

## PERAN BATUAN DASAR TPA DALAM MEREDUKSI PENYEBARAN AIR LINDIAN SAMPAH (*LEACHATE*) SECARA ALAMIAH DI DAERAH BEKAS TPA PASIR IMPUN

T. Yan W. M. Iskandarsyah

Laboratorium Geologi Lingkungan dan Hidrogeologi, Jurusan Geologi FMIPA Unpad

### ABSTRACT

*This research was conducted at Pasir Impun Landfill Site which had an unperfect sanitary landfill system, so that the groundwater contamination occurred in the surroundings area. In order to minimize the spreading of leachate as natural, basement rock properties of landfill site could be an important factor. Generally, the basement rock of Pasir Impun Landfill Site had a good geological characteristic, even though there was a poor value of hydraulic conductivity between  $10^{-4}$  -  $10^{-5}$  cm/sec ( $>10^{-7}$  cm/sec; minimum value for a good landfill site). The good basement rock properties of Pasir Impun Landfill Site were (i) the basement rock had a deep groundwater table, (ii) a highly clay content in the basement rock which caused a rising retardation factor. Percentage of clay mineral (kaolinite) in the basement rock of this landfill site could be 87,22 %, with the value of retardation factor was 2,63. On the other side, the poor value of dispersion at the Pasir Impun Landfill Site showed that natural attenuation did not occur yet intensively. So, it could be predicted for 10 years later that the leachate plume will bigger than now, but still in 200 meter radius of leachate spreading.*

**Keywords :** groundwater contamination, leachate, clay minerals, retardation factor

### ABSTRAK

Penelitian dilakukan di lokasi bekas tempat pembuangan akhir (TPA) Pasir Impun yang memiliki sistem lahan urug saniter (*sanitary landfill*), yang pengurugannya masih belum sempurna sehingga kemungkinan pencemaran terhadap airtanah dapat terjadi. Oleh karena itu, peran batuan dasar menjadi sangat berarti dalam upaya mereduksi penyebaran air lindian sampah (*leachate*) secara alamiah. Batuan dasar di daerah bekas TPA Pasir Impun secara umum mempunyai karakteristik geologi yang cukup baik, walaupun memiliki nilai konduktivitas hidrolika sekitar  $10^{-4}$  -  $10^{-5}$  cm/dtk ( $>10^{-7}$  cm/dtk nilai minimal yang disarankan untuk sebuah TPA). Sifat batuan dasar yang mendukung penilaian tersebut diantaranya adalah kedudukan muka airtanah yang cukup jauh dari dasar TPA dan kadar lempung dalam batuan dasar TPA yang cukup tinggi yang menyebabkan meningkatnya faktor retardasi. Kandungan mineral lempung (kaolinit) pada batuan dasar di daerah bekas TPA dapat mencapai 87,22 %, dengan nilai faktor retardasi sebesar 2,63. Nilai koefisien dispersi di daerah Pasir Impun yang cukup kecil menunjukkan bahwa pengenceran konsentrasi zat terlarut belum berlangsung secara intensif hingga saat ini, sehingga pola *plume* untuk 10 tahun ke depan diperkirakan akan semakin membesar, namun demikian masih terbatas dalam radius 200 meter.

**Kata kunci :** pencemaran airtanah, leachate, mineral lempung, faktor retardasi

### PENDAHULUAN

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Pasir Impun ditutup sekitar bulan Desember 1998, merupakan TPA yang telah menerapkan sistem lahan-urug saniter (*sanitary landfill*). Komposisi sampah di bekas TPA Pasir Impun terdiri dari bahan basah (organik), plastik, karet, barang pecah belah, kain/bahan tekstil, kertas, dan logam, dengan warna lapisan umumnya hitam. Menurut Todd (1980) secara kimiawi sampah rumah tangga tersebut mengandung bahan kimia non-

organik (seperti ion  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , dan logam berat), bahan organik (seperti BOD, COD) dan unsur-unsur radioaktif.

Salah satu permasalahan yang mungkin timbul setelah penutupan tempat pembuangan sampah di daerah Pasir Impun adalah pencemaran airtanah dangkal sampai radius tertentu, yang terus berlanjut dalam waktu yang cukup lama, karena sistem lahan urug saniter yang diterapkan di Pasir Impun belum sempurna sehingga besar kemungkinan masih terdapat kebocoran atau rembesan air

lindian sampah atau *leachate* ke dalam batuan dasar TPA. *Leachate* yang terlanjur masuk ke dalam batuan dasar TPA dapat bergerak terus menuju airtanah dan mencemarinya, karena mengandung bahan kimia organik dan non-organik yang merugikan bagi kehidupan manusia dengan konsentrasi yang sangat tinggi. Data penelitian terdahulu memperlihatkan adanya konsentrasi bahan kimia organik dan non-organik dalam airtanah dangkal di daerah bekas TPA Pasir Impun yang melebihi nilai ambang batas. Dalam hal ini batuan dasar TPA menjadi sangat berarti peranannya dalam meminimalisasi penyebaran air lindian sampah (*leachate*) secara alamiah, baik pada saat bergerak menuju muka airtanah maupun saat bergerak lateral bersama airtanah. Parameter penilaian meliputi prosentase kandungan lempung, koefisien permeabilitas (konduktivitas hidrolika), dan derajat pelapukan.

## METODOLOGI

Pengamatan objek penelitian dilakukan dengan metode survey, dengan menentukan sejumlah lokasi pengamatan yang tersebar sedemikian rupa sehingga dapat mewakili keadaan daerah yang diteliti. Pengamatan dilakukan untuk mengetahui jenis, kedudukan dan penyebaran batuan dasar di sekitar TPA. Beberapa perlengkapan yang dipergunakan adalah buku catatan lapangan, peralatan tulis, peta topografi, kompas geologi, palu geologi, *loupe*, dan kamera.

Contoh tanah diambil dari bagian bawah TPA, sedangkan contoh batuan diambil dari singkapan batuan dan akifer di sekitar TPA. Teknik pengambilan contoh tanah/batuan untuk keperluan analisis besar butir (kadar lempung) dan XRD (jenis mineral lempung) cukup dilakukan dengan penggalian biasa memakai cangkul atau palu geologi, sedangkan untuk keperluan uji sifat mekanika tanah (*undisturbed sample*) dilakukan dengan cara memasukkan alat cetak

ke dalam tanah yang telah dikupas bagian atasnya atau membuat parit uji untuk mendapatkan cetakan sampel tanah di bagian yang tidak terganggu. Alat cetak yang dipergunakan bisa dibuat dari pipa paralon (diameter disesuaikan dengan kebutuhan) dan ditutupi parafin/plastik di kedua ujungnya agar contoh tidak terkontaminasi. Contoh tanah/batuan untuk keseluruhan uji ini diambil dari zona tak jenuh, dari lapisan akitard pada akifer setengah tertekan yang berkembang di daerah ini.

## PENCEMARAN AIRTANAH OLEH TPA

### Penyebaran Air Lindian Sampah

Air lindian sampah (*leachate*) dapat bergerak menyebar apabila tanah/batuan dasar TPA (*landfill*) merupakan lapisan yang dapat meloloskan air atau masih dapat meloloskan air (tidak 100% kedap air). Ada dua jenis akifer yang memungkinkan bagi terjadinya penyebaran *leachate* yaitu akifer setengah tertekan (bagian atasnya merupakan akitard/lapisan setengah kedap air) dan akifer bebas (Seyhan, 1977; Todd, 1980).

*Leachate* yang telah bercampur dengan airtanah dan mengalir melewati suatu media poros (akifer) cenderung untuk menjadi encer dalam hal konsentrasinya, namun di lain pihak volumenya menjadi bertambah. Le Grand (1965), dalam Todd (1980), telah menggambarkan suatu contoh penyebaran pencemaran dari suatu *landfill* (gambar 1), dengan aliran airtanah menuju ke suatu sungai. Zona A, B, C, D, dan E pada dasarnya memperlihatkan batas-batas tetap bahan pencemar yang berbeda-beda, yang dihasilkan dari penimbunan sampah secara terus menerus dengan komposisi yang tidak berubah. Zat-zat pencemar yang terlarut dalam airtanah jenuh suatu saat akan membentuk *leachate plume*, yang memanjang ke arah hilir hingga tingkat kualitas pengenceran (atenuasi) minimum. Tampak dalam gambar

hanya zona E yang mencapai sungai dan kemudian terencerkan kembali oleh air permukaan.

Bentuk dan ukuran *plume* tergantung dari kondisi geologi, aliran airtanah, jenis dan konsentrasi bahan pencemar, kontinuitas pembuangan sampah, dan perubahan sistem airtanah akibat pemompaan airtanah (Todd, 1980). Bila airtanah bergerak relatif cepat, *plume* cenderung untuk menjadi panjang dan encer. Sebaliknya bila kecepatan aliran airtanah lambat, *plume* akan berbentuk lebar, karena bahan pencemar cenderung menyebar ke arah lateral. Sementara itu permeabilitas batuan yang tidak seragam dan pemompaan airtanah akan menyebabkan bentuk *plume* yang tidak teratur.

Gerakan fluida dalam suatu media dikontrol oleh permeabilitas dan porositas tanah/batuan, oleh karena itu besaran koefisien permeabilitas atau konduktivitas hidrolika tanah/batuan yang disarankan agar dapat meminimalisasi pergerakan *leachate* tidak lebih dari  $10^{-7}$  cm/dt (Heath dan Lehr, 1987, dalam Rahn, 1996). Selain itu, dalam rangka pengurangan konsentrasi zat-zat terlarut dalam *leachate*, kehadiran mineral lempung pada lapisan tanah/batuan di atas airtanah (*vadose zone*) menjadi sangat berarti dalam proses pertukaran ion dan proses adsorpsi-desorpsi (Fetter, 1988).

### **Pencemaran Airtanah di Daerah Bekas TPA Pasir Impun**

TPA Pasir Impun yang diresmikan 4 April 1987 oleh Gubernur Jawa Barat pada saat itu, Yogie S. Memet, memiliki luas penimbunan 17.500 m<sup>2</sup> (luas keseluruhan TPA 3,6 ha). TPA Pasir Impun merupakan proyek TPA percobaan dan percontohan yang menerapkan metode lahan-urug saniter (*sanitary landfill*). Proyek TPA dirancang untuk dapat melayani wilayah Bandung Timur yang pada saat itu terdiri dari tujuh kecamatan. Lokasi TPA berbatasan dengan lahan pertanian dan permukiman penduduk

yang tidak begitu padat. TPA Pasir Impun memiliki 12 lapisan sampah yang telah dipadatkan (ketebalan total sekitar 15 m), dua kolam pengolah *leachate*, dan 1 buah sumur pemantau (data dari P.D. Kebersihan Bandung). Total volume sampah kurang lebih 960.000 m<sup>3</sup>, dengan ketebalan sekitar 10 m lebih.

Penelitian-penelitian yang dilakukan pada tahun 1990-an menunjukkan bahwa konsentrasi zat terlarut dalam airtanah telah mengalami peningkatan bila dibandingkan dengan rona awal sebelum didirikannya TPA Pasir Impun (Matahelumual, Susana, Basyaroni dan Anan, 1995; Widodo, 1998). Saat ini TPA Pasir Impun sudah tidak beroperasi lagi, namun *leachate* akan tetap dihasilkan selama masih ada sampah yang belum terurai oleh proses dispersi dan retardasi serta adanya presipitasi yang cukup intensif (curah hujan tinggi). Sebenarnya setelah penutupan TPA konsentrasi zat terlarut tersebut akan semakin berkurang sesuai dengan prinsip dispersi-retardasi, namun demikian pada awal pasca penutupan konsentrasi zat terlarut masih akan terus meningkat. Widodo (1998) menyatakan bahwa pada akhir penutupan TPA Pasir Impun terjadi peningkatan konsentrasi padatan terlarut total dan daya hantar listrik dalam airtanah di sekitar lokasi TPA. Peningkatan padatan terlarut total dan daya hantar listrik ini akan mempengaruhi karakteristik mikroorganisme dalam airtanah.

Hasil analisis sifat fisik dan kimiawi terhadap 16 contoh airtanah menunjukkan bahwa nilai kisaran daya hantar listrik (DHL) bervariasi antara 42-1054  $\mu$ mhos/cm, dengan temperatur antara 23-25 °C dan pH antara 5,04-9,76. Kandungan ion klorida (Cl<sup>-</sup>) berkisar antara 9,14-203,9 mg/l, sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) bervariasi antara 0-77,44 mg/l, nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) antara 0,01-4,34 mg/l, dan bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) antara 15,1-476,3 mg/l. Airtanah yang sudah tercemar dapat diindikasikan dari adanya pe--

ningkatan nilai DHL, kandungan ion klorida dan bikarbonat terhadap nilai airtanah yang diperkirakan belum tercemar yaitu rembesan/mata air di Sungai Cisaranten, yang memiliki nilai DHL sebesar 92  $\mu\text{mhos/cm}$ , ion klorida 10,06 mg/l, dan bikarbonat 51,29 mg/l. Sementara itu airtanah yang diperkirakan sudah mulai tercemar memiliki nilai DHL antara 233-1054  $\mu\text{mhos/cm}$ , ion klorida antara 28,97-203,9 mg/l, dan bikarbonat antara 78,17-476,3 mg/l. Nilai konsentrasi zat-zat terlarut tersebut sebenarnya masih berada dibawah nilai ambang batas yang dikeluarkan oleh Menteri Kesehatan RI No. 416/MENKES/PER/IX/1990 dalam Pedoman Sanitasi Rumah Sakit di Indonesia (2000), lihat tabel 1, tetapi peningkatan konsentrasi zat terlarut dari rona awal sebelum didirikannya TPA Pasir Impun (penelitian Kwarsa Hexagon pada tahun 1987) mengindikasikan adanya pencemaran yang akan terus berlanjut hingga beberapa tahun ke depan.

Pencemaran airtanah yang terjadi di daerah bekas TPA Pasir Impun ditunjukkan oleh suatu pola kecenderungan *plume* ion klorida dan bikarbonat ke arah tenggara (gambar 2); nilai kandungan DHL tidak konstan, sedangkan konsentrasi ion sulfat dan nitrat terlalu kecil sehingga kurang begitu baik dalam pembentukan pola *plume*. *Leachate plume* yang berbentuk melebar menunjukkan bahwa kecepatan penyebaran air lindian sampah relatif lambat. Pengaruh pemompaan airtanah oleh penduduk setempat tidak begitu mempengaruhi bentuk *plume*, karena sumur-sumur yang dimanfaatkan oleh penduduk berada hampir di sekeliling TPA. Pola penyebaran pencemaran ke arah tenggara ini sesuai dengan kemiringan lapisan batuan tuf, arah aliran airtanah yang terpengaruh dan konsentrasi zat terlarut di bagian barat TPA yang lebih rendah daripada di bagian tenggara.

## PERAN BATUAN DASAR

### Batuan Dasar di TPA Pasir Impun

Litologi daerah penelitian diidentifikasi berdasarkan studi geologi regional, pengamatan langsung di lapangan, dan data pembooran dari PD Kebersihan Kota Bandung (Laporan Kwarsa Hexagon, 1987). Hasil pengamatan langsung di lapangan diplot ke dalam peta lokasi pengamatan dan penyebaran singkapan di daerah penelitian. Selanjutnya peta geologi (skala 1:10.000) untuk daerah penelitian dapat direkonstruksi berdasarkan data-data tersebut di atas, yang dipergunakan untuk menentukan jenis batuan dasar di daerah bekas TPA (lihat gambar 3 dan 4).

Berdasarkan penelitian Kosoemadinata dan Hartono (1980) serta Silitonga (1973) diketahui bahwa daerah bekas TPA Pasir Impun dan sekitarnya seluruhnya tersusun oleh endapan gunungapi dari Formasi Cikapundung (berumur Pleistosen Bawah - Pleistosen Tengah), terdiri dari breksi vulkanik pada bagian bawah dan lapisan batuan lapili hingga tuf pada bagian atasnya. Batuan breksi vulkanik tersingkap akibat adanya aktivitas pemotongan topografi oleh sungai, dijumpai cukup jelas pada dasar Sungai Cisaranten. Batuan ini disusun oleh fragmen batuan beku porfiri andesit dan massadasar tuf. Batuan tuf yang dijumpai pada bukit kecil di utara TPA Pasir Impun, memperlihatkan struktur perlapisan dengan kedudukan sekitar N114°E/9-11° (gambar 5). Batuan tuf ini telah mengalami pelapukan yang cukup intensif menjadi tanah lempung lanauan dengan derajat pelapukan zona V, komposisi fraksi lempung-lanau berkisar antara 66,3-87,3 %. Sementara itu, berdasarkan hasil analisis XRD diketahui jenis mineral lempung dalam satuan batuan ini yaitu kaolinit, yang merupakan mineral yang tersusun dalam tanah laterit hasil pelapukan batuan vulkanik yang beriklim tropis (Mohr dan van Baren, 1960, dalam Renald, 2002). Kaolinit meru-

pakan produk pelapukan dari mineral feldspar yang berjalan sangat lambat (Leopold, 1974, dalam Rahn, 1996). Mineral lempung dari grup ini memiliki ketahanan terhadap deformasi yang lebih baik daripada grup monmorilonit, karena memiliki plastisitas dan kompresibilitas yang rendah. Selain itu mineral ini memiliki harga indeks plastisitas (IP) yang lebih rendah daripada mineral grup monmorilonit yang memiliki volume penyerapan air yang cukup besar (Casagrande, 1948, dalam Rahn, 1996).

Berdasarkan pengamatan terhadap kedudukan singkapan batuan, sumur penduduk yang sedang digali, dan data pemboran PT Kwarsa Hexagon, maka dapat ditentukan bahwa endapan gunungapi yang mendasari bekas TPA Pasir Impun adalah batuan tuf yang telah lapuk menjadi tanah lempung lanauan dengan ketebalan kurang lebih 7-8,5 meter. Bagian bawah batuan tuf ini mengandung pecahan-pecahan batuan yang lebih besar. Pada sekuen semakin ke bawah dijumpai bongkah-bongkah batuan andesit, yang kemungkinan merupakan fragmen dari satuan breksi vulkanik yang mempunyai ketebalan hingga 30 meter.

Satuan batuan tuf - lapili yang telah melapuk menjadi tanah lempung lanauan tersebut memiliki nilai permeabilitas atau konduktivitas hidrolika antara  $9,50 \times 10^{-5}$  -  $1,51 \times 10^{-4}$  cm/dtk, sedangkan satuan breksi vulkanik yang berada di bawahnya memiliki nilai konduktivitas hidrolika antara  $1,41 \times 10^{-5}$  -  $4,63 \times 10^{-4}$  cm/dtk. Sementara itu berdasarkan hasil uji mekanika tanah dari contoh tanah tak terganggu, diperoleh nilai konduktivitas hidrolika lapisan tanah lempung lanauan setelah kompaksi di daerah bekas TPA Pasir Impun adalah  $5,11 \times 10^{-7}$  cm/dtk. Tanah/batuan dasar TPA ini merupakan lapisan akitard (bagian atas dari akifer setengah tertekan) yang merupakan zona tak jenuh, yang mana di bagian bawahnya terdapat zona jenuh air (akifer) pada lapisan breksi vulkanik.

### Pergerakan *Leachate* di Daerah Sekitar TPA Pasir Impun

Zat terlarut dalam *leachate* akan bergerak bersama airtanah dalam kurun waktu tertentu yang dipengaruhi oleh proses difusi, yang mana secara alamiah zat-zat terlarut akan bergerak dari area dengan konsentrasi tinggi ke area dengan konsentrasi rendah. Fluktuasi massa zat terlarut untuk masing-masing daerah diperoleh dengan menggunakan persamaan Fick sebagai berikut :

$$F = -D \cdot dC/dx$$

Untuk ion  $Cl^-$  (anion utama dalam *leachate*) di daerah Pasir Impun :

$$D = 1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{dtk} \text{ (harga estimasi)}$$

$$C = 203,9 \text{ mg/l (atas) \& } 17,44 \text{ mg/l (bawah searah plume)}$$

$$dC/dx = 186,46 \text{ mg/l} : 6240 \text{ cm} = 2,99 \times 10^{-5} \text{ mg/cm}^3/\text{cm}$$

$$F = -(1 \times 10^{-5} \cdot 2,99 \times 10^{-5}) = -2,99 \times 10^{-10} \text{ mg/cm}^2/\text{dtk}$$

Zat terlarut dalam *leachate* yang telah bercampur dengan airtanah akan bergerak mengikuti aliran airtanah (proses adveksi) dengan kecepatan  $\pm 1,3 \times 10^{-5}$  cm/dtk, yang diperoleh dari persamaan berikut ini :

$$v_x = K/n_e \cdot dh/dl$$

$$K = 2,2 \times 10^{-4} \text{ cm/dtk}, \quad dh/dl = 13,4\%$$

$$n_e = 35\%, \quad n_e \text{ diperoleh dari grafik hubungan antara permeabilitas spesifik dan porositas, sedangkan permeabilitas spesifik diperoleh dari persamaan : } K_i = K \cdot (\mu/\rho g).$$

Menurut Handbook of Chemistry and Physics (1986), dalam Fetter (1988), untuk  $T=25^\circ\text{C}$  ditentukan harga  $\mu = 0,00894$  g/dtk.cm,  $\rho = 0,997044$  g/cm<sup>3</sup>, dan  $g = 980$  cm/dtk<sup>2</sup>.

$$\rightarrow K_i = 2,2 \cdot 10^{-4} (0,008937 / 0,9974 \times 980)$$

$$= 2 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 = 202,6 \text{ Md} \rightarrow 35\%$$

$$dh/dl = \text{gradien hidrolika (13,4\%, hasil perhitungan dari 2 sumur terdekat) sehingga diperoleh sbb.:$$

$$v_x = (2,2 \times 10^{-4} / 0,35) \cdot 0,134$$

$$= 8,42 \times 10^{-5} \text{ cm/dtk.}$$

Dengan kecepatan pergerakan airtanah dan *leachate* sebesar itu, se-

harusnya area yang diperkirakan tercemar selama kurun waktu 16 tahun untuk daerah bekas TPA Pasir Impun adalah lebih besar dari apa yang ditampilkan pada gambar 2. Dalam hal ini faktor retardasi dalam lapisan akifer (faktor penghambat seperti proses-proses adsorpsi-desorpsi, pertukaran ion, presipitasi-disolusi, oksidasi-reduksi, dan proses aerob-anaerob) dan proses dispersi walaupun nilainya kecil memegang peranan sangat penting dalam pembentukan pola penyebaran *leachate plume*.

Harga koefisien dispersi yang kecil di bekas TPA tersebut dapat dibuktikan berdasarkan perhitungan sebagai berikut :

$$C = \frac{C_0}{2} \left[ \frac{\text{erfc} \frac{L - v_x t}{2 \sqrt{D_L t}} + \exp \frac{v_x L}{D_L} \text{erfc} \frac{L + v_x t}{2 \sqrt{D_L t}} \right]$$

Untuk daerah Pasir Impun (ion klorida sebagai anion utama) :

$$C_0 = 203,9 \text{ mg/l}, L = 150 \text{ m} = 15000 \text{ cm}, v_x = 8,42 \cdot 10^{-5} \text{ cm/dtk}, \\ D_L = a_L v_x + D = (0,1 \times 1,5 \cdot 10^4 \times 8,4 \cdot 10^{-5}) + 10^{-5} = 0,13 \text{ cm}^2/\text{dtk}.$$

$$C \text{ setelah } 1 \text{ tahun } (3,15 \cdot 10^7 \text{ detik}) \\ \text{adalah; } C = 203,9 / 2 \left( (\text{erfc} (1,5 \cdot 10^4 - 8,4 \cdot 10^{-5} \times 3,15 \cdot 10^7) / 2 \sqrt{0,13 \cdot 3,15 \cdot 10^7}) + (\exp (8,4 \cdot 10^{-5} \times 1,5 \cdot 10^4 / 0,13) \cdot (\text{erfc} (1,5 \cdot 10^4 + 8,4 \cdot 10^{-5} \times 3,15 \cdot 10^7) / (2 \sqrt{0,13 \cdot 3,15 \cdot 10^7})) \right) \\ C = 101,95 (\text{erfc} (3,05) + \exp (9,69) \times \text{erfc} (4,36)) \\ C = 101,95 \times 0,000022 = 0,002 \text{ mg/l}$$

Saat ini konsentrasi klorida pada jarak 170 m dari sumber adalah 17,44 melebihi nilai konsentrasi hasil dispersi yang diperkirakan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi zat terlarut masih terjadi di daerah bekas TPA Pasir Impun, sehingga dapat diperkirakan bahwa pola plume yang terlihat pada gambar 2 masih dapat bertambah besar, tergantung dari intensitas rembesan *leachate* ke dalam airtanah.

Faktor retardasi untuk daerah Pasir Impun diperkirakan sebesar 0,41 yang diperoleh dari persamaan :

$$v_c = v_x / [\text{faktor retardasi}]$$

Oleh karena peningkatan pencemaran di daerah Pasir Impun masih berlangsung hingga saat ini, maka kecepatan pencemaran ( $v_c$ ) dihitung sejak pembukaan TPA, untuk jarak sejauh 150 m.

$$(150 \text{ m} / 15 \text{ tahun}) = (8,42 \times 10^{-5} \text{ cm/dtk}) / \text{faktor retardasi} \\ (3,2 \times 10^{-5} \text{ cm/dtk}) = (8,42 \times 10^{-5} \text{ cm/dtk}) / \text{faktor retardasi} \\ \text{faktor retardasi} = (8,42 \times 10^{-5}) / (3,2 \times 10^{-5}) = 2,63 \text{ (estimasi)}$$

## DISKUSI

Sifat batuan dasar TPA sangat berpengaruh terhadap penyebaran *leachate*, sifat batuan tuf dan breksi vulkanik pada lapisan akifer di daerah bekas TPA memiliki faktor retardasi yang dapat mengakibatkan kecepatan linier rata-rata airtanah dan *leachate* menjadi lebih kecil dan area pencemaran pada saat ini hanya terjadi sampai jarak kurang dari 200 m. Nilai faktor retardasi ini hanya perkiraan saja, yang mana nilai sebenarnya diperoleh dari persamaan-persamaan retardasi yang memerlukan penelitian laboratorium untuk mencari nilai koefisien distribusinya. Penentuan nilai faktor retardasi ini dapat dipertimbangkan sebagai pokok bahasan pada penelitian selanjutnya, karena terkait dengan beberapa proses kimia-fisika-biologi yang cukup kompleks.

Sementara itu, nilai koefisien dispersi di daerah Pasir Impun kecil dan masih menunjukkan peningkatan konsentrasi zat terlarut sehingga pola *plume* di daerah tersebut untuk 10 tahun ke depan diperkirakan semakin membesar (gambar 6). Kandungan mineral lempung pada batuan dasar di daerah bekas TPA nampaknya cukup berpengaruh terhadap pergerakan *leachate*, karena komposisi fraksi lempung (yang diharapkan berperan banyak dalam mengikat zat-zat

terlarut) dalam contoh batuan/tanah dapat mencapai 87,22%. Namun demikian anion konservatif seperti klorida (yang sukar terserap oleh mineral lempung) masih bisa leluasa bergerak, karena jenis mineral lempung yang terdapat di TPA Pasir Impun (kaolinit) kemungkinan memiliki sifat penyerapan yang tidak sebaik mineral lempung grup monmorilonit (mineral ekspansif).

mineral lempung) yang masih bisa leluasa bergerak, dikarenakan jenis mineral lempung yang terdapat di TPA Pasir Impun adalah kaolinit, yang diperkirakan memiliki sifat penyerapan yang tidak sebaik mineral lempung grup monmorilonit (mineral ekspansif).

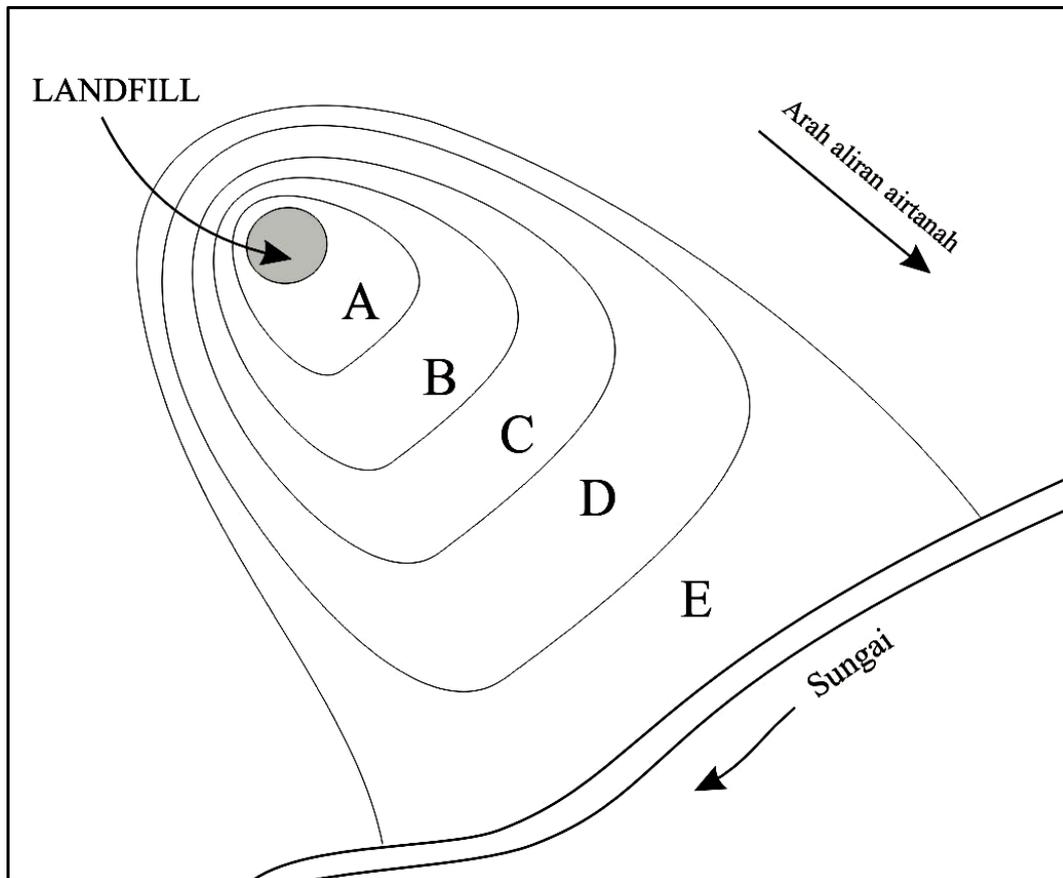
## KESIMPULAN

Berdasarkan studi literatur, penelitian lapangan, analisis data, dan evaluasi data yang diperoleh dari daerah bekas TPA Pasir Impun, dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa batuan tuf dan atau breksi vulkanik dengan massa dasar tuf yang telah mengalami pelapukan menjadi tanah lempung lanauan mempunyai potensi yang cukup baik sebagai batuan dasar TPA walaupun hanya memiliki nilai konduktivitas hidrolika sebesar  $10^{-5}$  cm/detik, terutama jika mengandung mineral lempung yang cukup (komposisi fraksi lempung dalam tanah/batuan di daerah ini adalah 66,3-87,22 % dengan jenis mineral lempung kaolinit) dan faktor retardasi-dispersi yang dapat berperan baik dalam meminimalisasi penyebaran air lindian sampah (*leachate*). Lapisan akifer di daerah bekas TPA Pasir Impun memiliki konduktivitas hidrolika dan kecepatan aliran airtanah sebesar  $\pm 10^{-5}$ - $10^{-4}$  cm/dtk, memiliki nilai faktor retardasi sebesar 2,63 dan koefisien dispersi sebesar 0,002 yang diperkirakan dapat memperkecil penyebaran air lindian sampah dalam radius 200 meter.

Di lain pihak nilai koefisien dispersi yang cukup kecil tersebut menunjukkan bahwa pengenceran konsentrasi zat terlarut belum berlangsung secara intensif hingga saat ini, sehingga pola *plume* untuk 10 tahun ke depan diperkirakan akan semakin membesar. Adanya anion konservatif seperti ion klorida (yang sukar terserap oleh

## DAFTAR PUSTAKA

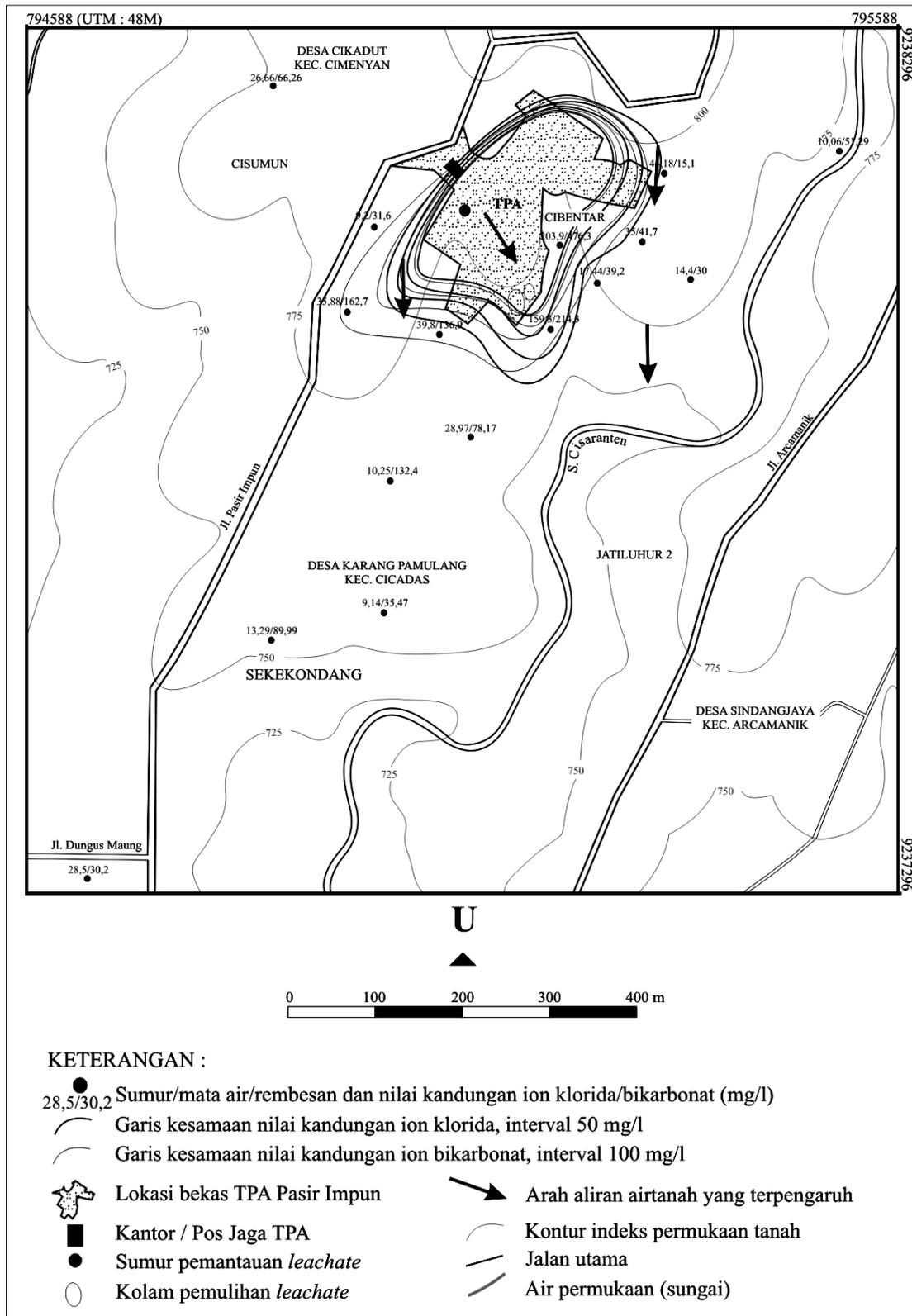
- Anonim. 1981. Rock and soil description and classification for engineering geology mapping. IAEG, *Bull. Intl. Association Engineering* 24, p. 235-352.
- Anonim. 1987. *Geotechnical evaluation of sanitary landfill sites. Bandung Urban Development Project, Solid Waste Management Sector, for DGHS, Ministry of Public Works, RI*, final report by P.T. Kwarsa Hexagon, Bandung, unpub., p.IV1-IV10 & p.IV26-IV32.
- Anonim. 1990. *Sukamiskin Sanitary Landfill demonstration project. Design and construction report by P.D. Kebersihan Bandung, Bandung Urban Development Project, Solid Waste Management Sector, for DGHS, Ministry of Public Works, RI*, tidak dipublikasikan.
- Anonim. 1999. *Penelitian geoteknik dan topografi TPA Pasir Impun Kodya Bandung. Kerjasama BAPPEDA dan P.D. Kebersihan Kota Bandung*, tidak dipublikasikan.
- Anonim. 2000. *Pedoman sanitasi rumah sakit di Indonesia. Direktorat Jenderal PPM-PL dan Direktorat Jenderal Pelayanan Medik, Departemen Kesehatan dan Kesejahteraan Sosial, Republik Indonesia, Jakarta*.
- Aust, H. and S. Wiriosudarmo. 1990. *Geological reconnaissance survey of potential areas for waste disposal sites in the Bandung Plain*. Project report No. 6, project CTA 108, GEGATI, DEG, Bandung, unpub.
- Fetter, C. W. 1988. *Applied hidrogeology*, second edition. Merrill Publishing Company, Ohio, USA p.389-415.
- Koesoemadinata, R. P. dan Dj. Hartono. 1981. Stratigrafi dan sedimentasi daerah Bandung. *Proc. PIT X, IAGI*, Bandung, hal.318-336.
- Matahelumual, B. C., M. Susana, Basyaroni and Anan. 1995. Comparison study of ground-water quality caused by landfill site at Dago and Pasir Impun. Project report No. 37, project CTA 108, GEGATI, DEG, Bandung, unpub.
- Oeltzchner, H., S. Wiriosudarmo and D. Z. Abidin. 1992. Comparative site rating of potential areas for waste disposal (sanitary landfilling) in the Bandung area. Project report No. 21, project CTA 108, GEGATI, DEG, Bandung, unpub.
- Rahn, P. H. 1996. *Engineering geology, an environmental approach, second edition*. Prentice Hall Inc., A Simon & Schuster Company, Upper Saddle River, New Jersey, p.212-279.
- Seyhan, E. 1977. *Fundamentals of hydrology, revised edition*. Geografisch Institut der Rijksuniversiteit te Utrecht; edisi Indonesia, Dasar-dasar hidrologi, cetakan 1990, Gadjah Mada University Press Yogyakarta, ISBN 979 420 176 6, hal.254-307.
- Silitonga, P. H. 1973. Peta geologi bersistem, Jawa, 1 : 100.000, lembar Bandung. PPG, Bandung.
- Todd, D. K. 1980. *Groundwater hydrology*. John Willey & Sons Inc., New York, 535p.
- Widodo, U. W. 1998. Hidrogeologi dan pemodelan *plume* di TPA Pasir Impun dengan motoda Mise-A-La-Masse berdasarkan analogi model aliran listrik dan aliran airtanah. Tesis magister. Program Studi Rekayasa Pertambangan, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung, tidak dipublikasikan.



Gambar 1. Contoh penyebaran pencemaran dari suatu *landfill*, arah aliran airtanah menuju sungai (Le Grand, 1965, dalam Todd, 1980)

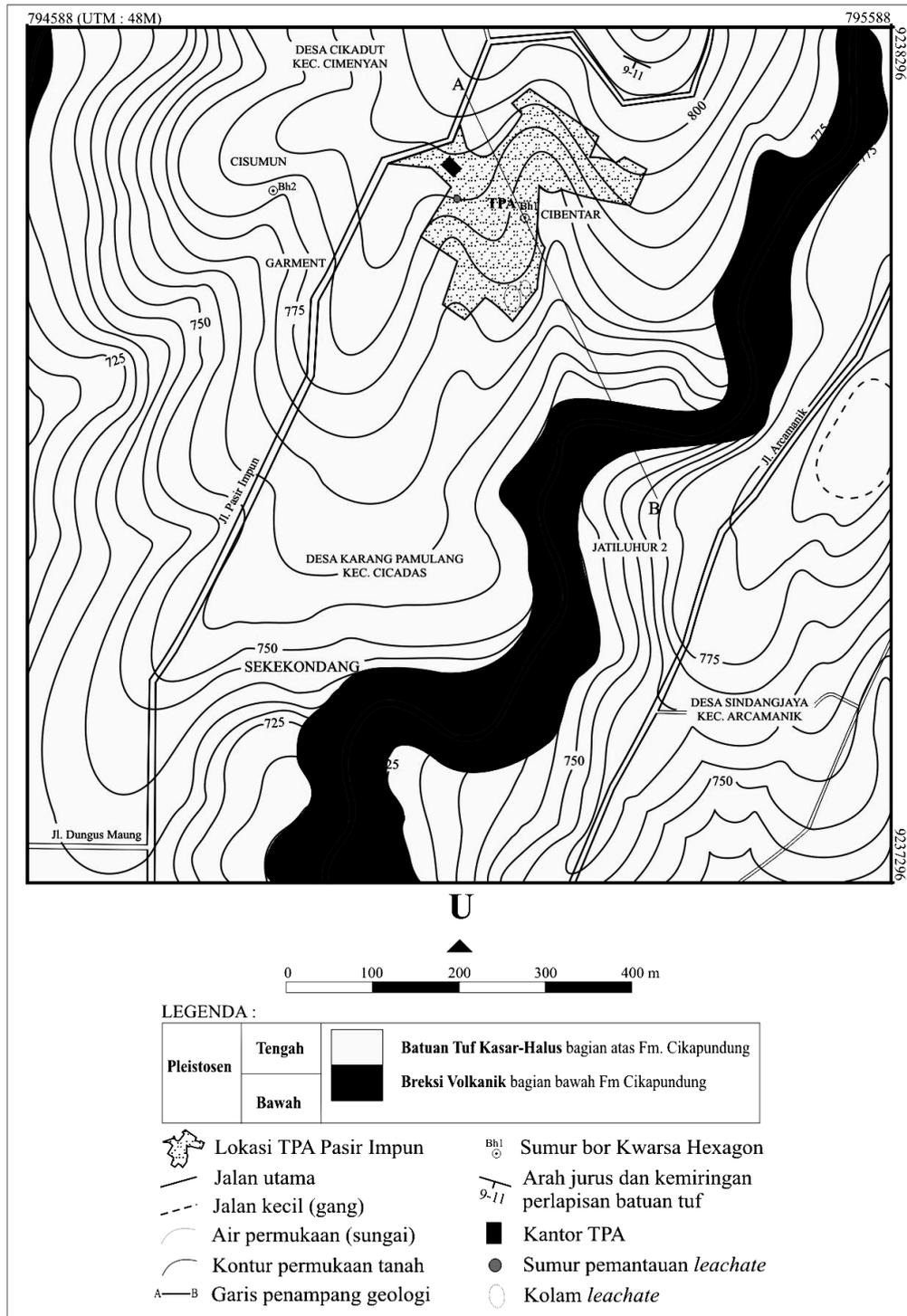
Tabel 1.  
Perbandingan konsentrasi zat-zat terlarut dalam airtanah di TPA Pasir Impun

| Parameter                       | Kwarsa Hexagon (1987) | Hasil Penelitian         |                              | NAB |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|-----|
|                                 |                       | Airtanah Terpengaruh TPA | Airtanah Tak Terpengaruh TPA |     |
| DHL ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | 43,9-284              | 233-1054                 | 92                           | -   |
| $\text{Cl}^-$ (mg/l)            | 6,88-16               | 28,97-203,9              | 10,06                        | 250 |
| $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l)       | 4,7-9,2               | 0-11,49                  | 13,65                        | 400 |
| $\text{NO}_3^-$ (mg/l)          | 0                     | 0,01-4,34                | 0,11                         | 10  |
| $\text{HCO}_3^-$ (mg/l)         | 141                   | 78,17-476,3              | 51,29                        | 500 |



Gambar 2.

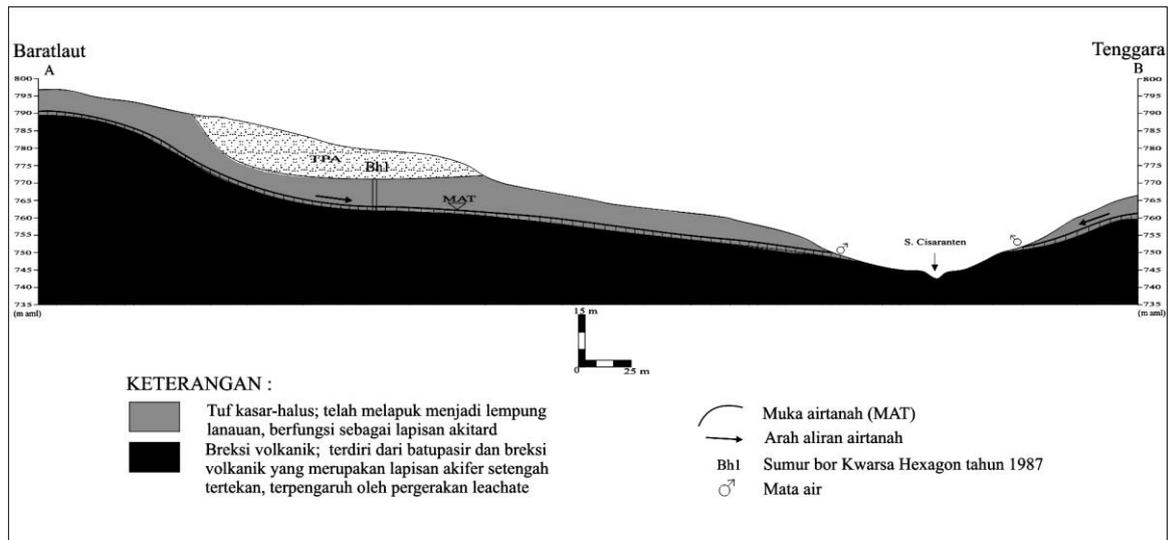
Peta pola penyebaran ion klorida dan bikarbonat dalam airtanah di daerah bekas TPA Pasir Impun dan sekitarnya



Gambar 3.

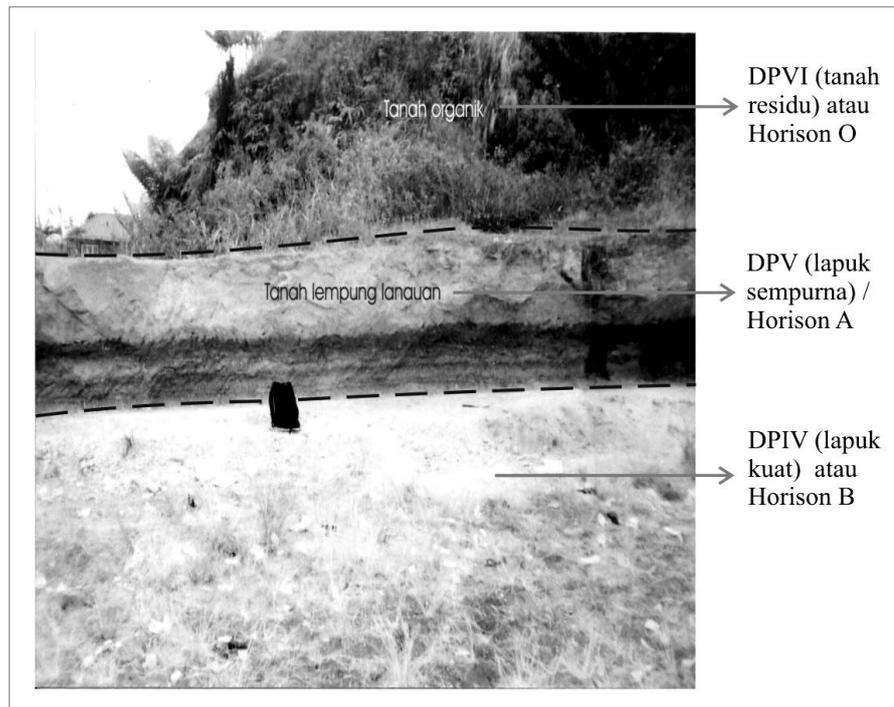
Peta geologi permukaan bekas TPA Pasir Impun (modifikasi dari Silitonga, 1973)

Peran batuan dasar TPA dalam mereduksi penyebaran air lindian sampah (leachate) secara alamiah di daerah bekas TPA Pasir Impun (T.Yan W.M. Iskandarsyah)



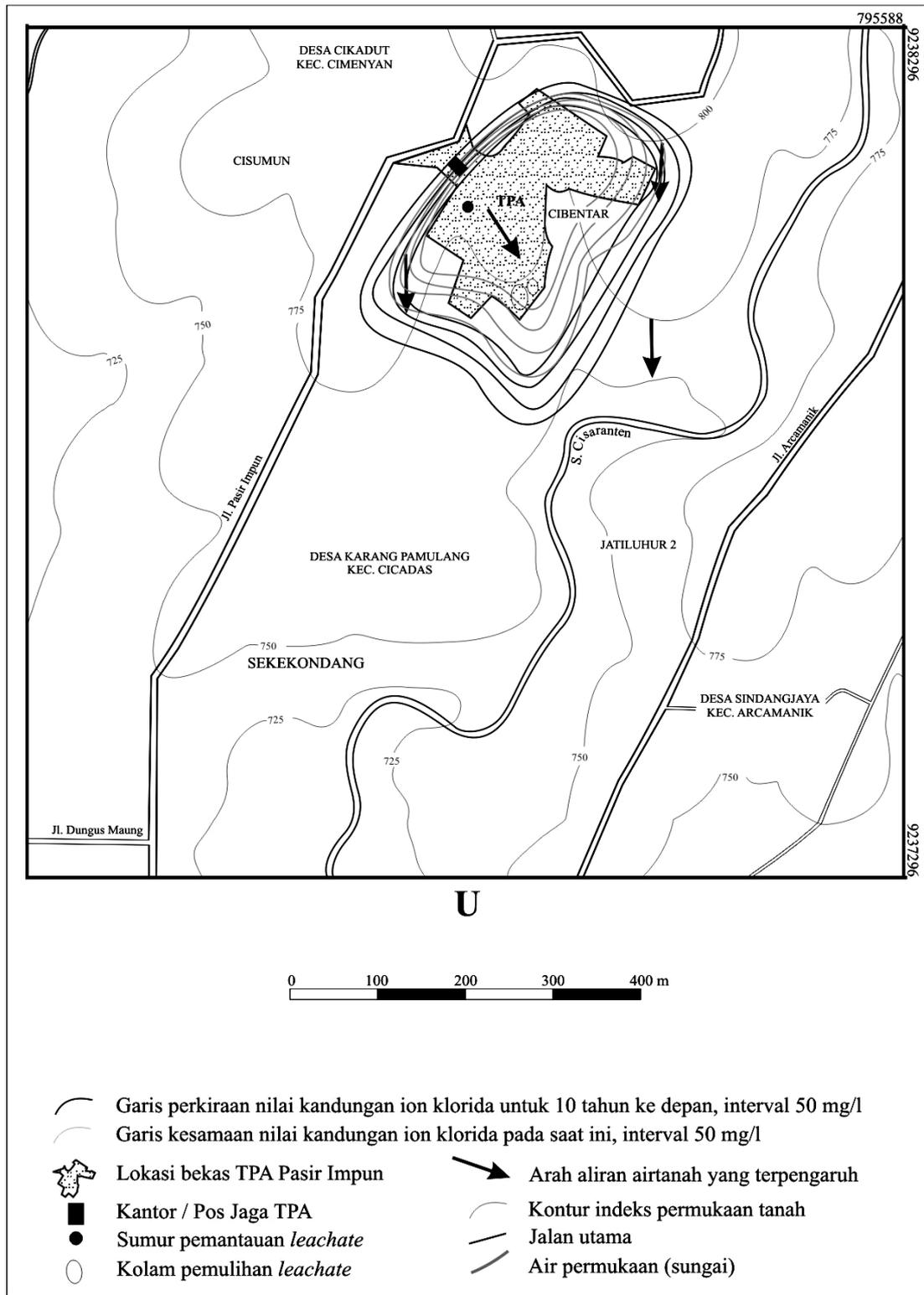
Gambar 4.

Penampang geologi A – B yang memotong bekas TPA Pasir Impun dan sekitarnya



Gambar 5.

Batuan tuf yang telah mengalami pelapukan, di utara bekas TPA Pasir Impun



Gambar 6.

Perkiraan pola penyebaran ion klorida dalam 10 tahun ke depan di daerah bekas TPA Pasir Impun dan sekitarnya