

ARAH DAN KECEPATAN ALIRAN AIR TANAH CALON TAPAK DISPOSAL DEMO DI KAWASAN NUKLIR SERPONG

GROUND WATER FLOW DIRECTION AND VELOCITY AT DEMO DISPOSAL SITE CANDIDATE IN SERPONG NUCLEAR AREA

Sucipta* dan Risdiyana Setiawan

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, Badan Tenaga Nuklir Nasional,
Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15310

*E-mail: scipta@batan.go.id

Naskah diterima: 20 Oktober 2016, direvisi: 22 November 2016, disetujui: 26 November 2016

ABSTRAK

Rencana pembangunan dan pengoperasian fasilitas disposal demo di Kawasan Nuklir Serpong memerlukan pengkajian keselamatan untuk memberikan bukti ilmiah bahwa fasilitas tersebut aman bagi keselamatan manusia dan lingkungan. Hasil dari pengkajian keselamatan tersebut digunakan sebagai dasar pemberian izin lingkungan untuk pembangunan dan pengoperasian fasilitas tersebut. Salah satu data tapak yang diperlukan dalam pengkajian keselamatan adalah arah dan kecepatan aliran air tanah. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk mengetahui arah dan kecepatan aliran air tanah pada zona akuifer bawah calon tapak disposal demo di Kawasan Nuklir Serpong. Penelitian dilakukan dengan menggunakan perunut (*tracer*) Rhodamin WT. Perunut dilepas pada sumur bor utama (SBU) dan dipantau pada lubang bor (sumur bor pantau) SBP-1 (A), SBP-2 (B), dan SBP-3 (C). Dari hasil analisis contoh air dan analisis keruangan diperoleh data arah aliran air tanah pada kedalaman 16 m ke arah N 240° E (barat-barat daya) dengan kecepatan antara 0,35 m/hari sampai dengan 0,48 m/hari.

Kata kunci: arah, kecepatan, aliran air tanah, akuifer, calon tapak disposal demo

ABSTRACT

Plan for construction and operation of demo disposal facility in Serpong Nuclear Area requires safety assessments to provide scientific evidence that the facility is safe for human and the environment. The result of the safety assessment is used also as a basis for granting environmental permits for the construction and operation of the facility. One of the site data requirements on the safety assessment is the direction and velocity of groundwater flow. Therefore, a study to determine the direction and velocity of groundwater flow at lower zone aquifer of demo disposal site candidate in Serpong Nuclear Area conducted. The research was carried out by using Rhodamin WT tracer. The tracer released in the main well (SBU) and monitored in SBP-1 (A), SBP-2 (B), and SBP-3 (C) boreholes. Based on the water samples and spatial analysis, groundwater data flow direction at a depth of 16 m towards N 240° E (west-southwest) with a velocity of 0.35 m/day up to 0.48 m/day obtained.

Keywords: *direction, velocity, groundwater flow, aquifer, demo disposal site candidate*

PENDAHULUAN

Pembangunan dan pengoperasian fasilitas disposal demo di Kawasan Nuklir Serpong wajib mempertimbangkan keselamatan manusia dan lingkungan. Untuk memberikan alasan ilmiah bahwa pembangunan dan pengoperasian fasilitas disposal demo tersebut aman atau selamat bagi manusia dan lingkungan hidupnya maka perlu dilakukan

pengkajian keselamatan [1]. Dalam pengkajian keselamatan diperlukan data limbah, data tapak, data desain, dan data lingkungan. Salah satu data tapak atau data lingkungan yang harus disediakan adalah data arah dan kecepatan aliran air tanah. Untuk itu maka data tersebut harus diperoleh dengan cara penelitian atau pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan metode

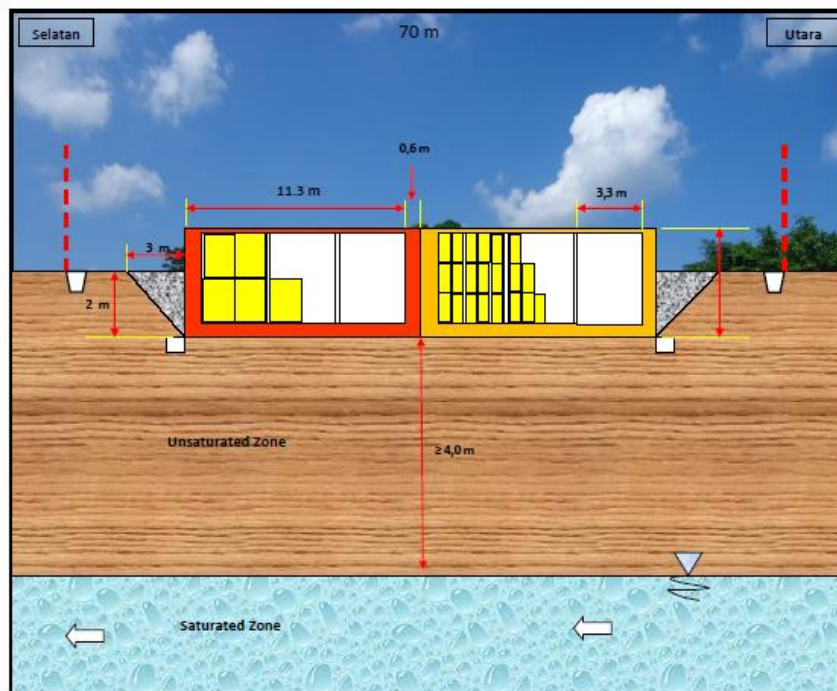
tertentu. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan data arah dan kecepatan aliran air tanah pada zona akuifer bagian bawah calon tapak fasilitas disposal demo di Kawasan Nuklir Serpong.

Beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan tapak disposal demo yang datanya akan digunakan sebagai pendukung dalam penelitian ini dan untuk pengkajian keselamatan selanjutnya seperti diuraikan sebagai berikut. Analisis mengenai dampak lingkungan (AMDAL) untuk fasilitas *near surface disposal* (NSD) wajib melingkupi tahap prakonstruksi, konstruksi, operasi, dan pasca operasi [2]. Data arah dan kecepatan aliran air tanah dari hasil penelitian ini akan digunakan untuk deskripsi rona awal lingkungan tapak, bahan kajian dampak penting, dan sebagai bahan untuk penyusunan rencana pengelolaan lingkungan (RKL) serta rencana pemantauan lingkungan (RPL).

Penyelidikan terkait hidrogeologi dan karakteristik akuifer calon tapak disposal demo dapat telah dilakukan yang meliputi data permeabilitas, transmisivitas, dan elevasi muka air tanah [3]. Dalam optimasi penempatan disposal demo dalam lingkungan geologi kawasan nuklir Serpong telah diuraikan desain konseptual fasilitas disposal demo dan penempatannya pada tapak seperti pada Gambar 1 [4]. Pertimbangan yang digunakan dalam optimasi penempatan adalah aspek geomorfologi (bentuk lahan, lereng, proses geomorfologi), litologi (permeabilitas, adsorpsi, kekompakan – kekerasan –

homogenitas, dan perlapisan batuan), struktur geologi, geologi teknik (daya dukung tanah), air permukaan dan air tanah (debit, jarak, kedalaman muka air tanah, pola umum aliran air tanah), dan potensi bencana geologi (gempa bumi, gunungapi, erosi, gerakan tanah, dan banjir). Dengan demikian lokasi penelitian ini wajib mempertimbangkan posisi tapak hasil optimasi penempatan fasilitas disposal tersebut.

Kawasan PUSPIPTEK Serpong dan sekitarnya (dimana lokasi penelitian berada), secara geologi lingkungan terdiri dari 6 (enam) satuan geologi lingkungan, yaitu GL-1, GL-2, GL-3, GL-4, GL-5, dan GL-6 [5]. Berdasarkan peta geologi lingkungan tersebut dapat ditentukan bahwa calon tapak disposal demo berada pada satuan Geologi Lingkungan 4 (GL-4) dan satuan Geologi Lingkungan 6 (GL-6). Satuan GL-4 dengan batuan yang lebih kasar dan lebih lulus air (*permeable*) menumpang di atas satuan GL-6 yang berbatuan halus dan tidak lulus air (*impermeable*). Dengan kondisi tersebut maka secara hidrogeologi batuan dari GL-4 sebagai lapisan pembawa air (akuifer) dialasi oleh batuan dari GL-6 di bawahnya sebagai lapisan kedap air. Atas dasar data tersebut maka penelitian arah dan kecepatan aliran air tanah ini akan mengambil posisi pada batuan yang termasuk satuan GL-4.



Gambar 1. Desain konseptual NSD dengan penampang melewati zona *shell* beton dan drum (NSD ditempatkan pada zona *vadose* dan di atas permukaan tanah).

Muka air tanah pada lokasi tapak fasilitas disposal demo Kawasan Nuklir Serpong yang terdalam pada sumur bor DH-5, yaitu 11,4 meter dan yang terdangkal adalah 5,06 meter pada sumur pantau P-4 [6]. Bulan Februari tahun 2013 merupakan bulan dengan kedalaman air tanah paling dangkal sedangkan pada bulan Oktober tahun 2013 posisi air tanahnya paling dalam. Fluktuasi kedalaman permukaan air tanah berkisar antara musim hujan dan musim kemarau adalah 3,49–4,57 m. Data muka air tanah ini digunakan dalam desain penelitian untuk menentukan kedalaman pengambilan sampel air tanah.

Hasil perhitungan kerentanan dinamis dengan menggunakan Indeks Kerentanan (DRASTIC + PL) menunjukkan mayoritas (50 %) area di Desa Muncul tidak rentan terhadap pencemaran, termasuk Kawasan Nuklir Serpong sedangkan penggunaan lahan yang masuk ke dalam tingkat kerentanan tinggi antara lain adalah permukiman di

Dusun Baruasih dan Dusun Sengkol, juga Kawasan Nuklir Serpong dan area sepanjang Sungai Cisalak [7].

Kajian skenario lepasan radionuklida dalam air dan tanah pada *demonstration plant of near surface disposal* limbah radioaktif di Kawasan Nuklir Serpong telah dilakukan dengan hasil masih memenuhi Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan, dimana konsentrasi maksimum zat radioaktif di badan air berorde 10^2 Bq/m³ sampai 10^5 Bq/m³. Hasil perhitungan konsentrasi maksimum zat radioaktif untuk tapak NSD diperoleh aktivitas radionuklida dalam sumur berkisar antara 10^{-10} Bq/m³ sampai 10^0 Bq/m³ dan dalam air sungai berkisar antara 10^{-15} Bq/m³ sampai 10^{-1} Bq/m³ [8]. Kajian tersebut perlu dimutakhirkan dengan data arah dan kecepatan aliran air tanah yang sesungguhnya dari hasil penelitian ini.

Kapasitas serapan (sorpsi) tanah terhadap radionuklida Stronsium dan Cesium cukup besar. Hal tersebut didukung hasil penelitian Kd tanah terhadap radionuklida Stronsium yang berkisar antara 1600–2350 ml/g [9] dan terhadap Cesium berada pada kisaran 1400–1900 ml/g [10]. Kapasitas sorpsi tanah terhadap radionuklida tentu sangat dipengaruhi juga oleh kecepatan aliran air tanah yang membawa kontaminan radionuklida tersebut.

Data arah dan kecepatan aliran air tanah akan digunakan untuk mensimulasikan transpor kontaminan radionuklida dalam tanah atau batuan bawah permukaan dengan menggunakan perangkat lunak tertentu. Simulasi transpor kontaminan dalam media *porous* tergantung pada akurasi estimasi kecepatan aliran air tanah di lapangan [11]. Estimasi kecepatan aliran air tanah di lapangan biasanya dilakukan dengan pengukuran konduktivitas hidrolis dan *hydraulic head* pada beberapa lokasi dan menggunakan Hukum Darcy atau model air tanah. Ada hubungan antara konduktivitas hidrolis dengan debit aliran air tanah dan kecepatan aliran sedangkan konduktivitas hidrolis dipengaruhi oleh *hydraulic head* [11]. Pada penelitian ini, arah dan kecepatan aliran air tanah dilakukan dengan pengukuran langsung di lapangan berdasarkan metode perunut [11].

Secara geologi, aliran air tanah dangkal pada calon tapak disposal demo di Kawasan Nuklir Serpong berada pada zona batuan yang termasuk dalam Formasi Serpong [4]. Formasi Serpong tersusun oleh lanau pasir–kerikil sebagai hasil dari endapan sungai (produk proses fluvial). Secara hidrogeologi dapat dikatakan bahwa akuifer di lokasi penelitian merupakan akuifer dengan media berporositas antar butir.

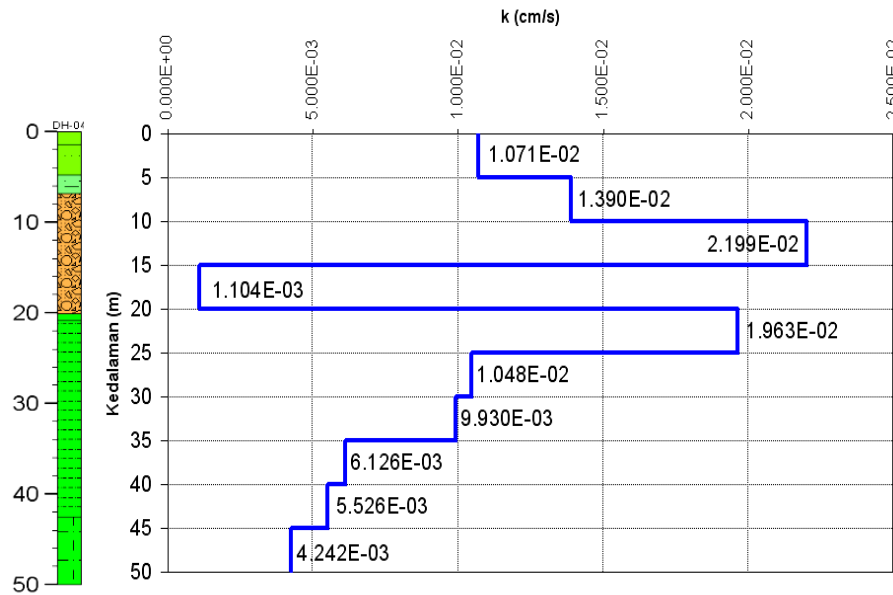
Zona akuifer dijumpai pada kedalaman antara 8–20 m sehingga lapisan akuifer terukur setebal 12 m [3]. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2, lapisan akuifer tersebut memiliki permeabilitas yang relatif bervariasi antara $1,39 \times 10^{-2}$ cm/detik (kedalaman 8–10 m), $2,199 \times 10^{-2}$ cm/detik (kedalaman 10–15 m) dan $1,104 \times 10^{-3}$ cm/detik (kedalaman 15–20 m).

Estimasi kecepatan aliran air tanah dalam media porositas antarbutir relatif lebih mudah dari pada estimasi dalam media porositas hasil retakan (*fractured media*) [11]. Penelitian tentang jalur aliran (*flow path*) air tanah dengan metode kombinasi uji lapangan dan laboratorium dalam akuifer tidak seragam (*heterogeneous aquifer*) telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu [12]. Beberapa metode tersebut meliputi *pumping test*, *tracer test*, *flowmeter test*, dan *grain size analysis*. Hasil dari metode *tracer test* relatif memiliki nilai yang tidak jauh menyimpang dari hasil metode-metode lain sehingga metode *tracer test* ini bisa diandalkan, baik dari segi operasional maupun hasil.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan pada lahan calon tapak disposal demo di depan Gedung Interim Storage 2 Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Penelitian lapangan dan laboratorium dilaksanakan antara tanggal 7–25 September 2015 yang merupakan musim kemarau dengan muka air tanah relatif dalam. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode perunut (*tracer*) [11]. Perunut yang digunakan adalah Rhodamin WT. Perunut dilepas pada sumur bor SBU dan dipantau pada lubang bor (sumur bor pantau) SBP-1 (A), SBP-2 (B), dan SBP-3 (C). Dari hasil analisis contoh air dan analisis

keruangan akan diperoleh data arah dan kecepatan aliran air tanah setempat.

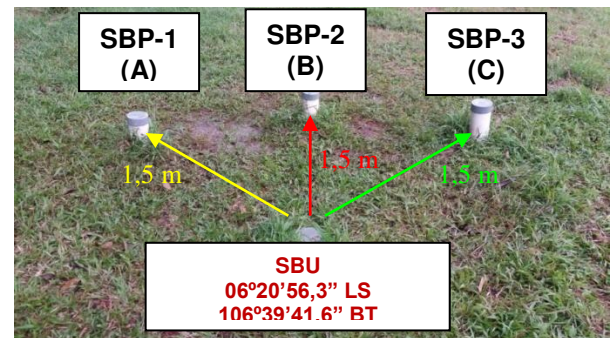


Gambar 2. Log litologi dan hasil pengujian permeabilitas pada lubang bor DH-04 [3].

Adapun urutan-urutan langkah dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- 1). *Review* dan orientasi data sekunder tentang tapak disposal demo [3,4,5,6,7] serta penentuan posisi dan pembuatan sumur bor yang akan diukur.
- 2). Pembuatan sumur bor dengan kedalaman sama dengan kedalaman bagian atas batulempung Formasi Bojongmanik (± 20 m). Empat buah sumur bor dibuat berdiameter 4 inci dengan casing pipa pralon berlubang/perforasi (SNI 13-4687). Satu lubang bor digunakan sebagai lubang bor utama (SBU) tempat dimasukkannya perunut) dan tiga lubang bor yang lain sebagai lubang bor pemantauan (tempat pemantauan perunut) atau SBP-1 (A), SBP-2 (B), dan SBP-3 (C) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Koordinat posisi lubang bor utama (SBU) adalah $06^{\circ} 20' 56,3''$ LS dan $106^{\circ} 39' 41,6''$ BT. Posisi SBP-1 berjarak 1,5 meter dari SBU pada arah $N160^{\circ}$ E. Posisi SBP-2 berjarak 1,5 meter dari SBU pada arah $N 200^{\circ}$ E. Posisi

SBP-3 berjarak 1,5 meter dari SBU pada arah $N 240^{\circ}$ E.



Gambar 3. Koordinat dan posisi lubang bor penelitian.

- 3). Perhitungan konsentrasi Rhodamin WT yang harus disuntikkan ke dalam sumur bor utama (SBU) adalah dengan rumus:

$$V_1 \cdot N_1 = V_2 \cdot N_2 = V_3 \cdot N_3$$

Keterangan:

V_1 = volume air pada pralon penyuntik;

N_1 = konsentrasi rhodamin pada pralon penyuntik;

V_2 = volume air pada sumur bor utama;

N_2 = konsentrasi rhodamin pada sumur bor utama;

V_3 = volume air pada zona air tanah;

N_3 = konsentrasi rhodamin pada zona air tanah;

- 4). Pengukuran kedalaman muka air tanah pada semua sumur bor penelitian (SBU, SBP-1, SBP-2 dan SBP-3) seperti ditunjukkan pada Gambar 4 kiri.
- 5). Pengambilan sampel air sebelum injeksi rhodamin dari semua sumur penelitian seperti ditunjukkan dalam Gambar 4 kanan. Contoh air tanah diambil pada kedalaman 16 m yang mewakili zona bawah aliran air tanah pada musim kemarau.



Gambar 4. Pengukuran kedalaman muka air tanah dan pengambilan sampel air sebelum injeksi rhodamin pada sumur bor penelitian.

- 6). Injeksi rhodamin ke dalam sumur bor utama (SBU) [11], dengan urutan: a) penyambungan pralon injeksi; b) pengambilan air dari sumur bor utama; c) pengenceran rhodamin; dan d) injeksi (penyuntikan) rhodamin ke dalam sumur bor utama sebanyak 2 ml seperti ditunjukkan pada Gambar 5.
- 7). Penyelidikan lapangan dengan pengukuran arah dan kecepatan aliran air tanah dengan perunut Rhodamin WT yang dimasukkan dalam sumur utama (SBU) dan diamati pada sumur pantau di sekitarnya (SBP-1, SBP-2, dan SBP-3). Pemantauan dilakukan secara rutin dalam orde antara 3 hingga 5 jam dan atau

harian selama 19 hari. Pengambilan sampel air tanah dari lubang bor dilakukan secara manual dengan alat *sampling* tabung pralon panjang 1 m berdiameter 1/2 inci seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Penyiapan larutan Rhodamin WT dan injeksi larutan Rhodamin WT ke dalam sumur bor utama SBU.



Gambar 6. Pengambilan contoh air tanah.

- 8). Analisis laboratorium sampel air tanah dengan alat UV VIS merek Perlin Elmer seri Lambda 35 pada panjang gelombang 556 nm.
- 9). Analisis data, evaluasi hasil, dan penyusunan laporan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kedalaman muka air tanah awal sebelum injeksi Rhodamin WT

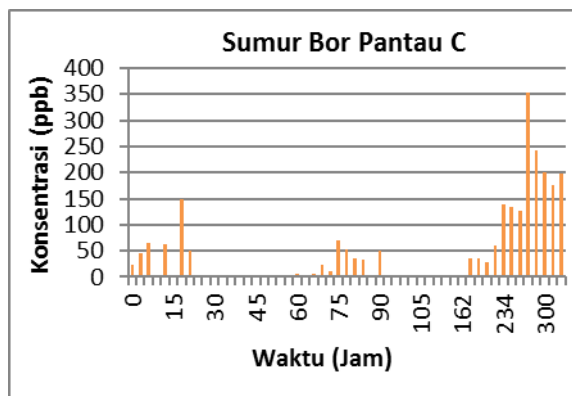
adalah sumur SBU 10,48 m, sumur SBP-1 (A) 10,45 m, sumur SBP-2 (B) 10,45 m, dan sumur SBP-3 (C) 10,46 m. Dengan hasil pengukuran kedalaman muka air tanah tersebut maka diketahui ketebalan zona air tanah masing-masing sumur sebagai berikut: sumur utama 9,52 m, sumur A 9,55 m, sumur B 9,55 m, dan sumur C 9,54 m. Dengan dasar ketebalan zona air tanah tersebut maka ditentukan pengambilan sampel air tanah untuk penelitian ini di kedalaman 16 m pada zona lapisan dengan permeabilitas batuan sebesar $1,104 \times 10^{-3}$ cm/detik.

Hasil dari pengambilan contoh air tanah dari ketiga sumur pantau A (SBP-1), B (SBP-2), dan C (SBP-3) ditempatkan dalam botol sampel air seperti ditunjukkan dalam Gambar 7. Jumlah sampel air dari semua sumur pantau adalah sebanyak 159 botol yang terdiri dari 53 botol kode A (A-3 s.d. A-53 dari sumur pantau A), 53 botol kode B (B-3 s.d. B-53 dari sumur pantau B), dan 53 botol kode C (C-3 s.d. C-53 dari sumur pantau C).

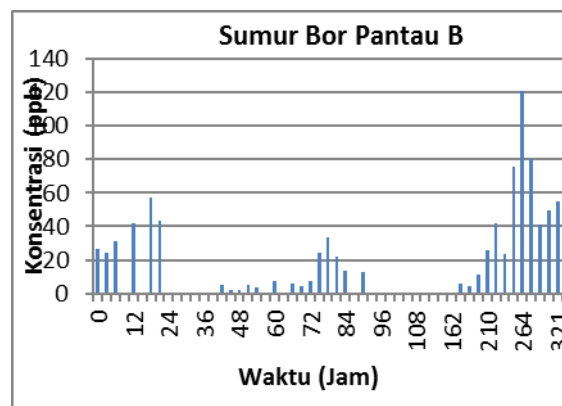


Gambar 7. Sampel air tanah dari sumur pantau penelitian A, B, dan C.

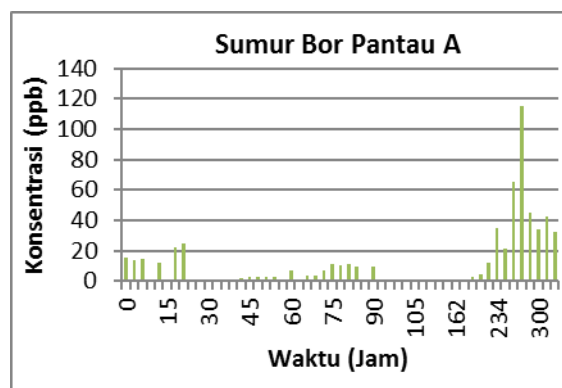
Hasil analisis dengan UV-VIS positif menunjukkan adanya variasi konsentrasi rhodamin dalam sampel air tanah dari sumur utama maupun sumur pantau, seperti ditunjukkan dalam Gambar 8, 9, dan 10.



Gambar 8. Grafik konsentrasi rhodamin terhadap waktu (jam) pada SBP-C.



Gambar 9. Grafik konsentrasi rhodamin WT terhadap waktu (jam) pada SBP-B.



Gambar 10. Grafik konsentrasi rhodamin terhadap waktu (jam) pada SBP-A.

Dari hasil analisis sampel air pada kondisi awal sebelum injeksi rhodamin menunjukkan nilai konsentrasi maksimum sebesar 26,92 ppb (diperoleh pada sumur pantau B). Nilai tersebut selanjutnya

dianggap sebagai nilai ambang untuk sampel air dalam kondisi masih belum mengandung Rhodamin WT (belum injeksi) sehingga sampel air yang konsentrasi rhodaminnya di atas 26,92 ppb berarti sudah mengandung Rhodamin WT hasil dari injeksi yang terbawa oleh aliran air tanah dari sumur utama menuju sumur pantau yang bersangkutan.

Hasil analisis dengan UV-VIS menunjukkan bahwa sampel air pada awal-awal pengambilan sampel sudah mengandung rhodamin di atas nilai ambang antara 31,01 ppb hingga 148,39 ppb seperti ditunjukkan pada Gambar 8, 9, dan 10 serta Tabel 1. Hal tersebut terjadi karena pengotoran sampel dari corong dan tabung pengambil sampel yang belum dibilas dengan air bersih sehingga fenomena itu dapat diabaikan.

Nilai konsentrasi di atas nilai ambang baru ditemukan pada sampel C-28 sebesar 68,80 ppb sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 8 dan Tabel 1. Sampel C-28 diambil pada jam ke-75 sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa aliran air tanah yang membawa Rhodamin WT dari sumur utama ke sumur pantau C yang berarah N 240° E sejauh 1,5 meter membutuhkan waktu lebih kurang 75 jam atau setara dengan 3 hari 3 jam. Kecepatan aliran air tanah bisa dihitung sebesar 1,5 m dibagi 75 jam, yaitu sebesar 0,02 m/jam atau 0,48 m/hari atau 175,2 m/th.

Pada jam ke-84 dilakukan injeksi ulang ke sumur utama dengan konsentrasi yang jauh lebih tinggi agar dapat mencapai sumur-sumur pantau dengan konsentrasi yang signifikan. Perbandingan antara rhodamin dan air adalah 15 ml rhodamin dalam setiap 2,8 l air atau 15 ml rhodamin dalam setiap 2.800 ml air. Selanjutnya tetap dilakukan pengambilan sampel air tanah secara rutin dan periodik antara 3 jam hingga harian.

Pada jam ke-186 atau 102 jam setelah injeksi kedua baru ditemukan pada sampel C-42 yang konsentrasi rhodaminnya melebihi nilai ambang, yaitu sebesar 35,41 ppb dan kecenderungannya semakin lama makin besar seperti terlihat pada Gambar 8 dan Tabel 1. Kecepatan aliran air tanah bisa dihitung sebesar 1,5 dibagi 102 jam, yaitu sebesar 0,015 m/jam atau 0,35 m/hari atau 128,8 m/th.

Pada jam ke-210 atau 126 jam setelah injeksi kedua baru ditemukan pada sampel B-45 sebesar 25,58 ppb sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9 dan Tabel 1, yang berarti kecepatan aliran air tanah ke sumur pantau B yang berarah N 200° E sebesar 1,5 m dibagi 126 jam, yaitu sebesar 0,012 m/jam atau 0,288 m/hari atau 105,1 m/th. Pada jam ke-234 atau 150 jam setelah injeksi kedua baru ditemukan pada sampel A-46 sebesar 34,70 ppb seperti diperlihatkan pada Gambar 10 dan Tabel 1, yang berarti kecepatan aliran air tanah ke sumur pantau A yang berarah N 160° E sebesar 1,5 m dibagi 150 jam, yaitu sebesar 0,01 m/jam atau 0,24 m/hari atau 87,6 m/th. Dengan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pada kedalaman ± 16 m dan musim kemarau, arah aliran air tanah cenderung ke sumur pantau C (N 240° E atau barat - barat daya) dengan kecepatan antara 0,015 m/jam atau 0,35 m/hari atau 128,8 m/th sampai dengan 0,02 m/jam atau 0,48 m/hari atau 175,2 m/th. Kecepatan aliran air tanah ke arah sumur pantau B dan A cenderung lebih lambat.

Bila dibandingkan dengan hasil penelitian pada zona batuan sejenis [12] sebesar 0,939–10,5 m/hari, hasil tersebut lebih rendah tetapi relatif tidak jauh berbeda dan layak untuk digunakan sebagai data masukan dalam pengkajian keselamatan. Bahkan dengan hasil penelitian pada zona

batuan dengan porositas retakan [11] sebesar 1–33 m/hari (untuk retakan tunggal) dan 2–388 m/hari (untuk banyak retakan) menunjukkan hal yang tidak jauh berbeda.

Tabel 1. Konsentrasi Rhodamin WT dalam air tanah kedalaman 16 m pada sumur pantau A, B, dan C.

| Sumur Pantau (SP) A | Konsentrasi Rhodamin (ppb) | Sumur Pantau (SP) B | Konsentrasi Rhodamin (ppb) | Sumur Pantau (SP) C | Konsentrasi Rhodamin (ppb) | Waktu pengambilan Sampel (Jam) |
|---------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------------|
| A3 | 15,21 | B3 | 26,92 | C3 | 24,36 | 0 |
| A4 | 13,92 | B4 | 24,33 | C4 | 46,31 | 3 |
| A5 | 14,36 | B5 | 31,01 | C5 | 64,96 | 6 |
| A6 | 0 | B6 | 0 | C6 | 0 | 9 |
| A7 | 12,45 | B7 | 41,89 | C7 | 63,1 | 12 |
| A8 | 0 | B8 | 0 | C8 | 0 | 15 |
| A9 | 21,99 | B9 | 57,37 | C9 | 148,39 | 18 |
| A10 | 24,66 | B10 | 43,52 | C10 | 50,72 | 21 |
| A11 | 0 | B11 | 0 | C11 | 0 | 24 |
| A12 | 0 | B12 | 0 | C12 | 0 | 27 |
| A13 | 0 | B13 | 0 | C13 | 0 | 30 |
| A14 | 0 | B14 | 0 | C14 | 0 | 33 |
| A15 | 0 | B15 | 0 | C15 | 0 | 36 |
| A16 | 0 | B16 | 0 | C16 | 0 | 39 |
| A17 | 2,18 | B17 | 5,47 | C17 | 3,05 | 42 |
| A18 | 3,03 | B18 | 1,81 | C18 | 3,81 | 45 |
| A19 | 2,94 | B19 | 1,75 | C19 | 3,71 | 48 |
| A20 | 3,07 | B20 | 5,27 | C20 | 3,43 | 51 |
| A21 | 2,89 | B21 | 3,23 | C21 | 4,55 | 54 |
| A22 | 0 | B22 | 0 | C22 | 0 | 57 |
| A23 | 6,72 | B23 | 7,61 | C23 | 6,67 | 60 |
| A24 | 0 | B24 | 0 | C24 | 0 | 63 |
| A25 | 3,76 | B25 | 5,52 | C25 | 5,44 | 66 |
| A26 | 3,91 | B26 | 4,50 | C26 | 22,77 | 69 |
| A27 | 7,01 | B27 | 7,72 | C27 | 11,27 | 72 |
| A28 | 11,43 | B28 | 24,07 | C28 | 68,80 | 75 |
| A29 | 10,63 | B29 | 33,72 | C29 | 53,45 | 78 |
| A30 | 11,17 | B30 | 22,08 | C30 | 35,54 | 81 |
| A31 | 9,44 | B31 | 13,91 | C31 | 32,35 | 84 |
| A32 | 0 | B32 | 0 | C32 | 0 | 87 |
| A33 | 9,67 | B33 | 12,55 | C33 | 50,49 | 90 |
| A34 | 0 | B34 | 0 | C34 | 0 | 93 |
| A35 | 0 | B35 | 0 | C35 | 0 | 96 |
| A36 | 0 | B36 | 0 | C36 | 0 | 99 |
| A37 | 0 | B37 | 0 | C37 | 0 | 102 |
| A38 | 0 | B38 | 0 | C38 | 0 | 105 |
| A39 | 0 | B39 | 0 | C39 | 0 | 108 |
| A40 | 0 | B40 | 0 | C40 | 0 | 111 |
| A41 | 0 | B41 | 0 | C41 | 0 | 114 |
| A41a | 0 | B41a | 0 | C41a | 0 | 138 |
| A41b | 0 | B41b | 0 | C41b | 0 | 162 |
| A42 | 0,79 | B42 | 5,76 | C42 | 35,41 | 186 |
| A43 | 2,60 | B43 | 4,06 | C43 | 35,75 | 189 |
| A44 | 4,19 | B44 | 11,10 | C44 | 26,99 | 192 |
| A45 | 12,39 | B45 | 25,58 | C45 | 59,26 | 210 |
| A46 | 34,70 | B46 | 41,56 | C46 | 138,98 | 234 |
| A47 | 21,71 | B47 | 23,67 | C47 | 134,38 | 258 |
| A48 | 65,34 | B48 | 75,84 | C48 | 127,41 | 261 |
| A49 | 115,08 | B49 | 120,99 | C49 | 353,34 | 264 |
| A50 | 44,96 | B50 | 79,98 | C50 | 243,63 | 282 |
| A51 | 34,39 | B51 | 41,06 | C51 | 201,25 | 300 |
| A52 | 42,19 | B52 | 49,96 | C52 | 175,30 | 318 |
| A53 | 32,44 | B53 | 54,6 | C53 | 198,66 | 321 |

KESIMPULAN

Ketebalan zona air tanah masing-masing sumur adalah sumur utama 9,52 m, sumur A 9,55 m, sumur B 9,55 m, dan sumur C 9,54 m. Pada musim kemarau kedalaman air tanah \pm 16 m dengan arah aliran air tanah cenderung ke sumur pantau C (N 240° E atau barat-barat daya) dengan kecepatan antara 0,015 m/jam atau 0,35 m/hari atau 128,8 m/th sampai dengan 0,02 m/jam atau 0,48 m/hari atau 175,2 m/th. Kecepatan aliran air tanah ke arah sumur pantau B dan A cenderung lebih lambat.

Perbandingan dengan hasil penelitian pada zona batuan sejenis dengan porositas retakan tunggal maupun retakan jamak menunjukkan bahwa hasil tersebut lebih rendah tetapi relatif tidak jauh berbeda dan layak untuk digunakan sebagai data masukan dalam pengkajian keselamatan. Untuk melengkapi data arah dan kecepatan aliran air tanah perlu dilakukan penelitian pada musim penghujan dengan muka air tanah yang lebih tinggi dan pada zona permeabilitas yang lebih besar sehingga bisa diketahui dua kondisi musim dan zona permeabilitas yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu dalam penelitian ini: Kepala PTLR, BTPPL, BPL, BK2O, BOSP, BTU, dan UPN. Secara khusus kami sampaikan terima kasih kepada Dr. Paston Sidauruk sebagai narasumber, Pak Teddy S., Sdr. Arif Efendi, Pak Marwoto, dan Pak Soegeng Waluyo, ST. yang telah membantu pengambilan sampel air tanah di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA, "Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities," Vienna, 2004.
- [2] Sucipta and A. Pudyo, "Kajian AMDAL Fasilitas Near Surface Disposal," in *Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir*, pp. 42–55, 2010.
- [3] Syaeful, Sucipta, I. A. Sadisun, "Studi Geologi Teknik Tapak Penyimpanan Akhir Limbah Radioaktif (LRA) Demo Plant Tipe NSD Kedalaman Menengah di Puspipstek, Serpong," *Eksplorium*, vol. 35, no. 1, pp. 13–28, 2014.
- [4] Sucipta, "Pemetaan Geologi Lingkungan Kawasan Puspipstek Serpong dan Sekitarnya sebagai Penyangga Tapak Disposal Demo," *J. Teknol. Pengelolaan Limbah*, vol. 17, no. 2, pp. 31–43, 2014.
- [5] Sucipta, "Optimasi Penempatan Disposal Demo dalam Lingkungan Geologi Kawasan Nuklir Serpong," *J. Teknol. Pengelolaan Limbah*, vol. 17, no. 2, pp. 47–64, 2014.
- [6] Teddy S., "Pemantauan Kedalaman dan Kualitas Air Tanah pada Tapak Disposal Demo Tahun 2013," in *Prosiding Hasil Penelitian PTLR 2013*, pp. 581–588, 2014.
- [7] E. N. Utami, "Kerentanan Airtanah untuk Penyimpanan Limbah Radioaktif Dekat Permukaan di Desa Muncul Kecamatan Setu Kota Tangerang Selatan," UGM, 2014.
- [8] P. Dewanto, "Kajian Skenario Lepas Radionuklida dalam Air dan Tanah pada Demonstration Plant of Near Surface Disposal Limbah Radioaktif Indonesia, Depok, 2015," Universitas Indonesia, 2015.
- [9] B. Setiawan, O. Mila, and Safni, "Interaction of Sr-90 with Site Candidate Soil for Demonstration Disposal Facility at Serpong," in *AIP Conf. Proc.* 1589, pp. 325–328, 2014.
- [10] B. Setiawan, "Radiocesium Sorption onto SP-4 Site Soil of Serpong Nuclear Center," in *ICICS*, 2014.
- [11] K. Novakowsky, G. Bickerton, P. Lapcevic, J. Voralek, and N. Ross, "Measurements of Groundwater Velocity in Discrete Rock Fractures," *J. Contam. Hydrol.*, vol. 82, pp. 44–60, 2006.
- [12] R. F. D. Gierczak, J. F. Deflin, and D. L. Rudolf, "Combined Use of Field and Laboratory Testing to Predict Preferred Flow Paths in An Heterogeneous Aquifer," *J. Contam. Hydrol.*, vol. 82, no. 1–2, pp. 75–98, 2006.