodelan dilakukan dengan menggunakan software *matlabs*. Simulasi ini juga akan memprediksi persebaran sianida pada 50 tahun mendatang. Hasil pengujian sampel tailing didapatkan konsentrasi sianida sebesar 0,430 mg/L. Nilai konsentrasi ini dijadikan sebagai konsentrasi awal ( $C_0$ ) dan diasumsikan konstan. Dengan memasukkan nilai parameter-parameter yang dibutuhkan pada model didapatkan bahwa kontaminan sianida sudah tersebar di air tanah lokasi pertambangan.

**Kata kunci :** Pertambangan, tailing, sianida, air tanah

**Abstract:** Mining activities such as exploitation and extraction of minerals from mining will produce by product as tailing. One potential contaminants in tailings instead of heavy metal is cyanide. General treatment for tailings by mining industry (particularly underground mining) is backfilling. Backfilling is refilling the empty room that formed by previous mining activities with tailing materials. In other word, the tailing materials filled back to the cavity or empty room on the underground. Somehow tailings that used for backfilling exposed by water and dissolve the contaminant that consist in it such as cyanide, very possible it will be carried to the groundwater. Fate and transport contaminant in the groundwater and aquifer is difficult to control because it is not easy to determine the flow and stream boundary. The aims of this study is to determine how far fate and transport of cyanide in the groundwater at mining area. Method of this study is by doing analytical model Dominico based on . The software that used in this simulation is *matlabs*. Then, based on the simulations will perform prediction of how far fate and transport of cyanide in the next 50 years. The first step before all of the study is take sampel of tailing as contaminant sources that will be assumed as value of concentration  $C_0$ . The laboratoium result of tailing sample show that the concentration of cyanide is 0.430 mg/L. The results of this simulations shows that cyanide is detected in the groundwater on the mining site.

**Keywords :** Mining, tailings, Cyanide, Groundwater

## PENDAHULUAN

Sumber daya alam merupakan salah satu modal penting dalam pembangunan nasional, yang harus dimanfaatkan sebaik-baiknya secara berkelanjutan dengan memperhatikan kelestarian lingkungan. Salah satunya adalah sumber daya mineral yang tersebar tidak merata di lapisan kulit bumi seperti emas, batubara, timah, nikel, besi dan perak. Mineral emas merupakan salah satu komoditi tambang yang memiliki nilai jual tinggi. Bertolak belakang dengan berbagai manfaat ini, tidak sedikit kegiatan pertambangan yang menjadi sorotan karena telah mengakibatkan pengrusakan lingkungan maupun pencemaran yang berdampak buruk bagi kesehatan masyarakat (Ahyani, 2011).

Kegiatan pertambangan merupakan suatu kegiatan yang meliputi eksplorasi, eksploitasi, pengangkutan mineral/ bahan tambang dan pengolahan pemurnian. Pengolahan pemurnian bijih mineral dalam hal ini emas akan menghasilkan *tailing*. Dilihat dari kandungan mineralnya, *tailing* mengandung berbagai mineral tergantung jenis *tailing*-nya. Untuk *tailing* tambang emas biasanya mengandung sejumlah logam berat seperti As, Hg, Pb, Cd dan CN yang berpotensi mencemari lingkungan (Herman, 2006).

Salah satu bentuk penanganan *tailing* khususnya tambang bawah tanah adalah dengan *backfilling*, yaitu pengisian rongga yang terbentuk akibat kegiatan pertambangan dengan material *tailing*. Menurut Grice (1998) *backfilling* merupakan aktivitas pengelolaan material sisa hasil penambangan dimana material tersebut digunakan untuk mengisi rongga sisa penambangan bawah permukaan untuk tujuan pembuangan (*disposal*) atau untuk kegunaan keteknikan lainnya. Solusi ini tentu saja memiliki

potensi untuk mencemari lingkungan. Apabila *tailing* yang dipakai untuk *backfilling* ini terkena air dan melarutkan kandungan-kandungan pencemar yang ada di *tailing* seperti sianida maka sangat dimungkinkan akan terbawa ke lapisan air tanah. Apabila air tanah digunakan sebagai sumber air minum maka masyarakat akan beresiko teracuni (Troldborg, 2010) oleh sianida. Keracunan kronis dapat menimbulkan malaise dan iritasi (Soemirat, 2011).

Sumber sianida yang paling umum yang ditemukan di tanah dan air tanah adalah berasal dari industri logam dan *tailing pond* (Zagury et al., 2004; Nsimba, 2009). Sianida secara alami dihasilkan oleh berbagai bakteri, alga, jamur dan berbagai spesies tanaman seperti kacang, buah sayur dan akar (Coles, 2006; Nsimba, 2009). Sianida juga dapat ditemukan dalam larutan sebagai senyawa sianida bebas (HCN, CN<sup>-</sup>) atau membentuk senyawa kompleks dengan logam (Gagnon, 2004). Namun, masukan senyawa sianida *anthropogenic* jauh lebih besar daripada yang dihasilkan secara alami di lingkungan (Sartaj et al., 2004; Nsimba, 2009).

Sianida bebas bersifat tidak persisten di lingkungan dan akan terdegradasi secara proses fisika, kimia dan biologis. Transport sianida bebas di tanah dapat dipengaruhi oleh proses *surface adsorption*, khususnya yang memiliki kandungan organik yang tinggi dan melalui reaksi dengan logam dalam larutan dapat mendorong reaksi tambahan dalam proses adsorpsi maupun presipitasi (Ghosh et al., 2004). Sebuah studi yang dilakukan di Wisconsin menunjukkan bagaimana pH dan redoks potential dapat mempengaruhi perpindahan sianida di *unsaturated soil*. Terlihat bahwa plume sianida didominasi oleh senyawa kompleks besi-sianida, dan

masih ditemukan bahkan setelah enam tahun kemudian.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa spesies sianida yang paling dominan ditemukan dalam air tanah adalah senyawa kompleks besi-sianida dan bersifat stabil pada pH netral hingga pH tinggi. Spesies sianida ini berpindah sebagai larutan non-reaktif pada material akifer sand-gravel. Pada beberapa kasus, dekomposisi kimia spesies kompleks besi-sianida ini masih dapat terjadi namun kinetiknya sangat lambat (Dzombak *et al.*, 1996; Ghosh *et al.* 1999; Theis *et al.*, 1994 dalam Gagnon *et al.*, 2004)

Penyebaran kontaminan pada air tanah di sekitar kawasan tambang akan digambarkan dalam bentuk model dengan menggunakan solusi analitik Domenico. Parameter kontaminan yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah yang paling dominan dalam tailing sebagai backfilling yaitu sianida. Kontaminan di dalam tanah selalu dalam kondisi dinamis, berinteraksi dengan partikel tanah atau mengalami transformasi sampai terjadi keseimbangan (Notodarmojo, 2005; Salami, 2013). Dalam proses perpindahannya, interaksi dengan komponen-komponen lain yang ada di lingkungan adalah salah satu hal penting yang perlu dicermati disamping mengetahui kecepatan proses transport kontaminan tersebut. (Schnoor, 1996; Konig, 2009). Pada lingkungan tanah dan air tanah, proses transport yang utama adalah adveksi, difusi, dispersi, adsorpsi, (Bedient *et al.*, 1999) dan retardasi (Notodarmojo, 2005). Adveksi merupakan perpindahan kontaminan yang mengikuti aliran dan kecepatan air tanah di media berpori. Dispersi adalah proses pencampuran yang diakibatkan oleh perbedaan kecepatan di media berpori dan hasil dari dilusi larutan. Sedangkan retardasi adalah proses transport akibat reaksi antara

kontaminan dengan media tanah yang memberikan efek seolah-olah gerakan kontaminan menjadi terhambat (Bedient *et al.*, 1999; Notodarmojo, 2005; Bear *et al.*, 2010).

### **METODE PENELITIAN**

Lokasi penelitian ini adalah daerah pertambangan emas yang secara administratif terletak di daerah konsesi UBPE Pongkor. Secara geografis, berada pada 0670000 - 0673000 MT dan 9260000- 9264000 MU (koordinat UTM zona 67). Parameter yang dianalisis pada penelitian ini adalah sianida yang berasal dari tailing. Analisa kandungan sianida pada sampel air dari tailing mengacu pada SNI 6989.76: 2011. Sesuai dengan tata cara pengambilan sampel untuk uji sianida, sampel berupa tailing ditempatkan dalam wadah botol plastik kemudian ditambahkan larutan NaOH 1 N sampai pH lebih besar 12. Botol yang sudah berisi sampel kemudian dimasukkan kedalam *coolbox*.

Sampel air tanah dilakukan pada 2 sumur pantau yang mengacu pada SNI 6989.58:2008. Sampel ini akan diuji nilai konsentrasinya untuk dibandingkan dengan hasil simulasi model nantinya. Bersamaan juga dilakukan pengumpulan data primer mengenai tinggi muka air tanah untuk kemudian dijadikan data menentukan arah kecepatan air tanah. Pengukuran kecepatan air tanah dilakukan sesuai dengan hukum *Darcy* yang dikembangkan oleh Pinder. (Pinder, 1981; Notodarmojo, 2005).

Setelah arah dan kecepatan air tanah didapatkan dari perhitungan, kemudian dilakukan perhitungan nilai faktor retardasi. Nilai faktor retardasi berpengaruh pada perpindahan kontaminan dalam air tanah dimana faktor retardasi memberikan efek memperlambat kontaminan. Faktor retardasi

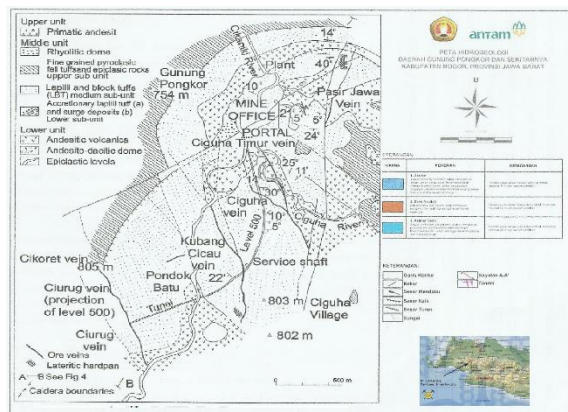
pada air tanah dangkal (*unsaturated zone*) di ditentukan dengan menggunakan **Persamaan 1**, dimana yang mempengaruhi faktor retardasi adalah kadar air (*water content*) (Trolborg et al., 2009).

$$R = 1 + \frac{\rho_b}{\theta_w} K_d \dots \dots \dots (1)$$

Menurut Schnoor (1996) fenomena yang berpengaruh dalam proses transpor kontaminan tersebut adalah adveksi, dispersi, adsorpsi, dan reaksi dengan senyawa lain. Rancangan model analitik menggunakan solusi analitis Domenico Robbins (1987), model ini dikembangkan untuk senyawa non-konservatif berdasarkan persamaan adveksi, dispersi dan retardasi sebagai berikut:

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

Dimana C adalah konsentrasi kontaminan pada titik x dan waktu t; C<sub>0</sub> merupakan konsentrasi kontaminan pada titik sumber yang di dapat kan dari pengukuran di lapangan; R<sub>f</sub> faktor retardasi; V adalah kecepatan air tanah / kecepatan kontaminan yang sudah dikoreksi dengan faktor retardasi; λ koefisien transformasi laju orde satu (1/T = (ln2)/ (t<sub>1/2</sub>), waktu (t); Y lebar sumber pencemar; Z kedalaman sumber pencemar; α<sub>x</sub> dispersivitas longitudinal; α<sub>y</sub> dispersivitas traverse; α<sub>z</sub> 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 vertical dari top akuifer.



Gambar 1. Situasi wilayah studi

### HASIL DAN PEMBAHASAN Gambaran umum wilayah studi

Penelitian ini dilakukan di kawasan pertambangan emas Pongkor yang secara administratif terletak di dalam wilayah kecamatan Nanggung, Leuwiliang dan Cigudeg, kabupaten Bogor, provinsi Jawa Barat. Dari posisi geografis, terletak pada koordinat 106°30' 01,0" - 106°35' 38,0" Lintang Selatan dan 6° 36' 37,2" - 6° 48' 11,0" Bujur Timur. Lokasi penelitian merupakan bagian dari satuan wilayah yang mempunyai daerah topografi berupa daerah pegunungan dengan ketinggian berkisar antara 300 sampai dengan 900 m di atas muka air laut, dengan puncak bukit masih tajam dan agak membulat, dimana sudut lereng berkisar antara 200 - 600. Ada dua sungai utama yang mengalir pada daerah ini yaitu sungai Cikaniki dengan arah memanjang relatif selatan-utara dan sungai Ciguha yang terletak di sebelah timur dan utara lokasi penambangan..

#### Karakteristik tanah dan air tanah

Karakteristik tanah dan air tanah merupakan parameter penting dalam melakukan studi persebaran kontaminan di air tanah. Dalam penelitian ini, untuk mendapatkan

parameter-parameter yang dibutuhkan dalam mengetahui karakteristik tanah tidak dilakukan sampling karena kondisi lokasi yang sangat berbatu sehingga sangat sulit dilakukan penggalian untuk melakukan sampling tanah. Nilai-nilai parameter tanah dan air tanah yang dibutuhkan diperoleh dari Laporan Hidrogeologi perusahaan pengelola pertambangan dan dari laporan penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya di lokasi tersebut.

Dari studi geologi ditemukan bahwa secara umum litologinya tersusun atas tuff breksi dan tuff andesit yang memiliki nilai porositas ( $n$ ) 0,41 (Bedient *et al.*, 1999; Delleur, 2007) dan bulk density sebesar 2,36  $\text{gr/cm}^3$  (Aswinda, 2011).

Tabel 1. Sifat fisik dan permeabilitas tanah

No	Parameter tanah	Satuan	Nilai
1	Wet Density	$\text{gr/cm}^3$	0,41
2	Specific Gravity	$\text{gr/cm}^3$	2,36
3	Dry Density	$\text{gr/cm}^3$	2,09
4	Porositas	-	0,41
5	Permeabilitas	Cm/detik	$2,164 \times 10^{-5}$

Diperoleh juga nilai permeabilitas tanah yang berkisar kurang lebih 0,18 meter/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 (Evangelides *et al.*, 2010).

### Konsentrasi kontaminan serta kecepatan air tanah

Dalam penelitian ini yang dijadikan sebagai sumber kontaminan sianida adalah tailing. Secara visual tailing berupa lumpur dengan banyak air (sangat encer). Dari hasil pengujian sampel tailing diperoleh nilai konsentrasi sianida sebesar 0,430 mg/L. nilai

konsentrasi ini dijadikan sebagai konsentrasi awal ( $C_0$ ) dalam simulasi model.

Tabel 2. Sifat fisik dan permeabilitas tanah

Titik	X	Y	Elevasi (mdpl)	Head hidrolis (meter)
GTR1	9845	7767	501	496,5 m
GTR5	9907	7593	495	493,5 m
GTR6	9897	7536	498	494,0 m

Penentuan arah dan kecepatan air tanah dengan memasukkan data-data sumur pantau air tanah berupa koordinat x dan y, ketinggian (elevasi) dan ketinggian muka air tanah. Pengukuran kecepatan air tanah ini dilakukan berdasarkan prinsip hukum Darcy yang dikembangkan lebih lanjut oleh Pinder (1991), dengan asumsi tanah dalam kondisi homogen, isotrop, tidak ada aliran yang menyebar, dan terdapat pengaliran air yang terus menerus (Kamil, 2012). Berdasarkan asumsi tersebut maka nilai konduktivitas hidrolik pada setiap arah adalah Sama ( $K_x = K_y = K_z$ ). Parameter yang dibutuhkan adalah koordinat, elevasi, tinggi muka air tanah dan kedalaman sumur. Dari perhitungan ini didapatkan kecepatan air tanah adalah 0,093 m/hari.

### Model persebaran sianida di 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 (1987). Komponen-komponen yang digunakan dalam menyelesaikan model penyebaran kontaminan pada air tanah diperoleh berdasarkan data lapangan dan data asumsi yang diperoleh dari studi literatur.

Tabel 3. Parameter yang diperlukan dalam model analitik Domenico

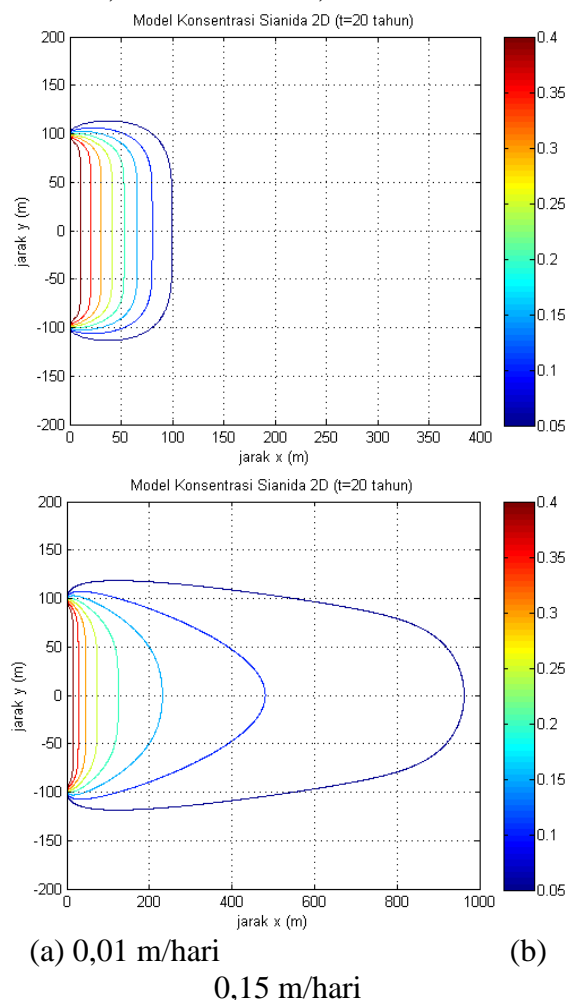
No	Parameter	Unit	Nilai	Sumber
1	Waktu (t)	Tahun	20	Asumsi
2	Panjang sumber	Meter	343	Data sekunder
3	Lebar sumber	Meter	200	Data sekunder
4	Kedalaman	Meter	5	Data sekunder
5	Porositas (n)	-	0,41	Data sekunder
6	Water content ( $\theta_w$ )	%	17	Aswinda, 2011
7	Air content ( $\theta_a$ )	%	83	Aswinda, 2011
8	Bulk density ( $\rho$ )	gr/cm <sup>3</sup>	2,36	Aswinda, 2011
9	Permeabilitas (K)	m/hari	0,18	Laporan Hidrogeologi PT. Antam
10	Koefisien distribusi (Kd)			
	- Sianida	L/Kg	0,0014	Studi Literatur (USEPA, 1996)
11	Dispersivitas longitudinal ( $\alpha_x$ )	Meter	0,1*x	Studi Literatur (USEPA, 1996)
12	Dispersivitas transversal ( $\alpha_y$ )	Meter	0,33* $\alpha_x$	Studi Literatur (USEPA, 1996)
13	Dispersivitas vertikal ( $\alpha_z$ )	Meter	0,056* $\alpha_x$	Studi Literatur (USEPA, 1996)
14	Konsentrasi sianida	mg/L	0,430	Analisa laboratorium
15	Konduktivitas hidrolis	m/hari	0,18	Laporan Hidrogeologi PT. Antam
16	Kecepatan air tanah	m/tahun	33.94	Data Lapangan

Nilai waktu (t) = 20 tahun diasumsikan sebagai umur operasi pertambangan. Kedalaman adalah kedalaman *tailing pond* yaitu 5 meter. Konsentrasi awal  $C_0$  adalah 0,430 mg/l yaitu konsentrasi sianida dari sampel *tailing* yang diambil dari *tailing pond*. Nilai Kd pada tanah tergantung pada karakter geokimia pada tanah dan pada air yang mengalir pada pori tanah berdasarkan studi literatur dimana koefisien distribusi untuk

parameter sianida adalah berkisar 0,0014 L/kg (Allison *et al.*, 2005). Untuk akifer unsaturated, nilai K sangat dipengaruhi oleh *water content*  $\theta$  (Nimmo, 2009; Sitarenios *et al.*, 2012).

### Adveksi

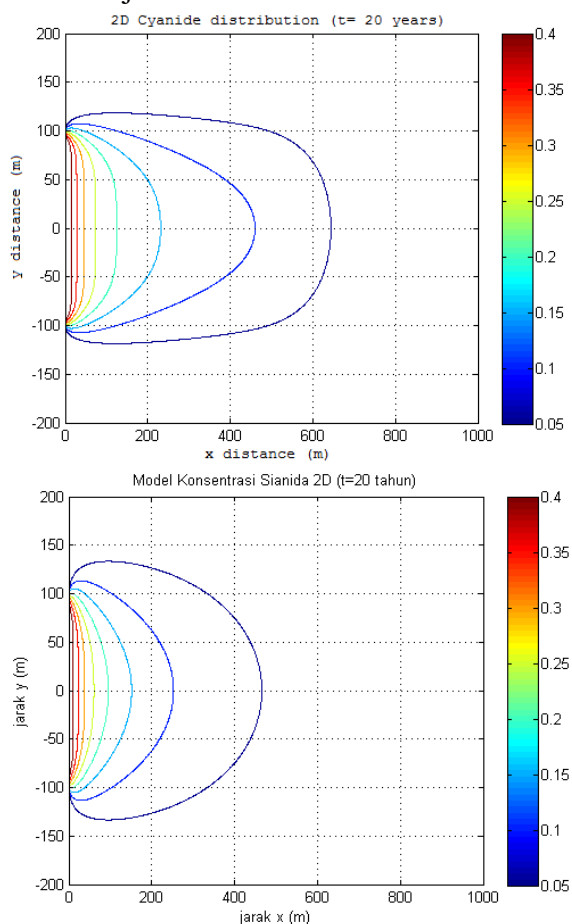
Simulasi adveksi dijalankan hanya dengan mengganti-ganti nilai kecepatan air tanah sementara nilai parameter lain tetap. Simulasi ini dijalankan hanya dengan mengganti-ganti nilai kecepatan air tanah sementara nilai parameter lain tetap. Data kecepatan air tanah adalah 33,94 m/tahun atau 0,093 m/hari. Variasi kecepatan air tanah yang dilakukan adalah 0,01 m/hari dan 0,15 m/hari.



Gambar 2. Hasil simulasi adveksi

**Dispersi**

Simulasi model menggunakan nilai dispersivitas menurut Tong *et al* (2013)  $\alpha_x = 0,1x$ ,  $\alpha_y = 0,33 \alpha_x$ ,  $\alpha_z = 0,056 \alpha_x$  dan dispersivitas menurut USEPA tahun 1996 dengan  $\alpha_x = < 100 \text{ m}$ ,  $\alpha_y = 0,13\alpha_x$ ,  $\alpha_z = 0,006 \alpha_x$ . Hasil simulasi dengan menggunakan dispersivitas USEPA menunjukkan bahwa persebaran kontaminan melebihi jarak 400 meter.

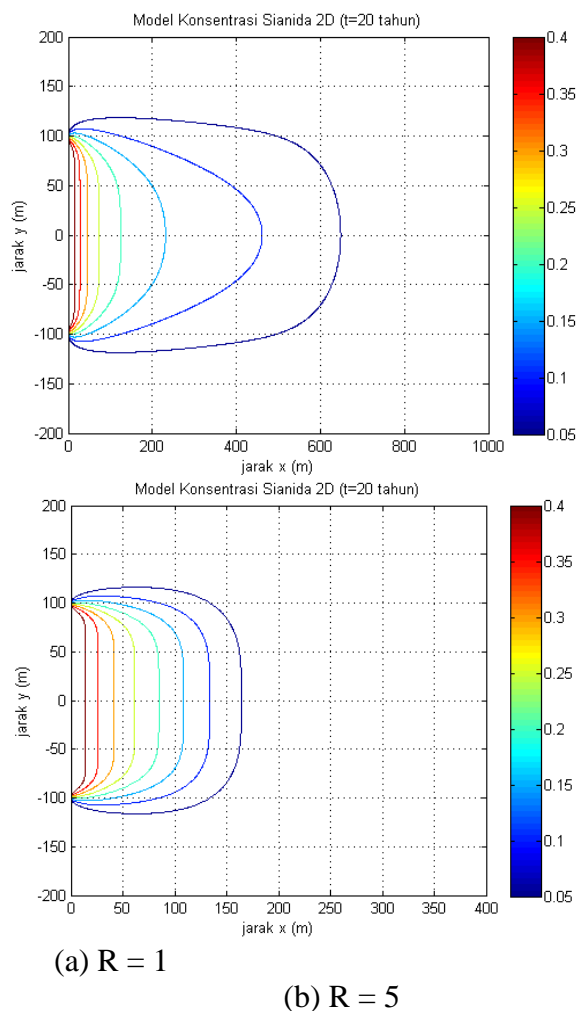


Gambar 3. Hasil simulasi dispersivitas berdasarkan Tong *et al* dan USEPA

**Retardasi**

Faktor retardasi cenderung memperlambat atau mereduksi laju perpindahan kontaminan karena terjadinya proses sorpsi. Tujuan simulasi model adalah untuk mengetahui pengaruh faktor retardasi terhadap pola

persebaran sianida pada air tanah. Nilai faktor retardasi yang dipakai adalah  $R_1 = 1$  dan  $R_2 = 5$ . Hasil simulasi faktor retardasi terhadap persebaran sianida dapat dilihat pada gambar 4.



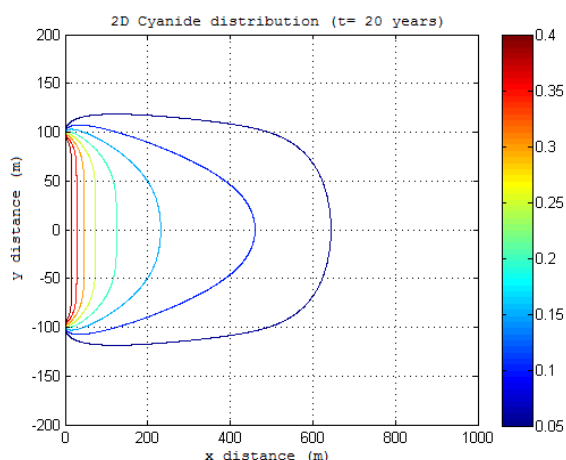
(a) R = 1

(b) R = 5

Gambar 4. Hasil simulasi retardasi

Hasil simulasi dengan  $R = 1$  menunjukkan bahwa sianida masih terdeteksi pada jarak mendekati 600 meter, sedangkan pada  $R = 5$  menunjukkan bahwa sianida terdeteksi hanya pada jarak  $\pm 150$  meter. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai faktor retardasi yang diterapkan pada model maka semakin kecil persebaran kontaminan di air tanah.

Setelah melakukan simulasi adveksi, dispersi dan retardasi kemudian dilakukan simulasi penyebaran sianida dengan menggunakan solusi analitik yang dikembangkan oleh Domenico seperti pada Persamaan 4, baik pada 1 dimensi maupun pada 2 dimensi. Hasil simulasi persebaran sianida 1 dimensi ditunjukkan pada gambar 5.

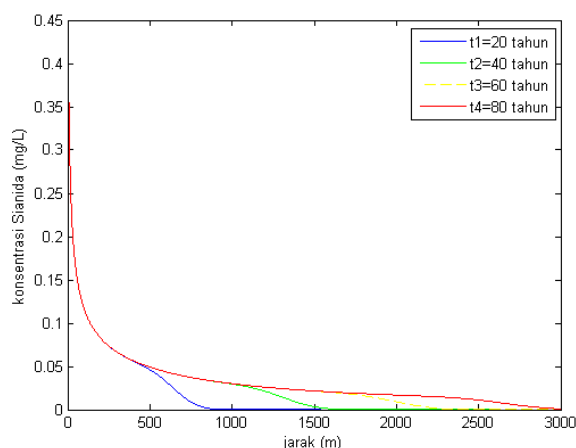


Gambar 5. Hasil simulasi model

Dari gambar 5 menunjukkan bahwa simulasi persebaran sianida pada waktu  $t = 20$  tahun menunjukkan hasil yaitu sianida terdeteksi pada jarak  $\pm 600$  meter.

### Prediksi Model

Prediksi model dilakukan guna melihat persebaran kontaminan pada air tanah untuk waktu yang medatang. Prediksi model dilakukan pada 20 tahun, 40 tahun, 60 tahun dan 50 tahun. gambar 6. Menunjukkan hasil simulasi model dalam memprediksi persebaran kontaminan pada air tanah pada kurun waktu tertentu. Perpotongan pada jarak 91 meter dan nilai konsentrasi 0,08 mg/L adalah kondisi hasil pengujian laboratoriu terhadap konsentrasi sianida dari air tanah sumur pantau yang berjarak 91 meter dari tailing pond.



Gambar 6. Prediksi persebaran sianida

### KESIMPULAN

Pengujian laboratorium terhadap sampel air tanah yang diambil dari sumur pantau yang berjarak 91 meter dan 126 meter dari sumber sudah ditemukan kontaminan sianida dengan konsentrasi sebesar 0,088 mg/L dan 0,067 mg/L.

Dari hasil simulasi didapatkan bahwa kontaminan sianida sudah menyebar sejauh lebih dari 600 meter dari sumber. Dari hasil simulasi prediksi persebaran sianida pada kurun waktu 20 tahun, 40 tahun, 60 tahun dan 80 tahun yang akan dating didapatkan bahwa sianida akan terdeteksi pada jarak 900 meter, 1600 meter, 2200 meter, dan 3000 meter.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahyani. Mochammad, (2011) : *Pengaruh Kegiatan Penambangan Emas Terhadap Kondisi Kerusakan Tanah Pada Wilayah Pertambangan Rakyat di Bombana Sulawesi Tenggara*, Program Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro: Semarang



- [2] Allison, Jerry .D.. Allison, Terry L. (2005) : *Partition Coefficients for Metals in Surface Water, Soil, and Waste*. USEPA: Washington
- [3] Aswinda, Yashinta. (2011) : Geologi, Mineralisasi, dan Perhitungan Vein Timur Tengah Ciurug, Daerah Ciurug dan Sekitarnya, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. UPN-Veteran Yogyakarta
- [4] Bear, Jacob., Cheng, Alexander -H D. (2010) : *Modeling Groundwater Flow and Contamination Transport*. Springer Science. New York
- [5] Bedient, Philip B., Rifai, Hanadi S., Newell, Charles J. (1999) : *Ground Water Contamination: Transport And Remediation : 2<sup>nd</sup> Edition*. Prentice Hall PTR: Upper Saddle River, USA
- [6] Coles. Cyntia A. (2006) : *Mercury Cyanide Contamination Of Groundwater From Gold Mining And Prospects For Removal*, Memorial University of Newfoundland, St John's, Newfoundland and Labrador, Canada
- [7] Dzombak, David A., Ghosh, Rajat S., Wong-Chong, M. (2006) : *Cyanide in Water and Soil. Chemistry, Risk and Management*. CRC Taylor & Francis. New York
- [8] Evangelides, Chris., Arampatzis, George., Tzimopoulos, Christos. (2010) : Estimation of Soil Moisture Profile and Diffusivity Using Simple Laboratory Procedures. *Soil Science* 2010:175 : 118 - 127. National Agricultural Research Foundation, Land Reclamation Institute, Sindos. Greece
- [9] Gagnon. I, Zagury. G.J, Deschenes. L. (2004) : *Natural Attenuation Pootential of Cyanide in Groundwater Near a SPL Landfill*. Department of Chemical Engineering, Montreal, Quebec: Canada
- [10] Ghosh, R S., Meeussen, Johannes., Dzombak, A David., Nakles, V David. (2004) : *Fate and Transport of Anthropogenic Cyanide in Soil and Groundwater*. *Environmental Eng. Science* pp 191-208
- [11] Grice, T. (1998) : *Underground Mining with Backfill*. The Second Annual Summit - Mine Tailings Disposal Systems, Brisbane
- [12] Herman, D.Z. (2006) : *Tinjauan Terhadap Tailing Mengandung Unsur Pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dari Sisa Pengolahan Bijih Logam.*, *Jurnal Geologi Indonesia.*, Vol. 1 No. 1 Maret 2006., Page 31-36
- [13] Kamil, I.M. (2012) : *Diktat Kuliah Pencemaran Tanah dan Air tanah*. Progam Magister Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung
- [14] Notodarmojo, Suprihanto. (2005) : *Pencemaran Tanah dan Air tanah*. Penerbit ITB. Bandung.
- [15] Nimmo, J. R. (2009) : *Vadose Water*. *Encyclopedia of Inland Water*. Volume 1, Pp 766-777. Oxford: Elsevier.
- [16] Nsimba. Elysee Bakatula. (2009) : *Cyanide And Cyanide Complexes In The Gold Mine Polluted Land In The East And Central Rand Goldfields,*

- South Africa. University of the Witwatersrand, Johannesburg.
- [17] Pinder, George. F., Celia, Michael. Gray, William G. (1981) : *Velocity Calculation from Randomly Located Hydraulic Heads*. Journal of Groundwater vol. 19 p 262-264
- [18] 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
- [19] Sartaj, Majid., Asghari, Keyvan., Mohajeri, Arash. (2004) : *Laboratory Investigation of Migration of Cyanide Discharged by Steel Industries into Groundwater*. Civil Eng. Dept. Isfahan University of Technology.
- [20] Shih, T., Y, Rong. (2001) : *Manual for Domenico NonSteady State Spreadsheet Analytical Model*. [http://www.waterboards.ca.gov/rwqcb4/water\\_issues/programs/ust/publications](http://www.waterboards.ca.gov/rwqcb4/water_issues/programs/ust/publications). Diakses pada 28 Februari 2014
- [21] Sitarenios, Panagiotis., Bardanis, Michael., Kavvadas, Michael. (2012) : *Evaluation of Various Soil-Water Characteristic Curve Model for Soil From Greece*. Proceedings of the Second European Conference on Unsaturated Soils, Volume 2. E-UNSAT 2012
- [22] Soemirat. Juli. (2011) : *Kesehatan Lingkungan Edisi Revisi*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- [23] Troldborg, Mads., Binning, Philip J., Nielsen, Signe., Kjeldsen, Peter., Christensen, Anders G. (2009) : *Unsaturated Zone Leaching Models For Assessing Risk To Groundwater Of Contaminated Sites*. Journal of contaminant Hydrology vol 105. Pg. 28-37 : Elsevier
- [24] Troldborg, Mads. (2010) : *Risk Assessment Models and Uncertainty Estimation of Grounwater Contaminant from Point Sources*. Technical University of Denmark
- [25] Tong, W., Y. Rong. (2013) : *Dominico Spreadsheet Analytical Manual*. California Regional Water Quality Control Board: Los Angles
- [26] Zagury, G J., Oudjehani, K. and Deschenes, L. (2004) : *Characterization and Availability of Cyanide in Solid Mine Tailing from Gold Extzaraction Plants*. Science of the Total Environment 320, page 211-224.
- [27] Y. Arbi, R. leonardo Siregar, and Tri Padmi Damanhuri, "KAJIAN PENCEMARAN AIR TANAH OLEH LINDI DI SEKITAR AIR DINGIN KOTA PADANG," Sains dan Teknol. J. Keilmuan dan Apl. Teknol. Ind., vol. 18, no. 1, pp. 46–52, 2018.
- [28] Y. Arbi and E. R. Aidha, "SIMULATION OF MERCURY TRANSPORT FROM GOLD MINING ACTIVITIES IN PELAWAN RIVER , SAROLANGUN," in 4th International Conference on Technical and Vocation Education and Training, 2017, vol. 4, pp. 567–571.