



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**POTENSI AIR TANAH PADA AKUIFER REKAHAN
BATUAN BEKU BERDASARKAN DATA GEOLISTRIK DAN UJI
PEMOMPAAN DI ULUBELU *GEOTHERMAL POWER*
PLANT PROJECT, PROVINSI LAMPUNG**

**NASKAH PUBLIKASI
TUGAS AKHIR**

**NOVANDI KUSUMA PRASETYA WANGSADIRIA
L2L 007 040**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI**

**SEMARANG
APRIL 2013**

POTENSI AIR TANAH PADA AKUIFER REKAHAN BATUAN BEKU BERDASARKAN DATA GEOLISTRIK DAN UJI PEMOMPAAN DI ULUBELU GEOTHERMAL POWER PLANT PROJECT, PROVINSI LAMPUNG

Novandi Kusuma Prasetya Wangsadiria (novandikusumapw@yahoo.com)
Teknik Geologi Universitas Diponegoro

ABSTRACT

Water was needed to be supplied to the cooling tower of Ulubelu Geothermal Power Plant Project area. The use of surface water was not recommended due to the impact that would occur to agricultural and plantation sector around the area. Hence, the study of groundwater resources on the aquifer of fractured igneous rock by geoelectric and pumping test data was performed.

The objectives of the study consists of determining the typical, depth and characteristic of aquifer, establish the value of well efficiency, coefficient of transmissivity (T), coefficient of permeability (K) and coefficient of storage (S), establish the class, characteristic and type of groundwater chemistry and its relation to the environment, and define the qualitative and quantitative of groundwater potential on the field study. The methods were using resistivity and pumping test analysis, and supported by groundwater chemistry analysis, borehole log, petrography and outcrops observation. Geoelectric method was using pole-pole configuration as much as 8 lines. Pumping test consists of step drawdown test, constant rate test and recovery test.

The correlations of 2D resistivity cross-section and inversion model were using Rockwork and obtained 3D visualization of zone of fractured aquifer potential. The depth of aquifer was ranging 75-150 m with water table about 50-65 m. Pumping test has carried out on well Mella-01, Mella-02 and Mella-03. The results obtained good well efficiency that is more than 90%. Coefficient of transmissivity and coefficient of storage were calculated using Theis recovery method and obtained T 3,441-5,205 m²/day and S 0,022-0,054. The value of S showed that the type of aquifer is unconfined. Coefficient of permeability 0,681-0,713 m/day and supported by petrography analysis indicates the characteristic of fractured igneous rocks. Groundwater quantity was obtained 192 m³/day and the quality indicated by the type of groundwater chemistry that rank of carbonate and semi-carbonate type. Considering from the neutral pH, total dissolved solids, EC and Chloride content, groundwater was categorized fresh water.

Keywords: Fractured aquifer, Resistivity, Pumping test, Transmissivity, Permeability, Coefficient of storage, Groundwater quality

LATAR BELAKANG

Kecamatan Ulubelu adalah salah satu kecamatan di Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung yang mengembangkan potensi energi panas bumi. Pengembangannya sudah sampai pada tahap pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi Ulubelu dengan kapasitas 2 x 55 MW (*Ulubelu Geothermal Power Plant Project 2 x 55 MW*). Di areal tersebut, air dibutuhkan untuk pendingin turbin generator (*cooling tower*) dengan cara mengalirkannya menuju bak penampungan (*raw water pond*). Sirkulasi air di dalam bak penampungan tersebut harus dipelihara agar suhu turbin generator tetap aman. Pemanfaatan air permukaan seperti air sungai untuk memenuhi kebutuhan tersebut tidak memadai karena akan berdampak pada sektor perkebunan dan pertanian masyarakat di sekitar lokasi pembangkit. Untuk mengantisipasi hal ini, maka harus digali potensi sumber air bersih dari bawah permukaan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian mengenai potensi kualitatif dan kuantitatif air bawah tanah berdasarkan data geolistrik dan uji pemompaan. Lokasi penelitian berada di dalam area Ulubelu *Geothermal Power Plant Project*.

MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan pengukuran nilai tahanan jenis batuan, melakukan uji pemompaan bertingkat (*step drawdown test*), uji pemompaan menerus debit tetap (*long duration constant rate pumping test*) dan uji kambuh (*recovery test*) pada beberapa sumur uji dan melakukan analisis kimia contoh air hasil uji pemompaan. Tujuannya adalah:

1. Mengetahui jenis, kedalaman dan karakteristik akuifer pada daerah penelitian.
2. Menentukan efisiensi sumur, nilai koefisien transmissivitas (T), koefisien permeabilitas (K) dan koefisien cadangan air (S) akuifer pada daerah penelitian.
3. Mengetahui kelas, sifat dan tipe kimia airtanah serta hubungannya dengan lingkungan daerah penelitian.
4. Mengetahui potensi kualitatif dan kuantitatif airtanah pada daerah penelitian.

GEOLOGI REGIONAL

Fisiografi

Berdasarkan Peta Geologi Regional Indonesia, lokasi penelitian termasuk ke dalam Lembar Kotaagung

(Gambar 1) yang terletak di ujung selatan Sumatera bagian selatan. Menurut Amin, dkk. (1988) kondisi morfologi daerah penelitian dapat diklasifikasikan menjadi dua satuan, yaitu perbukitan bergelombang dan daerah pegunungan. Daerah perbukitan bergelombang dengan kemiringan topografi $\geq 10^{\circ}$ - 30° , terdiri dari sedimen Tersier, gunungapi Kuartar dan batuan terobosan dengan ketinggian beberapa puluh sampai 750 mdpl. Pegunungan dengan kemiringan topografi $\geq 30^{\circ}$ - 50° dengan ketinggian 700-1500 mdpl tersusun oleh batuan beku dan batuan gunungapi muda. Lereng umumnya curam dengan lembah sempit berbentuk V. Daerah tinggi di sekitar daerah penelitian tertutup terutama oleh endapan gunungapi dan tuf dari G. Tanggamus (2.102 m), G. Rindingan (1.608 m), dan G. Sekincau (1.718 m).

Stratigrafi

Lokasi penelitian menurut Amin, dkk. (1988) termasuk ke dalam Satuan Gunungapi Muda. Di seluruh Busur Barisan pada zaman Kuartar terjadi kegiatan gunungapi yang berkaitan dengan kegiatan penunjaman dan menghasilkan runtunan Kuartar yang berumur Plistosen Akhir sampai Holosen terdiri dari lava, breksi dan tuf bersusunan andesitan-basalan selain batugamping koral, aluvium serta sedimen-sedimen berumur Holosen.

Struktur Geologi

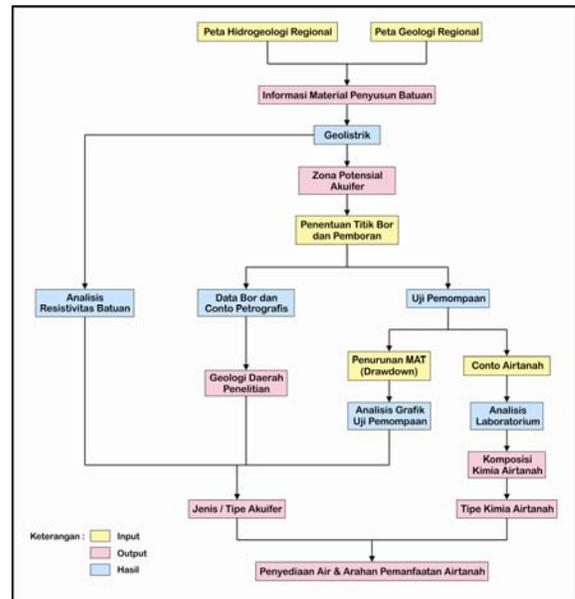
Unsur struktur utama seperti sesar terjadi pada Tersier Akhir sampai Kuartar Awal. Sesar merupakan struktur umum di Lembar Kotaagung, khususnya pada runtunan batuan pra-Tersier daripada batuan yang menutupinya. Arah utama sesar dan kelurusan adalah baratlaut-tenggara, dan timurlaut-baratdaya, sesar-sesar lainnya berarah utara-selatan dan baratbaratlaut-timurtenggara. Sesar utama memberikan jalan bagi batuan granitan yang berkaitan dengan penunjaman untuk menerobos di sepanjang Bukit Barisan. Penyebarannya secara lateral sangat menonjol, panjangnya mencapai 55 km. Sebarannya mencakup sebelah barat Lembar di Bukit Barisan dan di seluruh Lembar di bawah runtunan endapan Kuartar. Sesar utamanya adalah Sesar Semangko yang merupakan salah satu bagian dari Sistem Sesar Sumatera.

HIDROGEOLOGI REGIONAL

Menurut Syamsul, dkk. (2009), keterdapatan airtanah dan produktivitas akuifer di daerah penelitian berupa setempat akuifer produktif. Akuifer dengan keterusan sangat beragam, umumnya airtanah tidak dimanfaatkan karena dalamnya muka airtanah, debit mata air umumnya kecil, debit sumur kurang dari 5 l/detik. Curah hujan berkisar antara 2.000-4.000 mm/th, dengan curah maksimum antara Desember dan Januari (360-365 mm).

METODOLOGI

Metodologi dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu, tahap pendahuluan yang meliputi studi pustaka dan penarikan hipotesis, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data meliputi pengolahan data geolistrik konfigurasi pole-pole, data uji pemompaan dan data kualitas airtanah, serta tahap penyajian data. Secara terstruktur tahap penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir berikut.



HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Geologi Lokasi Penelitian

Geomorfologi

Kondisi geomorfologi daerah penelitian di Kecamatan Ulubelu didominasi oleh dua proses utama yaitu pelapukan batuan dan pengaruh struktur-struktur geologi berupa patahan. Proses pelapukan terjadi pada litologi batuan breksi vulkanik. Ketebalan lapukan batuan mencapai 10-30 meter. Tebalnya lapisan tanah penutup dikontrol oleh iklim di daerah penelitian yang sering hujan serta lebatnya vegetasi hutan lindung. Struktur patahan mengontrol bentukan morfologi pada daerah penelitian. Struktur ini berdasarkan geologi regional Lembar Kotaagung diperkirakan terbentuk pada kala Pliosen-Plistosen. Kemiringan lereng berkisar 17%-39% atau senilai 11° - 24° dan memiliki beda elevasi sekitar 105 m. Berdasarkan aspek morfometri tersebut, maka daerah penelitian termasuk ke dalam Perbukitan Bergelombang (Van Zuidam, 1983). Pola penyaluran yang berkembang pada daerah penelitian adalah pola dendritik dan subdendritik sebagai refleksi pengaruh struktural yang kuat. Keberadaan sesar ini juga mengontrol manifestasi panasbumi di sekitar daerah penelitian.

Litologi

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Kotaagung, lokasi penelitian didominasi oleh Satuan Gunungapi Muda (Qhv) yang tersusun oleh breksi vulkanik, lava dan tuf bersusunan andesit-basalt. Satuan batuan gunungapi ini terdapat di seluruh daerah penelitian. Breksi vulkanik telah mengalami proses pelapukan yang sangat intensif sehingga hanya sedikit fragmen-fragmen dari andesit-basalt yang tersingkap. Pelapukan andesit ini menghasilkan tanah penutup yang berwarna cokelat. Deskripsi megaskopis batuan kode sampel UBL-04 (**Gambar 2**) berwarna hitam, bersifat massif, keras dan kompak, komposisi magma basa dengan tekstur kristalin, afanitik dan anhedral, pecahan meruncing tajam berukuran 1-10 mm. Petrogenesis sampel UBL-04 berdasarkan warna batuan yaitu hitam pekat, maka batuan ini terbentuk dari magma basa, dan berdasarkan strukturnya yang massif dan tekstur holokristalin, afanitik dan anhedral, maka batuan terbentuk akibat pembekuan magma basa di permukaan bumi.

Hasil Penyelidikan Geolistrik

Penyelidikan geolistrik dilakukan sebanyak 8 lintasan. Konfigurasi yang dipakai adalah pole-pole dengan spasi antarelektroda 10 meter dan kedalaman penetrasi mencapai 400 meter. Penyelidikan geolistrik ini menggunakan kabel *multicore* dan elektroda sebanyak 48 batang sehingga dalam satu lintasan pengukuran diperoleh panjang 470 meter dengan arah lintasan L-01, L-02, L-03, L-04, L-05 dan L-06 adalah barat-timur, sedangkan arah lintasan L-07 dan L-08 adalah selatan-utara. Setelah dilakukan pengolahan data penyelidikan geolistrik diketahui kondisi geologi bawah permukaan dari penampang geolistrik 2D. Dengan menggunakan *software Rockwork* diperoleh gambaran 3D dari hasil penyelidikan geolistrik pada daerah penelitian. Korelasi didasarkan pada data tahanan jenis seluruh penampang lintasan. Korelasi zona potensi akuifer ditunjukkan dengan warna biru atau tahanan jenis rendah. Warna yang terdapat pada **Gambar 3** adalah simbol atau gambaran nilai tahanan jenis di bawah permukaan. Warna biru tua menunjukkan angka terendah, lalu ke arah angka yang lebih tinggi adalah warna biru muda, hijau, kuning, cokelat dan terakhir merah tua. Warna biru diinterpretasikan sebagai batuan yang jenuh air, yaitu mempunyai porositas dan permeabilitas sehingga mampu berfungsi sebagai akuifer. Pada gambar tersebut secara jelas ditunjukkan pola zona akuifer yang setempat. Dengan demikian, dapat diinterpretasikan bahwa zona akuifer pada daerah penelitian tidak menerus melainkan menyerupai kantong-kantong dan kondisi material penyusunnya relatif tidak mampu menyimpan airtanah dengan baik, sehingga airtanah terdapat pada sistem percelahan atau retakan. Akuifer melalui celahan atau retakan relatif miskin airtanah dan akan mengalami kekeringan pada musim kemarau. Selama musim penghujan, airtanah akan mengalir melalui sistem percelahan atau perlapisan batuan, yang keluar berupa rembesan (*seepage*). Hal ini dikarenakan

batuan penyusunnya berupa batuan-batuan vulkanik muda, seperti breksi, tuff dan andesit-basaltis (Santosa dan Adji, 2005). Berdasarkan analisis nilai tahanan jenis batuan di atas, maka diperoleh kisaran nilai tahanan jenis potensi zona akuifer yaitu antara 5-50 ohm.m. Nilai tersebut relatif masih berada dalam kisaran yang diberikan oleh Looke (2000), yaitu 10-100 ohm.m.

Uji Pemompaan

Uji pemompaan yang dilaksanakan pada daerah penelitian dilakukan pada sumur Mella-01, Mella-02 dan Mella-03.

Sumur Mella-01

Static water level di dalam Sumur Mella-01 ketika dilakukan uji pemompaan bertingkat adalah 64,62 m. Hasilnya disajikan dalam **Tabel 1** dan **Gambar 4**. Dari gambar tersebut diperoleh nilai $B_{LD} = 9,48$, sehingga nilai C dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$C = \frac{S_w/Q - B}{Q} = \frac{9,946 - 9,48}{2,22} = 2,09 \times 10^{-1} \text{ m/(l/s)}^2$$

Berdasarkan formula Logan (1964), nilai konduktivitas hidrolik (K) dapat dihitung melalui persamaan berikut.

$$kD = 1,22 Q/S_w = 1,22 \times 8,70 = 10,61 \text{ m}^2/\text{hari}$$
$$K = 10,61/15 = 7,07 \times 10^{-1} \text{ m/hari}$$

Debit maksimum dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$Q_{max} = \frac{-B + \sqrt{B^2 + 4C S_w}}{2C}$$
$$Q_{max} = \frac{-9,48 + \sqrt{(9,48)^2 + 4(2,09 \times 10^{-1}) 35,38}}{2 (2,09 \times 10^{-1})}$$
$$Q_{max} = 3,47 \text{ l/s}$$

Perhitungan efisiensi sumur menggunakan persamaan berikut.

$$E_w = \frac{BQ}{BQ + CQ^2} \cdot 100\%$$
$$E_w = \frac{9,48 \times 2,22}{(9,48 \times 2,22) + (2,09 \times 10^{-1})(2,22)^2} \cdot 100\% = 95\%$$

Uji pemompaan menerus debit tetap pada Sumur Mella-01 dilakukan dengan debit pemompaan 2,22 l/s (8 m³/jam atau 192 m³/hari). Muka airtanah mula-mula adalah 64,70 m. Berdasarkan hasil pengukuran muka airtanah selama 72 jam diperoleh *pumping water level* 86,78 m atau penurunan muka airtanah (*drawdown*) sebesar 22,08 m. Uji kambuh dimulai tepat ketika uji pemompaan menerus debit tetap berhenti atau ketika pompa dimatikan. Uji kambuh dimulai pada posisi *pumping water level* 86,78 m dan berakhir pada *level* muka airtanah 65,47 m. Muka airtanah kambuh atau kenaikan muka airtanah (*residual drawdown*) sebesar

21,31 m. Dari **Gambar 5** diperoleh nilai $\Delta s'$ 7,96 m dan t'_0 4,5 menit (0,003 hari). Dari nilai $\Delta s'$ dan t'_0 tersebut dapat dihitung nilai koefisien transmissivitas (T) dan koefisien cadangan air (S) menggunakan persamaan berikut.

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s} = \frac{0.183 Q}{\Delta s} = \frac{0.183 \times 192 \text{ m}^3/\text{day}}{7.96 \text{ m}} = 4,414 \text{ m}^2/\text{hari}$$

$$S = \frac{2.25 T t_0}{r^2} = \frac{2.25 \times 4.414 \times 0.003}{1 \times 1} = 0,030$$

Sumur Mella-02

Static water level di dalam Sumur Mella-02 ketika dilakukan uji pemompaan bertingkat adalah 57,00 m. Hasilnya disajikan dalam **Tabel 2** dan **Gambar 6**. Dari gambar tersebut diperoleh nilai $B_{LD} = 9,61$, sehingga diperoleh nilai $C = 3,26 \times 10^{-1} \text{ m}/(\text{l/s})^2$. Nilai K diperoleh sebesar $6,81 \times 10^{-1} \text{ m}/\text{hari}$ dan debit maksimum = 4,27 l/s serta efisiensi sumur = 93%. Uji pemompaan menerus debit tetap pada Sumur Mella-02 dilakukan dengan debit pemompaan 192 m³/hari. Muka airtanah mula-mula adalah 57,04 m dan diperoleh *pumping water level* 79,98 m atau *drawdown* sebesar 22,94 m. Uji kambuh dimulai pada posisi *pumping water level* 79,98 m dan berakhir pada *level* muka airtanah 57,27 m atau *residual drawdown* sebesar 22,71 m. Dari **Gambar 7** diperoleh nilai $\Delta s'$ 10,21 m dan t'_0 10 menit (0,007 hari) sehingga diperoleh nilai koefisien T sebesar 3,441 m²/hari dan koefisien S sebesar 0,054.

Sumur Mella-03

Sumur Mella-03 dilakukan uji pemompaan bertingkat pada posisi muka airtanah mula-mula 49,85 m. Hasil uji disajikan dalam **Tabel 3** dan **Gambar 8**. Dari gambar tersebut diperoleh nilai $B_{LD} = 9,42$, sehingga diperoleh nilai $C = 1,98 \times 10^{-1} \text{ m}/(\text{l/s})^2$. Nilai K diperoleh sebesar $7,13 \times 10^{-1} \text{ m}/\text{hari}$ dan debit maksimum = 4,03 l/s serta efisiensi sumur = 95%. Uji pemompaan menerus debit tetap pada Sumur Mella-03 dilakukan dengan debit pemompaan sama dengan Sumur Mella-01 dan Mella-02. Muka airtanah mula-mula adalah 49,80 m dan diperoleh *pumping water level* 71,69 m atau penurunan muka airtanah sebesar 21,89 m. Dari uji kambuh diperoleh *residual drawdown* sebesar 17,87 m. Dari **Gambar 9** diperoleh nilai $\Delta s'$ 6,75 m dan t'_0 2,8 menit (0,0019 hari) sehingga diperoleh nilai koefisien T sebesar 5,205 m²/hari dan koefisien S sebesar 0,022.

Dengan demikian, nilai koefisien permeabilitas atau konduktivitas hidrolis di daerah penelitian berkisar antara 0,681 - 0,713 m/hari. Nilai koefisien tersebut dikategorikan rendah - menengah menurut Biro Reklamasi USA (dalam Todd, 1980) dengan karakteristik batuan berupa batuan beku yang retak-retak (Freeze dan Cherry, 1979). Sedangkan nilai koefisien T berkisar antara 3,441 - 5,205 m²/hari.

Kualitas Airtanah

Pengujian nilai kandungan kimia airtanah dari beberapa sampel airtanah pada tiap sumur bor dilakukan untuk mengetahui kualitas airtanah pada daerah penelitian, tepatnya adalah masing - masing 8 conto pada Sumur Mella-01, Mella-02 dan Mella-03. Secara ringkas, kelas air klasifikasi Kurlov (1928) hasil analisis kimia conto air pada ketiga sumur di daerah penelitian disajikan dalam **Tabel 6**. Penentuan sifat dan tipe kimia airtanah pada masing - masing sumur di daerah penelitian dilakukan menggunakan analisis *diagram trilinear piper* (**Gambar 10**) dan analisis diagram piper segiempat (**Gambar 11**). Dari *diagram trilinear piper* diketahui bahwa airtanah dari ketiga sumur di daerah penelitian mengandung komposisi kekerasan karbonat lebih dari 50%, yaitu sifat kimia airtanah didominasi oleh alkali tanah dan asam lemah. Unsur utama alkali tanah yang paling mendominasi adalah ion Ca sedangkan unsur utama asam lemah dominan adalah ion HCO₃. Keberadaan ion Ca yang melimpah berasal dari pelapukan batuan beku di daerah penelitian seperti mineral feldspar plagioklas, ortoklas dan klinopiroksen. Conto petrografis UBL 07 (**Gambar 12**) yang diambil dari lubang bor sumur Mella-02 dengan metode *coring single tube barrel* pada kedalaman 93 meter menunjukkan kelimpahan mineral plagioklas hingga 95%. Berdasarkan diagram piper segiempat, rata-rata tipe kimia airtanah di daerah penelitian merupakan airtanah kelompok I (Sumur Mella-01 dan Mella-02). Menurut Suwantinawati (1997), kelompok airtanah ini merupakan kelompok yang airtanahnya mengandung kalsium, magnesium dan bikarbonat yang tinggi serta kandungan natrium dan kalium yang rendah, sedangkan kandungan klorida dan sulfat berkisar dari rendah hingga sedang. Jumlah zat padat terlarut pHnya relatif rendah. Biasanya airtanah ini berasal dari hasil proses fluvial atau sungai. Sedangkan Sumur Mella-03 cenderung termasuk dalam kelompok II, yaitu airtanah yang mempunyai komposisi antara kation Ca + Mg dan Na + K dengan anion Cl + SO₄ dan HCO₃ + CO₃. Kandungan Cl⁻ dan SO₄²⁻ sedang, HCO₃³⁻ sedang hingga cukup tinggi, dalam kelompok ini masih didominasi oleh air bikarbonat. Airtanah ini pada umumnya tawar dengan kualitas cukup baik dan berasal dari proses fluvial. Mineral - mineral dari hasil endapan gunungapi seperti mineral plagioklas dan silika sangat berpengaruh terhadap penentu tipe kimia airtanah daerah penelitian secara lokal.

DISKUSI

Kondisi Hidrogeologi Daerah Penelitian

Berdasarkan hasil visualisasi 3D geolistrik, zona akuifer pada lokasi penelitian diinterpretasikan tidak menerus melainkan terpotong - potong menyerupai kantong - kantong air di bawah permukaan tanah. Model zona akuifer hasil pengolahan data geolistrik diinterpretasikan seperti pada **Gambar 13**. Tampak atas (*plan view*) model tahanan jenis (**Gambar 14**)

yang bernilai tinggi (warna merah) diinterpretasikan sebagai area batuan keras atau dapat juga diinterpretasikan sebagai daerah patahan. Secara deskriptif, model tersebut dapat dijelaskan bahwa keberadaan airtanah pada daerah penelitian terkumpul pada suatu sistem akuifer tertentu. Dilihat dari jenis litologi penyusun materialnya yaitu batuan beku andesit-basalt yang retak - retak, maka air hujan yang jatuh ke permukaan tanah kemudian mengalir masuk ke bawah permukaan melalui ruang-ruang antarbutir ataupun melalui celah dan rekahan batuan dan secara gravitasional menerus hingga menemukan lapisan tidak tembus air pada kedalaman tertentu sehingga arah pengaliran menjadi relatif horizontal. **Gambar 15** menunjukkan model interpretasi kondisi hidrogeologi lokal pada daerah penelitian menurut Driscoll (1986), yaitu batuan yang retak - retak (*fractured rock*) di bawah permukaan dengan muka airtanah yang sangat dalam serta air mengalir masuk ke dalam dan melalui rekahan batuan yang saling terkoneksi (*interconnecting fractures*). Karena rekahannya saling berhubungan, maka air yang terdapat di dalamnya dapat bergerak dan mengalir (Riyadi dkk., 2005). Arah aliran airtanah diperkirakan berarah baratlaut - tenggara sesuai arah kemiringan lapisan batuan berdasarkan penampang geolistrik. Kemiringan lapisan batuan berdasarkan interpretasi penampang geolistrik diinterpretasikan berkisar antara 5° - 30° . Dari *plan view* model anomali tahanan jenis rendah dan tinggi (**Gambar 14**) diinterpretasikan bahwa terdapat struktur patahan besar pada daerah penelitian atau dapat pula dimungkinkan bahwa lokasi penelitian merupakan zona sesar, namun hal ini masih memerlukan penelitian lebih lanjut dan terperinci. Petunjuk sementara yang menunjukkan bahwa daerah penelitian merupakan zona sesar adalah terdapatnya batuan intrusi andesit (**Gambar 16**). Intrusi tersebut diinterpretasikan menerobos suatu zona patahan hingga muncul ke permukaan. Dari penampang geolistrik (**Gambar 17**) tampak nilai tahanan jenis tinggi di bagian utara daerah penelitian. Melalui uji pemompaan dari masing-masing ketiga sumur di lokasi penelitian diperoleh efisiensi sumur Mella-02 93% sedangkan Mella-01 dan Mella-03 95% dengan nilai koefisien transmissivitas berkisar antara 3,441-5,205 $m^2/hari$, nilai koefisien permeabilitas 0,681-0,713 $m/hari$ dan koefisien cadangan air 0,022-0,054. Nilai koefisien cadangan air tersebut mengindikasikan bahwa jenis akuifer berupa akuifer bebas (Driscoll, 1986). Muka airtanah pada daerah penelitian sangat dalam, yaitu antara 50-65 meter. Aliran airtanah berarah mengikuti topografi yaitu dari tinggian di baratlaut menuju ke rendahan di tenggara.

Potensi dan Arah Pemanfaatan Airtanah

Kuantitatif

Potensi airtanah secara kuantitas di daerah penelitian ditentukan melalui nilai debit atau keluaran airtanah sesuai uji pemompaan. Nilai debit ini dipilih dengan pertimbangan keamanan kesetimbangan antara

kemampuan *recharge* dan *discharge* akuifer dan operasional pompa *submersible* apabila dilakukan pemompaan secara menerus. Dari hasil uji pemompaan menerus debit tetap dan prediksi *drawdown* dari ketiga sumur uji pada daerah penelitian, ditetapkan debit aman maksimum pemompaan adalah 2,22 liter/detik ($8 m^3/jam$ atau $192 m^3/hari$) untuk masing-masing sumur, walaupun secara perhitungan sumur Mella-01 mampu menghasilkan Q_{max} 3,47 l/s, Mella-02 4,27 l/s, dan Mella-03 4,03 l/s. Efisiensi ketiga sumur dikategorikan baik, yaitu lebih dari 90%. Dengan demikian, debit airtanah yang dapat diambil untuk mengisi bak penampungan air pendingin turbin di area pembangkit listrik tenaga panasbumi Ulubelu adalah senilai $192 m^3/hari$ untuk tiap sumur.

Kualitatif

Secara ringkas, berdasarkan hasil analisis *diagram trilinear piper* diperoleh sifat airtanah pada daerah penelitian mengandung komposisi kekerasan karbonat lebih dari 50%, yaitu didominasi oleh alkali tanah dan asam lemah. Berdasarkan hasil analisis diagram piper segiempat diperoleh rata-rata tipe kimia airtanah daerah penelitian, yaitu kelompok airtanah karbonat dan bikarbonat. Dilihat dari tingkat kesadahan air, nilai DHL dan kadar Cl, airtanah tergolong *fresh water* dengan pH netral. Dengan demikian, baik secara kualitas maupun kuantitas, airtanah pada daerah penelitian dapat dimanfaatkan sebagai suplai air untuk pendingin turbin pembangkit listrik tenaga panasbumi Ulubelu.

KESIMPULAN

- Berdasarkan hasil analisis grafik uji pemompaan dan perhitungan nilai koefisien cadangan air (S), diperoleh kesimpulan bahwa jenis akuifer pada daerah penelitian berupa akuifer bebas dengan tipe aliran airtanah melalui celah atau rekahan batuan dan ruang antarbutir. Kedalaman akuifer berkisar antara 75 - 150 meter. Muka airtanah sangat dalam, yaitu antara 50 - 65 meter.
- Berdasarkan metode *Theis recovery* diperoleh parameter hidrolika airtanah sebagai berikut.
 - Koefisien transmissivitas berkisar antara 3,441-5,205 $m^2/hari$.
 - Koefisien permeabilitas berkisar antara 0,681-0,713 $m/hari$, menunjukkan karakteristik batuan berupa batuan beku yang retak - retak.
 - Koefisien cadangan air berkisar antara 0,022-0,054, menunjukkan jenis akuifer bebas.
 - Q_{max} Sumur Mella-01 = 3,47 l/s, Mella-02 = 4,27 l/s, dan Mella-03 = 4,03 l/s.
 - Efisiensi Sumur Mella-01 = 95%, Mella-02 = 93% dan Mella-03 = 95%, menunjukkan desain konstruksi sumur sangat baik.
- Berdasarkan analisis kualitas airtanah, disimpulkan bahwa sifat kimia airtanah di daerah penelitian mengandung komposisi kekerasan karbonat lebih dari

50%, yaitu didominasi oleh alkali tanah (Ca) dan asam lemah (HCO_3). Sedangkan tipe kimia airtanahnya merupakan airtanah kelompok karbonat dan bikarbonat.

4. Potensi kuantitas airtanah pada daerah penelitian mengacu pada debit maksimum pemompaan menerus, yaitu $192 \text{ m}^3/\text{hari}$. Dilihat dari tingkat kesadahan air, nilai DHL dan kadar Cl, airtanah tergolong *fresh water* dengan pH netral sehingga cocok untuk pendingin turbin generator pembangkit listrik tenaga panasbumi Ulubelu.

SARAN

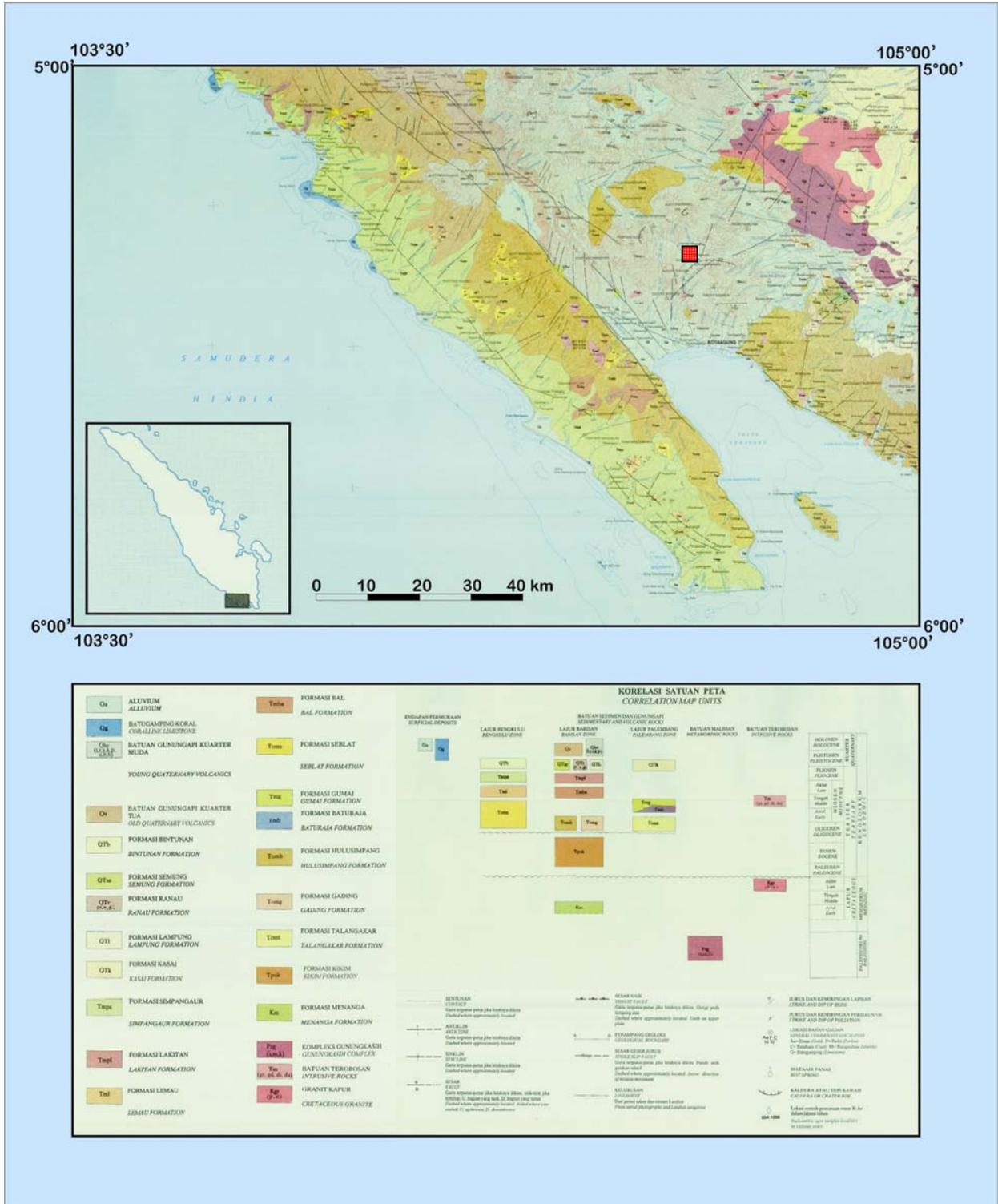
1. Material konstruksi sumur dalam sebaiknya menggunakan bahan galvanis untuk pipa *casing* dan *stainless steel* 304 untuk pipa saringan (*screen*) karena sifat kimia airtanah daerah penelitian yang kaya unsur besi penyebab korosi sehingga lebih kuat dan tahan apabila dilakukan pemompaan secara menerus.
2. Operasional pompa apabila hendak dilakukan pemompaan secara menerus dan bersamaan direkomendasikan mengikuti **Tabel 4** dan **5**.

UCAPAN TERIMA KASIH

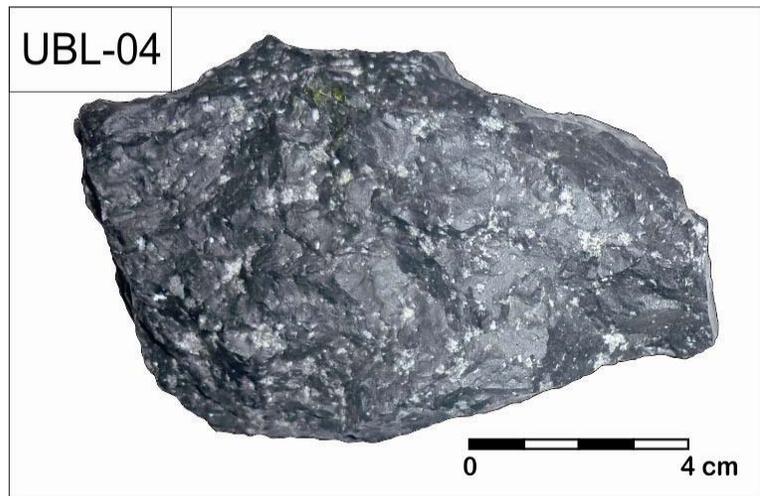
Terimakasih penulis sampaikan kepada Bapak Henarno Pudjihardjo dan Bapak Yoga Aribowo selaku dosen pembimbing penelitian ini, Bapak Hadi Nugroho selaku Ketua Program Studi Teknik Geologi Universitas Diponegoro, dan Bapak Alland Asqolani selaku Project Manager UPK PLTP Ulubelu yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian di lokasi proyek, serta kepada orang tua, saudara, kekasih, dan sahabat yang telah memberikan dukungan semangat dan doa.

DAFTAR PUSTAKA

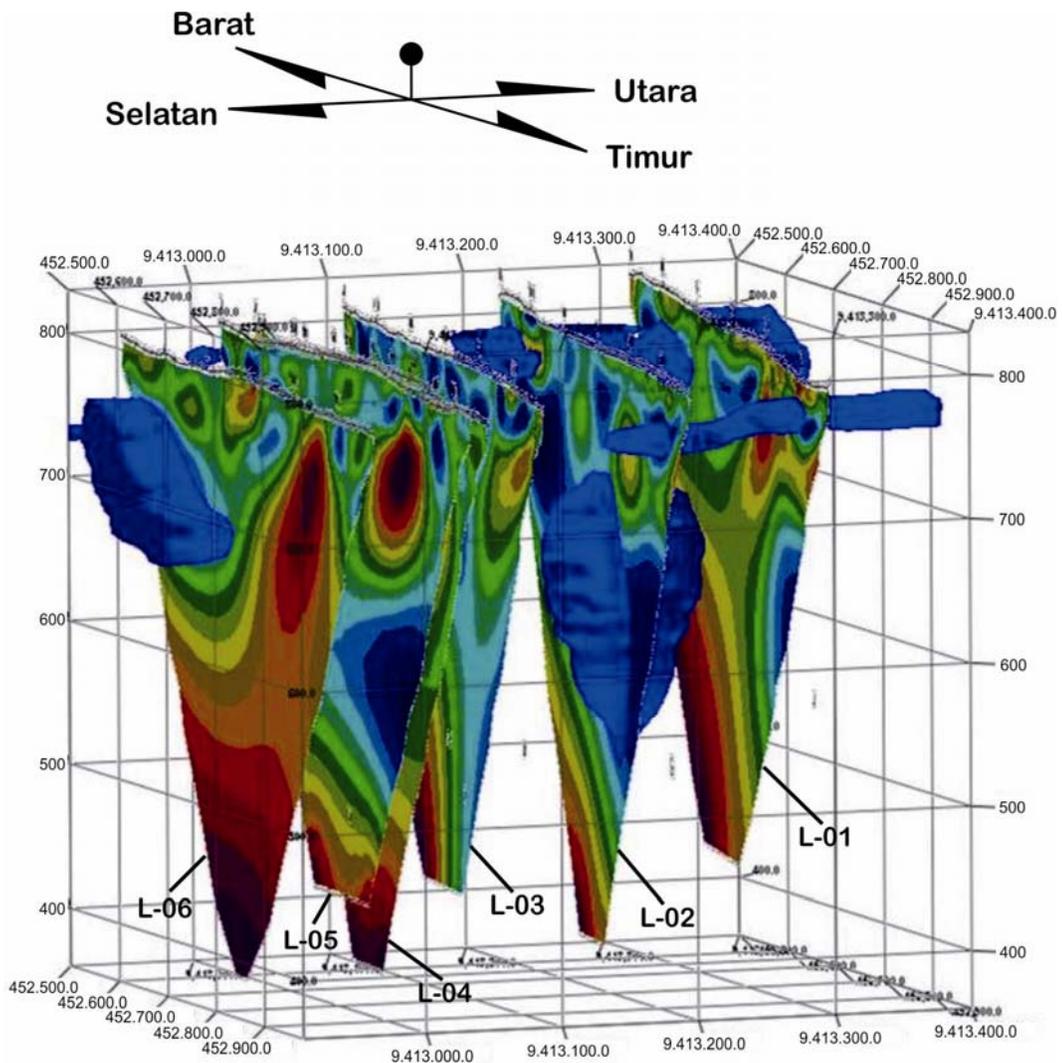
- Adji, T. N., Santosa, L. W., Murwanto, H., Marwasta, D., Sulaswono, B. 2005. *Teknik Inversi Modelling untuk Pendugaan dan Proses Hidrogeokimia Airtanah Pada Berbagai Kondisi Akuifer*. Laporan Penelitian, Fakultas Geografi, Lembaga Penelitian UGM, Yogyakarta.
- Amin, T. C., Santosa, S. & Gunawan W. 1988. *Laporan Geologi Lembar Kotaagung Sumatera, Skala 1:250.000*. Report Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Djaendi, 1998. *Penentuan Efisiensi Sumur Bor dalam Pemboran Airtanah*. Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung.
- Driscoll, F. G. 1986. *Groundwater and Wells*. Johnson Division, St. Paul Minnesota.
- Freeze, R. A. and Cherry J. A. 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 604 p.
- Kehew, A. E. 2001. *Applied Chemical Hydrogeology*. Prentice Hall, University of California, USA.
- Kerr. 1959. *Optical Mineralogy* 3rd edition. Mc-Graw-Hill Book Company, Inc. New York.
- Kloosterman, F. H. 1983. *Reconnaissance Study of Groundwater Resources in the Kabupaten Cirebon*. Provincial Health Service Irectorate CDC, Bandung.
- Kruseman, G. P. and N. A. de Ridder. 1990. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. The Netherlands.
- Kurlov, M. G. 1928. *Classification of Mineral Waters of Siberia*. Tomsk, U.S.S.R.
- Langgeng, W. S. 2000. *Model Hidrostratigrafi dan Hidrokimia untuk Penelusuran Genesis dan Tipe Akuifer di Lembah Rawa Jombor Kecamatan Bayat, Klaten*. Laporan Penelitian. Lembaga Penelitian UGM, Yogyakarta.
- Looke, M. 2000. *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies*. A Practical Guide to 2D and 3D Surveys. Tutorial.
- Riesdiyanto, P. 2009. *Studi Hidrogeokimia Airtanah pada Berbagai Kondisi Akuifer Bebas di Kecamatan Imogiri Kabupaten Bantul Provinsi D. I. Yogyakarta*. Tugas Akhir. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Riyadi, A., Wibowo, K., Wibowo, M. & Sabaruddin. 2005. *Identifikasi Potensi Airtanah di Kecamatan Mangkubumi Tasikmalaya dengan Metode Uji Pompa*. Jurnal Teknik Lingkungan P3TL-BPPT. 6. (2): 365-371.
- Rohim, M. N., Subagio H. & Hidayah N. 2010. *Aplikasi Metode Geolistrik Sounding dengan Konfigurasi Pole-Pole untuk Mengukur Resistivitas Bawah Permukaan Tanah dan Mengetahui Struktur Tanah*. PKM-GT Universitas Negeri Malang, Malang.
- Suwantinawati, E. 1997. *Agihan Airtanah Asin dan Penyebab Keasinan Airtanah di Daerah antara Sungai Progo dan Sungai Serang, Kabupaten Kulonprogo, D. I. Yogyakarta*. Skripsi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Syamsul H., Erika P., Sukrisna A. & Wayan M. 2009. *Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar 1010 Kotaagung, Sumatera, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Telford, W. M. 1976. *Prospecting Geophysical Methods*. Cambridge University Press, London and New York.
- Todd, K. 1955. *Groundwater Flow in Relation to a Flooding Stream*. Am. Soc. Civil Eng. Proc., 81 Separate No. 628, 1-20.
- _____. 1980. *Groundwater Hydrology, 2nd Edition*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- Van Zuidam, R. A. 1983. *Guide to Geomorphologic Aerial Photographic Interpretation and Mapping*. ITC, Enschede, Netherlands.



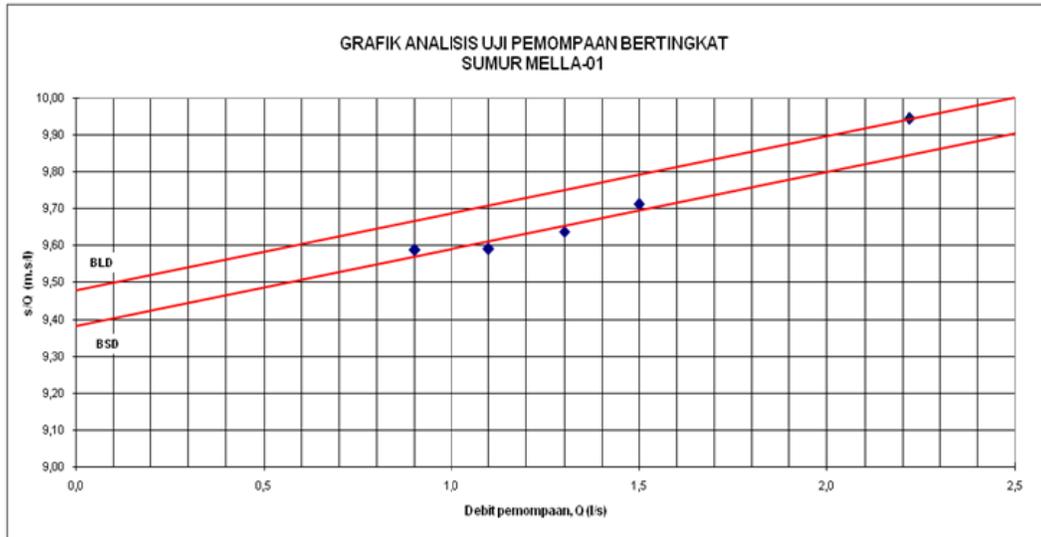
Gambar 1. Peta Geologi Regional Lembar Kotaagung disederhanakan (Amin dkk.,1988). Tanda ■ menunjukkan lokasi daerah penelitian.



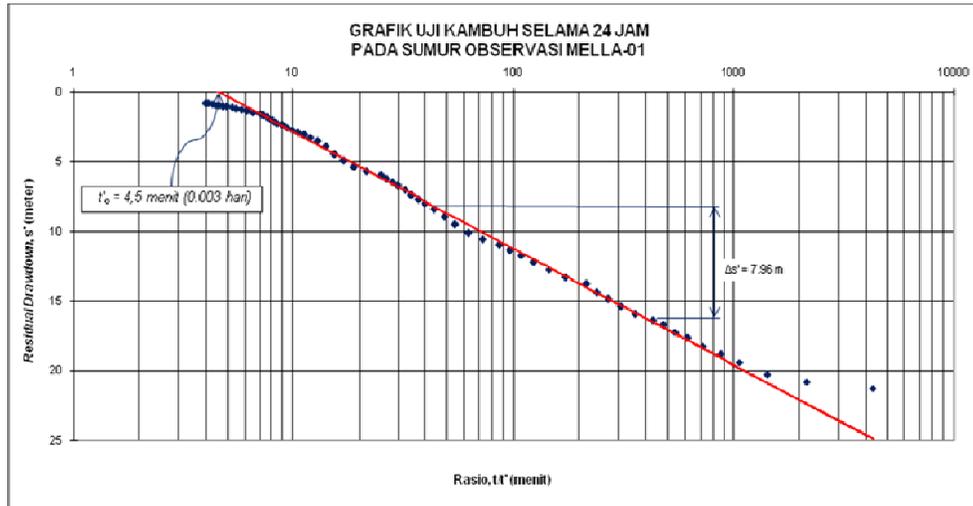
Gambar 2. Contoh setangan batu Basalt pada daerah penelitian, kode sampel UBL-04.



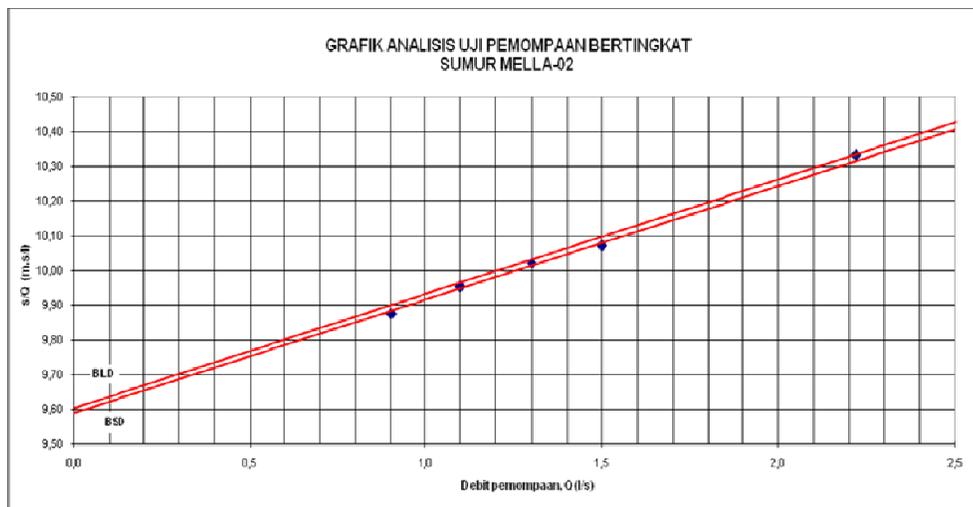
Gambar 3. Diagram fence zona potensi akuifer.



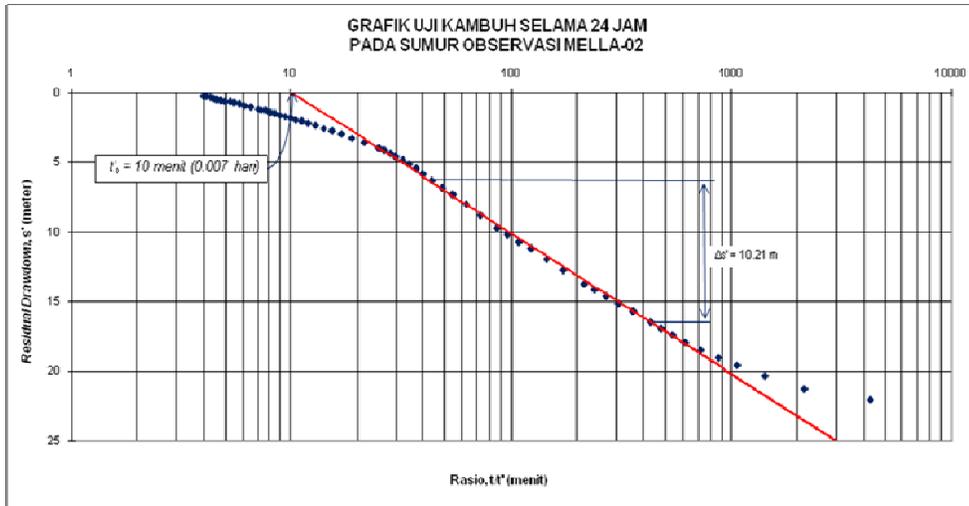
Gambar 4. Grafik Analisis Uji Pemompaan Bertingkat pada Sumur Mella-01.



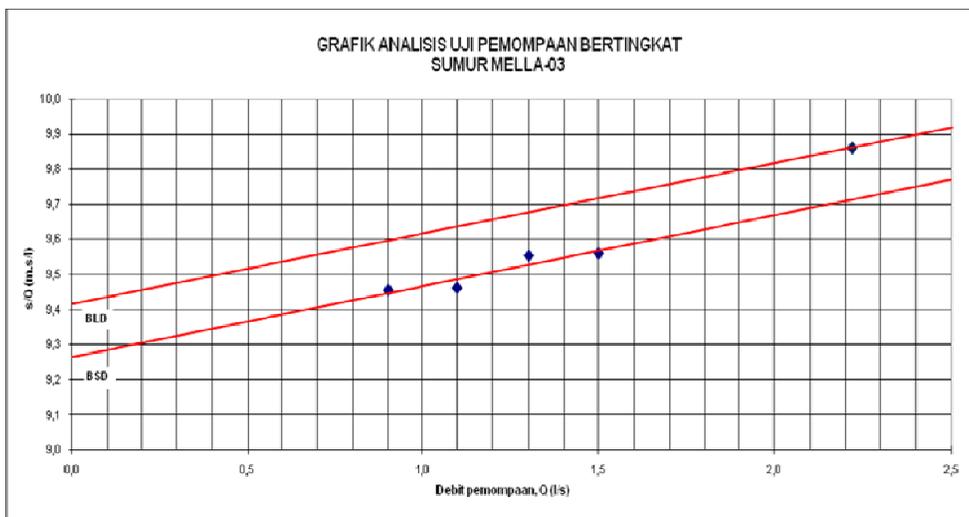
Gambar 5. Grafik Uji Kambuh selama 24 Jam pada Sumur Observasi Mella-01.



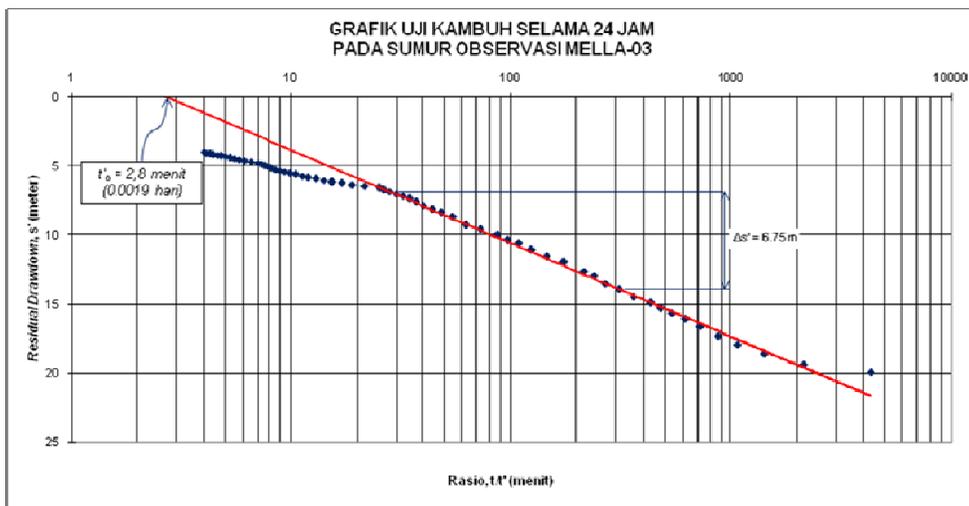
Gambar 6. Grafik Analisis Uji Pemompaan Bertingkat pada Sumur Mella-02.



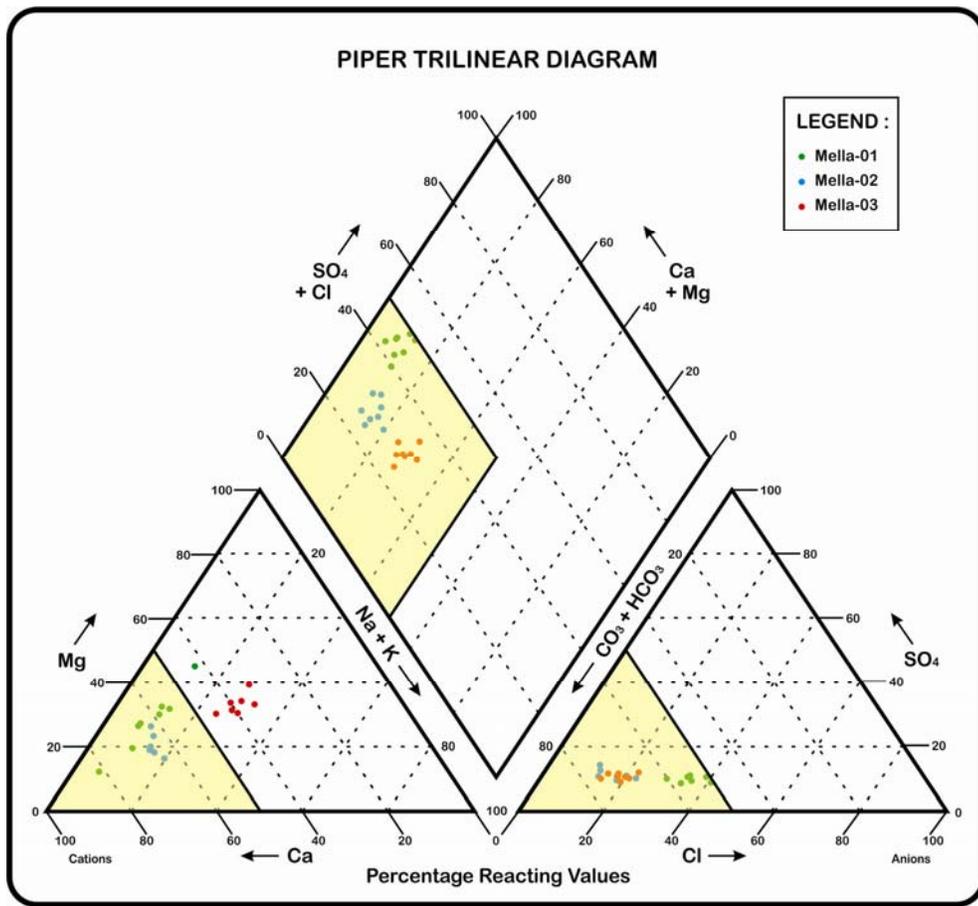
Gambar 7. Grafik Uji Kambuh selama 24 Jam pada Sumur Observasi Mella-02.



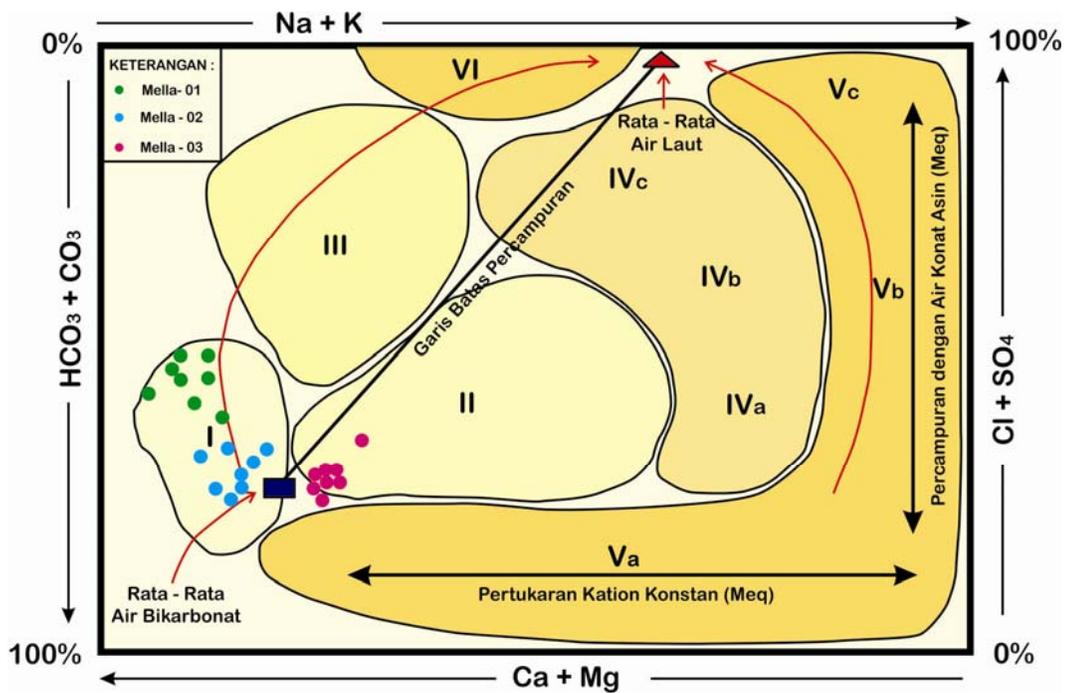
Gambar 8. Grafik Analisis Uji Pemompaan Bertingkat pada Sumur Mella-03.



Gambar 9. Grafik Uji Kambuh selama 24 Jam pada Sumur Observasi Mella-03.



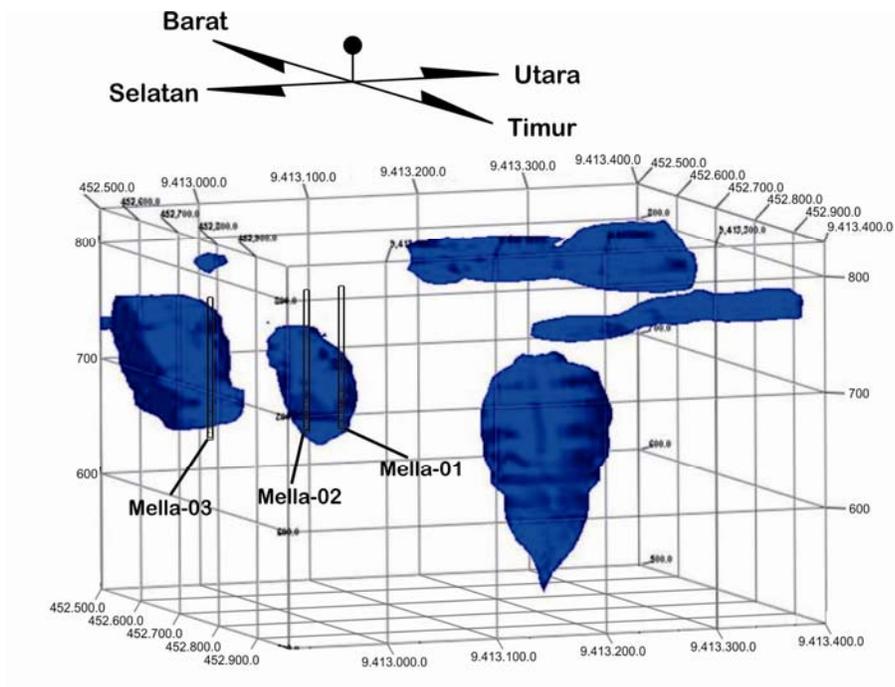
Gambar 10. Penentuan Sifat Kimia Airtanah menggunakan *Trilinear Piper Diagram* menurut Kehew (2001).



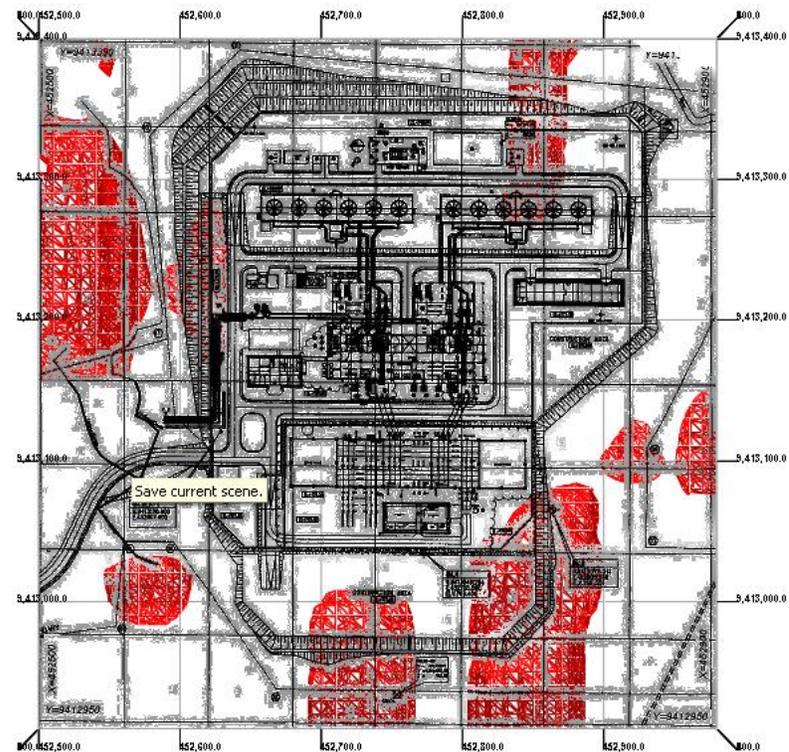
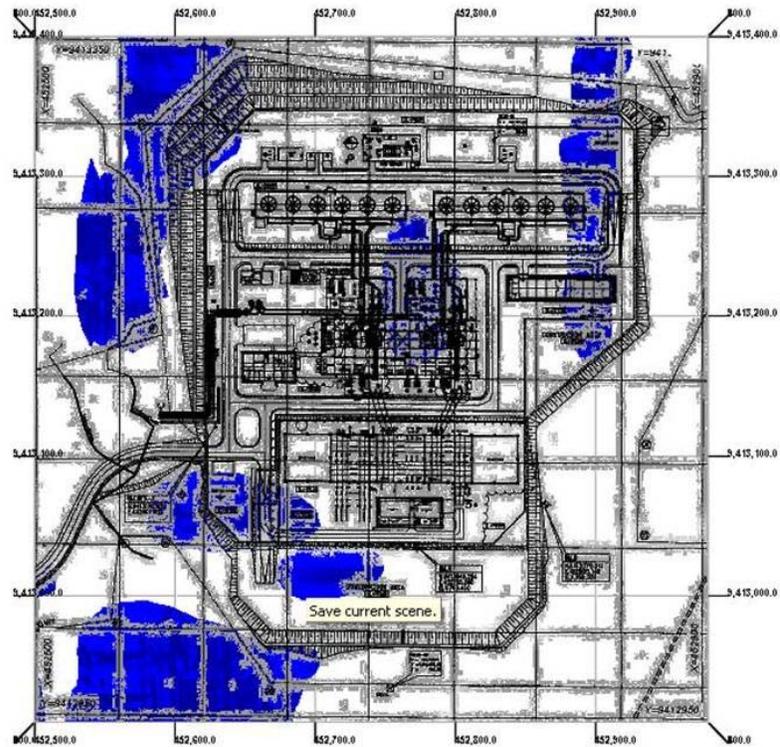
Gambar 11. Penentuan Tipe Kimia Airtanah menggunakan Diagram Piper Segiempat menurut Kloosterman (1983).



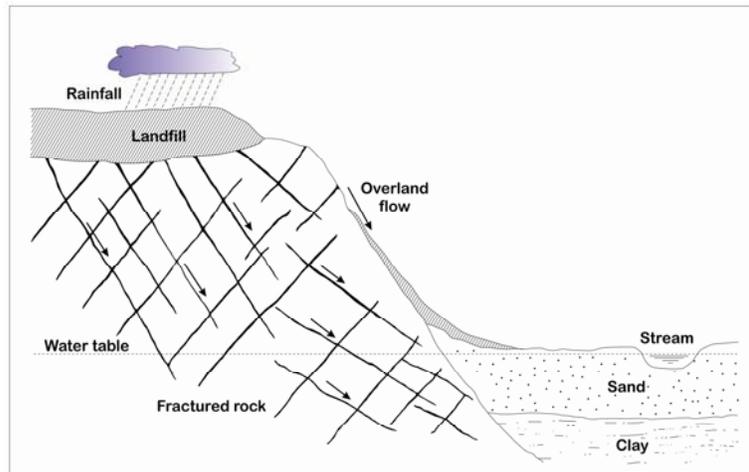
Gambar 12. Contoh setangan Basalt kode contoh UBL-07 (atas) dan contoh sayatan tipis (bawah). Gambar di sebelah kiri merupakan nikol sejajar sedangkan di sebelah kanan nikol bersilang, menunjukkan kelimpahan mineral plagioklas.



Gambar 13. Model zona akuifer pada daerah penelitian.



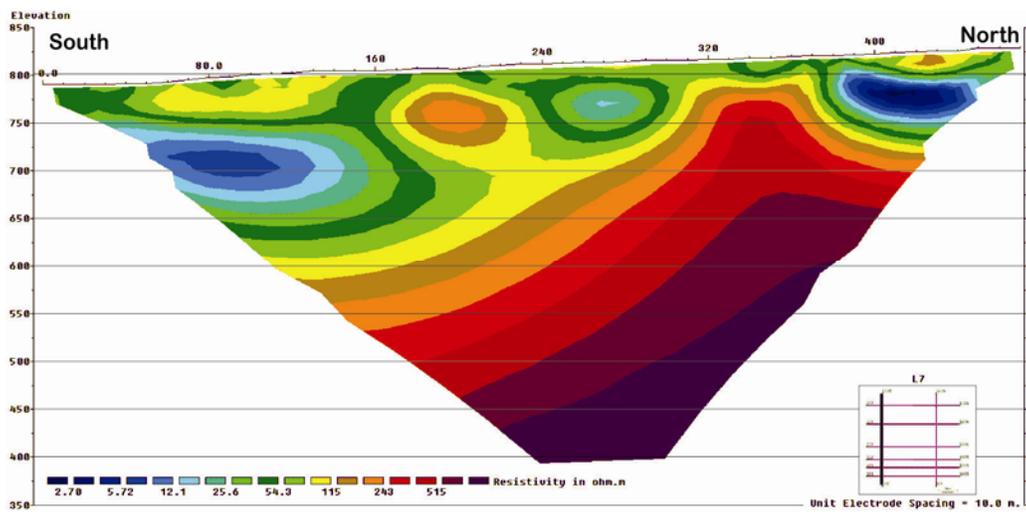
Gambar 14. Tampak atas (*plan view*) model anomali dengan tahanan jenis rendah dan diinterpretasikan sebagai potensi keberadaan air (atas) dan model tahanan jenis tinggi (bawah).



Gambar 15. Model interpretasi kondisi hidrogeologi lokal daerah penelitian (Driscoll, 1986).



Gambar 16. Intrusi Andesit di dalam area *power plant*, sebelah utara daerah penelitian.



Gambar 17. Profil penampang tegak lintasan L-07.

Tabel 1. Kapasitas Jenis Sumur Mella-01.

<i>Step</i>	Debit (Q) (l/s)	Drawdown (Sw) (m)	Sw/Q (m/l/s)	Kapasitas Jenis (l/s/m)
I	0.90	8.63	9.589	0.104
II	1.10	10.55	9.591	0.104
III	1.30	12.53	9.638	0.104
IV	1.50	14.57	9.713	0.103
LD	2.22	22.08	9.946	0.101

Tabel 2. Kapasitas Jenis Sumur Mella-02.

<i>Step</i>	Debit (Q) (l/s)	Drawdown (Sw) (m)	Sw/Q (m/l/s)	Kapasitas Jenis (l/s/m)
I	0.90	8.89	9.878	0.101
II	1.10	10.95	9.955	0.100
III	1.30	13.03	10.023	0.100
IV	1.50	15.11	10.073	0.099
LD	2.22	22.94	10.333	0.097

Tabel 3. Kapasitas Jenis Sumur Mella-03.

<i>Step</i>	Debit (Q) (l/s)	Drawdown (Sw) (m)	Sw/Q (m/l/s)	Kapasitas Jenis (l/s/m)
I	0.90	8.51	9.456	0.106
II	1.10	10.41	9.464	0.106
III	1.30	12.42	9.554	0.105
IV	1.50	14.34	9.560	0.105
LD	2.22	21.89	9.860	0.101

Tabel 4. Rekomendasi operasional pompa *submersible*.

Sumur	Debit Pemompaan (liter/detik)		Waktu Operasi Pompa (jam)		Waktu Istirahat Pompa (jam)	
	(maks)	(min)	(maks)	(min)	(maks)	(min)
Mella-01	2.22	1.50	120	36	60	24
Mella-02	2.22	1.50	168	36	24	12
Mella-03	2.22	1.50	144	36	48	24

Tabel 5. Rekomendasi penurunan muka airtanah.

Sumur	SWL (m)	Depth Pompa (m)	Debit (l/det)	Transmissivitas (m ² /hari)		Drawdown (m)	Residual Drawdown (m)	Drawdown Maksimum diizinkan (m)
				Uji Menerus	Uji Kambuh			
Mella-01	64.70	100	2.22	3,778	4,414	22.08	21.31	35.30
Mella-02	57.04	104	2.22	3,517	3,441	22.94	22.71	46.96
Mella-03	49.80	91	2.22	3,593	5,205	21.89	17.87	41.20

Tabel 6. Kelas Air pada daerah penelitian.

Conto	Kelas Air	pH	DHL (μhos/cm)	TDS (mg/L)
M11	Ca-Cl-HCO ₃	6,89	296	205
M12	Ca-Mg-Cl-HCO ₃	6,91	241	104
M13	Ca-Cl-HCO ₃	6,95	244	113
M14	Ca-Mg-Cl-HCO ₃	6,72	195	276
M15	Ca-Mg-Cl-HCO ₃	7,06	193	85
M16	Mg-Ca-Cl-HCO ₃	6,89	195	172
M17	Ca-Mg-Cl-HCO ₃	6,71	208	90
M18	Ca-Mg-Cl-HCO ₃	6,82	189	84
M21	Ca-HCO ₃	6,57	136	70
M22	Ca-HCO ₃	6,60	130	69
M23	Ca-HCO ₃	6,64	129	66
M24	Ca-HCO ₃	6,75	123	67
M25	Ca-HCO ₃	6,94	117	69
M26	Ca-Mg-HCO ₃	6,45	124	60
M27	Ca-Mg-Cl-HCO ₃	6,56	121	62
M28	Ca-Mg-Cl-HCO ₃	6,60	117	58
M31	Ca-Mg-Na+K-HCO ₃	7,18	281	197
M32	Ca-Mg-Na+K-HCO ₃	6,98	265	186
M33	Ca-Mg-Na+K-HCO ₃	7,42	258	182
M34	Ca-Mg-Na+K-HCO ₃	6,89	260	185
M35	Ca-Mg-Na+K-HCO ₃	6,92	269	190
M36	Ca-Mg-Na+K-HCO ₃	7,17	275	197
M37	Ca-Mg-Na+K-HCO ₃	7,11	290	203
M38	Ca-Mg-Na+K-HCO ₃	6,86	256	178