

PEMANTAUAN KEDALAMAN DAN KUALITAS AIR TANAH PADA TAPAK DISPOSAL DEMO TAHUN 2017

Risdiyana Setiawan, Sucipta

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

risdiyana@batan.go.id

ABSTRAK

PEMANTAUAN KEDALAMAN DAN KUALITAS AIR TANAH PADA TAPAK DISPOSAL DEMO TAHUN 2017. Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan data kedalaman muka air tanah dan kualitas air tanah sepanjang tahun 2017. Metodologi yang dilakukan dengan metode survey yaitu dengan melakukan pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan yang dilakukan setiap minggu selama tahun 2017 serta pengambilan sampel air untuk dianalisa di laboratorium. Pengamatan dilakukan pada sumur pantau (P1-P6) dan lubang sumur bor (DH1-DH5) yang ada di tapak disposal demo Kawasan Nuklir Serpong. Muka air tanah yang terdangkal 7.00 meter diperoleh pada lubang sumur pantau P4 dan yang terdalam 11.49 meter diperoleh pada lubang sumur bor DH 5. Kualitas air tanah pada sumur bor cukup baik jika dibandingkan dengan standar kualitas air minum yang ada.

Kata Kunci : kedalaman muka air tanah, kualitas air tanah, disposal demo

ABSTRACT

MONITORING OF GROUNDWATER LEVEL AND QUALITY AT DEMO PLANT DISPOSAL SITE IN THE YEAR OF 2017. This activity is carried out to obtain the groundwater depth data and water quality in a long year of 2017. The methodology was conducted by survey, by making observations and measurements made directly in the field each week for the year 2017 and taking the water samples to be analyzed in the laboratory. Observations were made through monitoring wells (P1-P6) and bore hole (DH1-DH5) in the disposal demo site of Serpong Nuclear Area. The shallowest groundwater depth is 7.00 meter obtained is monitor wells P4 and the deepest groundwater is 11.49 meter obtained at bore hole DH 5 wells. The quality of groundwater in bore holes quite well when compared with the water quality standards for drinking water.

Keyword : depth, ground water quality, demonstration disposal

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 pemantauan kedalaman air tanah. Untuk itu maka data tersebut harus diperoleh dengan cara penelitian atau pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan metode tertentu.

Tujuan pengukuran ini adalah untuk mendapatkan informasi kedalaman muka air tanah dan pengukuran kualitas air tanah diharapkan diperoleh informasi awal kualitas air tanah sebelum adanya kegiatan disposal, sehingga dapat memberi masukan untuk pengkajian keselamatan pembangunan fasilitas disposal demo di Kawasan Nuklir Serpong

Prinsip dasar dari disposal adalah bahwa fasilitas tersebut ditempatkan, dirancang, dibangun, dioperasikan, ditutup dan didekomisioning sedemikian rupa sehingga pekerja, masyarakat dan lingkungan hidupnya terlindung dari bahaya radiologi. Lahan untuk tapak disposal dipilih yang memenuhi kriteria keselamatan sehingga dapat mengungkung radionuklida dalam limbah, mampu menahan lepasan radionuklida tersebut ke biosfer dan mampu menyangga beban repositori beserta limbahnya [1].

Tabel 1. Deskripsi kriteria lingkungan geologi tapak disposal limbah radioaktif

NO.	PARAMETER	KETERANGA
1	Geomorfologi	1). Bentuk lahan tidak berbukit dan bukan lembah 2). Kelerengan kecil (<5°) 3). Intensitas proses geomorfologi kecil
2	Litologi dan Stratigrafi	1). Permeabilitas rendah 2). Sifat adsorpsi baik 3). Kompak, keras dan homogen Perlapisan relatif sederhana
3	Struktur geologi	Struktur geologi relatif sederhana
4	Hidrologi dan Hidrogeologi	Hidrologi 1). Aliran permukaan kecil 2). Jauh dari tubuh air permukaan Hidrogeologi 1). Muka air tanah >4 m dari dasar fondasi disposal 2). Laju aliran rendah
5	Bencana alam geologi	Tidak ada (kecil) ancaman bahaya gempa bumi Tidak ada aktivitas dan ancaman bahaya gunungapi Tidak ada (kecil) potensi terjadinya erosi, gerakan tanah dan banjir

Air merupakan media transport utama bagi radionuklida, sehingga kontrol terhadap air permukaan dan air tanah merupakan hal yang sangat penting. Rekayasa sipil atau struktur dapat digunakan untuk menahan kemungkinan infiltrasi air hujan dan air permukaan menjadi minimum, maka harus disediakan sistem drainase yang memadai. Sistem tersebut harus bisa menjamin efisiensi dan pergerakan cepat air hujan serta mencegah banjir dan erosi.

Batas air merupakan kendala untuk menempatkan paket limbah radioaktif pada fasilitas disposal yang akan dibangun, karena paket limbah radioaktif yang terendam air akan cepat rusak dan apabila rusak maka radioaktif yang ada didalam paket limbah akan terlarutkan dan terbawa keluar fasilitas sehingga akan membahayakan lingkungan. Air merupakan media utama terangkutnya radionuklida dalam limbah. Maka dari itu keberadaan air dalam suatu sistem disposal harus diketahui dan diidentifikasi dinamikanya untuk bahan kajian keselamatan fasilitas disposal tersebut. Untuk mendukung keselamatan pembangunan fasilitas disposal ini, muka air tanah perlu diukur secara rutin seminggu sekali baik pada saat musim hujan dan musim kemarau melalui lubang sumur pantau (P1-P6) dan lubang sumur bor (DH1-DH5).

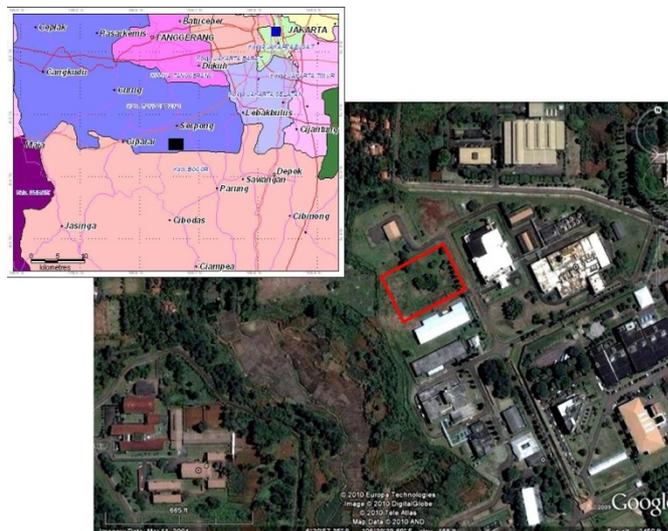
Secara geologi, aliran air tanah dangkal pada calon tapak disposal demo di Kawasan Nuklir Serpong berada pada zona batuan yang termasuk dalam Formasi Serpong [4]. Formasi Serpong tersusun oleh lanau pasir-kerikil sebagai hasil dari endapan sungai (produk proses fluvial). Secara hidrogeologi dapat dikatakan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

Akuifer didefinisikan sebagai suatu lapisan batuan yang mengandung cukup bahan-bahan yang lulus dan mampu melepaskan air dalam jumlah berarti ke sumur-sumur atau mataair. Ini berarti, lapisan tersebut mempunyai kemampuan menyimpan dan melalukan air. Pasir dan kerikil merupakan contoh jenis suatu akuifer. Akuifer terdiri atas akuifer tidak tertekan atau populer di masyarakat sebagai air tanah dangkal (*shallow groundwater*) dan akuifer tertekan. Air tanah dangkal umumnya berada pada kedalaman kurang dari 40 m dari permukaan tanah. Air tanah dangkal sangat mudah dipengaruhi oleh kondisi lingkungan setempat, karena antara air tanah dangkal dan air yang ada di permukaan tanah tidak dipisahkan oleh lapisan batuan yang kedap. Jika terjadi hujan, air yang meresap ke dalam tanah akan langsung menambah air tanah ini [3].

METODOLOGI

Waktu dan Tempat.

Pengukuran kedalaman muka air tanah dan kualitas air tanah dilakukan pada tapak disposal demo di Kawasan Nuklir Serpong, dalam waktu seminggu sekali selama tahun 2017. berukuran 90 m x 70 m, dengan posisi lokasi sekitar 6°20'55,42" LS / 106°39'40,05" BT, 6°20'54,31" LS/ 106°39'42,62" BT, 6°20'57,49" LS/ 106°39'40,06" BT dan 6°20'56,15" LS/ 106°35'43,61" BT (Gambar 1). Secara administrasi pemerintahan daerah penelitian termasuk dalam wilayah Desa Setu, Kecamatan Setu, Kota Tangerang Selatan, Propinsi Banten.



Gambar 1. Calon tapak disposal demo dalam Kawasan Nuklir Serpon

Alat

1. Solinst *Water Level Meter*
2. Meteran.
3. Kabel gulung
4. Bandul
5. *Water Auger Kit*

Prosedur

- A. Prosedur pemantauan kedalaman muka air tanah.
 1. Memastikan kondisi alat *Solinst Water Level Meter*
 2. Mengecek dan membersihkan elektroda alat *Solinst Water Level Meter*
 3. Melalui lubang sumur pantau dan lubang bor diturunkan elektroda
 4. kemudian kabel diturunkan hingga menyentuh permukaan air tanah, jika elektroda telah mencapai permukaan air tanah maka akan terdengar suara dan lampu merah menyala.
 5. Setelah terdengar suara, kabel pada alat *Solinst Water Level Meter* diangkat dan dibaca hasil kedalam muka air tanah
 6. Kemudian kabel dan elektroda di basuh kembali menggunakan air dan di bersihkan hingga kering
 7. Kegiatan 1-6 dilakukan pada Sumur (DH1-DH5) dan (P1-P6)



(a)

(b)

(c)

Gambar 1. (a) Sumur pantau muka air tanah (b) Alat Solinst *Water Level Meter* (c) Pengukuran muka air tanah

B. Prosedur pengukuran kualitas Air.

1. Air sumur bor DH1- DH5 disampling dengan menggunakan alat *Sampler Water Auger Kit*
2. Air disampling pada kedalaman rata-rata kedalaman muka air tanah antara 8 meter s/d 12 meter dari masing-masing sumur bor (DH1-DH5)
3. Air ditampung dalam botol plastik 1000cc. Di laboratorium air diukur dengan alat-alat pH meter, *Tester* dan Fotometer.



(a)

(b)

(c)

Gambar 2. (a) Pengambilan Sampel Menggunakan *Water Auger Kit* (b) Sampel dari Tapak Demo Disposal (c) Pengukuran Kualitas Muka air tanah

HASIL DAN PEMBAHASAN

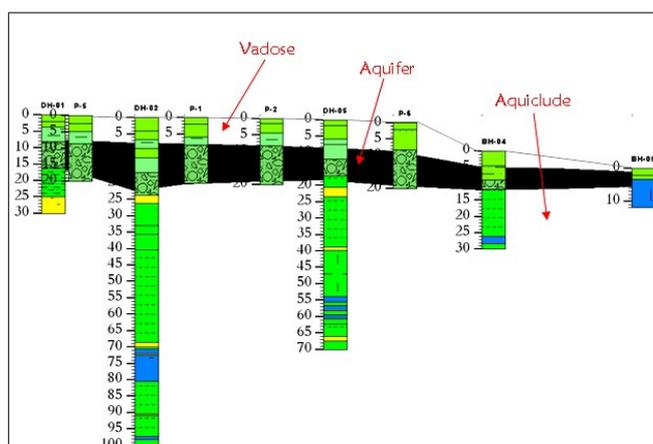
Hasil dari studi hidrogeologi dan karakterisasi akuifer yaitu diketahuinya sistem hidrogeologi untuk zona *vadose* (di atas muka airtanah) dan zona saturasi (di bawah muka airtanah) sebagai berikut (Gambar 3) [3]:

1) Zona vadose

Muka air tanah (MAT) bervariasi pada kedalaman 9 – 8 meter. Pada saat hujan deras, infiltrasi kemungkinan terjadi sangat lambat dan menjadikan terjadinya naiknya muka airtanah. Kandungan air (*moisture content/Wn*) sangat tinggi menunjukkan adanya aliran kapiler atau *suction* yang besar pada lempung.

2) Zona tersaturasi

Zona tersaturasi terbagi dalam dua bagian yaitu zona akuifer pada lapisan lanau kerikilan/*gravelly silt* dan zona *aquiclude/semi aquiclude* pada lapisan batulanau, batupasir, dan batugamping lanauan. Zona akuifer yang langsung berada di bawah zona vadose dengan sistem airtanah bebas/tidak tertekan mempunyai permeabilitas dan aliran airtanah yang tinggi. Nilai permeabilitas berdasarkan hasil uji pemompaan adalah 3.65×10^{-3} cm/s, atau diklasifikasikan sebagai *good drainage*.



Vadose

The zone between the ground surface and the water table. This zone contains some water usually held to soil particles by capillary forces. Soon after the infiltration of meteoric water or under bodies of surface water, free moving water percolates through the vadose zone.

Aquifer

A hydrogeological unit of permeable rock (due to either porous or fracture permeability), or capable of yielding significant quantities of water under ordinary hydraulic gradients.

Aquiclude.

A hydrogeological unit which, although porous and capable of absorbing water, does not transmit significant quantities under ordinary hydraulic gradients

IAEA-TECDOC-1199

Gambar 3. Sistem hidrogeologi tapak [3]

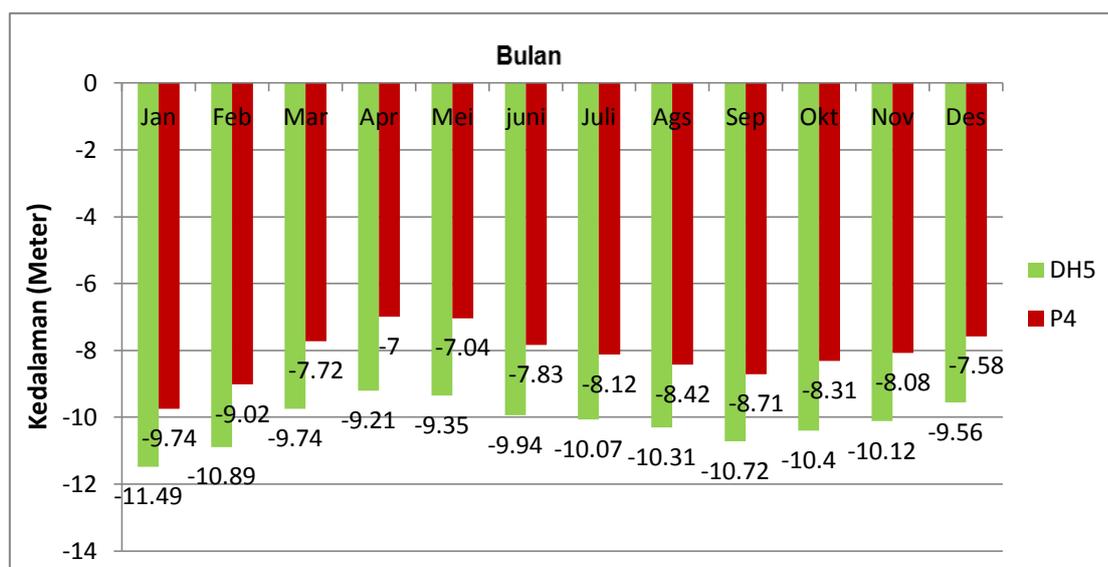
Pengamatan dan pemantauan kedalaman muka air tanah di lokasi tapak SP4 dilakukan pengambilan data setiap minggu sekali, hal tersebut dilakukan untuk memperoleh perbandingan data muka air tanah di tapak SP4 baik di musim kemarau maupun di musim penghujan pada tahun 2017. Pengamatan dilakukan selama 12 bulan yaitu dari bulan Januari sampai dengan bulan Desember 2017 dilakukan di 11 sumur pantau yaitu 5 titik sumur bor (DH1 s/d DH5) dan 6 titik sumur pantau (P1 s/d P6). Hasil Pengamatan muka air tanah pada sumur pantau dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengamatan muka air tanah pada sumur pantau di lokasi tapak disposal demo

No	Bulan	Jan	Feb	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agst	Sep	Okt	Nov	Des
	Area\ Tanggal												
1	DH1 (meter)	10.74	10.06	8.74	8.19	8.10	8.92	9.24	9.48	9.74	10.42	10.17	9.60
2	DH2 (meter)	10.49	9.82	8.56	8.15	7.97	8.68	8.96	9.28	9.56	9.14	8.85	8.33
3	DH3 (meter)	10.82	10.21	9.00	8.28	8.45	9.15	9.42	9.67	9.98	9.52	9.17	8.62
4	DH4 (meter)	10.55	9.88	8.59	8.09	8.03	8.72	8.88	9.27	9.40	9.18	8.91	8.33
5	DH5 (meter)	11.49	10.89	9.74	9.21	9.35	9.94	10.07	10.31	10.72	10.40	10.12	9.56
6	P1 (meter)	10.69	10.09	8.85	8.29	8.25	8.96	9.18	9.54	9.81	9.46	9.15	8.36
7	P2 (meter)	10.46	9.84	8.64	8.10	8.16	8.85	8.97	9.31	9.53	9.23	8.96	8.26

8	P3 (meter)	10.2 6	9.57	8.33	7.68	7.87	8.34	8.79	9.06	9.23	8.92	8.65	8.16
9	P 4 (meter)	9.74	9.02	7.72	7.00	7.04	7.83	8.12	8.42	8.71	8.31	8.08	7.58
10	P5 (meter)	10.8 5	10.2 6	8.88	8.16	8.21	8.99	9.24	9.61	9.85	9.57	9.26	8.69
11	P6 (meter)	10.7 9	10.2 3	9.26	8.84	8.68	9.42	9.44	9.71	10.1 0	9.61	9.36	8.75

Pada Tabel 1 terlihat Sumur pantau DH5 merupakan sumur terdalam dan P4 merupakan sumur terdangkal dengan hasil pengukuran yang terdalam yaitu di sumur bor DH5 = 11.49 meter pada bulan januari, sedangkan yang terdangkal terpantau di sumur pantau P4 = 7.00 meter pada bulan April. Kedalaman muka air tanah pada bulan April menunjukkan kedalaman air terdangkal dikarenakan bulan tersebut merupakan musim penghujan. Dan januari merupakan musim kemarau pada tahun 2017.



Gambar 4. Hasil pengamatan muka air tanah pada sumur DH5 dan P4 di lokasi tapak disposal demo tahun 2017

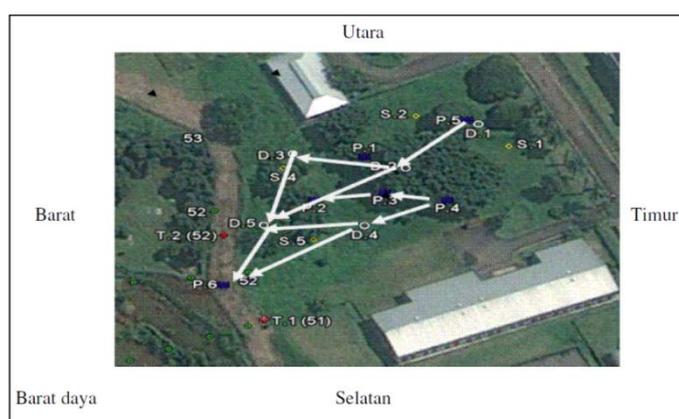
Pada Gambar 4 terlihat kedalaman muka air tanah di tapak fasilitas disposal demo terus menurun (bertambah dalam) mulai dari bulan April 2017 dan maksimal pada September 2017. Ini menunjukkan level kedalaman muka air tanah di lokasi tapak fasilitas disposal demo terus menurun karena kurang penambahan dari air hujan yang masuk ke dalam air tanah di tapak tersebut.

Lokasi tapak disposal demo ini terletak di bagian belakang (utara) fasilitas Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif di Kawasan Nuklir Serpong, yang di sebelah utara dibatasi gudang limbah B3, sebelah timur dibatasi fasilitas produksi elemen bahan bakar, sebelah selatan dibatasi fasilitas tempat penyimpanan sementara limbah radioaktif (IS2) dan sebelah baratnya adalah limbah berupa kebun dan sawah yang telah dibatasi pagar pengaman. Luas tapak fasilitas disposal demo yang dimonitor kurang lebih 1200 m² (30 x 40 m²).

Keberadaan tapak disposal demo yang berada berdekatan dengan fasilitas nuklir mempunyai pertimbangan khusus yang pantas sebab mempunyai potensi keuntungan sebagai lokasi bersama, terutama dalam hubungan untuk mengurangi kebutuhan transportasi limbah radioaktifnya. Dan juga melengkapi sistem disposal yang dapat meyakinkan dalam memenuhi ketentuan keselamatan lingkungan.

Salah satu kendala pembangunan fasilitas disposal di Tapak SP4 ini adalah kedalaman muka air tanah antara 7.00 s/d 11.49 m yang harus disiasati agar paket limbah radioaktif yang akan disimpan didalam fasilitas disposal *demo plant* tidak dalam posisi dibawah permukaan air tanah yang akan mempercepat rusak paket limbah yang disimpan didalamnya dan apabila rusak dengan sendirinya radionuklida yang ada didalam paket limbah itu dikhawatirkan akan keluar dari fasilitas disposal sehingga akan membahayakan lingkungan.

Muka air tanah di SP4 merupakan permukaan air tanah dimana airnya dapat dipergunakan untuk kebutuhan untuk kehidupan manusia tetapi lokasi tapak SP4 berada di Kawasan Fasilitas Nuklir sehingga tidak ada pengurangan atau penurunan pasokan air untuk masyarakat. Arah aliran air bawah tanah di tapak SP4 ditampilkan Gambar 4.



Gambar 5. Arah aliran air bawah tanah di tapak SP4

Hasil pengukuran kualitas air bawah tanah tapak disposal demo seperti yang terlihat pada Tabel 2 menunjukkan bahwa : Kualitas air tanah tapak disposal demo masih cukup baik walaupun dengan kadar pH lebih rendah. pH merupakan ukuran keberadaan ion hydrogen dalam air. Konsentrasi ion hydrogen dalam air murni yang netral adalah 1×10^{-7} g/liter (pH=7). pH berkaitan erat dengan karbonoksida dan alkalinitas. Semakin tinggi nilai pH, semakin tinggi pula nilai alkalinitas dan semakin rendah kadar karbondioksida bebas. Larutan yang bersifat asam (pH rendah) bersifat korosif. Nilai baku mutu pH adalah 6 - 9 untuk air kelas I – III dan 5 - 9 untuk air kelas IV [6] .

Warna air yang berasal dari air sumur pada lubang sumur bor DH4 terlihat melampaui warna standard air minum. Warna air yang tidak berubah walaupun mengalami penyaringan dan sentrifugasi disebut warna sejati, dimana warna sejati tidak dipengaruhi oleh adanya kekeruhan. Warna semu disebabkan oleh adanya partikel-partikel tersuspensi dalam air. Warna ini akan mengalami perubahan setelah disaring atau disentrifugasi serta dapat mengalami pengendapan. Warna semu akan semakin pekat bila kekeruhan air meningkat. Untuk kasus warna air dari air sumur bor DH4 ini belum ditindaklanjuti untuk disaring sehingga belum dapat ditentukan warna sejati atau warna air yang semu.[7]

Pengukuran daya hantar listrik (*Conductivity*) bertujuan mengukur kemampuan ion-ion dalam air untuk menghantarkan listrik serta memprediksi kandungan mineral dalam air. Pengukuran yang dilakukan berdasarkan kemampuan kation dan anion untuk menghantarkan arus listrik yang dialirkan dalam contoh air dapat dijadikan indikator, dimana semakin besar nilai daya hantar listrik yang ditunjukkan pada konduktivimeter berarti semakin besar kemampuan kation dan anion yang terdapat dalam contoh air untuk menghantarkan arus listrik [7]. Pada Tabel 2 terlihat hasil pengukuran conductivity dari lubang bor dan dibandingkan dengan standar air minum masih relatif lebih kecil, variasi nilai tersebut menandakan kandungan mineral dalam air tiap lubang bor bervariasi.

Padatan terlarut/*Total Dissolved Solid* (TDS) adalah padatan dalam air yang dapat melewati filter (biasanya dengan ukuran pori 0.45 mikro meter). TDS ini digunakan untuk menentukan kualitas

air minum, karena TDS mempresentasikan jumlah ion dalam air. Air minum dengan nilai TDS yang tinggi mempunyai rasa tidak enak [7]. Hasil pengukuran TDS dari air sumur bor tapak disposal demo mempunyai nilai yang lebih kecil dari standar air minum yang ada seperti yang terlihat pada hasil pengukuran pada Tabel 2.

Pengukuran ion-ion seperti *copper*, *zinc*, *calcium*, besi, *chromium*, dan lain-lain juga telah dilakukan untuk mengetahui kadar ion-ion yang ada pada air sumur bor di lokasi tapak disposal demo sebelum fasilitas disposal demo beroperasi. Pengukuran kualitas air ini tentu belumlah sempurna/lengkap karena masih banyak parameter fisika air dan kimia air yang belum diukur.

Tabel 2. Hasil pengukuran kualitas air sumur bor di calon tapak fasilitas disposal demo tahun 2017

Parameter	DH1	DH2	DH3	DH4	DH5	Standar Air minum [7]	Metoda/ Alat
Fisika							
TDS (ppm)	21	17	65	107	18	500-1500	Tester
Conductivity	42	41	135	203	38	400	Tester
Warna (Pt-co)	23	7	34	46	9	5 s/d 50	Fotometer
Bau	Tak	tak	tak	tak	tak	tak	Fisik
Rasa	Tak	tak	tak	tak	tak	tak	Fisik
Kimia							
pH	5.6	5.7	5.9	6.4	6.8	6.5-8.5	pH Meter
Copper(mg/L)	0	0	0	0	0	nil	Fotometer
Zinc (mg/L)	0.1	0.1	0	0	0	1 - 15	Fotometer
Calcium (mg/L)	0	0	81	93	10	75-200	Fotometer
Besi (mg/L)	0	0.01	0.01	0.05	0.09	0.1-1	Fotometer
Chromium (mg/L)	0	0	0	0	0	0-0.05	Fotometer
K ₂ O(mg/L)	15	15	15	15	10	-	Fotometer
Mg (mg/L)	5	5	5	10	5	30-150	Fotometer
Alkalinity (mg/L)	5	30	35	20	35	-	Fotometer
Aluminium (mg/L)	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	-	Fotometer

KESIMPULAN.

Selama pengamatan yang dilakukan dari bulan Januari s/d bulan Desember tahun 2017, diperoleh kedalaman muka air tanah pada lokasi tapak fasilitas disposal demo Kawasan Nuklir Serpong yang terdalam pada sumur bor DH 5 yaitu 11.49 meter dan yang ter dangkal adalah 7.00 meter pada sumur pantau P4. Bulan April tahun 2017 merupakan bulan dengan air bawah tanah paling banyak (dangkal). Sedangkan bulan Januari tahun 2017 merupakan bulan dengan air bawah tanah paling dalam dengan fluktuasi kedalaman permukaan air antara musim hujan dan musim kemarau (3.49 - 4.61) meter.

Kualitas air dari sumur bor di tapak fasilitas disposal demo masih cukup baik jika dibandingkan dengan standar kualitas air minum, walaupun pH air lebih rendah dan larutan yang bersifat asam, bersifat korosif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada : Soegeng Waluyo, ST; Heru Sriwahyuni, S.ST; Nurul Efri E, S.ST; Marwoto dan Arif Effendi yang telah terlibat dalam pengumpulan data ini sehingga dapat terpantau selama tahun 2017

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. IAEA, "Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities," Vienna, 2004.
- [2]. INTERNASIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Siting of Near Surface Disposal , Safety Series No. 111-G-3.1, IAEA, Vienna 1994
- [3]. Sucipta, "Optimasi Penempatan Disposal Demo dalam Lingkungan Geologi Kawasan Nuklir Serpong," J. Teknol. Pengelolaan Limbah, vol. 17, no. 2, pp. 47–64, 2014.
- [4]. Sucipta, "Arah Dan Kecepatan Aliran Air Tanah Calon Tapak Disposal Demo Di Kawasan Nuklir Serpong" Eksplorium, Vol 37 No 2, 115-124
- [5]. Teddy Sumantry, Pemantauan Kedalaman Muka Air Tanah Tapak Demo Plant pada Tahun 2011, Prosiding Hasil Penelitian Kegiatan tahun 2011, PTLR – BATAN Serpong, 2012.
- [6]. Teddy Sumantry, Pemantauan Kedalaman dan Kualitas Air Tanah Tapak Demo Plant pada Tahun 2013, Prosiding Hasil Penelitian Kegiatan tahun 2012, PTLR – BATAN Serpong, 2014.
- [7]. Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001, tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- [8]. G. Alaert dan SRI SUMESTRI S., Metoda Penelitian Air, Usaha Nasional, Surabaya. 1984.

