

**PENYEBARAN AIR TANAH BEBAS TERCEMAR AIR LINDI  
DI SEKITAR TPA PIYUNGAN KABUPATEN BANTUL,  
DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA**

*Spreading of Groundwater Contaminated by Leached in The Surrounding Area  
of Piyungan Landfill Bantul District, Yogyakarta Province*

Oleh:

**J. Sartohadi, M. Widyastuti, I. Sri Lestari.**

Jurusan Geografi Fisik, Fakultas Geografi  
Universitas Gadjah Mada, Bulak Sumur, Yogyakarta  
Telp. (0274) 98337, 902337

**ABSTRACT**

*The objectives of this research are: (1) to study the characteristics of aquifer, distribution and chemical types of groundwater in the research area; (2) to measure the concentration of major elements ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) and minor elements ( $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) as indicators of leached contamination in the groundwater; and (3) to establish the spreading of contaminated groundwater by leached.*

*The grid sampling method was applied in this research. The grid dimension is 1 cm  $\times$  1 cm measured in the 1 : 25000 scale of Indonesian Topographic Map. The groundwater samples were taken randomly within the grid. Not the whole study area covered by the map was grided but only the surrounding area of Piyungan Landfill and the area lower than Piyungan landfill were grided. The groundwater samples were taken during the rainy season because during the rainy season there were more leached produced from Piyungan Landfill. The groundwater samples were examined their physical and chemical qualities using the legal standard quality in Yogyakarta Province. Spatial analysis using maps and graphics were applied to examine the spreading of contaminated groundwater by leached.*

*The spreading of unconfined groundwater in the study area was not equally distributed but it seems to be controlled by the landforms. There were an increasing elements content of  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{HCO}_3^-$ , as well as dissolved oxygen,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{S}^{2-}$  in the groundwater contaminated by leached. The zonation of the spreading of groundwater contaminated by leached was categorized into three class, i.e., central (location of landfill, well number 10), transitional (well number: 11, 12, 13, 15), and primary (well number: 8, 14, 16, 17, 25, 26) zones. The zonation of groundwater matched with the analysis of groundwater quality by the distance from the Piyungan Landfill.*

*Keywords: landfill, groundwater quality, leached*

**PENDAHULUAN**

**Latar Belakang Masalah**

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Piyungan merupakan tempat pembuangan akhir sampah Kota Yogyakarta, Kota Sleman dan Kota Bantul. TPA Piyungan dioperasikan setelah beberapa TPA di Yogyakarta, seperti TPA Jatimulyo, TPA Tambakboyo, dan TPA Pajangan tidak

difungsikan lagi. Proses dekomposisi yang terjadi pada timbunan sampah menghasilkan air lindi/air sampah yang didefinisikan sebagai cairan yang meresap dalam limbah padat dan mengandung bahan-bahan terlarut dan tersuspensi (Tchobanoglous, et al, 1993). Jumlah air lindi dari sampah dapat bertambah jika mendapat imbuhan air dari air permukaan, air hujan dan atau sumber air lainnya.

Kadar air lindi biasanya sangat tinggi yaitu 99,9% atau lebih. Air sampah yang baru sedikit keruh namun kemudian menjadi semakin kelim dan hitam, selain itu mengeluarkan bau busuk yang bersumber dari hidrogen sulfida dan gas-gas lain (Mahida, 1993). Selain hidrogen sulfida air lindi juga mengandung zat padat halus seperti kalsium, magnesium, natrium, kalium, klorida, sulfat, fosfat dan seng. Unsur kimia ini mudah bereaksi di dalam air, dan sebagai sumber utama pencemaran air sumur (Slamet, 2000).

Rahardjo, dkk. (1977) dan Sartohadi (2001), menyatakan bahwa daerah TPA Piyungan termasuk dalam Formasi Semilir (Tmse). Litologi dari formasi ini berupa perselingan antara batu lempung tufan, batu pasir dan batu lempung tipis yang berselang-seling, breksi-tuf, breksi batu apung, tuf dasit dan tuf andesit. Batu breksi di daerah ini menempati lapisan yang paling bawah dari keseluruhan lapisan batuan yang ada. Batu pasir yang berselang-seling dengan batu lempung telah lapuk pada bagian permukaannya hingga pada kedalaman maksimum 8 meter sebagai akibat dari pengaruh iklim. Proses pelapukan telah menyebabkan bagian permukaan dari batuan anggota Formasi Semilir banyak mengandung retakan sehingga tidak lagi bersifat kedap air.

### Tujuan Penelitian

Permasalahan yang ada di TPA Piyungan adalah adanya gejala pencemaran air lindi pada air tanah yang digunakan sebagai air domestik oleh penduduk. Untuk itu maka tujuan penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

(1) mengakji karakteristik akuifer, pola persebaran dan tipe kimia air tanah

bebas di daerah penelitian

- (2) mengukur konsentrasi unsur mayor ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) dan unsur minor ( $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) yang merupakan indikator adanya air lindi di dalam airtanah; dan
- (3) membuat zonasi persebaran airtanah bebas yang tercemar air lindi.

### Metode Penelitian

Alat yang digunakan di lapangan meliputi: botol tempat sampel air, EC meter digunakan untuk mengukur DHL dan suhu air di lapangan, pH meter dan Eh meter, meteran, kompas, yallon, abney level, AWLR untuk mengukur perubahan tinggi muka air selama uji pemompaan (*pumping test*), label botol sampel air tanah, dan buku catatan lapangan dan alat tulis. Alat-alat yang digunakan di laboratorium adalah sebagai berikut: tabung reaksi, erlenmeyer, dan alat-alat laboratorium lain yang digunakan dalam uji sampel air; bahan-bahan kimia sebagai reagen dalam pengujian sampel air di laboratorium; sampel air lindi dan airtanah di sekitar TPA Piyungan. Semua data yang dikumpulkan dari lapangan kemudian digambarkan ke dalam peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) berskala 1:25.000.

Data-data yang digunakan di dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: kedalaman muka airtanah, konduktivitas hidrolis akuifer, kualitas air air lindi dan airtanah meliputi sifat fisika (temperatur, warna dan bau) dan sifat kimia (pH, DHL, bikarbonat, kalsium, amonia, sulfur, natrium, magnesium, klorida), curah hujan dan suhu udara, jenis, struktur, dan kondisi pelapukan batuan

Pengukuran di lapangan dilakukan menurut grid dengan ukuran 1 cm x 1 cm

pada peta RBI skala 1 : 25.000. Tidak semua daerah yang tercakup pada peta penelitian dibuat grid, namun hanya wilayah di sekitar TPA dan tempat yang lebih rendah dari TPA saja yang dibuat grid. Pada setiap grid dilakukan pengukuran kedalaman air sumur dan di ambil contoh air tanahnya. Pengambilan sampel dilakukan pada musim penghujan, dengan pertimbangan jumlah lindi yang dihasilkan relatif besar sehingga penyebarannya di dalam air tanah dapat diketahui.

Sampel kontrol air tanah diambil dari sumur yang terletak di sebelah barat TPA. Sumur tempat pengambilan air tanah kontrol terletak pada elevasi yang lebih tinggi dari TPA dan terdapat pada Formasi Semilir sehingga diperkirakan tidak tercemar air lindi. Sampel kontrol untuk air lindi diambil pada bak penampung air lindi.

Pemetaan airtanah didasarkan pada hasil pengukuran kedalaman airtanah yang dilakukan pada sumur gali di lokasi penelitian. Sumur yang diukur digambarkan posisinya pada peta RBI sesuai dengan koordinatnya, dengan bantuan alat GPS. Data tinggi muka air tanah dari permukaan air laut dihitung berdasarkan hasil pengukuran tinggi tempat pada peta RBI dikurangi dengan hasil pengukuran kedalaman sumur. Dari titik-titik pengukuran kedalaman air tanah, kemudian dibuat kontur air tanah dan ditentukan arah aliran air tanahnya.

Nilai konduktivitas hidrolis akuifer daerah penelitian ditentukan melalui uji pemompaan air tanah pada sumur. Metode yang digunakan dalam uji pemompaan adalah *Shallow Dug Well Recovery Test (Slug Test)*. *Slug test* adalah pumping test analisis menggunakan data *residual drawdown* untuk

menentukan konduktivitas hidrolis akuifer Rumus yang diterapkan untuk *Slug test* adalah rumus dari Bouwer-Rice's sebagai berikut:

$$K = \frac{rc^2 \ln(Re/rw) \times (1/t) \ln(So/St)}{2l} \dots\dots(1)$$

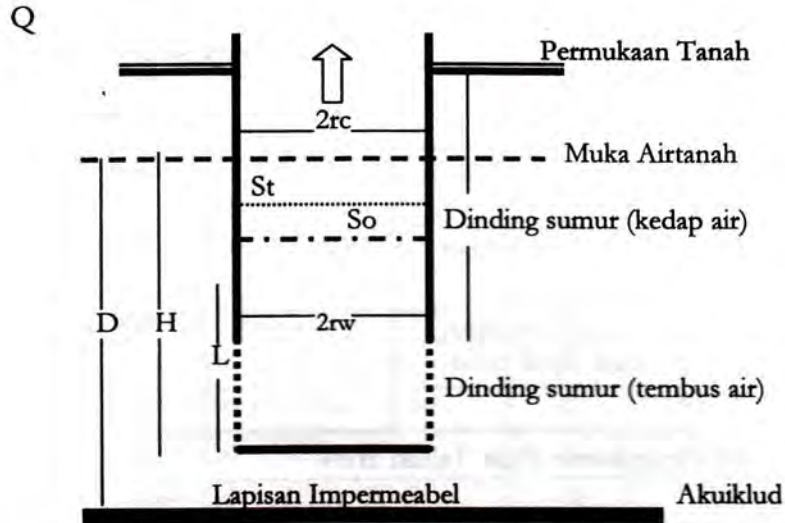
$$\ln(Re/rw) = \frac{1,1}{n(b/rw)} + \frac{[A+B \ln((D-b)/rw)]}{d/rw} \dots(2)$$

(Kruseman&Ridder, 1970)

dimana:

- K = permeabilitas/konduktivitas akuifer (m/hari).
- t = waktu setelah pemompaan ditentukan (hari).
- b = kedalaman sumur diukur dari dasar sumur sampai muka airtanah
- d = ketinggian dinding sumur porous, diukur dari dasar sumur (meter)
- rc = jari-jari sumur pada bagian kedap air (meter).
- rw = jari-jari sumur pada dinding yang porous (meter).
- So = jarak vertikal antara muka freatik pada kondisi sebelum dipompa dan muka freatik setelah pemompaan (meter).
- St = jarak vertikal antara muka freatik pada kondisi sebelum dipompa dengan muka freatik pada waktu t (detik) setelah pemompaan dihentikan (meter).
- D = ketebalan zona jenuh dari muka airtanah sampai bagian kedap air (meter)

Data kualitas air diklasifikasikan menurut metode Szczukariew-Priklonski (Alekin, 1970 dalam Adji, 2001). Klasifikasi ini didasarkan pada kandungan kation ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ , dan  $Mg^{2+}$ ) dan anion ( $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ) yang ada dalam air tanah. Nilai dari masing-masing anion dan kation tersebut ditunjukkan



Gambar 1: Penampang Slug Test (Kruseman & Ridder, 1970)

dalam persen total miliequivalen per liter (Jankowski, 2001). Jika nilai suatu ion melebihi 20% dari total anion dan kation keseluruhan, maka ion tersebut digunakan sebagai penunjuk tipe kimia air.

Analisis secara grafis juga diterapkan untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi air lindi terhadap jarak dari TPA. Unsur yang digunakan sebagai penanda adalah semua unsur mayor dan unsur minor ( $S^{2-}$ ,  $NH_4^+$ ). Penentuan batas pengaruh air lindi terhadap air tanah yang terukur di lapangan, dengan memperhatikan Baku Mutu Air yang ada. Batas persebaran air lindi kemudian digambarkan ke dalam peta RBI untuk dapat dianalisis secara deskriptif spasial.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Akuifer dan Tipe Kimia Air

Sumur-sumur di daerah penelitian tersebar pada berbagai bentuklahan mulai dari Teras Sungai Opak, Dataran Aluvial, Dataran Kaki Perbukitan Formasi Semilir,

dan Perbukitan Formasi Semilir. Sebagian besar sumur terletak pada bentuklahan Teras Sungai Opak dan Dataran Aluvial dengan kedalaman berkisar dari 0,4 m hingga 8 m dari permukaan tanah. Sumur-sumur pada wilayah bentuklahan Dataran Kaki Perbukitan Formasi Semilir dan Perbukitan Formasi Semilir mempunyai kedalaman berkisar dari 2 m hingga 10 m dari permukaan tanah. Sumur-sumur yang terdapat pada bentuklahan asal fluvial mempunyai fluktuasi muka air tanah yang relatif kecil dibandingkan dengan sumur yang berada pada bentuklahan Dataran Kaki Perbukitan Formasi Semilir dan Perbukitan Formasi Semilir.

Besar kecilnya fluktuasi muka air tanah ini kemungkinan dipengaruhi oleh material akuifer dan aliran air tanah. Analisis secara kualitatif berdasarkan pengamatan lapangan menunjukkan kemungkinan air tanah mengalir ke arah bentuklahan Dataran Aluvial dan Teras Sungai Opak. Kemungkinan lain yang menyebabkan kecilnya fluktuasi muka air

Tabel 1. Hasil Pengujian Slug Test

Nomor Sumur	Satuan Litologi	Konduktivitas Hidrolik Akifer (K)		
		m/detik	m/hari	Kelas (Todd, 1980)
10	Batu pasir-batu lempung Tufan	$3,03 \times 10^{-5}$	2,52	Rendah-Sedang
15	Endapan pasir lempungan aluvial	$8,25 \times 10^{-4}$	71,30	Cepat
17	Endapan pasir lempungan fluvial sungai Opak (teras sungai)	$2,19 \times 10^{-3}$	189,51	Cepat

Sumber: Hasil Pengukuran Pada Tahun 2004

tanah pada bentuklahan asal fluvial adalah adanya pasokan air dari Sungai Opak (merupakan sungai influent) ke dalam akuifer air tanah di sekitarnya.

Hasil uji pemompaan pada beberapa sumur yang ada di lokasi penelitian menunjukkan perbedaan yang nyata antara sumur-sumur pada bentuklahan Dataran Aluvial (sumur nomor 15), Teras Sungai Opak (sumur nomor 17), dan Dataran Kaki Perbukitan Formasi Semilir (sumur nomor 10). Tabel 1 menyajikan hasil uji pemompaan pada sumur-sumur pengamatan. Pengukuran nilai K untuk selanjutnya dijadikan dasar untuk penghitungan debit akuifer seperti tersaji pada Tabel 2.

Klasifikasi Szcukariew-Prikloński atas air tanah di daerah penelitian disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3. Distribusi Tipe Kimia Airtanah di atas tampak bahwa air lindi di TPA Piyungan memiliki tipe kimia  $K^+ - Mg^{2+} - HCO_3^- - Cl^-$ . Dengan demikian airtanah yang terkontaminasi ditandai dengan adanya ion  $K^+ - Mg^{2+} - HCO_3^- - Cl^-$  dan besarnya melebihi ambang batas normal (Baku Mutu Air) serta memiliki nilai Eh rendah dan nilai EC tinggi. Dari keempat ion penciri tipe kimia air lindi tersebut, ion  $Cl^-$  merupakan ion yang paling berbahaya dan paling tahan terhadap proses pengenceran (Slamet, 2000). Ion  $Cl^-$  tidak dapat bereaksi dengan masukan fisik, kimia dan biologi serta tidak

Tabel 2. Debit Pada Masing-Masing Satuan Litologi di Daerah Penelitian

Satuan Litologi	K (m/hari)	Gradien Piezometris (I)	Luas ( $m^2$ )	Debit ( $m^3/hari$ )	Debit ( $m^3/detik$ )
Batu pasir-batu lempung tufan	2,52	0,02	1200	1330,56	0.015
Endapan pasir lempungan aluvial	71,30	0,04	1100	77802,56	0.900
Endapan pasir lempungan fluvial sungai Opak	189,51	0,06	1000	110294,24	1.277

Sumber: Hasil Pengukuran Pada Tahun 2004

Tabel 3. Distribusi Tipe Kimia Airtanah di Daerah Sekitar TPA Piyungan

Sampel	Jarak (m)	Tipe Kimia	Eh (mVolt)	EC ( $\mu\text{mhos/cm}$ )	pH
Air Lindi	50	$\text{K}^+ - \text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^-$	-127	9700	9,45
Sumur 10	50	$\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$	-50	1300	8,07
Sumur 11	300	$\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$	-24	1300	7,6
Sumur 12	400	$\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$	-44	316	7,86
Sumur 13	1000	$\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$	-58	400	8,17
Sumur 14	1200	$\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$	-40	530	7,78
Sumur 15	1300	$\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$	-33	940	7,77
Sumur 16	1400	$\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$	-42	1800	7,98
Sumur 17	1500	$\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$	-32	465	7,75
Sumur 25	150	$\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$	-10	250	7.37
Sumur 26	100	$\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$	-13	421	7.02
Sungai A	950	$\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$	-88	930	7,88
Sungai B	1400	$\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}$	-71	710	8,49
Sumur 8	300	$\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}$	-63	780	8,33

Sumber: Hasil Pengukuran Pada Tahun 2004

dapat diserap oleh material akuifer. Oleh karena itu ion  $\text{Cl}^-$  dapat menunjukkan penyebaran yang maksimal dari *plume* air lindi. Selain menggunakan  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{S}^{2-}$  sebagai indikator keberadaan air lindi, ion  $\text{Cl}^-$  juga dapat digunakan untuk mengetahui persebaran air lindi itu sendiri.

Sumur 10 adalah sumur yang lokasinya terdekat dengan sumber air lindi dan memiliki kandungan ion  $\text{K}^+ - \text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^-$ . Tipe kimia air tanah pada sumur 10 adalah  $\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$ . Ion  $\text{Cl}^-$  dalam sumur 10 diperkirakan karena adanya masukan air lindi ke dalam sumur 10. Keberadaan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dimungkinkan berasal dari proses disolusi mineral kalsium karbonat yang terkandung pada batuan anggota Formasi Semilir. Kadar ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  telah melebihi ambang batas baku mutu air tanah, sehingga diperkirakan

telah terjadi penambahan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dari air lindi.

Keberadaan ion  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , dan  $\text{HCO}_3^-$  pada sumur-sumur 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 dan 25 diperkirakan berasal dari disolusi mineral pada batuan penyusun akuifer. Oleh karena kandungan magnesium, kalsium dan bikarbonat pada sumur-sumur tersebut tidak melebihi ambang batas, maka diperkirakan kandungan ketiga unsur tersebut masih merupakan gambaran asli dari kandungan unsur tersebut dalam airtanah.

Tipe kimia dari air sumur 11, 12, 13, 14, 16 adalah  $\text{Mg}^{2+} - \text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ . Kandungan unsur klorida ( $\text{Cl}^-$ ) pada sumur 11, 12, 13, 14, dan 16 dimungkinkan karena pengaruh air lindi, meskipun konsentrasinya telah jauh berkurang dan

pengaruh yang ditimbulkan tidak begitu besar. Sumur-sumur itu terletak dekat dengan saluran alami (sungai A) yang penuh dengan air lindi dan berada pada dataran aluvial yang materialnya porous, sehingga ada kemungkinan air lindi mencapai daerah tersebut.

Tipe kimia air sumur 15, 17 dan 25 adalah  $Mg^{2+}-Ca^{2+}-HCO_3^{-}-SO_4^{2-}$ . Sumur 15, 17 dan 25 memiliki tipe kimia yang sedikit berbeda dengan sumur 11, 12, 13, dan 14 yaitu  $Mg^{2+}-Ca^{2+}-HCO_3^{-}-SO_4^{2-}$ . Pada sumur 15, 17 dan 25 unsur klorida tidak ada dalam tipe kimia airnya. Diperkirakan terdapatnya unsur magnesium dan bikarbonat berasal dari mineral batuan yang ada di daerah ini. Keberadaan unsur sulfat dapat berasal dimungkinkan berasal dari limbah rumah tangga, karena lokasi sumur 15 dan 17 paling dekat dengan pemukiman.

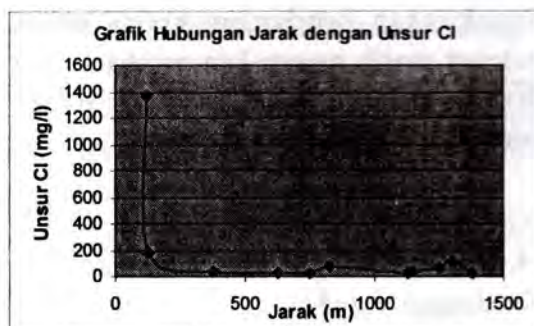
Dari dua sampel sungai (saluran alami) yang diambil menunjukkan adanya perbedaan tipe kimia yaitu  $Mg^{2+}-Ca^{2+}-HCO_3^{-}-Cl^{-}-SO_4^{2-}$  (sungai A) dan  $Mg^{2+}-Ca^{2+}-SO_4^{2-}$  (sungai B). Asal air sungai A sebagian besar berasal dari air lindi. Hal ini dibuktikan dari warna air sungai A yang coklat kehitaman dan bau yang menyengat seperti pada air lindi. Sementara air pada

sungai B sebagian besar berasal dari air irigasi, sehingga warna dari air sungai B ini tidak lagi coklat kehitaman dan berbau menyengat seperti air lindi.

### Hubungan Jarak terhadap Unsur-Unsur

Kandungan unsur Klorida pada air sumur uji menurun dengan semakin jauhnya jarak dari sumber pencemar (Gambar 2). Sumur nomor 10 mempunyai kandungan Klorida yang paling tinggi dan kemudian menurun drastis pada sumur nomor 11 dengan jarak kurang lebih 300 m dari sumber air lindi. Hal ini menunjukkan bahwa unsur Klorida yang berada di dalam air sumur memang berasal dari air lindi dan bukan dari disolusi mineral pada batuan anggota Formasi Semilir. Gejala yang sama terjadi pada kandungan unsur Magnesium pada air tanah. Semakin jauh jarak sumur dari sumber air lindi kandungan Magnesium cenderung menurun. Tingginya kandungan unsur Magnesium pada beberapa sumur diperkirakan berasal dari disolusi mineral dolomit yang merupakan material semen pada batu pasir tufan anggota Formasi Semilir (Widianto, 1994).

Penurunan kadar unsur-unsur lain yang diuji dalam penelitian ini tidak menunjukkan hasil yang meyakinkan untuk



Gambar 2a. Hubungan Kadar Klorida dan Jarak dari Sumber Air Lindi



Gambar 2b. Hubungan Kadar Magnesium dan Jarak dari Sumber Air Lindi

menggambarkan pengaruh air lindi terhadap air tanah di sekitar TPA Piyungan. Beberapa hal yang mungkin menyebabkan ketidak teraturan penurunan kadar unsur-unsur yang diteliti terhadap jarak dari sumber air lindi adalah: pengaruh kegiatan penduduk di wilayah permukiman dan di wilayah persawahan. Kemungkinan lain penyebab tidak teraturnya penurunan unsur yang diteliti terhadap jarak adalah hal-hal yang berkaitan dengan penanganan contoh air tanah mulai dari pengambilan, transportasi ke laboratorium, dan proses analisa air di laboratorium.

#### Kualitas Air di Daerah Penelitian

Hasil pengamatan terhadap sifat fisik seperti suhu, DHL, dan pH pada airtanah bebas, air lindi dan air permukaan disajikan dalam Tabel 4. Berdasarkan pengamatan lapangan sifat fisik dari air lindi sangat mudah dikenali, di antaranya warna air lindi yang hitam pekat, dan akan

berwarna lebih coklat jika sedikit bercampur dengan air sumur atau air irigasi. Bau dari air lindi menyengat, terlebih lagi air lindi yang telah lama terbentuk. Selain dari segi warna dan bau, air lindi umumnya memiliki suhu yang lebih tinggi, sebagai efek samping dari proses dekomposisi pada air lindi. Sementara itu air tanah bebas dan air permukaan/air sungai memiliki suhu lebih rendah. Air lindi terbentuk karena proses dekomposisi sampah, oleh karena itu air lindi mengandung bahan-bahan terlarut yang ditandai dengan tingginya nilai TDS (*Total Dissolved Solid*) dan DHL. Nilai TDS pada air lindi TPA Piyungan bahkan mencapai 4341 mg/l, sedang nilai DHL sebesar 9700 mmhos/cm.

Secara fisik kondisi air sumur 10 cenderung lebih buruk dibandingkan air sumur yang lain. Dilihat dari nilai DHL-nya ketiga sumur ini memiliki DHL yang cukup tinggi hingga mencapai 1300 mmhos/cm. Hal ini berarti bahwa air tanah pada sumur ini

Tabel 4. Sifat Fisik Airtanah, Air Sungai dan Air Permukaan di Daerah Penelitian

Sampel	Suhu (°C)	pH	DHL (µmhos/cm)	TDS (mg/l)	Eh (mV)
Air Lindi	30.2	9.45	9700	4341	-127
Sumur 10	29.1	8.07	1300	506.8	-50
Sumur 11	28.4	7.60	1300	336	-24
Sumur 12	27.2	7.86	136	145.3	-44
Sumur 13	28.1	8.17	400	172.3	-58
Sumur 14	27.7	7.78	530	253.9	-40
Sumur 15	28.4	7.70	940	400.4	-33
Sumur 16	28.9	7.98	1800	654.6	-42
Sumur 17	29.2	7.75	465	265.6	-32
Sumur 25	27.2	7.37	250	278.8	-10
Sumur 26	28.2	7.02	421	454	-13
Sungai A	29.6	7.88	930	705.5	-88
Sungai B	29.4	7.75	710	615.4	-71
Sumur Kontrol	29.6	8.33	780	604.2	-63

Sumber: Hasil Pengukuran Pada Tahun 2004



banyak mengandung ion-ion terlarut. Kondisi seperti sangat dimungkinkan terjadi, sebab sumur 10 posisinya berada pada tapak TPA dan dekat dengan bak pengolah air lindi TPA. Kemungkinan telah terjadi peresapan air lindi ke dalam air tanah sehingga mengakibatkan kandungan ion dalam sumur 10 meningkat.

Kualitas air lindi dari TPA Piyungan dapat diketahui dengan membandingkan hasil uji laboratorium dengan Baku Mutu Air Limbah menurut Keputusan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta nomor 214/KPTS/1991 dan disajikan pada Tabel 5. Pada Tabel 5 tampak jelas bahwa kualitas air lindi TPA Piyungan yang mencakup: pH, TDS, klorida, sulfida dan nitrat telah jauh melampaui ambang batas yang telah ditetapkan. Menurut Baku Mutu Air

Limbah golongan I hingga III, nilai TDS terbesar yang diperbolehkan adalah 4000 mg/l, sementara nilai TDS dari air lindi mencapai 4341 mg/l. Begitu pula untuk sulfida dan nitrat, nilainya jauh di atas ambang batas yang diperbolehkan. Bahkan untuk unsur klorida nilainya jauh di atas Baku Mutu Air Limbah golongan IV yaitu sebesar 1370 mg/l.

Pada saluran alami sampel diambil pada dua titik yaitu pada bagian hulu (sampel sungai A) dan pada bagian hilir (sampel sungai B). Sampel sungai A didominasi oleh air lindi, sehingga warna sampel kecoklatan, sementara sampel sungai B karena telah banyak bercampur dengan saluran irigasi dan limbah rumah tangga, warnanya lebih terang dan tidak berwarna kecoklatan lagi. Tabel 6 menyaji-

Tabel 5. Hasil Analisis Data Kualitas Air Lindi terhadap Baku Mutu Air Limbah di Daerah Penelitian

No	Parameter	Satuan	Air Lindi	Baku Mutu Air Limbah*			
				I	II	III	IV
1.	pH	-	9.45	6-9	6-9	6-9	6-9
2.	TDS	Mg/l	4341	1500	2000	4000	5000
3	DHL	$\mu\text{mhos/cm}$	9700	-	-	-	-
4	Kalsium	Mg/l	122	-	-	-	-
5	Magnesium	Mg/l	569	-	-	-	-
6	Natrium	Mg/l	227	-	-	-	-
7	Kalium	Mg/l	660	-	-	-	-
8	Klorida	Mg/l	1370	600	800	1000	1200
9	Sulfat	Mg/l	71	-	-	-	-
10	Bikarbonat	Mg/l	1320	-	-	-	-
11	DO	Mg/l	1.3	-	-	-	-
12	Sulfida	Mg/l	0.21	0.01	0.05	0.1	1
13	Amoniak	Mg/l	55	-	-	-	-
14	Nitrat	Mg/l	2	10	20	30	50

Sumber: Hasil Pengukuran Pada Tahun 2004

\* Baku Mutu Air Limbah menurut Keputusan Gubernur Kepala DIY no. 214/KPTS/1991

kan data kualitas dari saluran alami atau sampel sungai A dan sampel sungai. Secara umum kualitas air sungai di daerah penelitian menurut Baku Mutu air Golongan B telah melampaui ambang batas yang telah ditentukan. Terutama untuk kualitas air sungai A hampir seluruh parameter yang ada pada sungai A telah melampaui batas maksimum yang dianjurkan, begitu pula untuk sampel sungai B. Meskipun masih dalam batas maksimum yang diperbolehkan, namun pada kenyataannya air sungai tersebut tidak dapat dipergunakan untuk bahan baku air minum.

#### Zonasi Persebaran Air Lindi

Zonasi persebaran air lindi perlu dilakukan karena untuk mengetahui sejauh

mana daerah di sekitar TPA yang terpengaruh air lindi. Zonasi dibuat berdasarkan klasifikasi atas parameter-parameter kualitas air tanah yang digunakan seperti yang disajikan pada Tabel 7. Hasil klasifikasi tersebut kemudian dibandingkan dengan Baku Mutu Air minum dan grafik hubungan unsur-unsur terhadap jarak.

Hasil perbandingan antara pembagian zone dengan grafik kualitas air menurut jarak dengan TPA menunjukkan kesamaan. Masing-masing grafik yang terbentuk memiliki trend yang hampir sama. Zone pusat ditunjukkan dengan grafik yang turun hingga jarak kurang lebih 150 meter (dimulai dari tempat penimbunan hingga daerah sekitar sumur 10). Zone transisi

Tabel 6. Hasil Analisis Data Kualitas Air Sungai di Daerah Penelitian terhadap Baku Mutu Air Golongan B

No	Parameter	Satuan	Sampel Sungai		Baku Mutu Air Gol B*	
			A	B	MA	MB
1	Suhu	°C	29.6	30.8	Normal	Normal
2	DHL	µmhos/cm	930	710	-	-
3	TDS	mg/l	705.5	615.4	500	1000
4	PH		7.9	8.5	5-9	5-9
5	Kalsium	mg/l	40.4	36.9	-	-
6	Magnesium	mg/l	28.9	25.7	-	-
7	Natrium	mg/l	27.5	11.7	-	-
8	Kalium	mg/l	36.7	11.1	-	-
9	Klorida	mg/l	83.8	65.8	25	500
10	Sulfat	mg/l	214	402	50	300
11	Bikarbonat	mg/l	273	60.6		-
12	DO	mg/l	4.9	5.2	>6	-
13	Sulfida	mg/l	0.007	0.005	Nihil	0.05
14	Amoniak	mg/l	5	0	0.01	0.5
15	Nitrat	mg/l	1.2	1.6	Nihil	10

Sumber: Hasil Pengukuran Pada Tahun 2004

\* Baku Mutu Air Golongan B menurut Keputusan Gubernur Kepala DIY no. 214/KPTS/1991

MA : nilai maksimum yang dianjurkan

MB : nilai maksimum yang diperbolehkan

ditandai dengan grafik yang relatif lebih rendah/datar dari grafik zone pusat (pada jarak 200 meter hingga 1300 meter, daerah sumur 11 hingga 15). Zone asli ditandai dengan grafik yang sedikit naik, yaitu mulai jarak 1400 hingga 1500 meter (sekitar sumur 16 dan 17). Secara umum sumur tercemar ditandai dengan kandungan unsur-unsur yang tinggi, sedangkan sumur yang belum tercemar ditandai dengan kandungan unsur-unsur yang relatif lebih rendah dan memiliki tipe kimia air yang berbeda.

Zone pusat di TPA Piyungan ditandai dengan tingginya nilai EC (>1033mS/cm) dan TDS (>241 mg/l), rendahnya nilai Eh (<-78 mV), dan memiliki tipe kimia yang didominasi oleh  $Mg^{2+}$ - $HCO_3^-$ -Cl. Pada zone ini unsur klorida, unsur yang mampu menunjukkan penyebaran yang maksimal dari *plume* air lindi memiliki kandungan yang

sangat tinggi dibandingkan dengan sumur-sumur pada zone transisi dan zone asli. Meskipun nilai EC, TDS, Eh dan kandungan klorida sesuai dengan konsep dasar. Namun ternyata unsur sulfida dan amoniak pada zone pusat ini justru sangat kecil bahkan hampir tidak ada. Kemungkinan kecilnya unsur sulfida dan amonium ini terjadi karena kedua unsur ini telah berubah menjadi unsur lain seperti sulfat dan nitrat. Mengingat kandungan unsur sulfat dan nitrat pada zone ini relatif tinggi. Wilayah zone pusat meliputi daerah tempat penimbunan sampah ke Utara hingga sumur 10.

Zone berikutnya adalah zone transisi, kandungan unsur-unsur baik mayor maupun minor pada zone ini lebih rendah daripada kandungan unsur-unsur tersebut pada zone pusat. Nilai EC pada zone ini

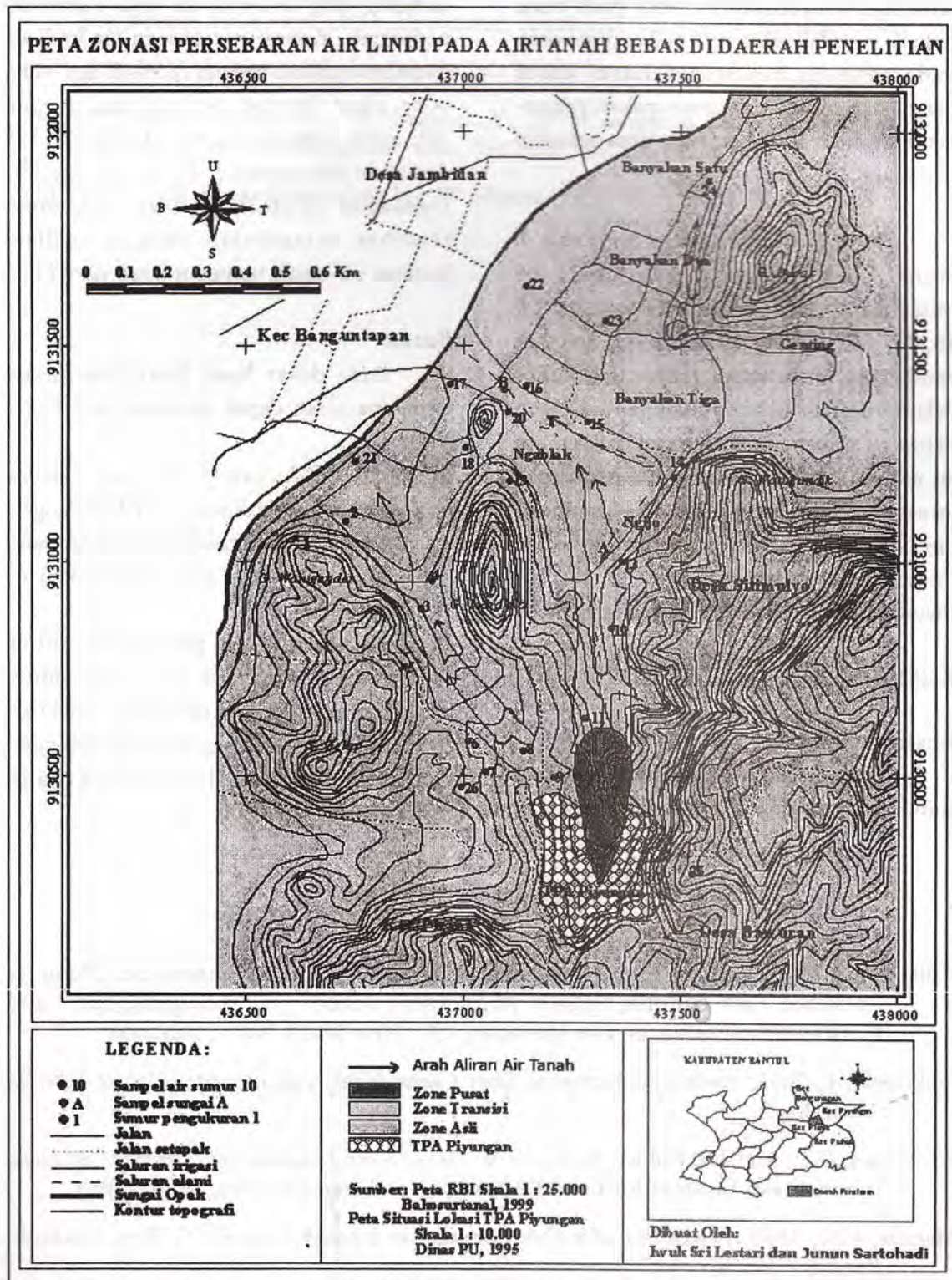
Tabel 7. Kriteria Masing-Masing Zone di Daerah Penelitian

Parameter	Batas Zone	Batas Zone	Batas Zone
Jarak dari TPA (m)	<150	150-1300	>1300
Klorida (mg/l)	>108,4	54,3-108,4	0-54,2
Magnesium (mg/l)	>44,86	22,44-44,86	0-22,43
TDS (mg/l)	>241	120,6-241	0-120,5
Sulfida (mg/l)	>0,0026	0,0014-0,0026	0-0,0013
Amonium (mg/l)	>1,67	0,84-1,67	0-0,83
Eh (mVolt)	<-78	-40-78	>-39
Bikarbonat (mg/l)	>108,73	54,37-108,73	0-54,36
Kalium (mg/l)	>52,07	26,04-52,07	0-26,03
DHL ( $\mu$ mhos/cm)	>1033	517-1033	0-516
Kalsium (mg/l)	>63,33	31,68-63,33	0-31,67
Nitrat (mg/l)	>7,6	3,9-7,6	0-3,8
Sulfat (mg/l)	>91,13	45,7-91,13	0-45,6
Natrium (mg/l)	>39,6	19,9-39,6	0-19,8
Suhu ( $^{\circ}$ C)	>29	27-29	Normal
PH	>8	7,7-8	7-7,6
DO (mg/l)	>0,53	0,28-0,53	0-0,27

Sumber: Hasil Pengukuran Pada Tahun 2004

berkisar antara 517-1033 mmhos/cm, nilai TDS-nya antara 120,6-241 mg/l, sedangkan nilai Eh pada zone ini semakin besar

dengan unsur kloridanya pun lambat laun semakin menurun, sedangkan kandungan unsur sulfida dan amoniumnya semakin



Gambar 3. Peta Zonasi Persebaran Air Lindi pada Airtanah Bebas di Daerah Penelitian

Zone transisi ini meliputi sumur 11, 12, 13, dan 15. Zone ini merupakan zone peralihan antara daerah/sumur yang paling tercemar dengan daerah/sumur yang belum tercemar. Penyebaran air lindi pada zone transisi ini tidak seintensif pada zone pusat. Pada zone ini kandungan unsur-unsur mayor dan minor yang merupakan penunjuk adanya air lindi semakin lama semakin menurun.

Zone yang merupakan zone asli di daerah penelitian adalah daerah di luar zone pusat dan transisi, meliputi sumur 8, 14, 16, 17, 25, dan 26. Pada daerah tersebut kandungan unsur-unsur mayor dan minor dalam airtanah bebas relatif rendah, jauh di bawah ambang batas normal (baku mutu air minum). Nilai TDS dan EC pada zone ini sebesar <120,5 mg/l dan <516 mmhos/cm. Zonasi persebaran airtanah bebas tercemar air lindi di daerah sekitar TPA Piyungan ditunjukkan pada Gambar 3.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Pola persebaran airtanah bebas atau sumur di daerah penelitian tidak merata ke

segala arah dan lebih bersifat terkontrol oleh bentuklahan. Terjadi peningkatan unsur  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  dan  $\text{HCO}_3^-$ , serta kadar *dissolved oxygen*,  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{S}^{2-}$  pada airtanah yang tercemar air lindi di daerah penelitian. Zonasi persebaran air lindi di daerah penelitian terbagi menjadi tiga yaitu zone pusat (tempat penimbunan, sumur 10); zone transisi (sumur 11, 12, 13, 15) dan zone asli (sumur 8, 14, 16, 17, 25, 26). Pembagian air tanah ke dalam zone-zone tersebut bersesuaian dengan analisis kualitas air tanah menurut jarak dari TPA.

### Saran

Atas dasar hasil penelitian maka beberapa saran dapat dirumuskan sebagai berikut:

- Perlu dilakukan perbaikan sistem pengolahan air lindi di TPA Piyungan sehingga air lindi tidak melebihi ambang batas baku mutu yang diterapkan di DIY.
- Perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan teknik yang tepat untuk reklamasi air tanah di daerah penelitian yang telah tercemar air lindi sehingga tidak melebihi baku mutu yang diterapkan di DIY.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T. N., 2002, Vertical Hydrogeochemical Trend Within the Contaminant Plume at Astrolabe Park Landfill, Sydney, *M.Sc. Thesis*, School Of Biological, Earth and Environmental Sciences The University Of New South Wales, Australia.
- Jankowski, J., 2001, Hydrogeochemistry, *Short Course Notes*, Groundwater Centre UNSW, Australia.
- Kruseman, G.P., and De Ridder, N.A., 1970, *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen.
- Mahida, UN., 1993, *Pencemaran Air Dan Pemanfaatan Limbah Industri*, PT Raja Grafindo Persada, Jakarta.

Rahardjo, W., dkk., 1977, *Peta Geologi Bersistem, Jawa: Lembar Yogyakarta*, Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan republik Indonesia.

Sartohadi, J., 2001, *Geomorphological Analysis for Soil Mapping Using Remote Sensing and Geographic Information Systems: A Case Study in Western Gunungkidul, Yogyakarta-Indonesia. Ph.D. Dissertation. Innsbruck University-Austria.*

Slamet, J.S., 2000, *Kesehatan Lingkungan*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Tchobanoglous, G., Theissen, H., Samuel, V., 1993, *Integrated Solid Waste Management Engineering Principles Management Issue*, McGraw Hill inc, New York.

Todd, D.K., 1980, *Groundwater Hydrologi*, 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley, New York.