

**KOMBINASI PENGUKURAN RADIOAKTIVITAS BATUAN DAN GEOLISTRIK
DALAM MENENTUKAN AKUIFER AIRTANAH POTENSIAL DI DESA
SUMBERMANJING KULON, PAGAK, MALANG, JAWA TIMUR**

I Gde Sukadana, F Dian Indrastomo

Pusat Pengembangan Geologi Nuklir – BATAN
Jl. Lebak Bulus Raya No. 9, Pasar Jumat, Jakarta 12440

ABSTRAK

KOMBINASI PENGUKURAN RADIOAKTIVITAS BATUAN DAN GEOLISTRIK DALAM MENENTUKAN AKUIFER AIRTANAH POTENSIAL DI DESA SUMBERMANJING KULON, PAGAK, MALANG, JAWA TIMUR. Daerah penelitian merupakan daerah yang mengalami kesulitan penyediaan air bersih. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik geologi, perangkap stratigrafi dan karakteristik sifat geofisika bawah permukaan guna identifikasi keberadaan, kedalaman dan sebaran akuifer. Tujuan penelitian ini adalah penentuan lokasi titik potensial untuk dilakukan pemboran sumur airtanah guna memenuhi kebutuhan air di daerah ini. Tahapan penelitian meliputi pemetaan topografi, pemetaan geologi, pengukuran radioaktivitas soil/batuan, survei geolistrik (tahanan jenis) dan analisis penentuan titik potensial untuk pemboran. Daerah penelitian merupakan dataran bergelombang, secara litologi tersusun atas satuan batupasir dan satuan batugamping. Nilai Radioaktivitas batugamping antara 30c/s - 45c/s, batupasir gampingan 20c/s - 30c/s, dan batupasir tufan <20 c/s. Berdasarkan analisis hasil pengukuran geolistrik, lapisan batuan pada lokasi penelitian terbagi menjadi 4 lapisan batuan, yaitu batugamping (> 100 Ω m), batulempung (1 Ω m - 7 Ω m), batupasir-1 (10 Ω m - 33 Ω m) dan batupasir-2 (14 Ω m - 17 Ω m). Analisis terpadu menghasilkan dua lokasi potensial untuk pemboran dengan koordinat titik 1 UTM 49M 664327mT, 9082526mU, 346 mdpl dan titik 2 UTM 49M 664333mT, 9082750mU, 349 mdpl.

Kata Kunci: radioaktivitas, akuifer, geolistrik, Sumbermanjing Kulon

ABSTRACT

COMBINATION OF ROCKS AND SOIL RADIOACTIVITY MEASUREMENTS AND GEOELECTRICAL TO DETERMINE POTENTIAL GROUNDWATER AQUIFER IN SUMBERMANJING KULON VILLAGE, PAGAK, MALANG, EAST JAVA. The study area is an area with difficulties in fresh water supply. This study aimed to investigate geological characteristics, stratigraphical traps and sub surface geophysical characteristics to identify aquifer existence, depth and distribution. The purpose of this study is to determine the potential location for groundwater drilling to fulfill the needs of fresh water in this area. Stages of activities include topography mapping, geological mapping, soil/rocks radioactivity measurements, geoelectric (resistivity) surveys and potential location determination analysis for drilling. The study area is an area with undulating terrain, lithologically composed with sandstone unit and limestone unit. Radioactivity value of limestone ranged from 30c/s to 45c/s, carbonaceous sandstone ranged from 20c/s to 30c/s, and tuffaceous sandstone lower than 20c/s. Based from geoelectrical measurements analysis, lithologically this area divide into 4 rock layers, i.e. limestone (>100 Ω m), claystone (1 Ω m - 7 Ω m), sandstone-1 (10 Ω m - 33 Ω m), and sandstone-2 (14 Ω m - 17 Ω m). Integrated analysis resulted 2 potential location for drilling with coordinates for location 1 UTM 49M 664327mT, 9082526mU, 346 mdpl and location 2 UTM 49M 664333mT, 9082750mU, 349 mdpl.

Keywords: radioactivity, aquifer, geoelectric, Sumbermanjing Kulon

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Air merupakan salah satu kebutuhan dasar dalam meningkatkan kualitas kehidupan manusia dan pertumbuhan ekonomi suatu wilayah. Daerah Sumbermanjing Air tanah tidak dijumpai di semua tempat. Keterdapatan air tanah tergantung dari ada tidaknya lapisan batuan yang dapat mengandung air tanah yang disebut akuifer. Akuifer adalah formasi batuan yang dapat menyimpan dan melalukan air, seperti misalnya pasir dan kerikil lepas^[1,2]. Akuifer sering pula disebut waduk air atau formasi air^[3]. Kemampuan material dalam meloloskan air juga dipengaruhi oleh kerapatan lindak (*bulk density*). Pada umumnya berkisar antara 1,1 - 1,6 gr/cc, semakin besar nilai kerapatan lindak (*bulk density*) maka tanah makin sukar meloloskan air^[4].

Desa Sumbermanjing Kulon Kecamatan Pagak, Kabupaten Malang, yang merupakan daerah yang mengalami kesulitan air bersih untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Berdasarkan kondisi geologinya, metode yang dapat digunakan adalah metode teknik geofisika yang dikombinasikan dengan pengukuran radioaktivitas batuan. Hasil pelacakan airtanah-dalam digunakan untuk mengetahui keberadaan lapisan batuan yang berpotensi mengandung air atau keberadaan serta cebak-an air lainnya berupa permeabilitas sekunder yang berpotensi menjadi akuifer produktif, sehingga dapat ditentukan lokasi titik pemboran eksplorasi airtanah-dalam potensial yang sekaligus dapat dikembangkan menjadi sumur produksi, guna memenuhi kebutuhan air baku domestik.

Maksud dan Tujuan

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik geologi, perangkat stratigrafi dan karakteristik sifat geofisika bawah permukaan guna identifikasi keberadaan lapisan batuan mengandung potensi airtanah (akuifer), termasuk kedalaman dan sebarannya.

Tujuan penelitian ini adalah penentuan lokasi titik potensial untuk dilakukan pemboran sumur eksplorasi/produksi airtanah-dalam guna memenuhi kebutuhan air di daerah penelitian.

Lokasi dan Tahapan Kegiatan

Lokasi daerah penelitian mencakup daerah dengan luasan daerah kerja masing-masing desa sekitar 100-150 Ha di Desa Sumbermanjing Kulon, secara administratif termasuk dalam Kecamatan Pagak dengan posisi geografis 08°16'58" LS – 08°18'43" LS, dan 112°30'47" BT – 112°28'41" BT.

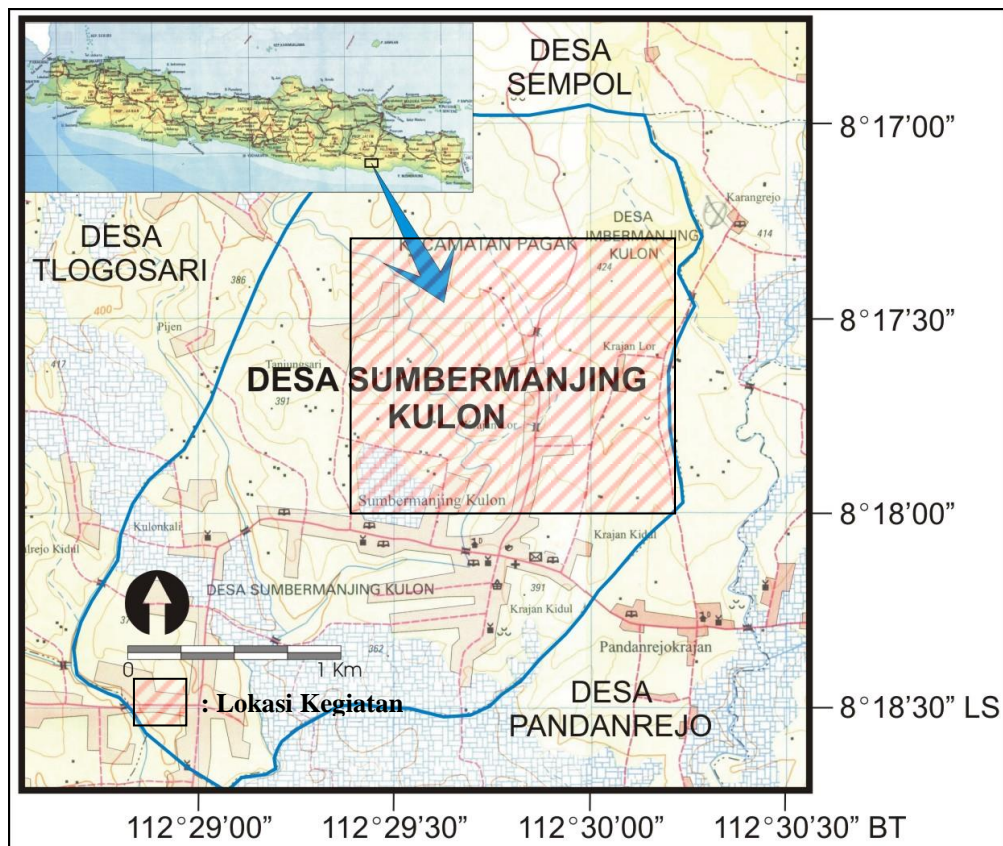
Tahapan penelitian meliputi pemetaan topografi, pemetaan geologi, pengukuran radioaktivitas soil/batuan, survei geolistrik dan analisis penentuan titik potensial airtanah.

HASIL KEGIATAN

Geologi Regional

Berdasarkan peta geologi regional lembar Blitar^[5] menerangkan bahwa Desa Sumbermanjing Kulon, Kec. Pagak secara umum terdiri atas: Formasi Nampol berumur Miosen Tengah dan sebagian besar tersusun oleh Formasi Wonosari berumur Miosen Akhir. Formasi Nampol (Tmn), tersusun oleh batupasir tufan, warna coklat muda berkerakal dengan alur-alur lempung warna abu-abu kebiruan, setempat sisipan konglomerat berukuran kerakal dan lignit yang tipis. Kadang terdapat terdapat oksida besi dan kepingan gypsum. Batulempung napalan – pasiran, terdapat menutupi batupasir tufan, warna abu-abu dengan bongkahan batugamping, bagian atas ditutupi oleh lapisan

batupasir dan batugamping. Batulempung hitam, terdapat berupa lapisan tipis dan bercampur dengan lapisan lignit. Formasi Wonosari (Tmwl) terdiri dari batugamping, napal pasir dan sisipan batulempung kebiruan. Batugamping umumnya terdiri dari batugamping, batugamping kristalin dan batugamping pasir. Sebagian pejal dan sebagian berlapis. Pada beberapa batugamping dijumpai fosil foraminifera, koral, brachiopoda, gastropoda dan moluska. Selain itu dijumpai pula batugamping konglomeratan, batugamping tufan dan batugamping lempungan.



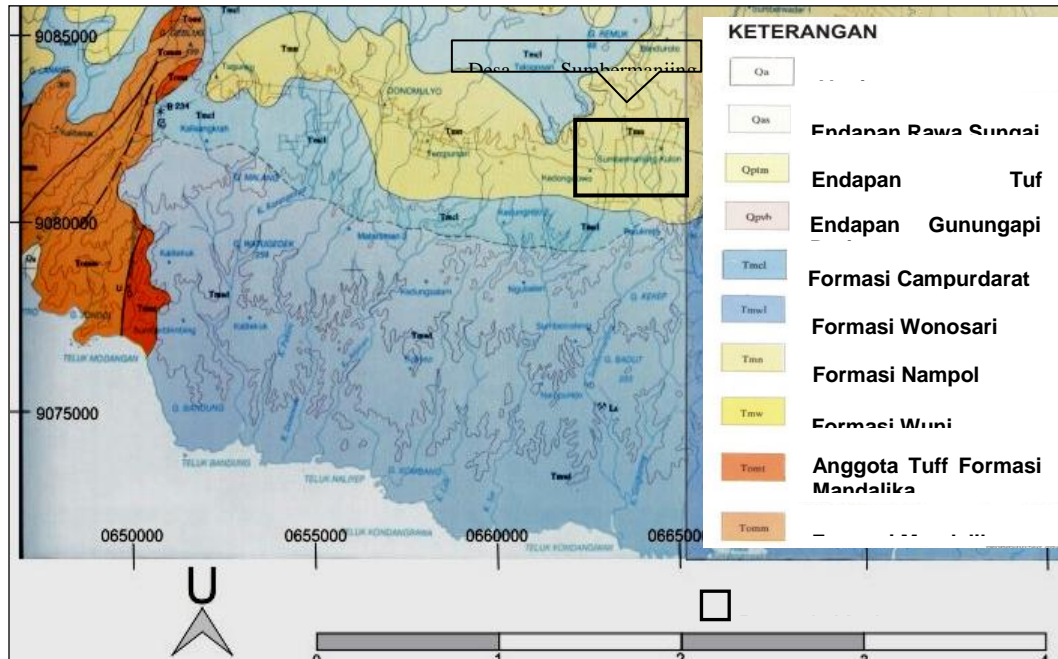
Gambar 1. Peta Lokasi Pelacakan Desa Sumbermanjing Kulon, Kecamatan Pagak, Kabupaten Malang, Jawa Timur

Dari Formasi yang ada di daerah kerja, Formasi Nampol diharapkan dapat menjadi akuifer airanah-dalam yang cukup baik, selain itu keterdapatn batupasir gampingn di formasi Wonosari dan batupasir tufan di Formasi mandalika apabila didukung dengan kondisi / seting geologi yang tepat maka akan menjadi akuifer airtanah-dalam yang baik.

Struktur geologi regional lokasi penelitian memiliki pola yang hampir sama yaitu terdapatnya sesar-sesar yang memiliki arah umum NNE-SSW hingga arah NE-SW. Selain itu juga terdapat struktur dengan arah orientasi NW-SE tetapi tidak begitu dominan. Peta Geologi Regional daerah ini terdapat pada **Gambar 2**.

Hidrogeologi Regional

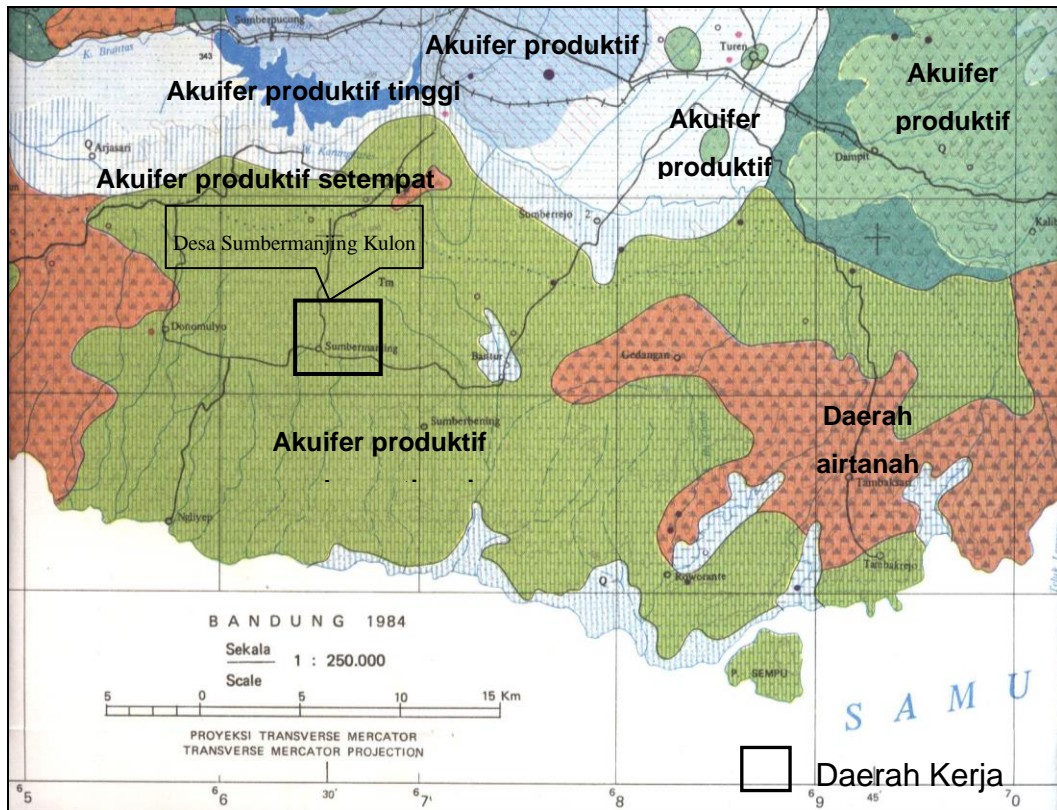
Daerah kerja merupakan daerah yang umumnya sulit air, terutama pada musim kemarau. Penduduk setempat yang sebagian besar mengandalkan air tanah dangkal dan air permukaan dengan sumur gali (<20 m) dan air sungai. Pada musim kemarau daerah kerja sebagian besar merupakan daerah pertanian dan ladang menjadi tidak produktif, akibat keringnya sumur gali dan sungai. Tetapi berdasarkan data kondisi hidrogeologi regional, daerah kerja termasuk dalam daerah dengan akuifer airtanah langka hingga daerah dengan akuifer produktif sedang-tinggi [2,3,4]



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Malang Selatan dan Sekitarnya, Jawa Timur [5]

Desa Sumbermanjing Kulon, Kecamatan Pagak secara umum termasuk pada daerah dengan akuifer produktif sedang-tinggi. Daerah ini dengan merupakan akuifer dengan aliran celahan, rekahan dan saluran. Aliran sungai terbatas pada zona celahan, rekahan dan saluran pelarutan batuan dengan debit mata air yang beragam yaitu dari sedang-besar.

Dari fakta kondisi lapangan yang sering mengalami kekeringan dan data kondisi hidrogeologi regional daerah yang sebagian besar akuifer produktif sedang, maka perlu diteliti lebih detail baik kondisi permukaan maupun bawah permukaan, sehingga didapatkan penyebab kesulitan air di daerah kerja[6]. Kondisi hidrogeologi regional biasanya lebih banyak didasarkan pada keterdapatn akuifer airtanah-dalam, sehingga meskipun dipermukaan daerah ini kering dan sulit air, maka dari data kondisi hidrogeologi regional ini besar kemungkinan terdapat akuifer yang potensial airtanah-dalam, sehingga perlu dilakukan pengenalan karakteristik akuifer bawah permukaan dengan metode teknik nuklir yang dikombinasikan dengan metode geofisika konvensional. Gambaran umum peta geologi regional terdapat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Peta Hidrogeologi Daerah Malang Selatan dan Sekitarnya, Jawa Timur ^[6]

Kondisi Topografi

Lokasi kerja terletak pada koordinat $X = 0663772,316 - 0665405,060$ m; $Y = 9081969,255 - 9083546,108$ m; $Z = 331,503 - 388,610$ mdpl. Secara umum merupakan daerah dataran dan dataran bergelombang. Luas daerah pengukuran ± 100 ha. Hasil penggambaran peta tersebut terdapat pada **Gambar 4**.

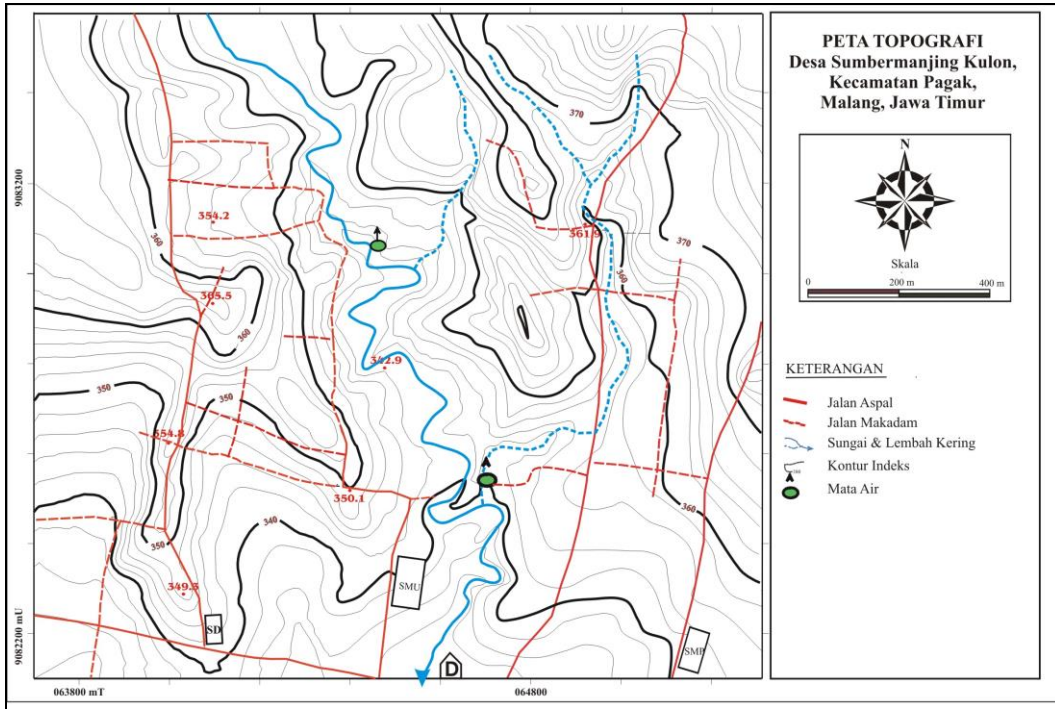
Geologi Daerah Penelitian

Pemetaan geologi di Desa Sumbermanjing Kulon dilakukan dengan metoda pengamatan dan pengukuran singkapan. Singkapan yang baik di daerah ini terdapat pada sungai dan alur-alur sungai kering. Selain itu pada beberapa bukit, tersingkap batuan yang resisten dengan tingkat pelapukan yang cukup tinggi. Batuan yang dijumpai dapat dibedakan ke dalam satuan-satuan dari tua ke muda yaitu satuan batupasir dan satuan batugamping.

Satuan batupasir tersingkap dengan baik pada bagian barat daya, yaitu pada dasar dan tepi sungai yang kering. Satuan batupasir tersusun oleh: batupasir tufan berwarna kecoklatan, dengan alur-alur lempung kebiruan, kadang-kadang terdapat oksida besi dan mengandung bijih besi. Batupasir ini berlapis $N 6^{\circ}E/5^{\circ}$. Batupasir gampingan berwarna coklat kekuning-kuningan dengan bidang perlapisan $N 2^{\circ}E/8^{\circ}$. Satuan batugamping terdiri dari batugamping klastik dan batugamping terumbu. Batugamping klastik yang mengalami kontak langsung dengan satuan

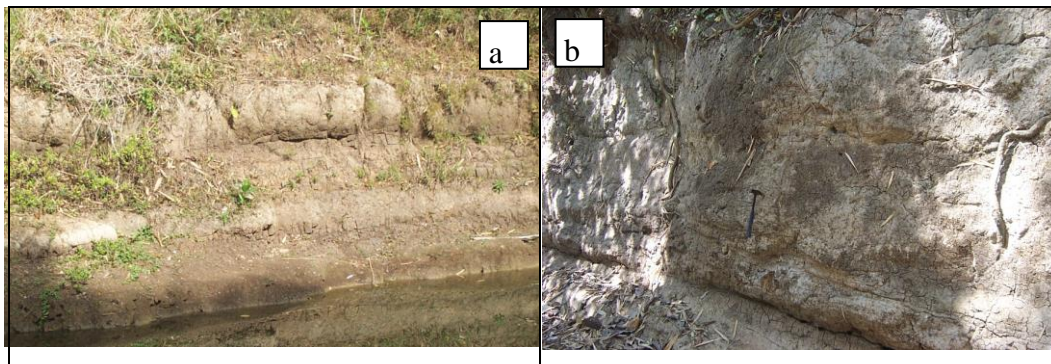
Kombinasi Pengukuran Radioaktivitas Batuan dan Geofisika dalam Menentukan Akuiifer Airtanah Potensial di Desa Sumbermanjing Kulon, Pagak, Malang, Jawa Timur
Oleh: I Gde Sukadana dan F Dian Indrastomo

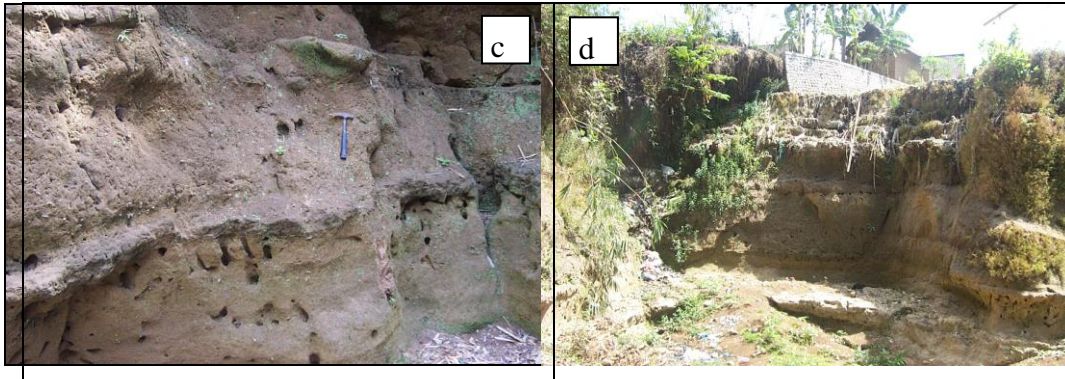
batupasir menunjukkan hubungan menjari. Sebaran batugamping-terumbu cukup luas tetapi tidak teratur dan banyak membentuk morfologi yang tinggi.



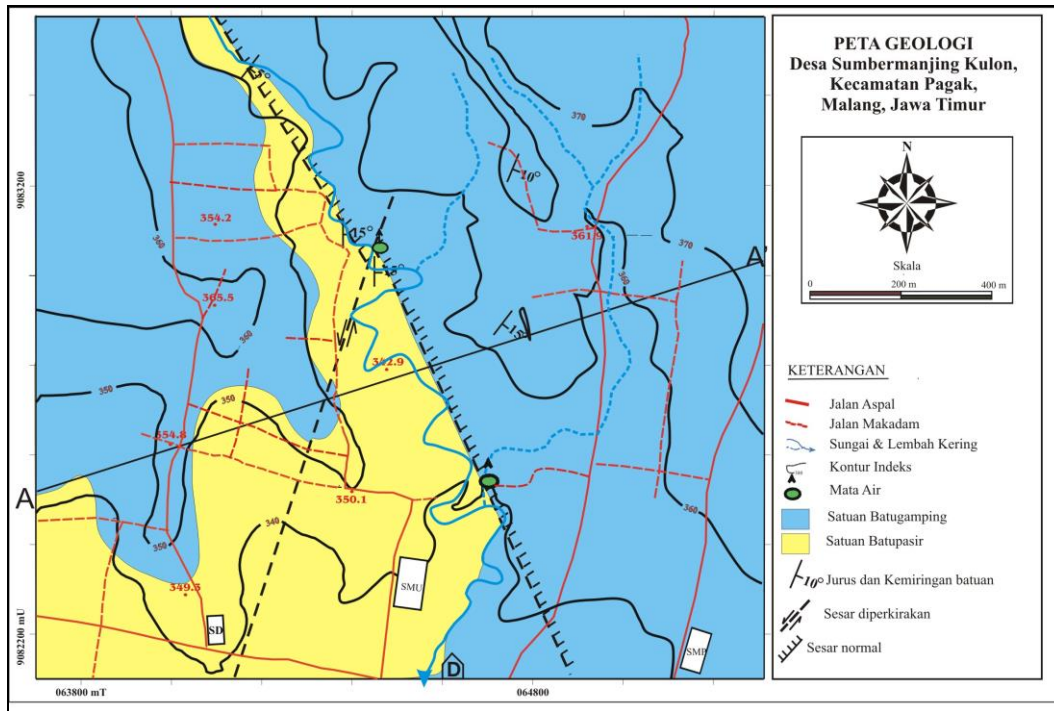
Gambar 4. Peta Topografi Desa Sumbermanjing Kulon, Pagak

Struktur geologi yang terdapat di daerah ini antara lain sesar mendatar dengan arah NNE-SSW ($N 28^\circ E / 75^\circ$). Selain itu juga terdapat sesar normal dengan arah $N 335^\circ E$ atau NNW-SSE. Keterdapatannya menjadi pemicu timbulnya mata air terutama pada struktur yang menyebabkan kontak antara batugamping dengan batupasir lempungan yang semula tertekan menjadi bebas. Kenampakan litologi di daerah ini tampak pada **Gambar 5**.



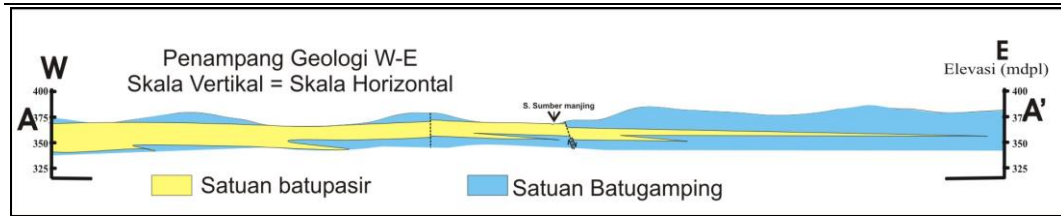


Gambar 5.(a) Singkapan batupasir di S. Sumbermanjing bagian utara, (b) Singkapan batupasir di S. Sumbermanjing selatan (c,d) Singkapan Batupasir gampingan pada kontak antara batupasir dan batugamping di S. Sumbermanjing bagian Selatan



Gambar 6. Peta Geologi Desa Sumbermanjing Kulon, Pagak

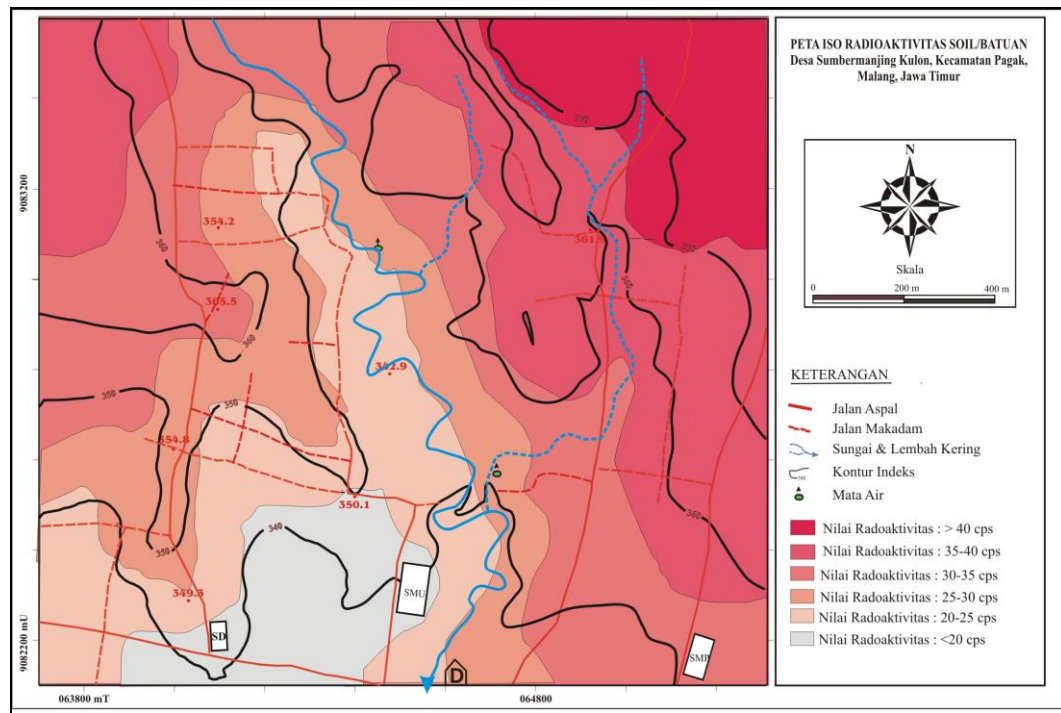
Kombinasi Pengukuran Radioaktivitas Batuan dan Geofisika dalam Menentukan Akuifer Airtanah Potensial di Desa Sumbermanjing Kulon, Pagak, Malang, Jawa Timur
Oleh: I Gde Sukadana dan F Dian Indrastomo



Gambar 7. Penampang Geologi A-A', berarah W-E

Radioaktivitas Soil/Batuan

Pengukuran radioaktivitas soil/batuan dilaksanakan bersamaan dengan kegiatan pemetaan geologi, karena tujuan dari pengukuran radioaktivitas soil/batuan ini adalah untuk membantu penarikan batas dan sebaran satuan batuan berdasarkan nilai radioaktivitas soil/batuannya. Nilai radioaktivitas soil/batuan pada daerah ini berkisar antara 10 – 45 c/s. Perbedaan hasil pengukuran tersebut menunjukkan perbedaan litologi yang menyusun daerah ini. Pengukuran radioaktivitas soil/batuan dilakukan menggunakan alat *Schintillometre SPP2NF*.



Gambar 8. Peta Iso radioaktivitas soil/batuan di Desa Sumbermanjing Kulon, Pagak

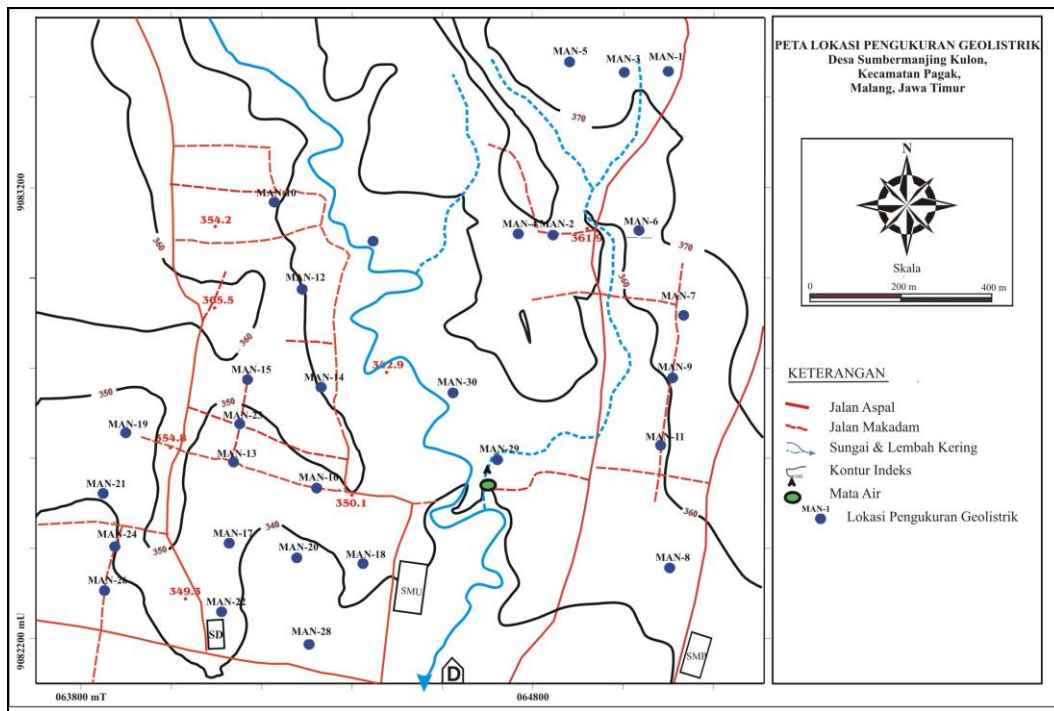
Dari data hasil pengukuran radioaktivitas yang dihasilkan, dibuat peta iso radioaktivitas **Gambar 8**. Pada daerah kerja secara umum batugamping memiliki radioaktivitas antara 30 – 45 c/s, batupasir gampingan dengan nilai radioaktivitas 20-30 c/s, sedangkan batupasir tufan memiliki

nilai radioaktivitas <20 c/s. Peta yang dihasilkan akan dikombinasikan dengan peta data singkapan hasil pemetaan geologi, sehingga didapatkan peta geologi dengan batas satuan yang relatif tepat.

Pengukuran Geolistrik Tahanan Jenis

Pengukuran geolistrik tahanan jenis di Desa Sumbermanjing Kulon menggunakan metoda *vertical electrical sounding* (VES) konfigurasi elektroda *Schlumberger* dengan bentangan maksimal 500 meter ke arah kiri – kanan dari titik ukur. Titik pengukuran yang dapat dilakukan berjumlah 30 titik.

Berdasarkan analisis hasil pengukuran geolistrik, lapisan batuan pada Desa Sumbermanjing Kulon terbagi menjadi 4 lapisan batuan, yaitu batugamping, batulempung, batupasir-1, dan batupasir-2. Keberadaan lapisan batugamping di bawah permukaan tercermin dari kisaran nilai tahanan jenis yang tinggi ($> 100 \Omega\text{m}$), dimana lapisan batugamping ini juga muncul di permukaan dengan nilai tahanan jenis yang tinggi juga. Lapisan batupasir-1, yaitu batupasir yang berada di bagian atas tercermin dari kisaran nilai tahanan jenis yang rendah dengan kisaran 10-33 Ωm dimana lapisan batupasir-1 ini juga muncul di permukaan dengan kisaran nilai tahanan jenis yang sama. Lapisan batupasir-1 mempunyai hubungan menjari dengan batugamping sehingga lapisan batupasir-1 dengan batugamping muncul berulang-ulang.

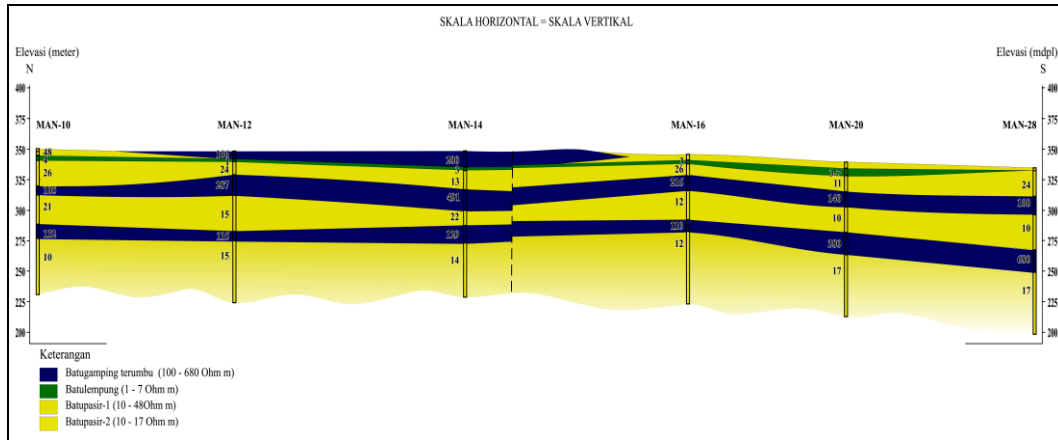


Gambar 9. Peta lokasi titik pengukuran geolistrik di Desa Sumbermanjing Kulon, Pagak.

Lapisan batulempung muncul menerus hampir di semua lokasi dengan ketebalan ± 3 m dan kisaran nilai tahanan jenis 1-7 Ωm . Lapisan batupasir-2 tidak tersingkap di permukaan, sehingga keberadaannya diketahui berdasarkan kisaran nilai tahanan jenisnya yang kemudian

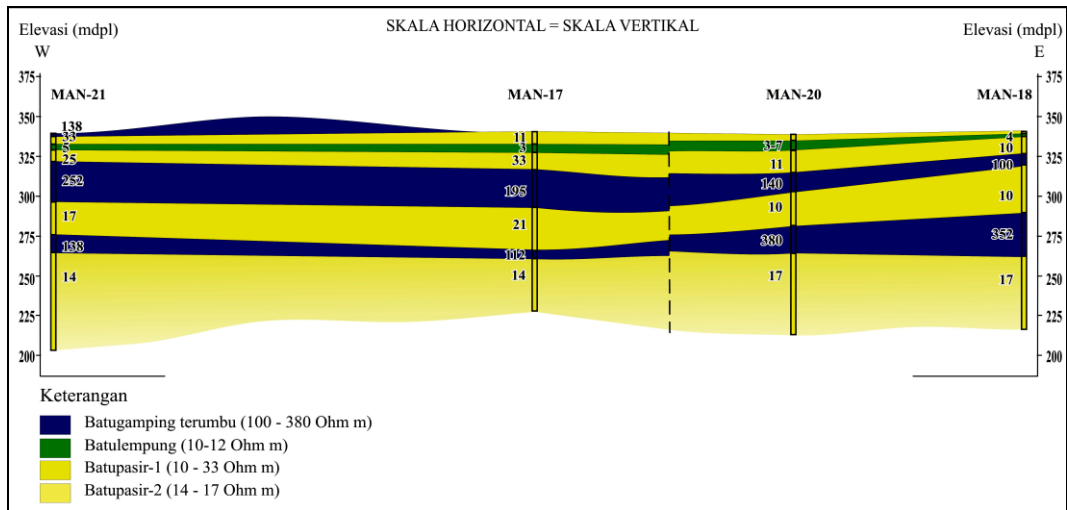
Kombinasi Pengukuran Radioaktivitas Batuan dan Geofisika dalam Menentukan Akuifer Airtanah Potensial di Desa Sumbermanjing Kulon, Pagak, Malang, Jawa Timur
Oleh: I Gde Sukadana dan F Dian Indrastomo

disebandingkan dengan nilai tahanan jenis batupasir-1 di bagian atas dengan kisaran nilai tahanan jenis 14-17 Ω m. Kisaran nilai tahanan jenis batuan sangat berbeda pada setiap jenis batuan: batugamping: 100-680 Ω m, batulempung: 1-7 Ω m, Batupasir-1: 10-33 Ω m, Batupasir-2: 14-17 Ω m.



Gambar 9. Penampang korelasi tahanan jenis vertikal N – S Desa Sumbermanjing Kulon, Pagak

Dari hasil pengukuran dan pengolahan data tahanan jenis dibuat suatu korelasi titik-titik pengukuran menjadi suatu penampang tahanan jenis vertikal untuk mendapatkan gambaran permukaan dan bawah permukaan lapisan batuan. Penampang korelasi tahanan jenis vertikal batuan dapat dilihat pada **Gambar 9** dan **Gambar 10**.



Gambar 10. Penampang korelasi tahanan jenis W – E Desa Sumbermanjing Kulon, Pagak.

Dari seluruh kegiatan penelitian yang dilaksanakan maka diperlukan analisis yang

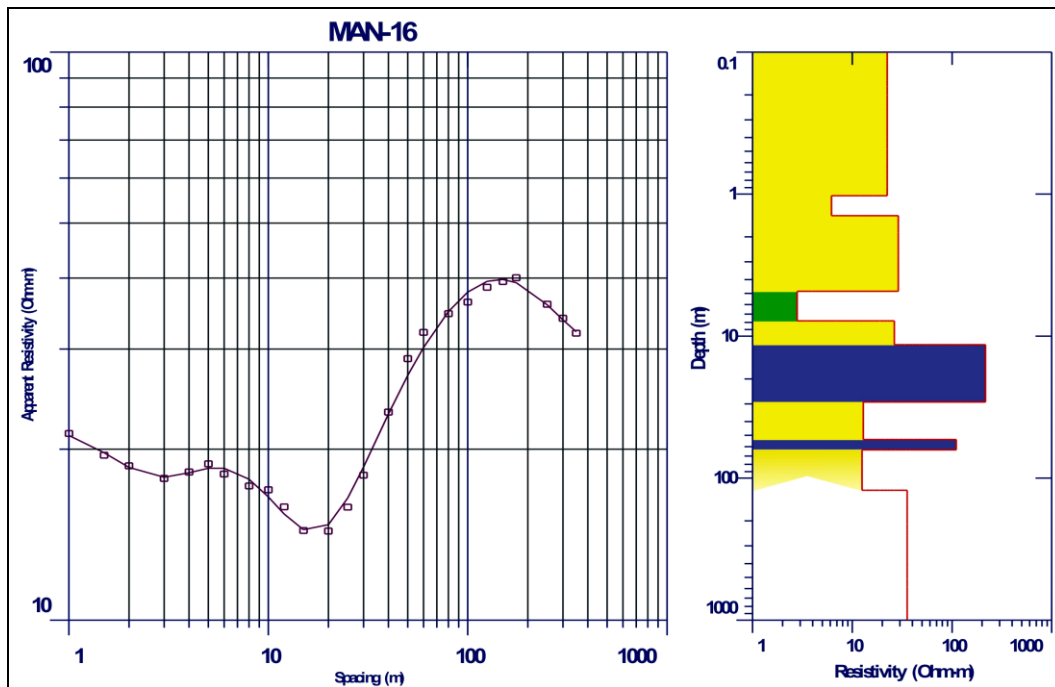
menyeluruh untuk mendapatkan akuifer yang potensial. Pada tahap ini dilakukan pemilihan lokasi yang paling potensial hasil pengukuran tahanan jenis baik tebal maupun sebarannya serta didukung keberadaan fraktur disekitarnya yang diketahui dari pemetaan geologi.

PEMBAHASAN

Kondisi airtanah sangat dipengaruhi proses infiltrasi yang dipengaruhi beberapa faktor, antara lain, tekstur dan struktur tanah, persediaan air awal (kelembaban awal), unsur biologi tanah dan unsur organik, jenis dan kedalaman serasah dan tumbuhan bawah atau tajuk penutup tanah lainnya^[8,9].

Permeabilitas merupakan suatu ukuran kemudahan aliran melalui suatu media porous. Perkiraan rata-rata porositas dan permeabilitas berbagai tipe batuan adalah sebagai berikut: lempung (porositas 45 %, permeabilitas 0,0004 %), pasir (porositas 35 %, permeabilitas 41 %), kerikil (porositas 25 %, permeabilitas 4100 %), kerikil dan pasir (porositas 20 %, permeabilitas 410 %), batu pasir (porositas 15 %, permeabilitas 4,1 %), batu kapur, serpih (porositas 5 %, permeabilitas 0,041 %), kwarsit, granit (porositas 1 %, permeabilitas 0,0004 %)^[10]. Dari nilai porositas dan permeabilitas tersebut maka diketahui bahwa batupasir merupakan media terbaik dalam menyimpan dan meluluskan air.

Lokasi penelitian tersusun atas 2 satuan batuan yaitu : satuan batupasir dan satuan batugamping. Nilai radioaktivitas soil/batuan pada daerah ini berkisar antara 10 – 45 c/s yang memiliki perbedaan yang signifikan antara kedua satuan batuan, yaitu batupasir memiliki nilai radioaktivitas batuan 20-30 c/s, dan batugamping memiliki nilai radioaktivitas 30-45 c/s. Struktur geologi berarah NE-SW dan NW-SE yang mendukung terbentuknya akuifer yang baik pada lokasi MAN-16 dan MAN 14.



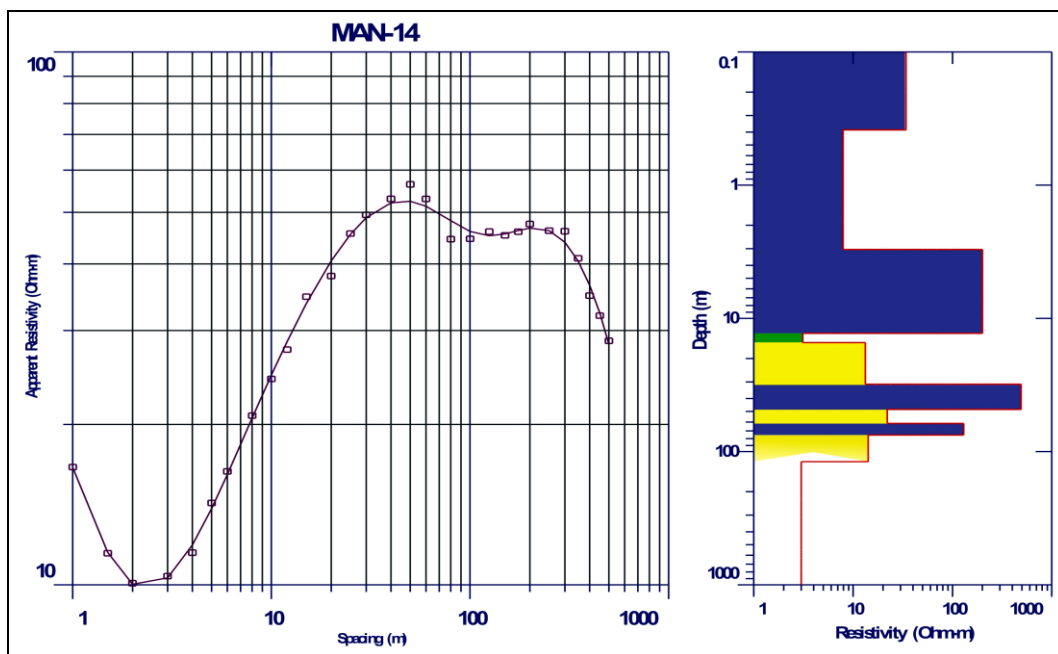
Gambar 11. Profil tahanan jenis vertikal MAN-16 (TP-1)

Lapisan batupasir-2 dengan kisaran nilai tahanan jenis 14-17 Ωm diharapkan menjadi akuifer potensial. Dengan kisaran nilai tahanan jenis yang rendah tersebut diduga lapisan batupasir-2 ini berada pada kondisi jenuh air. Ketebalan lapisan batupasir-2 ini lebih dari 30 m dengan kedalaman top akuifer batupasir-2 ± 75 m.

Titik potensial 1 berada pada lokasi pengukuran MAN-16 dengan kedalaman top akuifer 63,2 m dan tebal lebih dari 58 meter. Lokasi ini berada pada koordinat UTM zona 49M 664327mT ; 9082526mU dengan elevasi 346 mdpl. Profil tahanan jenis vertical pada lokasi potensial 1 dapat dilihat pada **Gambar 11**.

Titik potensial 2 berada pada lokasi pengukuran MAN-14 dengan kedalaman top akuifer 75,2 m dan tebal lebih dari 44 meter. Lokasi ini berada pada koordinat UTM zona 49M 664333mT ; 9082750mU dengan elevasi 349 mdpl. Profil tahanan jenis vertical pada lokasi potensial 2 dapat dilihat pada **Gambar 12**.

Nilai tahanan jenis akuifer yang dianggap produktif ini juga didukung oleh tes yang dilakukan di mata air dan sumur dangkal. Sumur dangkal pada daerah kerja berkisar antara kedalaman 4 – 15 m, selain itu terdapat beberapa mata air dengan debit antara 0,02 – 3 l/dtk. Airtanah permukaan di daerah ini terdapat pada sungai-sungai bawah tanah dan kontak antara batugamping dan batulempung.



Gambar 12. Profil tahanan jenis vertikal MAN-14 (TP-2)

KESIMPULAN

1. Lokasi penelitian tersusun atas 2 (dua) satuan batuan yaitu : satuan batupasir dan satuan batugamping.
2. Nilai radioaktivitas soil/batuan pada daerah ini berkisar antara 10 – 45 c/s yang memiliki perbedaan signifikan antara kedua satuan batuan, yaitu: batupasir memiliki nilai radioaktivitas batuan 20-30 c/s dan batugamping memiliki nilai radioaktivitas 30-45 c/s.
3. Lapisan batupasir-2 dengan kisaran nilai tahanan jenis 14-17 Ω m diharapkan menjadi akuifer potensial. Dengan kisaran nilai tahanan jenis yang rendah tersebut diduga lapisan batupasir-2 ini berada pada kondisi jenuh air. Ketebalan lapisan batupasir-2 ini lebih dari 30 m dengan kedalaman top akuifer batupasir-2 \pm 75 m.
4. Titik potensial 1 berada pada lokasi pengukuran MAN-16 dengan kedalaman top akuifer 63,2 m dan tebal lebih dari 58 meter berada pada koordinat UTM zona 49M 664327mT ; 9082526mU dengan elevasi 346 mdpl, titik potensial 2 berada pada lokasi pengukuran MAN-14 dengan kedalaman top akuifer 75,2 m dan tebal lebih dari 44 meter. Lokasi ini berada pada koordinat UTM zona 49M 664333mT; 9082750mU dengan elevasi 349 mdpl.

DAFTAR PUSTAKA

1. SEYHAN, E. *Fundamentals of Hydrology*. Geografisch Institut der Rijks Universiteit te Utrecht, Utrecht, 1977.
2. SIMOEN, S. Sistem Akuifer di Lereng Gunung Api Merapi bagian Timur dan Tenggara: studi kasus di kompleks Mataair Sungsang Boyolali Jawa Tengah, *Majalah Geografi Indonesia* 15 (1) : 141-152, 2001.
3. FETTER, C.W., *Applied Hydrogeology*. Second edition, Mc Millan, New York, 1988.
4. ARSYAD, S., *Konservasi Tanah dan Air*, IPB Press. Bogor, 2000.
5. SJAFRUDIN, M.Z. dan HAMIDI, S., *Peta Geologi Regional lembar Blitar*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung, 1992
6. STRUCKMEIER, W., SOEKARDI POESPOWARDOYO, R., Soetrisno S., *Hidrogeologi Indonesia lembar X Kediri*, Indonesia, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung, 1984
7. <http://ciptakarya.pu.go.id/profil/profil/barat/jatim/malang.pdf>, 20 Oktober 2011.
8. BOUWER, H., *Ground Water Hydrology*, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1978.
9. ASDAK, C. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta, 2002.
10. TODD, D.K., MAYS, L.W. *Ground Water Hydrology*. John Wiley and Sons Inc., New York, 1980.

*Kombinasi Pengukuran Radioaktivitas Batuan dan Geofisika dalam Menentukan Akuiifer Airtanah
Potensial di Desa Sumbermanjing Kulon, Pagak, Malang, Jawa Timur
Oleh: I Gde Sukadana dan F Dian Indrastomo*
