

PENJEJAK KELUARAN AIRTANAH LEPAS PANTAI (KALP) DI PANTAI UTARA SEMARANG DAN SEKITARNYA DENGAN $^{222}\text{RADON}$

Trace of Submarine Groundwater Discharge (SGD) in the North Coast of Semarang by $^{222}\text{Radon}$

**Hendra Bakti¹, Wilda Naili¹, Rachmat Fajar Lubis¹,
Robert M. Delinom¹ dan Sudaryanto¹**

¹ Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI

ABSTRAK Pengambilan airtanah di kota Semarang di tahun 2009 mencapai 17,4 juta m³ setiap tahunnya dan terkonsentrasi di daerah Semarang Utara. Dampak yang timbul adalah terjadinya krisis airtanah yang ditandai dengan penurunan muka airtanah sedalam hampir 20 meter pada daerah seluas 30 m². Penurunan muka airtanah tersebut mengakibatkan terkontaminasinya airtanah dalam (*deep aquifer*) termasuk intrusi air laut, penurunan permukaan tanah (*land subsidence*), dan banjir genangan (*rob*). Untuk mendeteksi kehadiran KALP yang berasosiasi dengan tidak adanya intrusi air laut, dilakukan penelitian dengan menggunakan isotop radon. Hasil penelitian menunjukkan tingginya level radon pada air laut di sebagian lokasi di lepas pantai, yang berasosiasi dengan aluvial pasir yang terendapkan di sekitar pantai. Kondisi ini mencerminkan adanya airtanah tawar secara lokal dalam jumlah terbatas ke laut.

Kata Kunci: $^{222}\text{Radon}$, keluaran airtanah lepas pantai (KALP), Pantai Utara Semarang.

ABSTRACT *Groundwater abstraction in*

Naskah masuk : 2 Januari 2014

Naskah revisi : 17 Mei 2014

Naskah diterima : 20 Mei 2014.

Hendra Bakti
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Komplek LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung 40135
E-mail : th_bakti@yahoo.com

Semarang City in the year of 2009 was 17,4 million-m³ per year and concentrated in North Semarang. That condition triggered a groundwater crisis indicated by a cone of depression of 20 meter depth within 30 m² area. The water level decrease caused groundwater contamination in deep aquifer, sea water intrusion, land subsidence and rob. To detect sea water intrusion phenomena that related to submarine groundwater discharge (SGD), we conducted the investigation by radon isotope. The result showed a high radon level in sea water at some locations in this area that associated with sand alluvial deposit along the coast. It also indicated the presence of SGD in this area.

Keywords: $^{222}\text{Radon}$, submarine groundwater discharge, North Semarang Coast.

PENDAHULUAN

Tidak terpenuhinya ketersediaan air bersih dari PDAM menyebabkan masyarakat Semarang dan sekitarnya memilih untuk mengambil air bersih yang murah, yaitu airtanah. Besarnya volume pengambilan airtanah yang berlebihan dalam kurun waktu yang lama akan menyebabkan penurunan muka airtanah, sehingga terjadi kerucut depresi airtanah yang disebabkan oleh tidak seimbangnya antara pengambilan dengan pengisian. Menurut Bahri (2009), pengambilan airtanah di kota Semarang mencapai 17,4 juta m³ setiap tahunnya dan terkonsentrasi di daerah

Semarang Utara. Dampak yang timbul dari kegiatan ini antara lain terjadinya krisis airtanah yang ditandai dengan penurunan muka airtanah (kerucut depresi airtanah) sedalam hampir 20 meter pada daerah seluas 30 m².

Penurunan muka airtanah tersebut mengakibatkan terjadinya kontaminasi airtanah dalam (*deep aquifer*), penurunan permukaan tanah (*land subsidence*), dan banjir genangan (*rob*). Selain itu, penurunan muka airtanah akan menyebabkan terjadinya perubahan tekanan hidrostatik yang kemudian akan memicu perubahan zonasi pergerakan airtanah dari daerah lepasan menjadi daerah imbuhan. Untuk mencegah hal tersebut menjadi lebih buruk, pengetahuan mengenai jumlah pasokan air ke dalam tanah harus diketahui secara pasti agar jumlah maksimum airtanah yang dapat diambil tidak melebihi pasokan. Hal lain yang patut dicermati adalah terjadinya perubahan kualitas airtanah tawar menjadi payau yang terdeteksi pada beberapa sumur di Semarang Utara. Fenomena tersebut bisa berkaitan dengan intrusi air laut atau pelarutan garam purba yang terjebak dalam sedimen ketika pengendapan batuan berlangsung. Dimana kehadiran keluaran airtanah di lepas pantai (KALP) akan berasosiasi dengan tidak adanya intrusi air laut. Untuk mengetahui hal tersebut maka dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran isotop radon pada KALP dengan menggunakan alat RAD7.

Seperti diketahui bahwa konsentrasi radon (Ra) dalam airtanah umumnya mempunyai besaran dua sampai empat kali lipat (Dulaiova *et al.*, 2005; 2008), bahkan menurut (Charette *et al.*, 2008) lebih besar dari seribu kali lipat lebih kaya bila dibandingkan pada air permukaan.

Oleh sebab itu radon sebagai gas radioaktif merupakan penjejak yang sangat baik karena mempunyai waktu paruh yang sangat pendek, bila dibandingkan dengan skala waktu sirkulasi air di daerah pantai. Sebagai contoh adalah ²²²Rn mempunyai waktu paruh 3,82 hari yang berasal dari peluruhan radioaktif uranium dan radium ²²⁶Rn (Michel *et al.*, 2009). Dengan demikian radon sangat baik dipakai untuk mengetahui adanya rembesan, mata air dan keluaran airtanah

di dasar laut. Selain itu radon banyak dipergunakan secara kualitatif dan kuantitatif dalam penjejukan (*tracer*) airtanah (Burnett *et al.*, 2001). Adapun di Indonesia pengukuran ²²²Rn telah dilakukan di Teluk Jakarta (Umezawa *et al.*, 2009) dan di Selat Lombok (Bakti *et al.*, 2012). Dulaiova *et al.* (2008) lebih jauh menyebutkan bahwa aktivitas ²²²Rn pada KALP tergantung pada rasio airtanah tawar dan air laut tersirkulasi. Oleh karena itu, dalam penelitian di Pantai Utara Semarang dan sekitarnya, ²²²Rn di pakai sebagai penjejak untuk mengetahui adanya KALP.

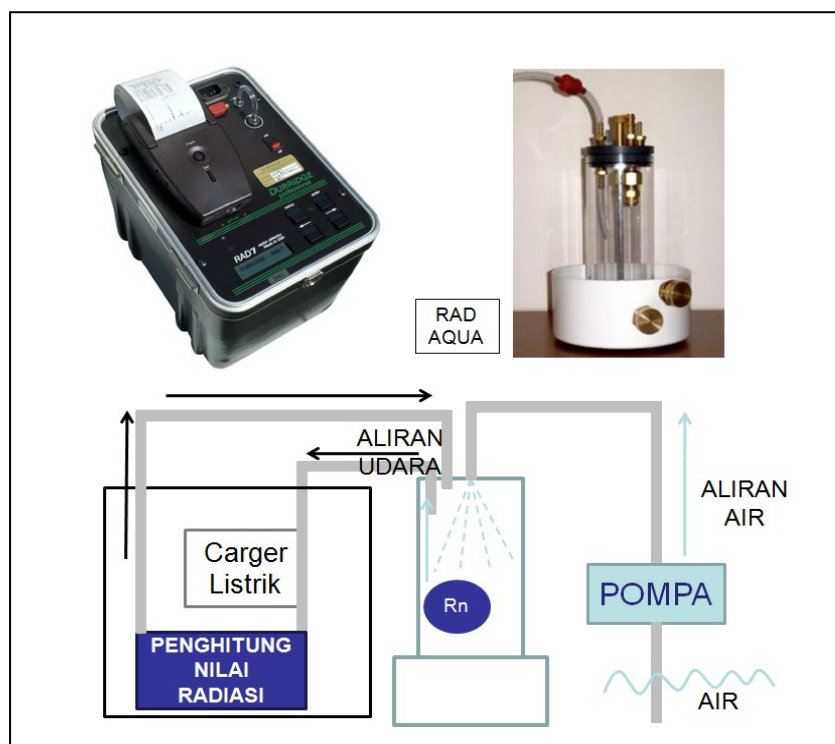
Hidrogeologi

Daerah dataran rendah Semarang mencerminkan bentang alam dataran rendah pantai dan daerah perbukitan. Morfologi dataran rendah mempunyai ketinggian antara 0-50 m dpl, terbentang luas di daerah pantai mulai dari Kendal di bagian barat, Semarang di bagian tengah hingga Demak di bagian timur. Morfologi dataran ini ditutupi oleh endapan aluvium, yang terdiri dari endapan sungai, endapan delta Garang dan endapan pantai. Endapan aluvium terdiri dari material-material lepas, berupa pasir, lanau, lempung, kerikil dan kerakal (Sihwanto dan Iskandar, 2000). Sihwanto dan Iskandar (2000), menyatakan bahwa sistem akuifer airtanah di cekungan airtanah dataran rendah Kota Semarang terdapat sistem akuifer endapan Kuartar yang menempati dataran pantai. Penyebaran akuifer ini tidak menerus secara horisontal, dengan litologi yang beragam dan di beberapa tempat dijumpai lebih dari satu akuifer, yang dipisahkan oleh lapisan yang memiliki kelulusan rendah. Kedalaman akuifer berkisar antara 30 – 90 m di bawah muka tanah setempat (bmt) di bagian barat mulai Bulu dan Kalibanteng sedangkan di bagian timur daerah Tambaklorok. Kelompok akuifer ini berdasarkan sifat fisik dan kualitas airtanahnya dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu kelompok akuifer endapan delta Garang dan kelompok akuifer endapan laut Kuartar. Ciri litologi kedua kelompok ini hampir sama, yang membedakannya adalah kualitas airtanahnya. Airtanah pada delta Garang tawar, sedangkan airtanah pada endapan laut Kuartar kadar kloridanya tinggi, rasa agak payau.

METODE

Penjejakan KALP dilakukan secara langsung di lapangan menggunakan ²²²Rn, seperti yang telah dilakukan oleh Umezawa *et al.* (2009) dalam penelitian KALP di Teluk Jakarta. Peralatan utama yang digunakan adalah RAD-7 dan RAD-aqua buatan Durridge. Co, Amerika Serikat (Gambar 1). Alat pendukung terdiri dari *desiccant* yang berfungsi untuk menjaga kelembaban alat, pompa celup (*submersible*) berkekuatan 4 L/dt yang dipergunakan untuk memompa air ke RAD-aqua. Dalam pengambilan data dilakukan dengan bantuan perahu yang berfungsi sebagai tempat mengoperasikan alat, dan sarana transportasi selama pengukuran di laut. Posisi titik pengukuran ditentukan dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS). Di samping itu diukur sifat fisik air dengan memakai alat *water quality checker* untuk melihat karakter fisik airtanah dan air laut.

Lintasan pengukuran dilakukan sejajar garis pantai dengan jarak interval antar titik di lepas pantai kurang lebih sekitar 2 km. Titik pengukuran paling barat berada di sekitar Pelabuhan Kabupaten Kendal, sedangkan paling timur berada dekat perbatasan Kabupaten Jepara (Demak). Jarak titik pengukuran dari garis pantai berkisar antara 50 m s/d 200 m ke laut lepas. Sebagai pembanding level radon yang ada di daerah penelitian, dilakukan pengukuran ²²²Radon pada airtanah di sumur gali penduduk dan sumur bor. Protokol pengukuran radon untuk setiap titik menggunakan metode *sniff* (Durridge Co., 2009), dimana dalam satu kali periode waktu penghitungan ditentukan selama 30 (tigapuluh) menit. Menurut Burnett dan Dulaiova (2003), waktu pengukuran untuk mencapai kesetimbangan tergantung pada kecukupan informasi yang ingin dicapai serta konsentrasi radon dalam air, dimana untuk tujuan praktis kesetimbangan dicapai dalam waktu sekitar 30-40 menit.



Gambar 1. RAD-7 dan RAD-aqua buatan Durridge.co, Amerika Serikat serta bagan alir pengukuran radon. Air yang dipompa dialirkan pada RAD-aqua melalui selang untuk mendapatkan efek aerasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 merupakan hasil pengukuran radon yang ditampilkan/diplot dalam peta distribusi radon di daerah penelitian. Dari plotting data terdeteksi ada dua kelompok aktivitas radon yang menggambarkan level radon tinggi dan level radon rendah pada masing-masing titik pengukuran. Hasil pengukuran secara lengkap dari distribusi radon dan sifat fisik air terdapat dalam Tabel 1.

Distribusi ²²²Radon dalam airtanah dan air laut sepanjang pantai Semarang

Variasi pola radon dalam airtanah di berbagai tempat telah dikemukakan oleh para peneliti sebelumnya. Fenomena ini merupakan refleksi dari rata-rata konsentrasi uranium pada batuan induk, variabel geologi dan hidrologi, keluarnya gas ²²²Radon dari batuan ke air, serta migrasi gas radon dari sumber ke sumur airtanah yang diukur (Loomis, 1987). Sementara menurut Willem *et al.*, 1981, konsentrasi level radon adalah cerminan dari kondisi geologi dan hidrologi.

Airtanah di daerah penelitian mengandung pola radon yang bervariasi. Pola radon dalam airtanah tidak terkekang pada sumur gali dengan kedalaman < 3 m, umumnya mempunyai level radon rendah dengan kisaran antara 160 dpm/L - 360 dpm/L. Di lapangan, level radon ini berasosiasi dengan hasil endapan rawa yang terdiri dari lempung dan lumpur serta material urugan reklamasi pantai. Sementara level radon tinggi lebih besar dari 1000 dpm/L terdapat pada airtanah semi terkekang dengan kedalaman sumur bor >20 m, yang berasosiasi dengan akuifer batuan vulkanik berupa pasir dan breksi dari Formasi Damar.

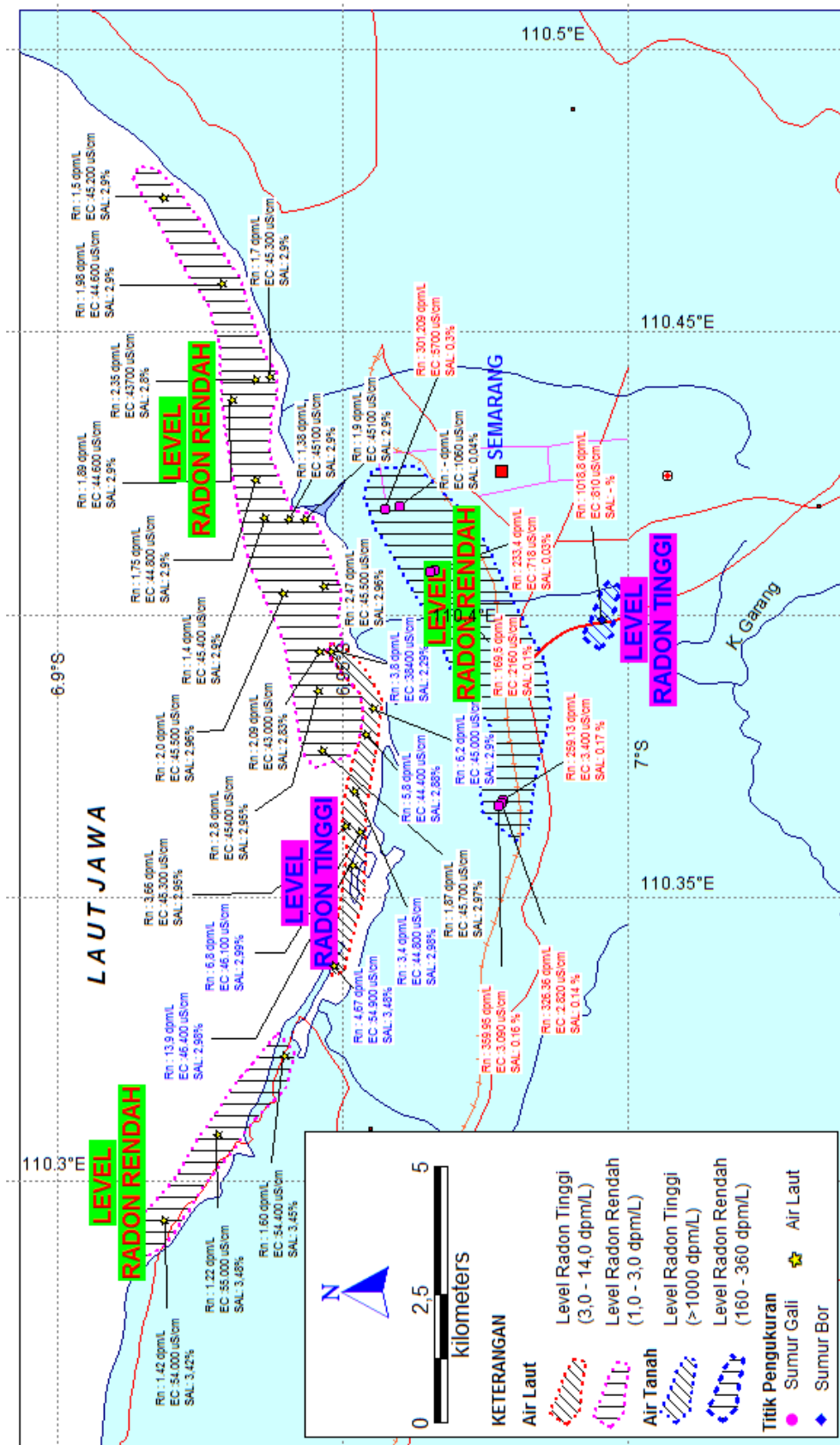
Radon yang terukur pada air laut sepanjang pantai Semarang juga memiliki pola level radon rendah dan tinggi. Pola level tinggi diduga berhubungan dengan masih adanya pasokan airtanah tanah tawar dari daratan atau karena pengaruh pasokan air dari sungai ke laut. Sebaliknya pola radon rendah pada zona tersebut mencirikan tidak adanya atau sangat sedikit pasokan airtanah tawar dari daratan menuju

lautan (Gambar 2). Pola radon rendah dapat dikonfirmasi dengan batuan yang tersingkap pada permukaan di sekitar pantai yang lebih banyak didominasi oleh lempung yang berfungsi sebagai *barier* bagi laju airtanah tawar secara lateral dari daratan ke laut. Hal ini juga tercermin dari penampang bawah permukaan resistivitas batuan di Cekungan Airtanah Semarang yang lebih banyak didominasi oleh batuan yang memiliki resistivitas sangat kecil (Sudaryanto *et al.*, 2013).

Air laut yang mempunyai level radon rendah dengan kisaran 1,0 dpm/L s/d 3,0 dpm/L terdapat di sekitar muara Kali Garang ke arah timur sampai perbatasan dengan Kabupaten Demak. Level radon rendah di bagian barat dimulai dari Kaliwungu sampai pelabuhan Kendal. Level radon rendah pada air laut di bagian timur dan barat berasosiasi dengan sedimen dasar laut berupa lempung dan lumpur. Sedangkan level radon tinggi berkisar antara 3,0 dpm/L - 14 dpm/L terdapat diantara keduanya yaitu sekitar Kali Garang, Kali Cilandak (Bandara Ahmad Yani) ke arah barat sampai dengan sekitar Terminal Mangkang yang berasosiasi dengan dasar sedimen berupa pasir lepas, dimana pada beberapa tempat pasir tersebut terendapkan dipinggir laut membentuk tinggian pematang pantai (*Beach ridge*).

Korelasi Radon Vs DHL air

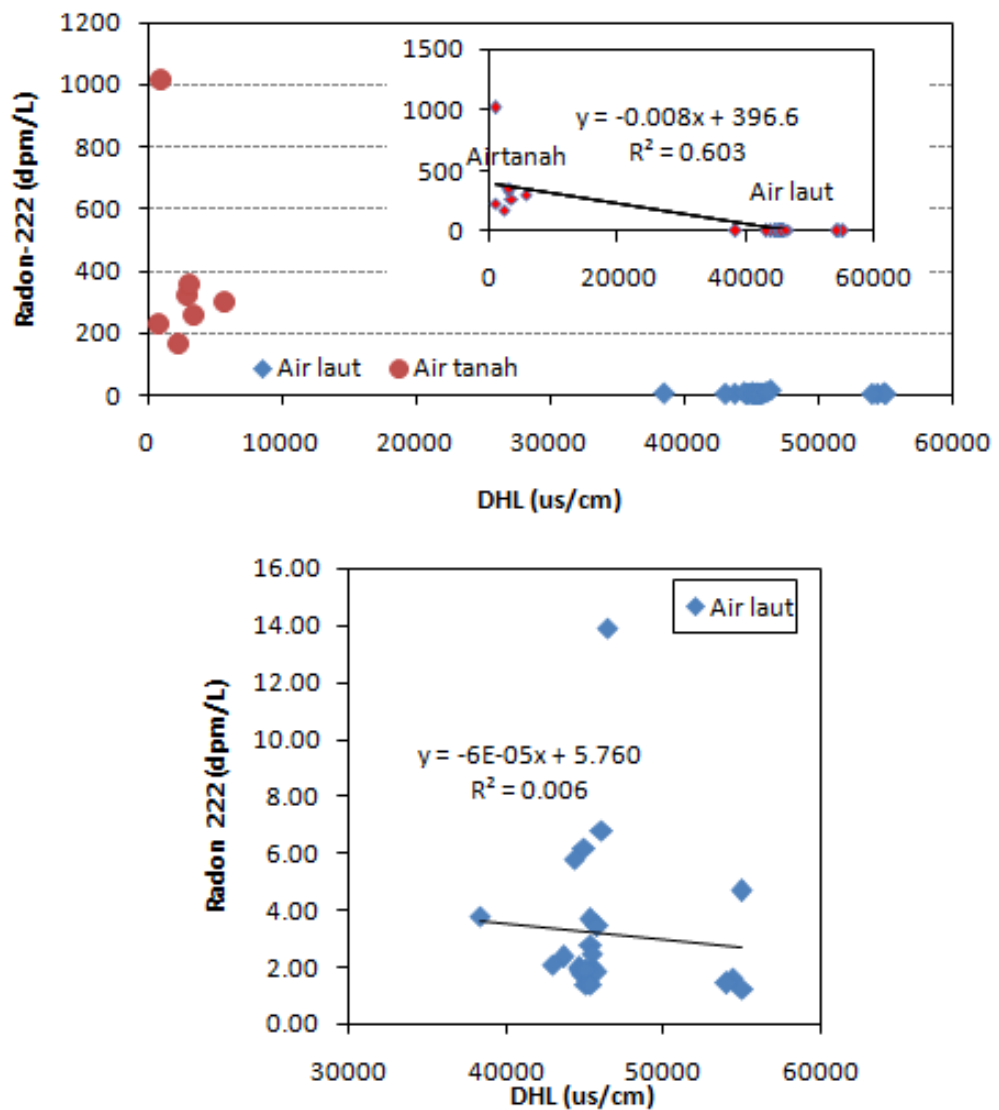
Karakter sifat fisik air pada titik pengukuran radon menunjukkan bahwa semua air laut di daerah penelitian mempunyai pH dengan kisaran 8,0 s/d 9,04. Kisaran daya hantar listrik (DHL) air laut antara 38400 μ s/cm - 55000 μ s/cm dengan salinitas antara 2,90% - 3,48%. Berdasarkan kisaran nilai DHL dan salinitas air laut secara spasial terdapat dua pola nilai yaitu bagian barat (antara Karanganyar - Pelabuhan Kendal) mempunyai pola DHL dan salinitas air laut lebih tinggi bila dibandingkan dengan air laut di pantai sebelah timur (Karang Anyar - Perbatasan Demak). Perbedaan pola tersebut mungkin disebabkan di bagian timur banyak dijumpai aliran air sungai yang menuju laut sehingga terjadi pencampuran masa air antara keduanya. Sementara di bagian barat sedikit sekali dijumpai aliran air sungai ke laut.



Gambar 2. Peta distribusi ²²²Radon cekungan airtanah Semarang bagian utara dan pesisir pantai.

Tabel 1. Hasil Pengukuran radon-²²² secara insitu dilapangan dan sifat fisik air.

Kode Conto	Kedalaman pengukuran contoh air	Radon	DHL	T air	T udara	Keterangan
	(m)	dpm/L	(μ S/cm)	($^{\circ}$ C)	($^{\circ}$ C)	
SMR-1	8	1018,80	810	29,7	-	Sumur Bor
SMR-2	0,6	233,38	718	28,3	28,5	Sumur Gali
SMR-3	0,52	169,49	2160	29,3	35,3	Sumur Gali
SMR-4	0,63	301,21	5700	30,7	33,8	Sumur Gali
SMR-5	0,47	-	1060	30	32,9	Sumur Gali
SMRL1	permukaan laut	3,66	45300	29,5	-	Air Laut
SMRL2	permukaan laut	2,80	45400	30,6	25,5	Air Laut
SMRL3	permukaan laut	2,00	45500	30,2	24,6	Air Laut
SMRL4	permukaan laut	1,75	44800	30,2	22,8	Air Laut
SMRL5	permukaan laut	2,35	43700	30,8	31,8	Air Laut
SMRL6	permukaan laut	1,68	45300	30,2	26,3	Air Laut
SMRL7	permukaan laut	1,98	44600	30,7	27,1	Air Laut
SMRL8	permukaan laut	1,53	45200	31,2	26,6	Air Laut
SMRL9	permukaan laut	1,90	44600	30,7	33,1	Air Laut
SMRL10	permukaan laut	3,76	38400	28,6	30,6	Air Laut
SMRL11	permukaan laut	6,21	45000	30,1	35,5	Air Laut
SMRL12	permukaan laut	5,79	44400	30,3	30	Air Laut
SMRL13	permukaan laut	3,44	45800	29,8	30,8	Air Laut
SMRL14	permukaan laut	1,87	45700	30	30,2	Air Laut
SMRL15	permukaan laut	2,10	43000	30,7	29,8	Air Laut
SMRL16	permukaan laut	2,47	45500	30,6	30,7	Air Laut
SMRL17	permukaan laut	1,38	45100	30,3	31,2	Air Laut
SMRL18	permukaan laut	1,93	45100	30,4	31,1	Air Laut
SMRL19	permukaan laut	1,38	45400	30	30,5	Air Laut
SMRL20	permukaan laut	13,92	46400	31	30,8	Air Laut
SMRL21	permukaan laut	6,78	46100	30,4	29,4	Air Laut
Laut Sekitar Karang Anyar	permukaan laut	4,67	54900	31,1	30,1	Air Laut
Laut Sekitar Mangkang	permukaan laut	1,6	54400	31,0	30,5	Air Laut
Laut Sekitar Kali Wungu	permukaan laut	1,22	55000	31,4	29,9	Air Laut
Laut Sekitar Pelabuhan Kendal	permukaan laut	1,42	54000	30,6	29,5	Air Laut
Darat, Tambak Harjo	0,77	259,13	3400	27,0	32,3	Sumur Gali
Darat, Tambak Harjo	0,77	326,36	2820	28,5	32,6	Sumur Gali
Darat, Tambak Harjo	0,89	359,95	3090	27,7	32,6	Sumur Gali



Gambar 3. Variasi ²²²Radon vs DHL airtanah dan air laut (Grafik 1, atas) dan variasi ²²²Radon vs DHL air laut (Grafik 2, bawah).

Secara umum korelasi ²²²Radon dengan DHL air (airtanah dan air laut) dapat dilihat pada Grafik 1 (atas) pada Gambar 3. Dimana semakin tawar air akan memiliki radon yang semakin tinggi dan demikian juga sebaliknya. Hal ini juga sesuai dengan penelitian Umezawa *et al.* (2009) di daerah Jakarta, yang menemukan korelasi seperti di atas untuk pengukuran pada air laut di lepas pantai. Namun demikian khususnya korelasi antara ²²²Radon dan DHL air laut di daerah penelitian mempunyai korelasi yang sangat rendah seperti diperlihatkan oleh Grafik 2 (bawah) pada Gambar 3. Boleh jadi hal ini merupakan bukti sedikitnya/tidak adanya pasokan airtanah tawar dari daratan menuju lautan pada

daerah tertentu. Merujuk Burnett *et al.* (2001), hal demikian mengindikasikan komponen airtanah tawar sangat sedikit bila dibandingkan dengan air laut atau merupakan air laut tersirkulasi. Airtanah di daerah penelitian memiliki kandungan level ²²²Radon puluhan sampai ratusan kali lipat bila dibandingkan dengan konsentrasi ²²²Radon pada air laut. Fakta ini sesuai pernyataan Charette *et al.* (2008) bahwa konsentrasi ²²²Radon lebih banyak dalam airtanah bila dibandingkan dengan air permukaan, dimana rasionya lebih besar dari seribu kali lipat.

KESIMPULAN

Airtanah di daerah penelitian mengandung pola radon yang bervariasi. Variasi ini berhubungan erat dengan keadaan batuan setempat. Level radon yang tinggi berasosiasi dengan akuifer asal vulkanik dari Formasi Damar. Sementara level radon rendah berasosiasi dengan endapan rawa berupa lumpur dan lempung. Variasi ini juga terdeteksi pada air laut di sepanjang pantai, dimana kehadiran airtanah dilepas pantai (KALP) dapat dilihat dari kandungan radon yang tinggi bila dibandingkan dengan air laut disebagian tempat di daerah telitian. Tingginya level radon pada air laut berasosiasi dengan aluvial pasir yang terendapkan di sekitar pantai. Hal ini memungkinkan adanya aliran airtanah tawar secara lokal dalam jumlah terbatas ke laut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan terbitnya makalah ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Dr. Haryadi Permana sebagai Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI dan Kuasa Pengguna Anggaran, Sdr. Adi Wahyudin ST selaku Pejabat Pelaksana Anggaran DIPA 2013, serta Sdr. Wahyu Purwoko A.Md. yang telah membantu dalam pengambilan data lapangan. Ucapan terimakasih disampaikan pula kepada Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Jawa Tengah yang telah memberi izin penelitian di daerah Semarang, serta Dewan Redaksi Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan yang telah menerbitkan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakti H, Rachmat Fajar Lubis, Robert Delinom dan Wilda Naili, 2012. Identifikasi Keluaran Airtanah Lepas Pantai (KALP) di Pesisir Aluvial Pantai Lombok Utara, Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi (JLBG)*. Penerbit Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 3(2), 133-149.
- Bahri, M., 2009. Perlunya Pengawasan Pengambilan Air Bawah Tanah (ABT). <http://Semarang.go.id/cms-semarang.go.id>. Diunduh 6 januari 2010.
- Burnett, W.C., Kim, G. dan Lane-Smith, D., 2001. A continuous monitor for assessment of Rn-222 in the coastal ocean. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 249, 167–172 .
- Burnett, W.C dan Dulaiova H., 2003. Estimating the dynamics of groundwater input into the coastal zone via continuous radon-222 measurements, *Journal of Environmental Radioactivity*, 69, 21–35.
- Charette, M.A, Moore, W.S. dan Burnett, W.C., 2008. Chapter 5. Uranium and Thorium-Series Nuclides as Tracers of Submarine Groundwater Discharge. *Radioactivity in the Environment*, 13, 156-186. doi 10.1016/S1569-4860(07)00005-8
- Dulaiova, H., Peterson, R., Burnett, W.C. dan Lane-Smith, D., 2005. A multi-detector continuous monitor for assessment of Rn-222 in the coastal ocean. *J. Radioanal.Nucl. Chem.* 263, 361–365.
- Dulaiova H., Gonnee M.E., Henderson P.B., Charette M.A., 2008. Geochemical and physical sources of radon variation in a subterranean estuary — Implications for groundwater radon activities in submarine groundwater discharge studies. *Marine Chemistry* 110, 120–127.
- Durrige Co., 2009. User Manual RAD7 Radon Detector. www.durrige.com. Diunduh 5 Maret 2012.
- Loomis, D.P., 1987. Radon-222 concentration and aquifer lithology in North Carolina. *Groundwater Monitoring & Remediation*, 7(2), 33-39.
- Michel R.L., Kraemer, T. dan Cecil, L.D., 2009. Surface Water, Unsaturated Zone, and Glacial Systems. In: Chapter 5 Radionuclides as Tracers and Timers in Surface and Groundwater. *Radioactivity in the Environment*, 16, 139–230. doi: 10.1016/S1569-4860(09)01605-2.
- Sihwanto dan Iskandar, N., 2000. Konservasi Airtanah Daerah Semarang dan Sekitarnya. Laporan, Direktorat Geologi Tatalingkungan, Dirjen Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen

- Pertambangan dan Energi. Bandung (tidak dipublikasikan).
- Sudaryanto, Robert M. Delinom, Hery Harjono, M. Rahman Djuwansah, Dadan Suherman, Ade Suriadarma, Rachmat Fajar Lubis, Hendra Bakti, Wilda Naili, Anna Fadliyah Rusydi, Dady Sukmayadi, Dewi Nurbaeti, Suyatno, Dadan Dani Wardhana, Sari Asmanah, Wahyu Purwoko, Zaenal Abidin dan II Somantri. 2013. *Gangguan Terhadap Daur Hidrologi di Daerah Urban : Studi Kasus daerah Semarang dan Sekitarnya*. Laporan Penelitian Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI. (tidak di publikasikan).
- Umezawa, Y., Onodera, S., Ishitobi, T., Hosono, T., Delinom, R., Burnett, W.C., dan Taniguchi, M., 2009. Effect of urbanization on the groundwater discharge into Jakarta Bay, in *Trends and Sustainability of Groundwater in Highly Stressed Aquifers*, Proc. of Symposium HS.2. at the Joint IAHS & IAH Convention, Hyderabad, India, September 2009, IAHS Publ. 329.
- Willem F. B, Steven A.N, Charles T.H dan John S.W., 1981. Geologic and hydrologic factors controlling Radon-222 in Groundwater in Mine, *Groundwater*, 19 (4), 407-417.