

Identifikasi keluaran air tanah lepas pantai (KALP) di pesisir aluvial Pantai Lombok Utara, Nusa Tenggara Barat

*Identify on submarine ground water discharge (SGD) on the alluvial coast of
North Lombok, West Nusa Tenggara*

Hendra Bakti, Rachmat Fajar Lubis, Robert Delinom, dan Wilda Nailly

Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI

Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135

ABSTRAK

Penelitian keluaran air tanah di lepas pantai (KALP) merupakan suatu penelitian baru yang saat ini sedang terus dikembangkan. Selain sebagai salah satu pengontrol tingkat salinitas lingkungan biota terumbu, KALP dapat menjadi potensi sumber pencemar dan alternatif penyediaan air bersih di wilayah pesisir dan pantai. Upaya identifikasi telah dilakukan di daerah pesisir aluvial Lombok Utara, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Identifikasi KALP dilakukan berdasarkan analisis salinitas, pengukuran hidrogeokimia meliputi sifat kimia fisik air dan unsur penjejak ^{222}Rn pada lokasi terpilih di lintasan laut dan air tanah di daratan. Indikasi kehadiran KALP dijumpai dalam bentuk mata air bawah laut dan rembesan yang dicirikan dengan kandungan salinitas yang rendah dan adanya kandungan ^{222}Rn tinggi. Identifikasi KALP berdasarkan gabungan hasil interpretasi dari metode-metode diatas menunjukkan keluaran air tanah di lepas pantai ini merupakan kendali dari kondisi geologi dan kecepatan aliran air tanah.

Kata kunci: keluaran air tanah di lepas pantai, hidrogeokimia, $^{222}\text{Radon}$, Pulau Lombok Utara

ABSTRACT

Research on submarine groundwater discharge (SGD) is a new research which is currently being developed in Indonesia. Apart from being one of salinity level controllers for coral environment, SGD may become an alternative water supply potential and also as a pollutant sources in coastal areas. An attempt of SGD identification had been carried out on the alluvial coast of North Lombok, West Nusa Tenggara Province. Identification of SGD was based on salinity analysis and hydrochemical measurement that includes physical chemistry of water property and radon trace elements known as ^{222}Rn at selected locations at sea track and groundwater on land. Indication of the presence of SGD was found in the form of under seawater springs and seepages which are characterized by low salinity content and the presence of high ^{222}Rn content. Identification of SGD which was based on combined interpretation results of the above methods shows that the output of the groundwater in offshore area is a control of geological conditions and the speed of groundwater flow.

Keywords: submarine groundwater discharge, hydrogeochemical, Radon (^{222}Rn), North Lombok island

PENDAHULUAN

Salah satu potensi sumber daya air di wilayah pesisir adalah keluaran air tanah lepas pantai (KALP) yang dikenal sebagai *submarine groundwater discharge* (SGD). Di dunia internasional pengetahuan tentang KALP, baru berkembang sejak akhir tahun 2000 dalam bentuk jurnal dan atlas dunia mengenai SGD. Sementara itu SGD di Indonesia belum terekam dalam atlas tersebut karena fenomena ini belum banyak dikaji dan diteliti. Padahal Indonesia mempunyai wilayah pesisir yang sangat luas dengan ribuan pulau kecil yang memiliki SGD (Lubis drr., 2011).

Kementerian Pariwisata dan Ekonomi Kreatif bersama Pemerintah Daerah Provinsi Nusa Tenggara Barat telah menetapkan tahun 2012 sebagai tahun pariwisata dengan tema “Visit to Lombok and Sumbawa, 2012”. Salah satu daerah yang dipromosikan diantaranya adalah wilayah pantai di bagian utara Pulau Lombok, Pulau Gili Trawangan, Pulau Gili Air, dan Pulau Gili Meno. Selain pantainya yang indah, tujuan wisata ke daerah tersebut adalah penyelaman dasar laut untuk menikmati keindahan aneka ragam biota laut dan terumbu karang yang khas seperti koral biru (*blue coral*). Pendayagunaan sumber daya wilayah lautan untuk tujuan wisata tersebut seyogyanya sejalan dengan usaha pelestarian lingkungannya, sehingga manfaat ekonomi terus meningkat tetapi ekologi di lingkungan laut juga tetap lestari.

Menurut Simmons (1992), keseimbangan habitat ekologi laut dapat terjaga dengan adanya kehadiran suplai air tawar ke wilayah laut melalui KALP. KALP ini juga

berperan sebagai sumber nutrisi dalam menjaga keseimbangan nitrogen pada lingkungan terumbu karang (D'Elia *et al.*, 1981 dan Umezawa *et al.*, 2002 dalam Taniguchi *et al.*, 2005), sumber nutrisi dan spesies terlarut lainnya, termasuk pencemaran ke laut dan ekosistemnya (Unesco, 2004; Taniguchi *et al.*; 2005, dan Burnett *et al.*, 2006). Selain itu bisa menjadi sumber air bersih bagi penduduk (Kohout, 1966 dalam Taniguchi, 2006), penduduk dan pertanian (Unesco, 2004). Sejalan dengan hal tersebut maka pemahaman karakter fisik maupun kimia KALP dalam berbagai kondisi lingkungan pantai yang berbeda mempunyai arti penting dalam pengelolaan sumber daya wilayah pesisir maupun pengelolaan sumber daya air wilayah pesisir terutama untuk menunjang pariwisata bahari khususnya di lokasi penelitian.

Keluaran air tanah bisa terjadi di daratan ataupun di lepas pantai. Pemicunya antara lain karena perbedaan gradien hidrolik muka air tanah ataupun perbedaan gradien konsentrasi antara satu tempat dengan tempat lainnya. Di daratan keluaran air tanah dikenal sebagai mata air (*springs*). Davis dan DeWiest (1966) menyatakan bahwa mata air pada hakekatnya merupakan manifestasi air tanah yang keluar secara alami menuju permukaan tanah atau keluar menuju ke dalam tubuh air permukaan. Secara regional, keterdapatan dan besaran luah rata-rata dipengaruhi banyak parameter, diantaranya seperti iklim, geologi, topografi, tanah dan jenis batuan, permeabilitas batuan, perbedaan tekanan muka air, dan pasang surut laut (Lopes dan Oliveira, 2007), sedangkan berdasarkan kualitas mata air, umumnya memiliki kualitas air yang baik (Kumar, 1996).

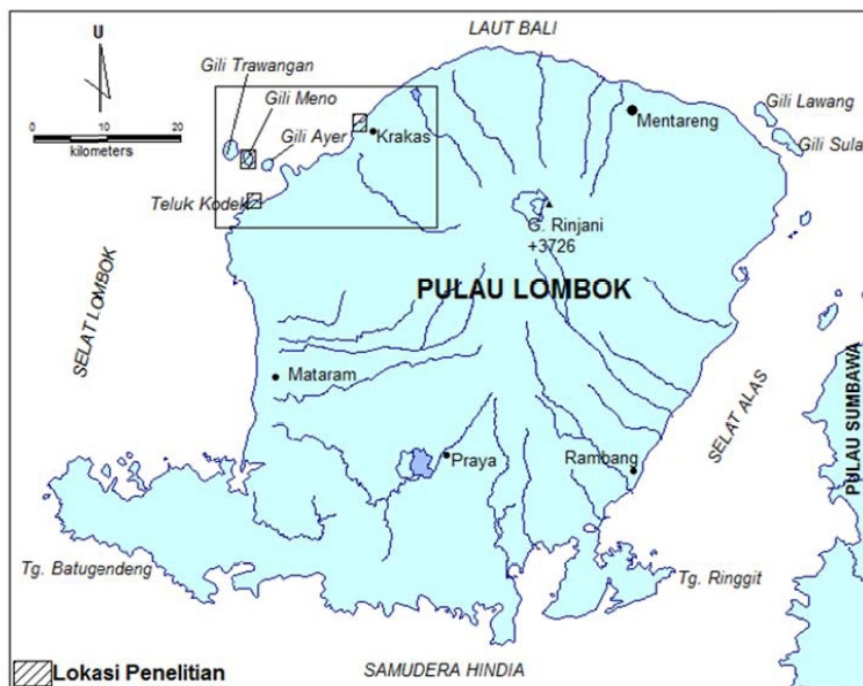
Oleh karena itu mata air sebagai bagian dari sumber daya air, memiliki peranan yang sangat penting dalam pemenuhan kebutuhan air bersih bagi masyarakat (Gholami *et al.*, 2008). Sementara itu KALP menurut Burnett *et al.* (2006) bisa terjadi dalam bentuk rembesan dekat garis pantai (*near shore seepage*), rembesan di dasar laut (*seepage*), dan mata air bawah laut (*spring discharge*).

Lokasi penelitian terletak di daerah pantai utara Pulau Lombok, yaitu di daerah Teluk Nara, Pantai Papak dan Pulau Gili Meno yang secara administratif terletak pada Kabupaten Lombok Utara, Provinsi Nusa Tenggara Barat (Gambar 1). Kabupaten tersebut merupakan kabupaten baru, hasil pemekaran dari Kabupaten Lombok Barat. Sebagai daerah tujuan wisata, lokasi penelitian mudah ditempuh

melalui jalan darat dengan roda empat maupun roda dua. Dari Kota Mataram ke lokasi penelitian ditempuh selama kurang lebih 2 jam perjalanan. Perjalanan menuju Pulau Gili Meno dapat ditempuh sekitar satu jam pelayaran dengan menggunakan perahu carteran maupun reguler yang setiap pagi tersedia di Pantai Kodek. Penelitian ini telah dilakukan selama 2 tahun, yaitu pada tahun 2010-2011.

METODOLOGI

Untuk mengidentifikasi bentuk-bentuk KALP, maka dilakukan pengukuran dan interpretasi meliputi kajian kondisi fisik pulau Lombok meliputi analisis morfologi dan jenis batuan, pemetaan hidrogeologi dan pemetaan hidrokimia terhadap unsur-unsur terpilih di



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

lapangan dan pengambilan sampel air untuk diuji di laboratorium. Pemetaan hidrogeologi meliputi pengamatan lapisan batuan pembawa air serta pengukuran muka air tanah. Pemetaan hidrokimia meliputi pengukuran salinitas, Radon (^{222}Rn) dan sifat fisik air yang meliputi daya hantar Listrik (DHL), sifat keasaman air (pH), temperatur air serta muka air tanah.

KONDISI FISIK PULAU LOMBOK

Kajian kondisi fisik Pulau Lombok Utara dilakukan berdasarkan kajian regional, meliputi kondisi iklim, morfologi, geologi, dan Hidrogeologi Pulau Lombok.

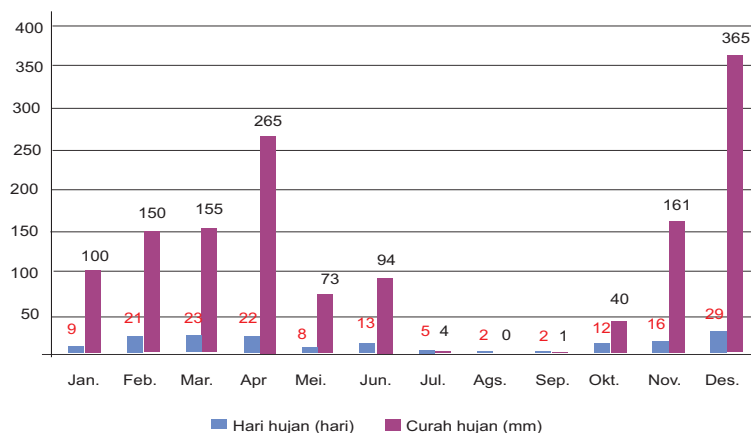
Iklim

Pulau Lombok memiliki iklim yang relatif sama dengan daerah lain di Provinsi Nusa Tenggara Barat. Musim hujan dan musim kering terjadi silih berganti dalam setahunnya. Menurut As-syakur (2008), wilayah Pulau Lombok memiliki iklim Tipe C (agak basah) hingga Tipe F (Kering), berdasarkan data

Badan Meteorologi dan Geofisika Selaparang Mataram selama tahun 2007, temperatur maksimum berkisar $30,6^{\circ}\text{C}$ (Agustus) - $32,7^{\circ}\text{C}$ (Oktober) dan temperatur minimum antara 21°C (Juli) - 25°C (Maret) dengan kelembaban antara 75% (Agustus, September) - 85% (April). Data lama penyinaran matahari menunjukkan kisaran antara 36% (Desember) - 85% (September). Jumlah curah hujan selama 2007 mencapai 1.048 mm. Puncak hujan terjadi pada Desember (365 mm) dengan jumlah hari hujan selama 29 hari. Banyaknya hari hujan dan curah hujan bulanan tahun 2007 di Bandara Selaparang Mataram (BPS, 2008) ditunjukkan pada Gambar 2.

Morfologi

Hampir seluruh Pulau Lombok didominasi oleh pegunungan dan perbukitan, hanya sebagian kecil berupa dataran. Ridwan dan Sudadi (2000) membagi Pulau Lombok menjadi tiga satuan utama, yakni satuan Dataran rendah, Satuan Perbukitan menggelombang, dan Satuan Pegunungan bertimbulan tinggi (Gambar 3). Daerah pegunungan berada di bagian te-



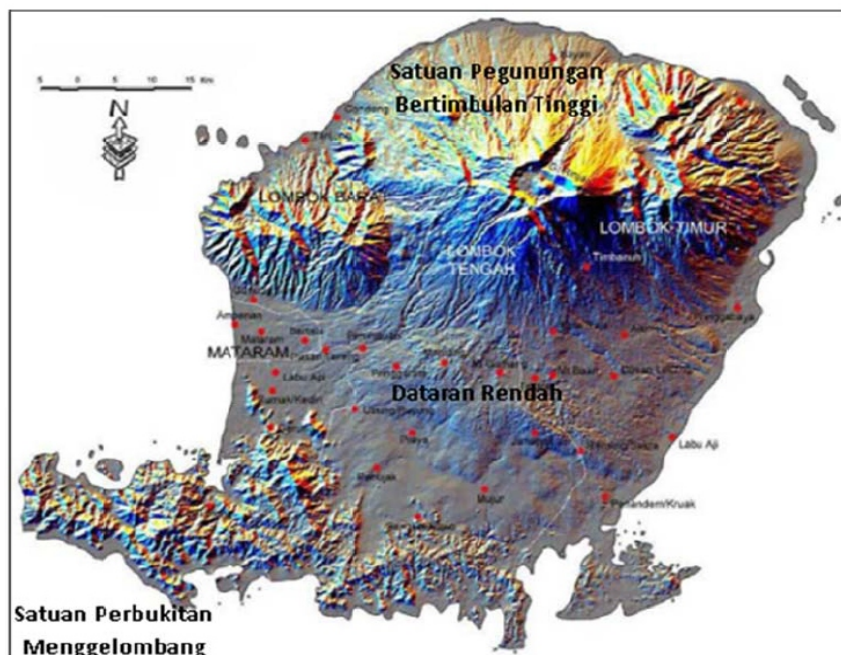
Gambar 2. Grafi banyaknya hari hujan dan curah hujan bulanan Tahun 2007 di Bandara Selaparang Mataram (BPS, 2008).

ngah pulau dengan puncaknya adalah Gunung Rinjani (+3.726 m) yang berkawah Segara Anakan. Selain itu terdapat Gunung Konda (+2.947 m), Gunung Nangi (+2.380 m) dan Gunung Punikan (+1.490 m). Perbukitan tersebar di bagian selatan pulau, permukaan umumnya bergelombang lemah sampai sedang. Pegunungan merupakan bentukan asal vulkanik sedangkan morfologi perbukitan bukan hanya bentukan asal vulkanik tetapi sebagian berupa perbukitan gamping. Daerah dataran berada di sekitar pantai, kota Mataram, Pulau Gili Meno, dan Gili Trawangan.

Geologi

Geologi Pulau Lombok disusun oleh batuan gunung api, batuan sedimen, dan batuan terobosan yang berumur Tersier sampai Kuartar (Mangga dr., 1994). Di bagian utara Pulau Lombok hampir seluruhnya didominasi

oleh endapan batuan vulkanik Kuartar dari Formasi Lekopilo (Qvl): tuf berbatuapung, breksi lahar dan lava. Ke arah tengah sampai ke timur diendapkan batuan vulkanik kuartar hasil kegiatan Gunung Pusuk, Gunung Nangi, dan Gunung Rinjani. Batuan vulkanik tersebut dikelompokkan sebagai batuan gunung api tak terpisahkan (Qhv): lava, breksi, dan tuf. Sedangkan di sebelah barat terdapat Formasi Kalibabak (TQb): breksi dan lava yang menjemari dengan Formasi Kalipalung (TQp): perselingan breksi gamping dan lava; serta Anggota Selayar (TQs): batu pasir tuffaan, batu lempung tufa sisipan karbon. Lebih tua dari formasi tersebut di bagian Selatan Pulau Lombok terdapat Formasi Ekas (Tme): batu gamping kalkarenit, Formasi Penggunglung (Tomp): Breksi, lava, tuf dengan lensa batu gamping, yang menjemari dengan Formasi Kawangan (Tomk): perselingan batu pasir kuarsa, batu lempung dan breksi. For-



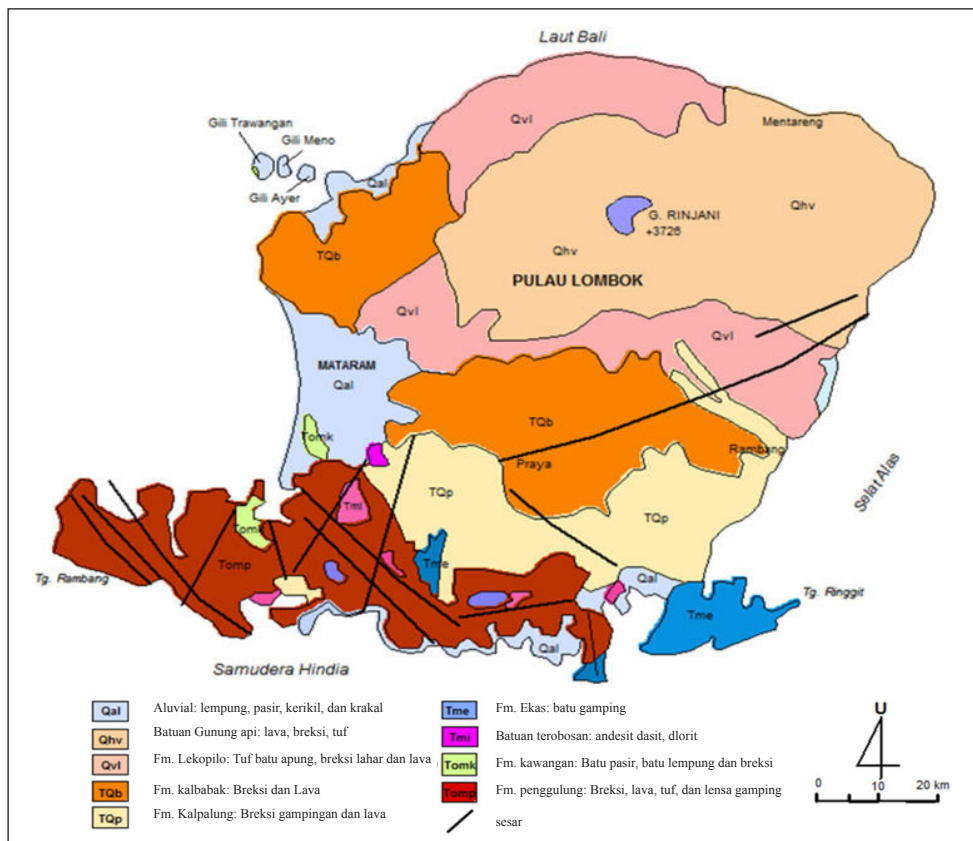
Gambar. 3. Morfologi Pulau Lombok (sumber gambar: As-syakur, R.A, 2008).

masi Penggulung dan Formasi Kawangan di terobos batuan intrusi (Tmi): dasit dan basal. Di beberapa tempat ditutupi endapan aluvial dan terumbu karang. Struktur geologi di Pulau Lombok lebih banyak dijumpai di bagian selatan berupa sesar normal dan sesar mendar yang umumnya berarah barat laut tenggara (Gambar 4).

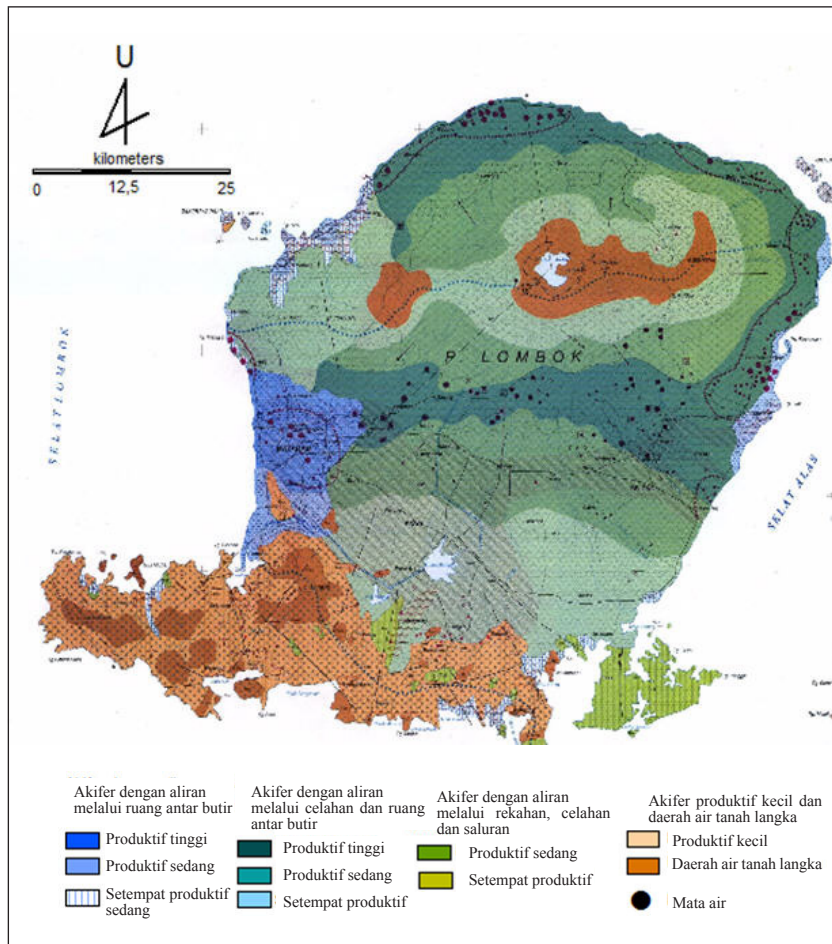
Hidrogeologi

Menurut Ridwan dan Sudadi (2000) air tanah di Pulau Lombok mengalir melalui antar butir, celahan, rekahan, dan saluran. Sistem akifer umumnya memiliki produktivitas tinggi (>10 L/dt), sedang ($5 - 10$ L/dt), setempat se-

dang (< 5 L/dt) dan hanya beberapa daerah saja di bagian selatan dan puncak gunung yang tergolong daerah air tanah langka serta produktivitas kecil. Dijumpai juga puluhan mata air dengan debit kurang dari 10 L/dt sampai lebih besar dari 500 L/dt (Gambar 5). Mata air lebih banyak ditemukan pada tekuk lereng batuan vulkanik di bagian tengah utara pulau dan pinggir pantai, melingkar membentuk garis mata air (*line of spring*) pada daerah keluaran. Sedangkan sungai umumnya berbentuk radial, memancar ke segala arah dari titik puncak di daerah tinggian (Gunung Rinjani, Gunung Konda, Gunung Nang, dan Gunung Punikan) menuju pantai. Biasanya sungai mengalir sepanjang tahun dan hanya



Gambar.4. Peta Geologi Pulau Lombok (Mangga dr., 1994).



Gambar 5. Peta hidrogeologi Pulau Lombok (Ridwan dan Sudadi, 2000).

sedikit yang bersifat *intermetten*. Demikian juga aliran air tanah regional yang berasal dari daerah imbuhan (*recharge*) di wilayah tinggian mengalir radial menuju daerah keluaran (*discharge*).

HASIL PENGUKURAN DAN PEMBAHASAN

Pengamatan dan pengukuran keluaran air tanah dilakukan di tiga lokasi, yaitu Pantai Papak, Teluk Nara, dan Pulau Gilimeno – Gili Trawangan. Ketiga lokasi tersebut terletak di

wilayah pesisir bagian utara Pulau Lombok, Kabupaten Lombok Utara, Nusa Tenggara Barat. Pemetaan dan pengukuran hidrokimia pada titik-titik minatan hidrogeologi meliputi wilayah lepas pantai dan daratan. Di lepas pantai identifikasi KALP dilakukan terhadap air laut maupun air tanah di dasar laut. Sebagai pembanding dilakukan pengukuran pada air tanah yang ada pada sumur gali penduduk.

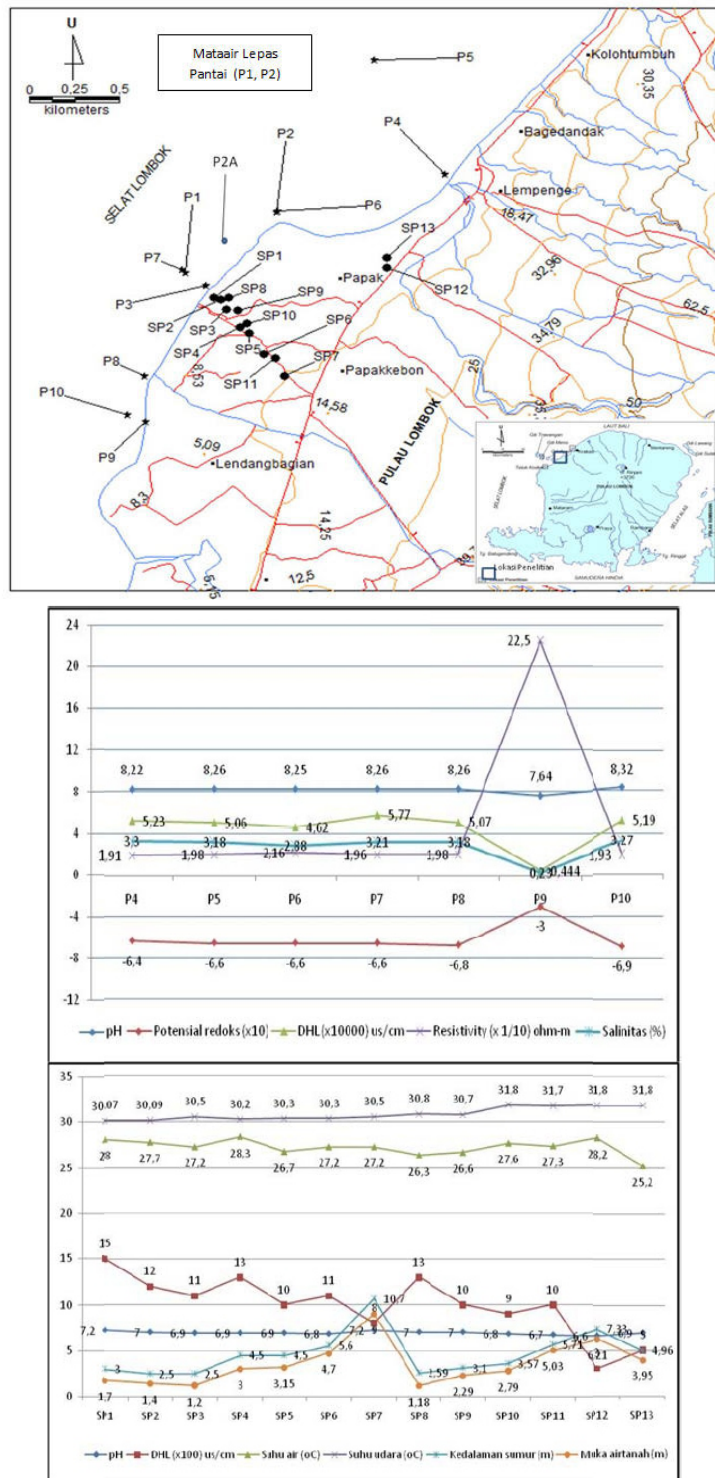
Pantai Papak merupakan pantai datar dengan garis pantai relatif lurus. Pantai disusun endapan aluvial berupa pasir lepas (*unconsolidated clean sand*) yang berukuran pasir

sedang sampai pasir sangat kasar. Ke arah daratan morfologinya semakin bergelombang yang disusun oleh material vulkanik berupa tufa halus-kasar dan batu apung berukuran kerikil. Sedangkan dari garis pantai ke arah laut, disusun oleh terumbu karang dengan permukaan relatif runcing membentuk tonjolan-tonjolan kecil. Batimetri di sekitar pantai berkisar antara -1 m hingga -15 m. Titik-titik lokasi pengukuran dan hasil pengukuran sifat kimia fisik air di daerah Pantai Papak dapat dilihat pada peta (Gambar 6). P1 - P10 adalah titik lokasi identifikasi pengukuran sifat kimia fisik KALP pada air laut dan SP1 s/d SP13 merupakan titik pengukuran air tanah pada sumur gali penduduk. Di Pantai Papak ditemukan dua titik keluaran air tanah lepas pantai (KALP) dengan jarak kurang lebih 50 m dari garis pantai (P2/P6 dan P1/P7). KALP hadir sebagai mata air dasar laut (*springs submarine/springs discharge*) pada kedalaman sekitar 8 - 10 m. Mata air keluar dari terumbu karang dengan morfologi dasar laut sekitar mata air membentuk ceruk (cekungan). Muka air tanah preatik yang di ukur pada sumur penduduk berada pada kedalaman 1 - 9 m dari muka tanah setempat (Bakti dr., 2010).

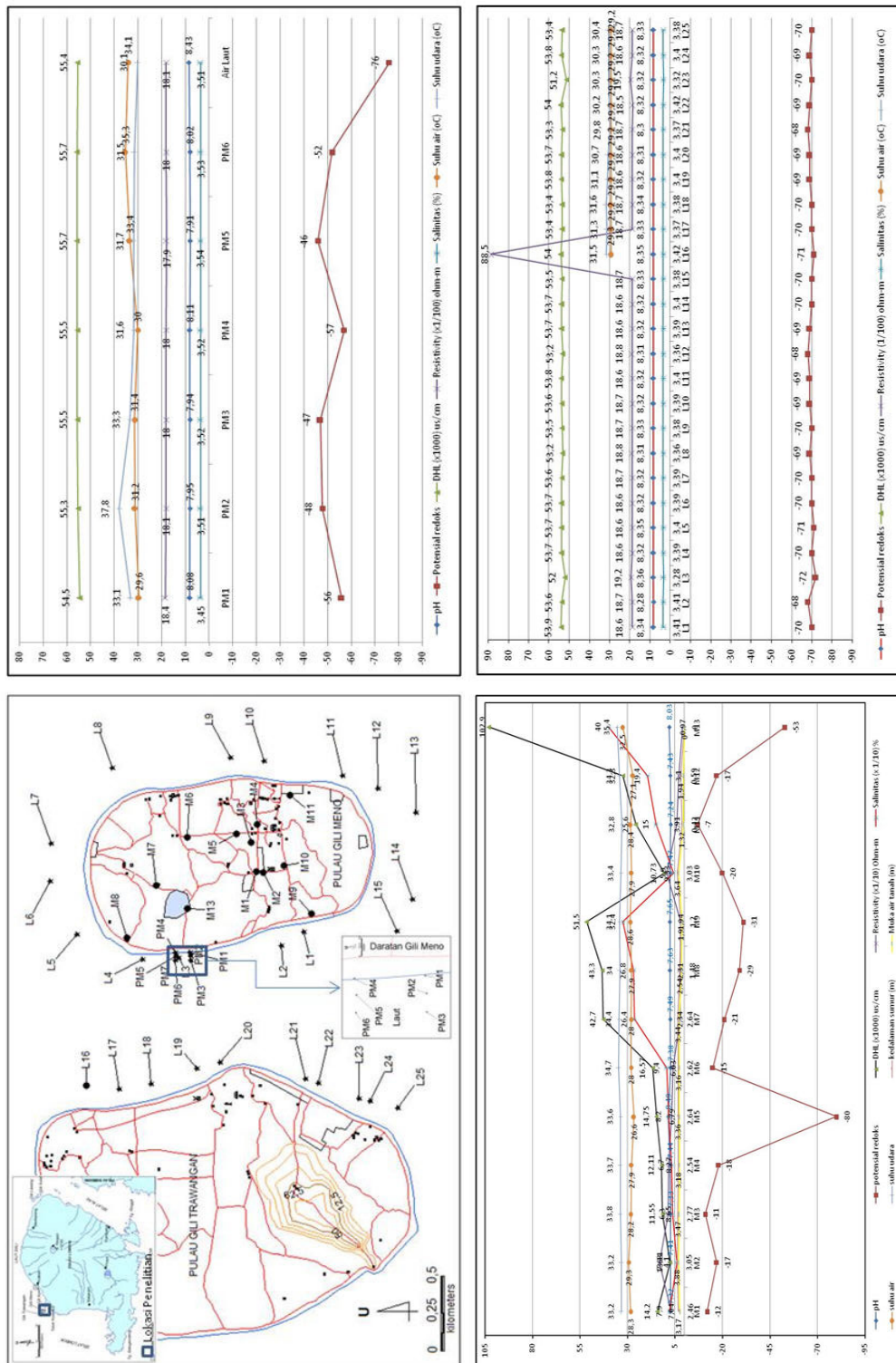
Pulau Gili Meno dan Gili Trawangan merupakan pulau kecil dengan luas masing-masing adalah Pulau Gili Trawangan ($\pm 3,497 \text{ km}^2$) dan Pulau Gili Meno ($\pm 1,865 \text{ km}^2$). Morfologi pulau berupa dataran dan hanya sebagian kecil saja di bagian selatan Gili Trawangan yang berupa bukit dengan ketinggian maksimum mencapai 62,5 m. Dibagian utara barat dijumpai Danau Meno dengan bentuk relatif membulat. Batimetri di sekitar pantai Gili Meno relatif dangkal $\pm 1 - 2 \text{ m}$ dan berang-

sur dalam ke arah Gili Trawangan. Bagian dasar pantai berupa terumbu karang (*fringing reef*), sedangkan permukaan pulau ditutupi endapan aluvial pantai yang terdiri dari pasir lepas berukuran halus sampai sangat kasar. Identifikasi KALP di wilayah ini mencakup pantai barat Gili Meno dan pantai timur Gili Trawangan. Gambar 7 adalah lokasi dan hasil pengukuran di Pulau Gilimeno dan Pulau Gili Trawangan. Dimana L1 - L25 merupakan titik identifikasi pengukuran sifat kimia fisik KALP. Bentuk KALP di lokasi tersebut diduga sebagai rembesan (*seepage*) oleh karena itu pengukuran sifat kimia fisik air dan pengambilan percontoh KALP dilakukan pada enam titik pengukuran PM1 - PM6 (Gambar 7). Pengambilan dilakukan pada dua lintasan dengan jarak antara lintasan $\pm 500 \text{ m}$ dimana spasi pengambilan masing-masing 0 m (garis pantai), 25 m, dan 50 m. Sedangkan M1 - M3 merupakan titik pengukuran air tanah pada sumur gali penduduk di Gili Meno. Muka air tanah di daratan umumnya relatif dangkal berkisar antara 1 - 3 m dengan kualitas payau hingga asin.

Teluk Nara merupakan lokasi UPT Biota Laut, Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. Identifikasi dan pengukuran KALP di daerah ini dilakukan pada sebelas titik lokasi. Morfologi dataran aluvial pantai di Teluk Nara umumnya sempit dan langsung berbatasan dengan tebing curam berupa batuan breksi di kiri dan kanannya. Batimetri di sekitar teluk bisa mencapai $\pm 20 \text{ m}$, tetapi dekat garis pantai relatif lebih dangkal. Sementara itu titik identifikasi dan hasil pengukuran sifat kimia fisik KALP di Teluk Nara terdapat pada peta dengan kode lokasi N1 - N11 (Gambar 8).



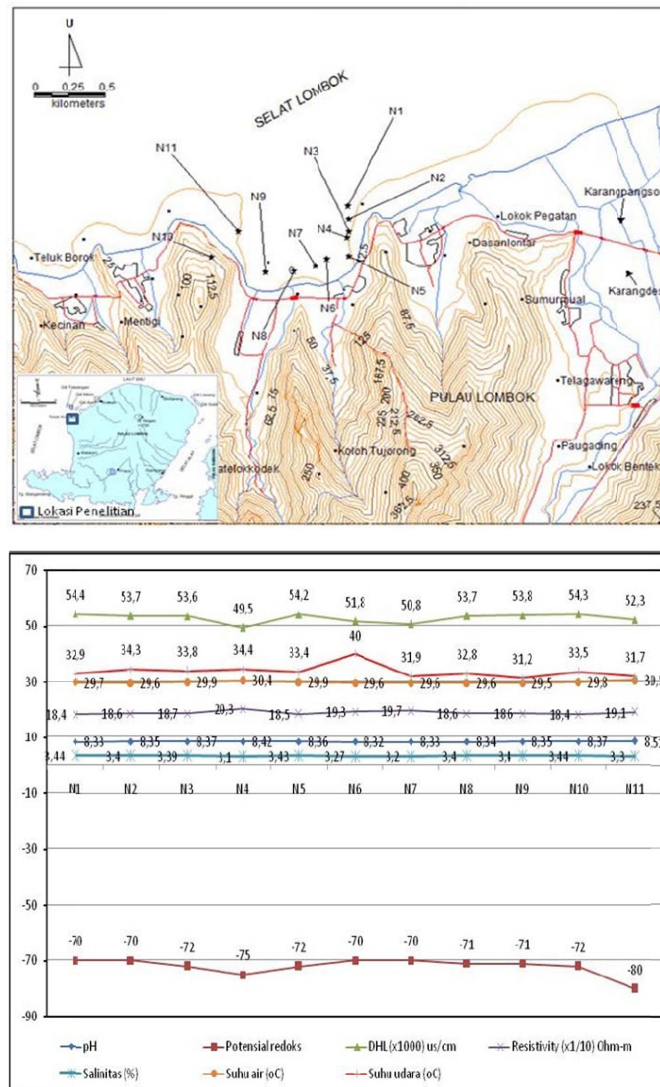
Gambar 6. Titik Lokasi dan hasil pengukuran sifat kimia fisik
di Pantai (SP) dan lepas pantai (P) Papak (Bakti, drr., 2010)



Gambar 7. Lokasi identifikasi dan pengukuran kimia fisik air di darat (M), pantai (PM), dan lepas pantai (L) Pulau Gili Mendo dan Pulau Gili Trawangan.

Analisis kimia di laboratorium dilakukan terhadap beberapa percontoh air yang dianggap mewakili dari daerah penelitian. Analisis radon (^{222}Rn) dilakukan di laboratorium pada tahun 2010 dan di lapangan pada tahun 2011. Analisis radon di laboratorium dilakukan sebanyak 15 percontoh air yaitu lokasi Pan-

tai Papak sebanyak 6 percontoh air laut (P1 - P10). Sedangkan dari Pantai Gili Meno dan Gili Terawangan sebanyak 5 percontoh dan Teluk Nara di analisis sebanyak 4 lokasi, yaitu N3, N5, N9, dan N11. Hasil analisis ^{222}Rn disajikan dalam Tabel 1.



Gambar 8. Lokasi identifikasi dan hasil pengukuran sifat kimia fisik air (N) di Teluk Nara.

KALP di Pantai Papak secara visual teridentifikasi berupa mata air bawah laut. KALP tersebut merupakan mata air bawah laut yang terletak pada dua lokasi yaitu pada titik P1(P7) dan P2 (P6). Namun karena dasar laut relatif dalam (8 m) maka pengambilan dan pengukuran sifat kimia fisik air ditempat hanya bisa dilakukan pada permukaan air laut. Pemunculan mata air bawah laut diperkuat dengan konsentrasi radon (^{222}Rn) yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan percontoh air laut yang diambil jauh secara spasial dari titik pemunculan tersebut (Tabel 1).

Identifikasi KALP berdasarkan unsur penjejak ^{222}Rn di pantai barat Gili Meno menunjukkan konsentrasi yang relatif tinggi pada lokasi L3 bila dibandingkan dengan lokasi L1, L2, L4 dan L5 (Tabel 1), hal ini juga ditunjang

dengan pengukuran lapangan terhadap daya hantar listrik (DHL) yang relatif rendah bila dibanding dengan daya hantar listrik air laut di sekitarnya (Gambar 7). Mengacu kepada hasil penelitian KALP di pantai Jakarta (Umezawa *et al.*, 2009), yang menunjukkan korelasi berbanding terbalik antara ^{222}Rn dan DHL. Semakin tinggi konsentrasi ^{222}Rn pada air di suatu lokasi maka DHL air akan semakin rendah (lebih tawar) demikian juga sebaliknya. Maka terjadi suplai air tanah tawar berupa rembasan (*seepage*) pada titik lokasi L3 dari daratan Pulau Gili Meno menuju lautan.

Hampir semua percontoh air laut yang dianalisis dari Teluk Nara juga mengandung ^{222}Rn , hal ini juga mencerminkan adanya suplai air tanah dari daratan ke lautan. Konsentrasi tertinggi terdapat pada titik lokasi N11 dan te-

Tabel 1. Hasil Analisis Radon (^{222}Rn) di Pantai Papak, Gilimeno dan Teluk Nara

No Lapangan	No Lab	^{222}Rn activity Bq/m ³	2 σ error Bq/m ³	^{222}Rn activity dpm/L	2 σ error dpm/L	Keterangan
P4	R1	27.120,74	57.671,85	1.627,24	3.460,31	Muara Sungai papak
P2/P6	R2	46.247,62	64.436,70	2.774,86	3.866,20	Air Laut di Papak, SGD6, springs submarine
P2A	R3	27.650,70	51.462,06	1.659,04	3.087,72	Air Laut di papak
P7/P1	R4	50.587,73	61.236,47	3.035,26	3.674,19	Air Laut di Papak, SGD1, springs submarine
P8	R5	20.043,03	54.070,72	1.202,58	3.244,24	Sungai Kering
P10	R6	34.717,67	61.846,96	2.083,06	3.710,82	Air Laut di Papak, Depan Mata air Pantai
L1	R7	25.654,74	36.494,17	1.539,28	2.189,65	Air Laut di Glimeno
L2	R8	25.031,42	35.478,03	1.501,89	2.128,68	Air Laut di Glimeno
L3	R9	29.990,66	41.213,09	1.799,44	2.472,79	Air Laut di Glimeno, Detil SGD
L4	R10	27.889,46	39.832,53	1.673,37	2.389,95	Air laut di Glimeno
L5	R11	16.914,52	31.841,68	1.014,87	1.910,50	Air Laut di Glimeno
N11	R12	39.606,62	39.383,02	2.376,40	2.362,98	Air laut Teluk Nara
N9	R13	18.105,96	35.797,03	1.086,36	2.147,82	Air laut Teluk Nara
N3	R14	24.997,00	38.516,42	1.499,82	2.310,99	Air laut Teluk Nara
N5	R15	20.565,98	32.711,61	1.233,96	1.962,70	Air laut Teluk Nara

Bq: Becquerel, dpm: disintegrations perminute

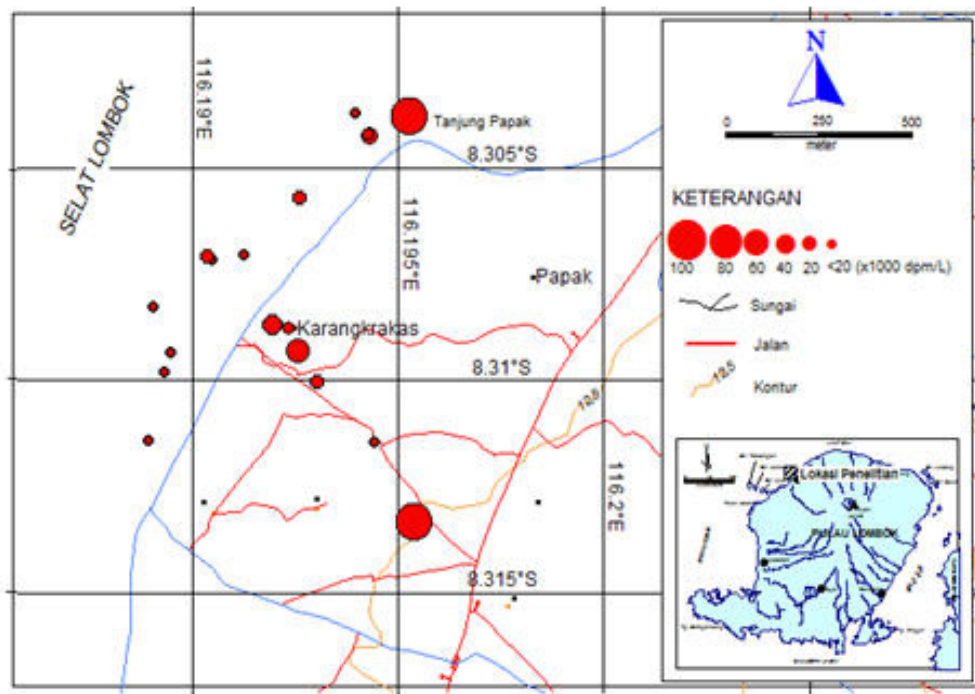
rendah pada titik N9. Batuan di sekeliling telur ini berupa breksi dan lava yang memiliki nilai permeabilitas rendah, sehingga kemungkinan hadirnya KALP di tempat tersebut adalah akibat kontrol struktur di daerah tersebut.

Berdasarkan kajian ini, maka dilakukan pengukuran Radon secara detail di wilayah pantai Papak (Bakti dr., 2011). Pantai Papak merupakan pantai datar dengan garis pantai relatif lurus. Di permukaan, pantai ini disusun endapan aluvial pasir lepas (*unconsolidated clean sand*) yang berukuran pasir sedang sampai pasir sangat kasar. Ke arah daratan morfologinya semakin bergelombang yang disusun oleh material vulkanik berupa tufa halus-kasar dan batu apung berukuran kerikil. Sedangkan dari garis pantai ke arah laut, disusun oleh terumbu karang dengan permukaan relatif runcing membentuk tonjolan-tonjolan kecil. Batimetri di sekitar pantai berkisar antara -1 m hingga -15 m. Di Pantai Papak ditemukan tiga titik keluaran air tanah lepas pantai (KALP) dengan jarak kurang lebih 100 m dari garis pantai. Secara visual KALP hadir sebagai mata air dasar laut (*springs submarine/springs discharge*) pada kedalaman sekitar 8 - 10 m. Mata air keluar dari terumbu karang dengan morfologi dasar laut sekitar mata air membentuk ceruk (cekungan).

Sifat fisik air pada air tanah tidak tertekan di wilayah Pantai Papak sampai jarak 20 m dari pinggir pantai ke arah daratan pun air bersifat tawar dengan daya hantar listrik air $< 1.500 \mu\text{S/cm}$. Muka air tanah bervariasi pada kedalaman 1 - 2 m dari muka tanah setempat. Berkaitan dengan dinamika temporal, relasi antara air tanah tawar yang berasal dari daratan dengan air laut dari data yang diukur

di daratan tidak terekam sama sekali. Hal ini menunjukkan adanya kemungkinan pengaruh pasang surut air laut tidak mengganggu sistem tata air tanah tawar yang berada di daratan. Hal ini dimungkinkan oleh dua faktor dominan, yaitu belum adanya faktor antropogenik yang berlebihan atau adanya gradien hidraulik air dari daratan yang sangat besar. Bukti dari faktor terakhir adalah dijumpainya mata air dasar laut di lepas pantai. Demikian juga bidang batas (*interface*) antara air tanah tawar dengan air laut tidak terekam pada data hidrogeologi di daratan, hal ini diduga bidang tersebut cukup dalam atau berada di bawah muka laut.

Namun relasi tersebut terekam dengan jelas dari data radon-222 (^{222}Rn) yang terdeteksi pada air tanah dan air laut di sekitar Pantai Papak (Gambar 9). Semakin ke daratan konsentrasi radon pada air tanah lebih besar bila dibanding dengan konsentrasi radon pada air laut di sekitar pantai. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian para ahli di berbagai tempat di dunia diantaranya Segovia and Bulbulian, 1992; Burnett *et al.*, 2008; Dulaiova, *et al.*, 2007; dan Umezawa, *et al.*, 2009, bahwa konsentrasi ^{222}Rn lebih tinggi pada air tanah bila dibandingkan dengan air permukaan atau air laut. Sementara itu konsentrasi radon yang bervariasi pada air tanah dimungkinkan karena adanya sumber batuan yang berlainan (Tabel 2), sebagaimana pendapat Umezawa *et al.* (2009) yang menyatakan bahwa rendahnya konsentrasi radon pada air tanah berkaitan dengan rendahnya sumber kandungan uranium atau radium serta Skeppstromps dan Olofsson (2007) yang menyatakan bahwa perbedaan konsentrasi radon pada air tanah mengindika-



Gambar 9. Distribusi radon-222 di Pantai Papak, Kabupaten Lombok Utara, Pulau Lombok (Bakti drr., 2011).

Tabel 2. Hasil Pengukuran sifat fisik air dan Radon-222 di Pantai Papak, Lombok Utara (Bakti drr., 2011)

Lokasi	EC (m s/m)	pH	T (°C)	Muka air tanah	Radon-222(dpm/L)	Keterangan
1			29,5		15.638,50	Laut
2			29,0		22.285,83	Laut
3			28,5		19.217,67	Laut
4			28,0		16,82	Laut
5			28,0		14.497,10	Laut
6			28,0		16.682,83	Laut
SG1	116,9	7,23	26,3	1,6	38.569,98	Sumur Gali
SG2	93,8	7,06	25,9		22.491,86	Sumur Gali
SG3	87,0	7,05	26,4	1,5	48.255,13	Sumur Gali
SG4	89,4	7,39	27,4	2,2	27.936,83	Sumur Gali
SG5	67,6	7,33	27,2	4,2	15.511,20	Sumur Gali
SG6	72,7	7,58	26,5	10,3	89.684,31	Sumur Gali
SGD1a=sgd1	4,97 s/m	8,11	28,2		17.756,62	Mata Air bawah laut-1
sgd2=sgd1b	4,75 s/m	8,06	27,2		89.289,11	Mata Air bawah laut-2

sikan air tanah yang berasal dari jenis batuan yang berlainan.

KESIMPULAN

Keluaran air tanah di lepas pantai (KALP) yang dijumpai di Pantai Papak berupa mata air bawah laut yang muncul pada di dua titik lokasi. Mata air ini diduga dikontrol oleh aliran air tanah regional pada batuan vulkanik yang berasal dari Gunung Rinjani yang ditunjukkan oleh konsentrasi radon (^{222}Rn) yang tinggi. Keluaran air tanah lepas pantai (KALP) pada aluvial pantai di Pantai Barat Gili Meno dan Teluk Nara dapat diidentifikasi sebagai rembesan air tanah (*groundwater seepage*), kehadirannya ditandai dengan tingginya kandungan Radon (^{222}Rn) pada berbagai titik pengukuran.

Identifikasi KALP berdasarkan gabungan hasil interpretasi dari metode-metode di atas menunjukkan keluaran air tanah di lepas pantai ini merupakan kendali dari kondisi geologi dan kecepatan aliran air tanah. Gabungan metodologi ini merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk melihat indikasi awal dari keluaran air tanah di lepas pantai. Pengamatan yang dilakukan pada pulau Lombok, memberikan gambaran yang baik mengenai bentuk-bentuk keberadaan KALP di wilayah pesisir aluvial pulau tersebut.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada peneleah dan dewan redaksi Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi (JLBG) atas saran dan masukannya dalam penulisan makalah ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kepala Pusat

Penelitian Geoteknologi – LIPI, Pejabat Pembuat Komitmen DIPA Puslit Geoteknologi LIPI 2010-2011 sehingga penelitian ini berlangsung dengan lancar, serta Pemerintah Daerah Kabupaten Lombok Utara, Provinsi Nusa Tenggara Barat atas izinya sehingga penelitian berjalan dengan lancar. Kepada Hiroshima University, Jepang yang telah mengizinkan upaya pengukuran radon di laboratoriumnya serta berbagai pihak yang telah membantu terselenggaranya penelitian ini penulis juga mengucapkan terima kasih.

ACUAN

As-syakur, R.A., 2008, Evaluasi Zona Agroklimat Dari Klasifikasi Schimdt-Ferguson Menggunakan Aplikasi Sistem Informasi Geografi (SAG), J. Pijar MIPA, Vol. III No. 1, Maret 2008: 17-22 ISSN h. 1907-1744

Bakti, H., Lubis, R.F., Nailly, W., Delinom, R., dan Purwoko, W., 2010, Identifikasi dan karakter Hidrokimia Keluaran Air tanah Lepas Pantai (KALP) di Pantai Papak, Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat. Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI. h. 59-66

Bakti, H., Delinom, R., Dani, D., Hadi, I., dan Lubis, R.F., 2011. Model Keluaran Air tanah Lepas Pantai (KALP) di Pesisir Pantai Papak, Pulau Lombok, Nusa Tenggara Barat Berdasarkan Data Geolistrik dan Radon. Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi LIPI. h. 121-126

Burnett, W.C., Aggarwal, P.K., Aureli, A., Bokuniewicz, H., Cable J.E., Charette, M.A., Kontar, E., Krupa, S., Kulkarni, K.M., Loveless, A., Moore, W.S., Oberdorfer, J.A., Oliveira, J., Ozyurt, N., Povinec, P., Privitera, A.M.G., Rajar, R., Ramessur, R.T., Scholten, J., Stieglitz, T., Taniguchi, M., and Turner, J.V., 2006, Quantifying submarine groundwater discharge in the coastal zone via multiple methods, Science of the Total Environment 367 (2006) p. 498–543. Elsevier.

BPS, 2008, Nusa Tenggara Barat Dalam Angka.

Burnett, W.C., Peterson, R., Moore, W.S., and Oliveira J., 2008, Radon and radium isotopes as tracers of submarine groundwater discharge Results from the Ubatuba, Brazil SGD assessment intercomparison, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76, p.501-511, Elsevier.

Davis, S.N. and De wiest, R.J.M., 1966, *Hydrogeology*, John Wiley and Sons, New York, 463 pp.

Dulaiova, H., Gonnea, M.E., Henderson P.B., and Charette, M.A., 2007 Geochemical and physical sources of radon variation in a subterranean estuary - Implications for groundwater radon activities in submarine groundwater discharge studies, *Marine Chemistry* 110 (2008) 120-127, www.elsevier.com/locate/marchem.

Gholami, V., Azodi M., and Salimi, E.T., 2008, Modeling of Karst and Alluvial Springs Discharge in The Central Alborz Highlands on the Caspian Southern Coasts, *Caspian Journal Environment Science*, Vol. 6 No.1 pp.41-45, The University of Guilan, Iran.

Kumar, C.P., 1996, Development in Groundwater Hydrology : an overview, *SATI Journal of Science and Technology*, Vol. 1 No.1 January 1996, pp.80-92, Samrat Ashok Technology Institute, Vadisha, India.

Lopes, P.C. and Oliveira, J., 2007, Assessment of Submarine Groundwater Discharge and Seasonal Oscillations in Seawater ²²²Rn Inventories of Ubatuba, Brazil, *International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2007*, Associacao Brasileira De Energia Nuclear-ABEN, ISBN: 978-85-99141-02-1, Santos, SP, Brazil.

Lubis, R.F., Bakti, H., and Suriadarma, A., 2011, Submarine Groundwater Discharge (SGD) in Indonesia. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*. Volume 21 No.1. Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI, Indonesia.

Mangga, S.A., Atmawinata, S., Hermanto, B., Setyogroho, B., dan Amin, T.C., 1994, *Peta Geologi Lembar Lombok Nusa Tenggara Barat*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Ridwan, T. dan Sudadi P., 2000, *Peta Hidrogeologi Pulau Lombok dan Pulau Sumbawa Bagian Barat skala 1 : 250.000*, Kanwil Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral, Provinsi Nusa Tenggara Barat.

Segovia, N. dan Bulbulian S., 1992, Radon determination in ground water, *Revista Mexicana de Física* 38, Suplemento 1 (1992) p. 242-248.

Simmons, G. M., 1992, Importance of submarine groundwater discharge (SGWD) and seawater cycling to material flux across sediment/water interfaces in marine environments, *Marine Ecology Progress Series*, Vol. 84: 173-184. Department of Biology, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia 24061, USA.

Skeppstromps, K. and Olofsson, B., 2007, Uranium and Radon in Groundwater: An Overview of the Problem, *European Water*, 17/18: 51-62, E.W Publications.

Taniguchi, M., Burnett W.C., Dulaiova, H., Siringan, F., Foronda, J.M., Wattayakorn, G., Rungsupa, S., Kontar, E.A., Shirshov, P.P., and McManus L., 2005, *Groundwater Discharge as an Important Land-Sea Pathway in Southeast Asia*, Final Report for APN Project 2004-16NSY.

Taniguchi, M., Burnett, W.C., Dulaiova, H., Kontar, E.A., Povinec, P.P., and Moore, W.S., 2006, Submarine groundwater discharge measured by seepage meters in sicilian coastal waters, *Continental Shelf Research* 26 (2006) p. 835-842, Elsevier.

Umezawa, Y., Onodera, S., Ishitobi, T., Hosono, H., Delinom, R., Burnett, W.C., and Taniguchi, M., 2009, Effect of urbanization on the groundwater discharge into Jakarta Bay, *Trends*

and Sustainability of Groundwater in Highly Stressed Aquifers (Proc. of Symposium JS.2 at the Joint IAHS & IAH Convention, Hyderabad, India, September 2009). IAHS Publ. 329, 2009.

Unesco, 2004, Submarine Groundwater Discharge, Management implications, measurements and

effects, Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR), Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ) IHP-VI, Series on Groundwater No.5, IOC Manual and Guides No.44, ISBN 92-9220-006-2.

