

STUDI PARAMETER FISIK TAILINGS DAM PONGKOR MENGUNAKAN TEKNIK PERUNUT RADIOISOTOP

Ss. Abbas Ras, Syafalni, Satrio dan Paston S.
Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta

ABSTRAK

STUDI PARAMETER FISIK TAILINGS DAM PONGKOR MENGGUNAKAN TEKNIK PERUNUT RADIOISOTOP. Penentuan arah gerakan air-tanah, perhitungan kecepatan aktual dan koefisien permeabilitas Tailings Dam Pongkor dengan menggunakan teknik sumur tunggal telah dilakukan. Perunut radioisotop I-131 dalam senyawa NaI diinjeksikan pada *Zone General Fill I* (sumur bor P2, P4 dan P5), *Zone Core Fill* (sumur bor P1 dan P6), serta di luar *Zone General Fill II* (sumur bor P7). Hasil studi menunjukkan bahwa arah gerakan air tanah dari *Zone General Fill I* dan *Zone Core Fill* mengarah ke *Tailings Dam* dengan kecepatan aktual antara $0,45 - 6,89 \cdot 10^{-5}$ cm/detik. Sementara koefisien permeabilitas *Zone General Fill I* dan *Zone Core Fill* berkisar antara $0,98$ dan $7,5 \cdot 10^{-7}$ cm/detik. Data tersebut di atas menginformasikan bahwa kondisi Tailings Dam Pongkor dalam keadaan normal dan sesuai dengan perencanaan awal pembangunan Tailings Dam Pongkor.

ABSTRACT

STUDY OF PHYSICAL PARAMETERS OF TAILINGS DAM PONGKOR BY USING RADIOTRACER TECHNIQUE. Groundwater movement, actual velocity, and permeability coefficient of Pongkor Tailings Dam was studied by using single well technique. Radiotracer I-131 in the form of NaI was injected in General Fill Zone I (P2, P4, and P5 boreholes), Core Fill Zone (P1 and P6 boreholes) and in General Fill Zone II (P7 borehole). The result showed that groundwater in General Fill Zone I and Core Fill Zone moved to the Tailings Dam with actual velocity between $0,45$ and $6,89 \cdot 10^{-5}$ cm/second. Meanwhile permeability coefficient of General Fill Zone I and Core Fill Zone were about $0,98 - 7,5 \cdot 10^{-7}$ cm/second, respectively. The data informed that the physical parameter of Pongkor Tailings Dam was in normal condition and still in the range of earlier design.

PENDAHULUAN

PT. Aneka Tambang Pongkor memiliki suatu dam (bendungan) yang digunakan untuk menampung air dan lumpur sisa pengolahan emas, yang dinamakan *Tailings Dam*. *Tailings Dam* Pongkor tersebut termasuk suatu bendungan tipe urukan.

Pada bagian hulu, keadaan *Tailings Dam* terlihat normal dengan pemandangan hamparan endapan lumpur yang cukup dalam dan luas. Pada tubuh *Tailings Dam* terpasang pizometer yang tersusun rapi sepanjang bendungan. Sementara pada bagian hilir dan *Tailings Dam* selain terpasang sistem drainase dan beberapa seepage collection dam juga ditemukan 2 mata air (rembesan).

Sehubungan dengan rembesan tersebut PT. Aneka Tambang Pongkor bekerjasama dengan Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi BATAN mengadakan penelitian mengenai parameter fisik *Tailings Dam* Pongkor, di antaranya arah gerakan airtanah, kecepatan aktual rembesan dan koefisien permeabilitas *Tailings Dam*.

LANDASAN TEORI

Gambaran Umum Tailings Dam Pongkor. *Tailings Dam* PT Aneka Tambang Pongkor merupakan bendungan tipe urukan [1] yang khusus dibangun untuk menampung tailings proses penambangan emas di Daerah Pongkor Bogor, Jawa Barat. *Tailings Dam* terbagi dalam 4 (empat) zone, yaitu *Zone General Fill I*, *Zone Core Fill*, *Zone General Fill II*, dan *Zone Rock Fill* [2].

General Fill I. *Zone General Fill I* diuruk dengan bahan timbunan yang diratakan dengan menggunakan *Bulldozer*. *Bulldozer* tersebut selain berfungsi sebagai alat pemerata juga sebagai alat pemadat bahan timbunan. Setelah bahan timbunan merata dengan ketebalan ± 40 cm, proses pemadatan timbunan dilanjutkan dengan menggunakan *Sheep Foot Roller* dengan berat 12 ton sebanyak 6 (enam) lintasan dan dengan alat *Vibro Roller* dengan berat 12 ton sebanyak 6 (enam) lintasan.

Core Fill. Proses pengurukan *Zone Core Fill* dilakukan dengan bahan timbunan yang sama

dengan *Zone General Fill I*, tetapi proses pemadatan bahan timbunan *Zone Core Fill* dilakukan sedemikian rupa supaya koefisien permeabilitasnya lebih kecil daripada *Zone General Fill I* dan II.

General Fill II. *Zone General Fill II* diuruk dengan menggunakan bahan timbunan dan cara pemadatan yang sama dengan proses pengurukan dan pemadatan *Zone General Fill I*.

Rock Fill. *Zone Rock Fill* yang terletak di atas *Zone General Fill II* ditimbun dengan batu. Penimbunan dilakukan dengan Excavator dari bawah ke atas sepanjang Dam. Sementara batu yang berserakan dan tidak terjangkau Excavator dikumpulkan dan didorong menggunakan Bulldozer. Batu yang ditimbun pada *Zone Rock Fill* diatur rapi supaya dapat diperoleh tingkat kerapatan optimal.

Pelaksanaan penimbunan *Zone General Fill I*, *Core Fill*, *General Fill II*, dan *Zone Rock Fill* dilakukan pada tahun 1998. Model dan spesifikasi *Tailings Dam* Pongkor dapat dilihat pada Gambar 1.

$$v_a = v_f/\eta \tag{2}$$

di mana η adalah porositas efektif lapisan batuan.

Sementara kecepatan filtrasi v_f di sekitar lubang bor dapat dihitung dengan menggunakan formula yang dikembangkan oleh W. Drost dan D. Klotz [3],

$$v_f = \{ \pi r / (2\infty t) \} \ln (C_o/C_i) \tag{3}$$

$$\infty = 4 k_1 / [k_1 \{ 1 + (r/R)^2 \} + k \{ 1 - (r/R)^2 \}] \tag{4}$$

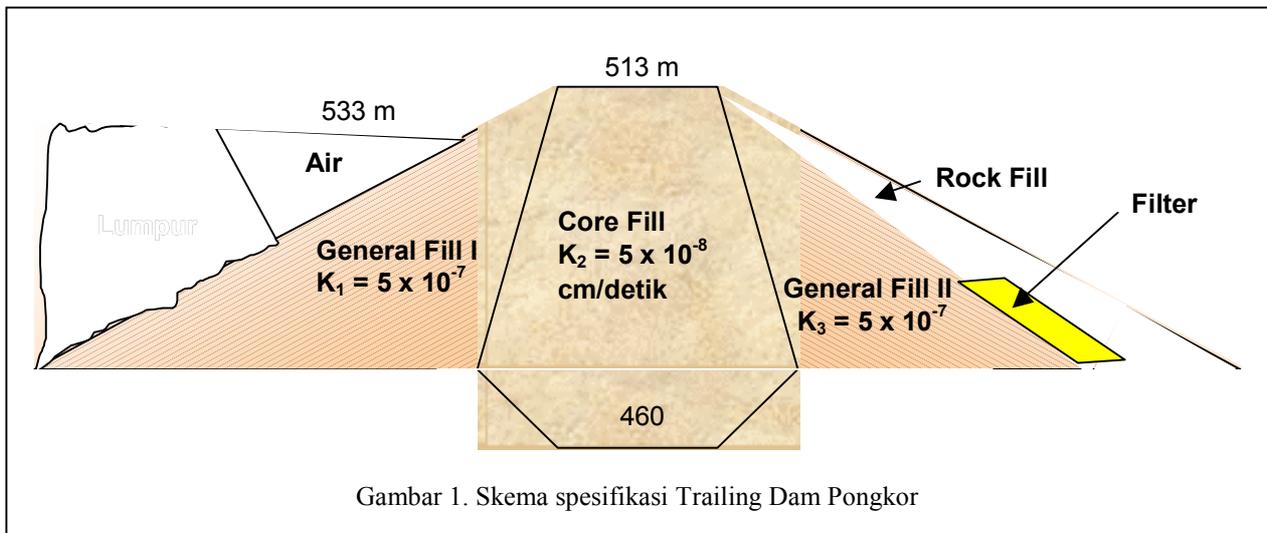
karena nilai k jauh lebih kecil daripada k_1 , maka $k \{ 1 - (r/R)^2 \} = 0$, sehingga

$$\infty = 4 k_1 / [k_1 \{ 1 + (r/R)^2 \}] \tag{5}$$

di mana r dan R adalah jejari dalam dan luar pipa PVC.

Untuk plastik screen,

$$k_1 = 0,1 f \tag{6}$$



Gambar 1. Skema spesifikasi Trailing Dam Pongkor

Gerakan Airtanah. Gerakan airtanah pada suatu lapisan batuan dapat ditentukan dengan Hukum Darcy,

$$V_f = k \cdot I = d(-k h)/ds \tag{1}$$

di mana :

- v_f = kecepatan Darcy (filtrasi)
- k = konduktivitas hidraulik medium porous
- I = gradien hidraulik
- H = tinggi muka air
- s = jarak (antar lubang bor)

Kecepatan rembesan actual v_a di sekitar lubang bor dapat ditentukan dengan

f adalah fraksi (lubang bor dengan diameter 5 mm) PVC yang dibuat sekitar 13 % dari keliling lingkaran x 100 cm PVC dan tertanam sekitar 100 cm dari muka air (Gbr. 2), maka

$$k_1 = 0,1 (13 \%) = 0,013 \text{ cm/detik}$$

METODOLOGI

Peralatan dan Bahan. Aplikasi perunut dalam penelitian rembesan bendungan dengan menggunakan bahan zat radioaktif dan peralatan detektor sebagai berikut.

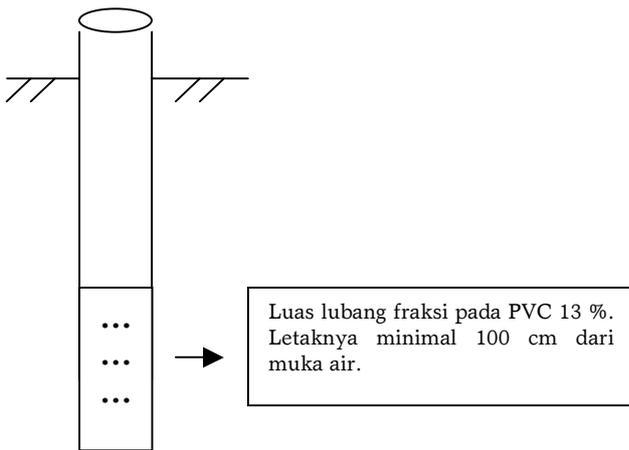
Peralatan

- Detektor sintilasi 2 set
- Alat injeksi perunut radioisotop 1 set
- Alat proses radioisotop 1 set
- Alat surveymeter 1 set
- Kolimator Pb
- Alat dekontaminasi 1 set
- Alat pekerja proteksi radiasi 1 set
- Alat pengaman radiasi lingkungan 1 set
- Tanda bahaya radiasi

Bahan

- Perunut radioisotop I-131 dalam senyawa NaI
- Air bendungan
- Air bersih

Lubang Bor. Lubang bor dibuat dengan alat bor mesin dengan kedalaman tertentu (sampai keluar air). Setelah itu lubang bor ditutup dengan pipa PVC yang diberi fraksi lubang sekitar 13 % seperti terlihat pada Gambar 2.



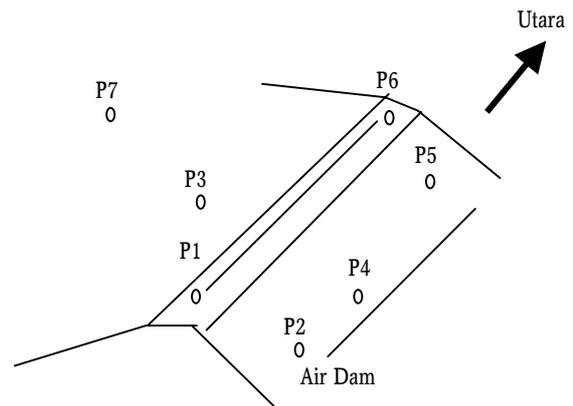
Gambar 2. Keadaan Sumur Bor [4].

Pengukuran Cacahan Latar (Background). Sebelum injeksi radioisotop, pengukuran Background (Bg) radioisotop I-131 dilakukan pada air *Tailings Dam*, sumur bor, dan air rembesan di hilir bendungan. Cacahan Bg diperlukan untuk menghitung cacahan bersih radioisotop yang terkandung di setiap sumur bor dan mengetahui pencemaran radioisotop pada lingkungan sekitar *Tailings Dam* setelah penelitian rembesan dilakukan.

Jenis Perunut Radioisotop. Jenis perunut radioisotop yang digunakan pada penelitian ini disesuaikan dengan tujuan penelitian, pertimbangan keadaan *Tailings Dam*, dan lingkungan sekitar. Pada penelitian Tailing Dam digunakan I-131 dalam bentuk senyawa NaI. Senyawa NaI dapat bercampur dengan air secara homogen, radio-

isotop I-131 memiliki waktu paro ($T_{1/2}$) 8,4 hari, dan relatif aman bagi kesehatan dan keselamatan lingkungan.

Lokasi Sumur Bor. Sumur bor yang dibuat pada *Tailings Dam* Pongkor sebanyak 7 (tujuh) sumur bor dengan posisi sumur bor P2, P4, dan P5 terletak di bagian hulu (*Zone General Fill I*), sumur bor P1 dan P6 di tubuh *Tailings Dam* (*Zone Core Fill*), sumur bor P3 di samping kiri *Zone General Fill II*, serta sumur bor P7 di luar *Zone General Fill II*) seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sketsa Tailings Dam dan Lokasi Sumur Bor.

Sementara letak ketinggian (elevasi) air dam dan sumur bor berkisar antara 486,94 - 513,93 m di atas permukaan laut.

Injeksi Perunut Radioisotop. Perunut radioisotop I-131 dalam senyawa NaI diinjeksikan pada *Zone General Fill I* (sumur bor P2, P4, dan P5), *Zone Core Fill* (sumur bor P1 dan P6), serta di luar *Zone General Fill II* (sumur bor P7); pada masing-masing sumur bor diinjeksikan perunut radioisotop dengan volume yang berbeda sesuai dengan volume air yang terdapat di sumur bor yang bersangkutan.

Aktivitas radioisotop I-131 diinjeksikan pada sumur bor P1, P2, P4, dan P5 masing-masing sebanyak 7,6 uCi; P6 15,2 uCi; serta P7 30,4 uCi. Aktivitas radioisotop yang diinjeksikan pada sumur bor disesuaikan dengan volume air yang terdapat pada setiap sumur bor supaya diperoleh aktivitas di setiap sumur bor $LD < A < MPC$. Radioisotop I-131 memiliki Konsentrasi Maksimum yang Diiijinkan (MPC) I-131 = $1,35 \cdot 10^{-5}$ uCi/cc dan Konsentrasi minimum Terdeteksi (LD) alat cacah = $4 \cdot 10^{-7}$ uCi/cc. Sementara sumur bor P3 tidak diinjeksikan radioisotop karena kering (tidak berair).

Pengukuran Muka Air, Aktivitas Radioisotop, dan Jarak. Pengukuran di lapangan dimulai dengan pengukuran muka air dan kedalaman sumur bor. Setelah itu kegiatan dilanjutkan dengan pengukuran, cacahan total aktivitas radioisotop dan pada setiap interval 45 derajat sampai membentuk lingkaran. Selesai kegiatan tersebut di atas, pengukuran jarak antar sumur bor, jarak antara sumur bor dan air dam, serta jarak antara sumur bor dan rembesan diperlukan untuk menentukan kecepatan rembesan.

Pengukuran Muka Air dan Aktivitas Radioisotop. Pengukuran muka air dan cacahan total aktivitas radioisotop sumur bor dilakukan selama 5 (lima) minggu. Sementara pengukuran aktivitas radioisotop pada setiap interval 45 derajat dilakukan pada minggu pertama.

Pengukuran Jarak. Sementara pengukuran jarak antar sumur bor, jarak antara sumur bor dan air dam, serta jarak antara sumur bor dan rembesan dilakukan pada minggu kelima.

Pengukuran Aktivitas Radioisotop di Hulu dan Hilir Tailings Dam. Pengukuran aktivitas radioisotop di bagian hulu dan hilir *Tailings Dam* dilakukan bersamaan dengan pengukuran jarak di sekitar bendungan. Pengukuran aktivitas radioisotop tersebut dilakukan untuk mengetahui dan sekaligus mengontrol apakah radioisotop keluar pada rembesan yang terdapat di bagian hilir bendungan.

Kajian Keselamatan. Kajian keselamatan penelitian rembesan *Tailings Dam* Pongkor meliputi kajian transportasi dan penyimpanan radioisotop, teknik injeksi, dan pengamatan aktivitas radioisotop.

Transportasi Radioisotop. Volume radioisotop yang akan dibawa masing-masing sebanyak 100 ml dengan aktivitas 1 - 2 Ci. Setiap jenis perunut radioisotop ditempatkan dalam vial glass dan dikemas ke dalam kontainer Pb yang memiliki ketebalan tertentu sehingga paparan radioisotop aman untuk pengendara mobil dan pekerja radiasi yang mengawal radioisotop. Secara teori, kemasan radioisotop yang digunakan dalam pengangkutan didisain dengan kuat dan aman. Apabila kendaraan pengangkut terguling, kemasan tidak boleh terbuka atau pecah.

Dalam kajian keselamatan, bila dalam kecelakaan transportasi kemasan pecah maka radioisotop yang berisi 100 ml dengan aktivitas 1 - 2 Ci harus dapat dilokalisasi untuk dilakukan proses dekontaminasi supaya tidak mengganggu kesehatan dan keselamatan lingkungan.

Penyimpanan Radioisotop. Penyimpanan kontainer berisi radioisotop dilakukan pada

tempat yang paling sedikit dilalui orang dan hewan peliharaan dengan diberi tanda radiasi dan tali tanda batas pengaman sehingga orang tidak mendekati ke tempat penyimpanan radioisotop.

Injeksi Radioisotop. Perunut radioisotop yang digunakan pada penelitian *Tailings Dam* adalah I-131. Injeksi radioisotop dilakukan oleh pekerja radiasi dengan pengawasan Pekerja Proteksi Radisai (PPR), karena pekerja radiasi dilengkapi dengan film badge sebagai pengukur paparan radiasi yang diterima pekerja radiasi. Pekerja radiasi diperbolehkan menerima paparan radiasi maksimal 2.000 mrem/tahun, sedangkan masyarakat (bukan pekerja radiasi) hanya boleh menerima paparan radiasi maksimal 200 mrem/tahun.

Jumlah aktivitas radioisotop yang diinjeksikan pada sumur bor harus diperhitungkan secara teliti, supaya aktivitas radioisotop pada sumur bor dapat tercacah oleh detektor radiasi dan bila radioisotop tersebut merembes sejauh 5 - 10 meter aktivitasnya masih < MPC. Apabila air rembesan yang keluar dari suatu sumur bor memiliki aktivitas radioisotop > MPC, maka air rembesan tersebut harus dilokalisasi dengan menggunakan tanda bahaya radiasi pada radius 2 (dua) meter sehingga masyarakat tidak dapat mendekati air rembesan.

Pengamatan Aktivitas Radioisotop. Pekerjaan lapangan pada penelitian rembesan *Tailings Dam* dengan menggunakan teknik perunut radioisotop dapat ditinggalkan apabila cacahan aktivitas di semua sumur bor sudah relatif kecil (tiga kali cacahan MPC).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Arah Gerakan Airtanah. Menurut pengamatan pada minggu pertama, 4 - 6 September 2002, diperoleh data seperti tercantum pada Tabel 1. Secara statistik, pada sumur bor P2, P4, P5, dan P7 perbedaan cacahan arah radioisotop cukup signifikan, sehingga arah gerakan air tanah dapat ditentukan seperti yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Arah dominan gerakan air pada *Tailings Dam*.

| Lokasi | Arah Dominan |
|--------|--------------|
| P1 | Timur Laut |
| P2 | Timur |
| P4 | Timur |
| P5 | Timur |
| P6 | Tenggara |
| P7 | Selatan |

Sementara pada sumur bor P1 dan P6, perbedaan cacahan arah radioisotop kurang signifikan. Cacahan radioisotop pada semua arah relatif sama. Hal ini menggambarkan bahwa pada sumur P1 dan P6 volume air tanah relatif konstan.

Sebagai ilustrasi, pergerakan airtanah di sekitar sumur bor yang terdapat di *Tailings Dam* Pongkor dapat dilihat pada Gambar 4.

Penentuan Kecepatan Rembesan. Pada penelitian inidapat dihitung kecepatan rembesan pada *Zone General Fill I* (sumur bor P2, P4, dan P5), *Zone Core Fill* (sumur bor P1 dan P6), serta kecepatan rembesan di dekat *Zone General Fill II* (sumur bor P7). Kecepatan rembesan yang dapat ditentukan meliputi kecepatan Darcy (filtrasi) dan kecepatan aktual di sekitar sumur bor.

Kecepatan Darcy dan Aktual. Kecepatan filtrasi, v_f , dihitung setiap minggu dengan menggunakan pers. (3) sampai pers. (6). Sementara untuk menghitung kecepatan aktual v_a digunakan pers. (2) dengan mengasumsikan porositas batuan 40 % [5]. Hasil perhitungan rata-rata kecepatan filtrasi dan aktual dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan kecepatan filtrasi dan Aktual.

| Sumur Bor | v_f (m/detik) | V_a (m/detik) |
|-----------|-----------------------|-----------------------|
| P1 | $4,30 \times 10^{-8}$ | $1,07 \times 10^{-7}$ |
| P2 | $2,67 \times 10^{-8}$ | $6,89 \times 10^{-8}$ |
| P4 | $6,25 \times 10^{-9}$ | $1,56 \times 10^{-8}$ |
| P5 | $4,05 \times 10^{-8}$ | $1,01 \times 10^{-7}$ |
| P6 | $1,8 \times 10^{-8}$ | $4,50 \times 10^{-8}$ |
| P7 | $3,93 \times 10^{-7}$ | $9,82 \times 10^{-7}$ |

Menurut Tabel 2, nilai kecepatan filtrasi pada *Zone General Fill I* dan *Zone Core Fill Tailings Dam* relatif sama. Nilai kecepatan terkecil pada sumur bor P4; sedangkan nilai kecepatan terbesar pada sumur bor P7. Perbedaan nilai kecepatan filtrasi tersebut dapat dikatakan normal; dengan kata lain belum berpengaruh pada suatu gejala kebocoran bendungan.

Koefisien Permeabilitas. Perhitungan koefisien permeabilitas, k , *Tailings Dam* menggunakan pers. (1). Jarak (s) ditentukan berdasarkan arah lintasan terdekat gerakan airtanah pada masing-masing sumur bor. Koefisien permeabilitas sumur bor P7 tidak dapat ditentukan karena tidak ditemukan rembesan di bagian hilir. Hasil perhitungan yang diperoleh seperti tercantum pada Tabel 3.

Tabel 3. Koefisien permeabilitas *Tailings Dam* dan Sekitarnya.

| Sumur Bor | v_f (m/detik) | s (m) | h (m) | k (m/detik) |
|-----------|------------------------|---------|---------|-----------------------|
| P1 | $4,30 \times 10^{-8}$ | 33,28 | 6,11 | $7,89 \times 10^{-9}$ |
| P2 | $2,67 \times 10^{-8}$ | 2,54 | 0,75 | 88×10^{-9} |
| P4 | $0,62 \times 10^{-8}$ | 7,74 | 2,85 | $2,28 \times 10^{-9}$ |
| P5 | $4,05 \times 10^{-8}$ | 2,21 | 0,19 | $3,48 \times 10^{-9}$ |
| P6 | $4,50 \times 10^{-8}$ | 15,56 | 0,34 | $0,98 \times 10^{-9}$ |
| P7 | $39,30 \times 10^{-8}$ | - | 26,24 | - |

Menurut hasil perhitungan k pada Tabel 3, nilai k pada *Zone General Fill I* dapat dikatakan identik. Sementara nilai k pada *Zone Core Fill Tailings Dam* berbeda cukup besar. Nilai k sumur bor P1 lebih besar hampir 10 kali sumur bor P6. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa susunan batuan di sekitar sumur bor P6 lebih padat daripada di sekitar sumur bor P1.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian masalah tersebut di atas maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

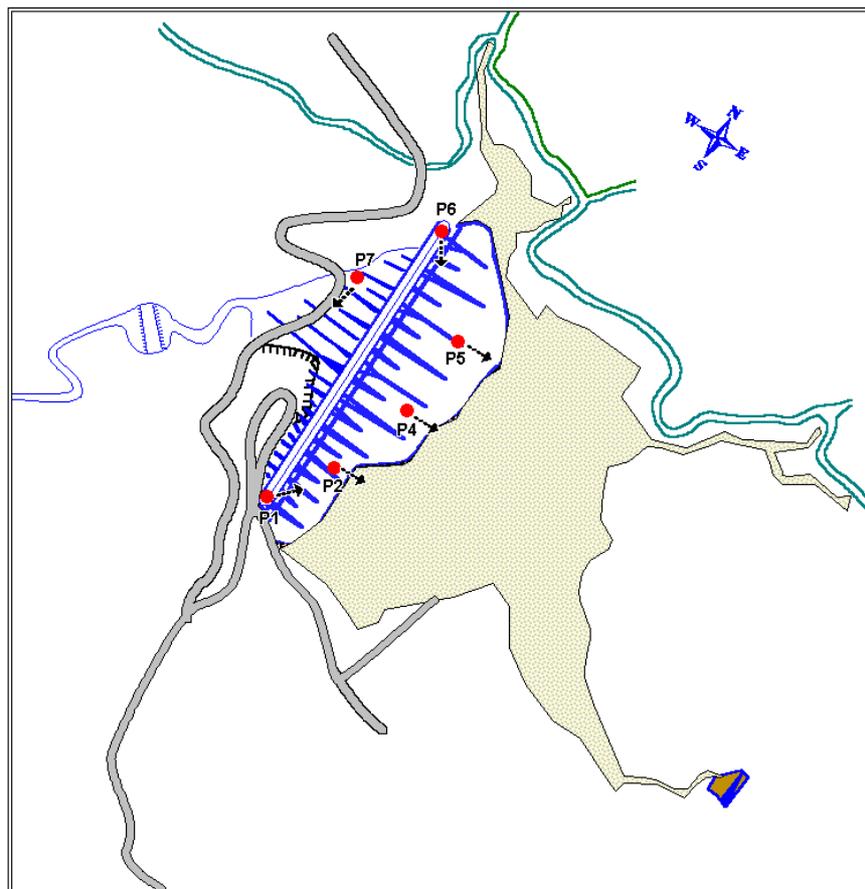
- Arah gerakan airtanah pada *Zone General Fill I* (sumur bor P2, P4, dan P5) lebih dominan ke arah air *Tailings Dam*. Begitu pula arah gerakan airtanah pada *Zone Core Fill* lebih dominan ke arah air *Tailings Dam*.
- Kecepatan filtrasi di *Zone General Fill I*, *Zone Core Fill*, dan di sumur bor P7 relatif kecil, yaitu berkisar $0,6 \times 10^{-6}$ cm/detik.
- Koefisien permeabilitas *Zone General Fill I* dan *Zone Core Fill Tailings Dam* berkisar antara 0,1 - $0,8 \times 10^{-6}$ cm/detik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktur PT. Aneka Tambang Pongkor atas kerjasama penelitian. Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi, Kepada Bidang Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Sdr. Alip, Darman, Bungkus P., Romli, Agus Martinus, dan kawan-kawan di Bidang Sumber Daya Alam dan Lingkungan yang telah membantu pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Suyono Sosrodarsono dan Takeda, K., Bendungan Tipe Urukan, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1981.
2. _____, Laporan Akhir PT Indah Karya, PT Indah Karya (Persero), Konsultan Enjinereng & Manajemen, 1998.
3. Drost, W., dan Klotz, D., Aquifer Characteristics, Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, IAEA, Vienna, 1983.
4. Todd, D.K., Groundwater Hydrology, Second Edition, John Wiley & Sons, SINGAPORE, 1980.
5. Drost W. dan F. Neumaier, Application of Single Borehole Methods in Groundwater Research, Isotope Techniques in Groudwater Hydrology (Proc. Sym, Vienna, 1974), IAEA, Vienna, 1974.



Gambar 4. Arah Gerakan Airtanah di Sekitar Sumur Bor