

KONSENTRASI AQUIFER DI ATAS TEROWONGAN KARETA API SASAKSAAT PADALARANG KABUPATEN BANDUNG DENGAN METODA GEOLISTRIK

Fakhruddin Z

Jurusan Pendidikan Fisika PMIPA

Universitas Riau

Abstract

Expression process of under earth surface can be done variously, one method used is resistivities method which can be used in geothermal exploration, geotechnical application, ancient object seeking, seeking of ground water and others. Saturated water zone determination the above tunnel sasaksaat Padalarang Bandung Regency very need, this matter done to know distribution aquifer and earth coat resistivities above tunnel Sasaksaat. This research use Wenner-Schlumberger method with two trajectory direction, that is vertical trajectory of tunnel and unidirectional of tunnel. Obtained some saturated water zone, this area have very low resistivities. Generally each trajectory have saturation water point, among other things at straighten trajectory, trajectory 1 at 75 meters, trajectory 2 at 80 meters and trajectory 3 at 50 meters point. Each ± 10 meters depth from surface since near surface trajectory 3. Unidirectional trajectory most saturated water zone point 430 meter with deepness ± 25 meters from surface

Key word : Geoelectical Study, Wenner-Schlumberger method

Pendahuluan

Terowongan Sasaksaat merupakan satu-satunya terowongan kereta api yang menghubungkan kota Bandung dengan Jakarta, kemungkinan terowongan ini dilalui kereta api jurusan Bandung-Jakarta atau sebaliknya hampir tiap saat. Dari data yang diperoleh terowongan ini dilalui oleh angkutan kereta api minimal 1 x 45 menit. Angkutan alternatif darat lain yang menghubungkan Bandung – Jakarta dengan menggunakan mobil, tetapi angkutan ini kurang efisien dan efektif jika dibandingkan dengan menggunakan angkutan kereta api, sehingga masyarakat pada umumnya menggunakan angkutan ini karena dinilai ekonomis, nyaman dan terhindar dari kemacetan lalu lintas. Seseorang dapat menargetkan kapan harus berangkat dari Bandung dan kapan sampai di Jakarta, hal inilah yang tidak dijumpai pada angkutan darat lainnya, karena sering sekali terjadi kemacetan lalu lintas.

Terowongan yang sudah berusia sangat tua, lebih 50 tahun ini terancam runtuh dan disana sini sudah mulai retak-retak dengan rembesan air tanah yang berasal dari atas terowongan. Penelitian tomografi pada terowongan terdapat suatu sesar yang dapat terjadinya pergeseran tanah sehingga mengancam keberadaan terowongan ini dan pada akhirnya mengancam kelangsungan transfortasi kereta api Bandung Jakarta atau sebaliknya.

Untuk menjaga kelangsungan dan keberadaan terowongan ini dan disamping data penelitian tomografi yang telah didapatkan, perlu dilakukan penelitian-penelitian dengan metode lain, seperti dengan menggunakan metode georadar (GPR) pada dinding terowongan dan metode geolistrik di atas terowongan tersebut. Untukantisipasi kandungan air yang sudah jenuh dan supaya dapat diketahui dimana terdapatnya konsentrasi aquifer pada perbukitan di atas terowongan,

maka harus dilakukan pengukuran dengan menggunakan metode geolistrik 2D, sehingga dengan diketahuinya konsentrasi aquifer pada perbukitan di atas terowongan tersebut akan memudahkan analisa di mana

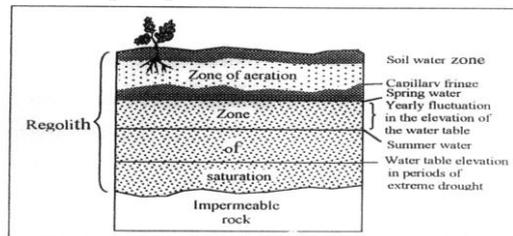
Air Tanah

Semua air yang terdapat di dalam batuan dasar atau regolith disebut air tanah, jumlahnya kurang dari 0,538% dari air bumi [Ludman, 1990]. Air tanah berasal dari air permukaan seperti air hujan, danau, sungai dan sebagainya, kemudian meresep ke dalam tanah, mengisi pori tanah dan batuan, akhirnya terakumulasi ke dalam suatu cekungan air tanah. Banyaknya air yang meresep ke dalam tanah bergantung pada ruang dan waktu, kecuraman lereng, kondisi permukaan tanah, banyaknya vegetasi, curah hujan dan kapasitas cekungan.

Air yang meresep ke dalam tanah menerobos ke bawah sampai pada zona

harus dilakukan pengeboran air sehingga akumulasi air yang jenuh dapat dikurangi dan dapat dilakukan penyuntikan semenisasi pada terowongan.

dimana seluruh ruang pori pada sediment atau batuan terisi air (jenuh air). Lapisan yang jenuh air ini disebut dengan zona saturasi (zone of saturation), sedangkan lapisan tanah, sediment atau batuan di atasnya disebut dengan zona aerasi (zone of aeration). Batas kedua lapisan ini disebut dengan muka air tanah (water table) [Ludman, 1990]. Muka air tanah umumnya mengikuti permukaan topografi di atasnya. Perbedaan elevasi antara bagian muka air tanah disebut hydraulic head. Distribusi vertical beberapa lapisan airt tanah yang berbeda ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Distribusi vertical air tanah [Ludman, 1990]

Aquifer

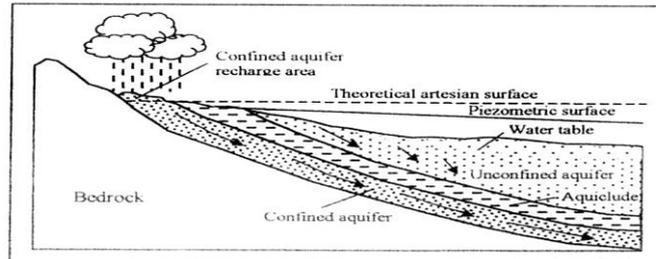
Air tanah bergerak di dalam pori-pori sedimen atau batuan yang saling berhubungan, perbandingan antara volume seluruh pori batuan dengan volume total sediment atau batuan disebut porositas. Sedangkan kemampuan suatu lapisan sediment atau batuan untuk meluluskan sejumlah air melalui pori atau rongga antar butir atau rekahan dalam suatu waktu tertentu disebut permeabilitas. Sedimen atau batuan yang tidak saling berhubungan disebut batuan atau sediment impermeable.

Aquifer adalah tubuh batuan atau regolit tempat air tanah tersimpan, dimana mempunyai porositas dan permeabilitas yang tinggi dan terletak pada zona saturasi.

Tubuh batuan atau regolith tersebut dapat berupa sedimen atau batuan seperti pasir, batu pasir, lempung ataupun endapan alluvial.

Sedimen atau batuan yang impermeabel dan mampu menampung banyak air disebut Aquiclude, misalnya lempung. Aquifer yang permukaan atasnya berimpit dengan permukaan air dan dibawah pengaruh langsung tekanan atmosfer disebut unconfined aquifer, sedangkan aquifer yang dibatasi oleh lapisan aquicludes disebut confined aquifer. Diagram penampang yang memperlihatkan aquiver unconfined dan

aquiver confined dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram penampang aquiver confined dan unconfined, aquiclude [Ludman, 1990)

Tahanan Jenis Batuan Mengandung Air

Arus listrik yang diinjeksikan ke dalam batuan atau mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi elektronik, elektrolitik dan dielektrik. Untuk banyak batuan di dekat permukaan bumi, medium konduksinya adalah larutan encer dari garam. Tahanan jenis batuan ini bergantung pada jumlah air, kadar garam/salinitas air dan cara bagaimana air terdistribusi di dalam batuan tersebut. Pembawa muatannya adalah ion. Tahanan jenis batuan berhubungan langsung dengan positas dan tekstur batuan. Tahanan jenis batuan ρ dan porositas ϕ , yang dinyatakan sebagai fraksi per satuan volume batuan berhubungan menurut hokum archie :

$$\rho = a\rho_w\phi^{-m} \dots\dots\dots(1)$$

atau
$$F = \frac{\rho}{\rho_w} = \frac{a}{\phi^{-m}} \dots\dots(2)$$

dengan ρ_w adalah tahanan jenis air yang terdapat di dalam struktur pori, F adalah factor resistivitas formasi, a dan m adalah suatu parameter yang nilainya ditentukan sedemikian sehingga persamaan di atas cocok dengan sejumlah hasil pengukuran [Keller dan Frischknecht, 1970 op cit Taib, 2000], Nilai a bervariasi dari sedikit lebih kecil dari satu untuk batuan dengan porositas intergranularsehingga sedikit lebih besar dari satu untuk batuan dengan porositas lipat/joint, dan niali m berkisar pada angka dua.

Tahanan jenis batuan mengandung air berkurang dengan bertambahnya kandungan air. Pada batuan jenuh sempurna, kandungan air sama dengan porositas, dan ketakjenuhan pada batuan tak jenuh sebagian akan mempengaruhi tahanan jenis batuan tersebut. Kisaran nilai tahanan jenis dari beberapa jenis batuan dapat dilihat pada gambar 3. Jenis batuan yang dapat bertindak sebagai lapisan pembawa air mempunyai harga tahanan jenis yang bervariasi yang ditentukan oleh beberapa factor yaitu: Jenis material, ukuran, densitas, porositas, bentuk pori-pori batuan, kandungan air, kualitas air, dan suhu. Sehingga harga tahanan jenis untuk berbagai macam batuan tidak pasti [Loke 1999, Telford dkk, 1990]

Metoda Resistivitas

Metoda Resistivitas adalah salah satu metode geofisika yang memanfaatkan sifat tahanan jenis untuk mempelajari keadaan di bawah permukaan tanah. Pada prinsipnya kerja dari metode resistivitas adalah mengalirkan arus listrik searah berfrekuensi rendah ke dalam bumi melalui dua elektroda arus, kemudian diukur beda potensial yang timbul melalui dua elektroda potensial, sehingga nilai resistivitasnya dapat dihitung (Hendrajaya,1990). Perbedaan potensial yang terukur merefleksikan distribusi tahanan jenis yang terdapat di bawah permukaan bumi, dari analisis distribusi tahanan jenis spesifik ini nantinya dapat diinterpretasikan keadaan di bawah permukaan bumi.

Pada dasarnya metoda ini didekati dengan menggunakan konsep perambatan arus listrik di dalam medium isotropis, dimana arus listrik bergerak ke segala arah dengan nilai sama besar. Berdasarkan asumsi tersebut, maka bila terdapat anomali yang membedakan jumlah rapat arus yang mengalir diasumsikan akibat adanya anomali tahanan jenis. Anomali ini nantinya digunakan untuk merekonstruksi keadaan geologi di bawah permukaan.

Pengukuran geolistrik dengan metoda resistivitas (tahanan jenis) dilakukan dengan mengukur distribusi potensial listrik pada permukaan tanah, hingga tahanan jenis tanah dapat diketahui. Tahanan jenis listrik suatu batuan didefinisikan sebagai berikut (Telford.dkk.,1976):

$$\rho = R \frac{A}{L} \dots\dots\dots (3)$$

dimana: ρ = resistivitas material (Ω m).
 R = tahanan (Ω). L = panjang material (m). A = luas penampang material (m^2).

Karena menurut hukum Ohm :

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (4)$$

Dari persamaan (3) dan (4) diperoleh persamaan:

$$\rho = \frac{VA}{IL} \dots\dots\dots (5)$$

dimana : V = beda potensial (Volt)
 I = kuat arus yang melalui bahan (Ampere)

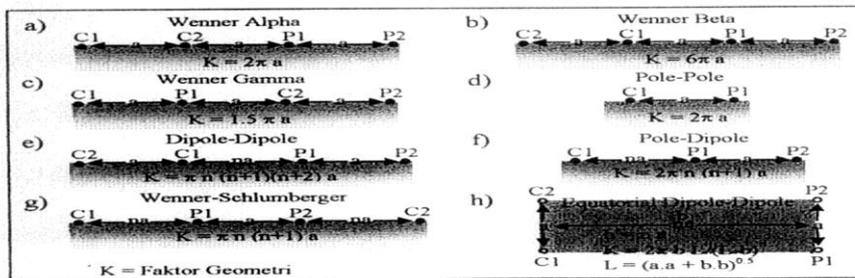
Bentuk umum tahanan jenis semu (Telford.dkk.,1976):

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots (6)$$

Persamaan-persamaan di atas dipergunakan untuk material yang homogen, sehingga hasil yang didapat adalah resistivitas sesungguhnya (*true resistivity*). Dalam prakteknya, obyek yang di ukur adalah bumi atau tanah tidak homogen karena resistivitasnya tidak sama, sehingga resistivitas yang terukur adalah resistivitas semu (*apparent resistivity*). Nilai resistivitas semu tergantung pada tahanan jenis lapisan-lapisan pembentuk formasi geologi (*subsurface geology*) dan spasi serta geometri elektroda.

Survey Tahanan Jenis

Survey tahanan jenis dengan menggunakan Metode geolistrik merupakan gabungan dari metoda mapping dan sounding yang akan menghasilkan penampang tahanan jenis pada arah mendatar dan vertikal. Konfigurasi elektroda yang dapat digunakan pada metoda 2D meliputi konfigurasi Wenner (alpha, betha, gamma), dipole-dipole, pole-dipole, pole-pole, equatorial dan schlumberger seperti ditunjukkan gambar 3.



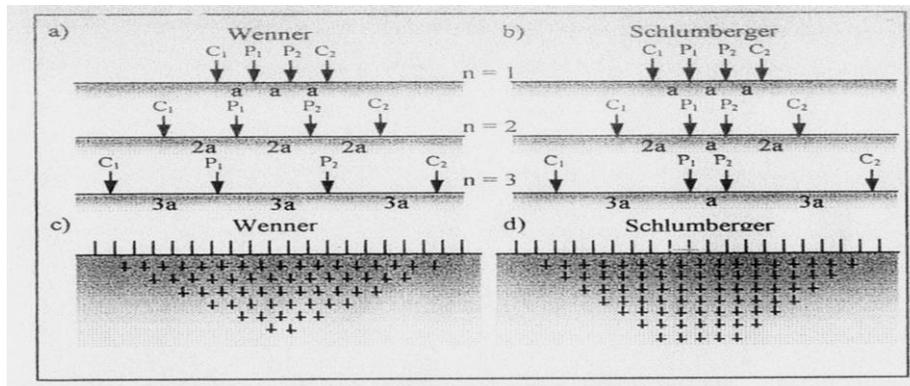
Gambar 3. Konfigurasi elektroda pada pengukuran geolistrik tahanan Jenis 2D [Loke, 1999]

C_1 dan C_2 adalah elektroda-elektroda arus, P_1 dan P_2 adalah elektroda-elektroda potensial, a adalah spasi elektroda, n adalah perbandingan jarak antara elektroda C_1 dan P_1 dengan spasi “ a ” dipole C_2 - C_1 atau P_1 - P_2 , sedangkan L adalah panjang bentangan maksimum.

Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Metode ini dimulai dengan melakukan pengukuran dengan spasi tetap pada lintasan yang lurus, setelah itu pengukuran diulang kembali dari titik awal lintasan dengan jarak spasi elektroda yang lebih besar dengan kelipatan spasi pertama.

Semakin sensitive dan besar arus yang dihasilkan alat semakin leluasa kita memperbesar jarak spasi elektroda, sehingga semakin dalam pula lapisan yang dapat diamati. Konfigurasi elektroda dan pola data pseudosection Wenner-Schlumberger dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 4. Konfigurasi elektroda dan pola pseudosection Wenner-Schlumberger [Loke, 1998]

Konfigurasi Schlumberger banyak digunakan dalam survey tahanan jenis untuk prosedur sounding. Faktor n untuk konfigurasi ini adalah rasio jarak antara elektroda C_1 - P_1 (P_2 - C_2) dengan spasi antara pasangan elektroda potensial P_1 - P_2 . Pada gambar 4 dapat dilihat pola sensitivitas konfigurasi Wenner-Schlumberger berbeda sedikit dengan konfigurasi Wenner yang mempunyai lengkungan vertikal kecil di bawah pusat bentangan elektroda konfigurasi, dan mempunyai sensitivitas yang agak rendah pada daerah antara elektroda-elektroda C_1 dan P_1 dan juga untuk C_2 dan P_2 . Terdapat konsentrasi nilai sensitivitas yang tinggi dan agak besar di bawah elektroda-elektroda P_1 dan P_2 . Ini berarti bahwa konfigurasi Wenner-Schlumberger cukup sensitive untuk struktur horizontal dan vertical. Penetrasi

kedalaman dari konfigurasi ini sekitar 10% lebih dari konfigurasi Wenner untuk jarak antara elektroda-elektroda disebelah luar (C_1 dan C_2) yang sama. Konfigurasi Wenner-Schlumberger memiliki cakupan data horizontal yang lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi Wenner.

Metode Penelitian

Metoda yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan metoda Wenner-Schlumberger yang mempunyai kelebihan cukup sensitif untuk struktur vertikal dan horizontal, metode resistivitas dibagi menjadi dua survey, yaitu mapping dan sounding

Pembahasan

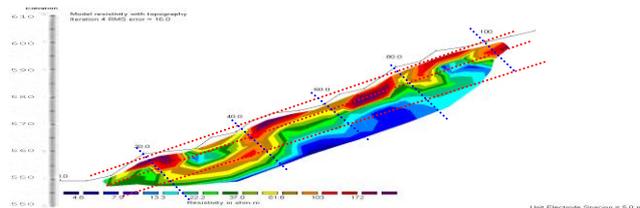
Dari hasil pengukuran tahanan jenis diperoleh output pengolahan data

pemodelan ke depan dengan menggunakan Program Res2dinv berupa penampang semu vertikal, output pengolahan ini menggambarkan perubahan nilai tahanan jenis semu terhadap fungsi kedalaman. Sistematis analisa dan pembahasan dari hasil pengolahan data terdiri dari data lintasan-lintasan yang memotong arah terowongan yaitu lintasan 1,2,3 dan 2 lintasan searah terowongan dengan spasi yang berbeda.

1. Lintasan Tegak Lurus Arah Terowongan

Pengukuran resistivitas yang memotong arah terowongan terdiri dari tiga lintasan, yaitu lintasan 1 terletak ujung

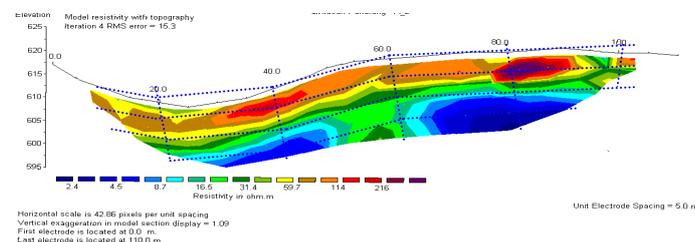
a. Lintasan 1



Gambar 5 Penampang tahanan jenis semu lintasan 1 (tegak lurus arah terowongan)

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai resistivitas lapisan pada lintasan 1 antara 4,8 sampai 172 ohm meter, sedangkan zona air terdapat pada posisi 40 sampai 80 meter dengan kedalaman ± 10 meter dengan nilai resistivitas 4,8 sampai 7,9 Ohm meter, Pada umumnya Lapisan-lapisan terdiri dari lapisan lapuk (soil) pada kedalaman 5 meter, dan lapisan pasir lempung pada kedalaman > 50 meter. Error pada lintasan ini cukup kecil yaitu 15,8%.

b. Lintasan 2



Gambar 6 Penampang tahanan jenis semu lintasan 2 (tegak lurus arah terowongan)

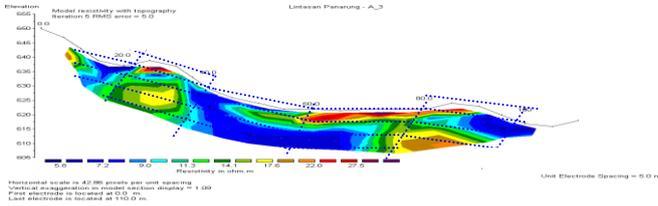
Pada lintasan 2 tegak lurus arah terowongan ini mempunyai kesalahan yang cukup kecil yaitu 15,3%, Nilai resistivitasnya antara 2,4 sampai 216 ohm meter, jangkauan resistivitasnya lebih besar dari lintasan 1, lapisan permukaannya lebih kering dan zona air lebih jenuh dari lintasan 1. Resistivitas zona air berkisar 2,4 sampai 8,7 ohm meter pada posisi 20 sampai 50

terowongan, lintasan 2 di tengah terowongan, sedangkan lintasan 3 pada posisi ujung terowongan yang lain. Ketiga lintasan ini memotong 90° di atas terowongan Sasaksaat.

Interpretasi lapisan dilakukan tegak lurus terhadap topografi masing-masing lapisan, hal ini disebabkan pada umumnya lapisan bawah permukaan mengikuti pola topografinya. Untuk memudahkan interpretasi, setiap lintasan dibagi-bagi atas beberapa bagian, pada lintasan-lintasan tegak lurus arah terowongan dibagi menjadi 5 bagian dengan panjang 20 meter, sedangkan kedalaman dibagi menjadi 3 bagian.

meter dengan kedalaman ± 12,5 meter dan pada posisi 65 sampai 90 meter dengan kedalaman ± 10 meter.

c. Lintasan 3



Gambar 7 Penampang tahanan jenis semu lintasan 3 (tegak lurus arah terowongan)

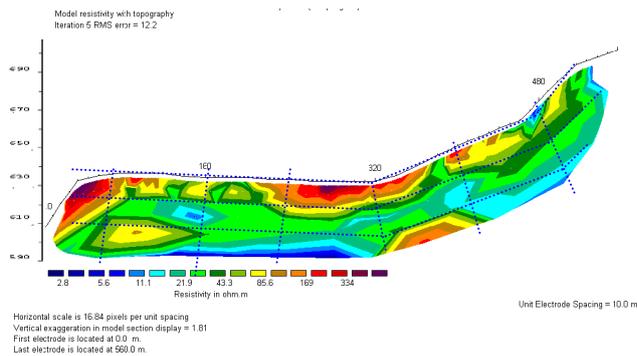
Pada lintasan ini paling banyak terdapat zona air, terlihat pada gambar 7 zona air sangat dekat dengan permukaan, ada tiga titik zona air yang mendekati permukaan, yaitu pada posisi ± 20, 45, dan 100 meter. Kesalahan pada lintasan ini paling kecil yaitu 5,0%. Jangkauan resistivitas juga paling kecil yaitu 5,8 sampai 27,5 meter, hal ini mungkin disebabkan variasi lapisan tidak terlalu kompleks dan tingkat kandungan air yang hampir sama.

2 Lintasan Searah Terowongan

Pengukuran yang dilakukan searah dengan terowongan dilakukan sebanyak 2 lintasan, pengukuran dilakukan tepat di tengah atas terowongan Sasaksaat. Ada dua spasi yang diterapkan pada penelitian ini yaitu dengan spasi 10 dan 20 meter, perbedaan spasi disebabkan karena topografi di atas terowongan tidak sama dan juga untuk cross cek hasil masing-masing penampang tahanan jenis semu yang dihasilkan.

a. Lintasan Searah Terowongan 1

Seperti juga pada lintasan tegak lurus arah terowongan, pada lintasan tegak lurus arah juga dilakukan pembagian kedalaman untuk memudahkan interpretasi lapisan, pada lintasan searah terowongan 1 dibagi menjadi 7 bagian, masing-masing 80 meter, sedangkan kedalamannya dibagi menjadi 3 bagian, masing-masing 13,6 meter.

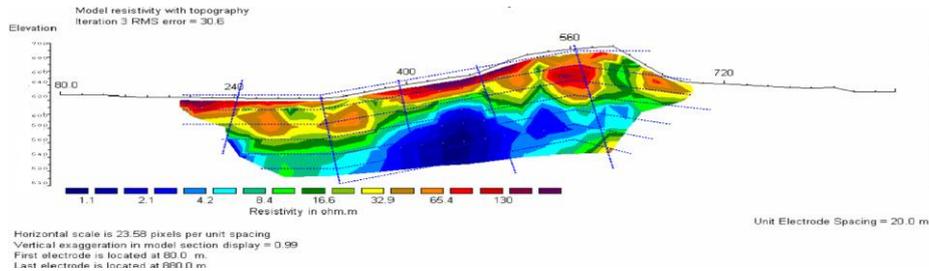


Gambar 8 Penampang tahanan jenis semu lintasan 1 searah terowongan (spasi 10 m) Zona air pada lintasan ini cukup jauh dari permukaan, yaitu dengan kedalaman ± 40 meter pada posisi 150 sampai 300 meter, Resistivitas pada zona air ini cukup kecil yaitu 2,8 sampai 5,6 ohm meter, ini berarti pada zona air ini cukup jenuh, Lapisan-lapisan bawah permukaan pada lintasan ini umumnya sama dengan lapisan pada lintasan-lintasan tegak lurus arah terowongan

b. Lintasan Searah Terowongan 2

Lintasan ini dibagi menjadi 6 bagian, masing-masing 80 meter, sedangkan

kedalamannya dibagi menjadi 6 bagian dengan kedalaman 20 meter.



Gambar 9 Penampang tahanan jenis semu lintasan 2 searah terowongan

Lintasan ini mempunyai jangkauan paling dalam, hal ini disebabkan jarak spasi yang digunakan 20 meter, informasi paling banyak diperoleh pada lintasan ini, karena disamping jangkauan yang dalam, juga mempunyai lintasan yang paling panjang bila dibandingkan dengan lintasan-lintasan yang lain, di gambar 9 terlihat zona-zona jenuh air, zona air yang paling dekat ke permukaan terdapat pada titik 430 meter. Resistivitas pada lintasan ini sangat rendah yaitu 1,1 sampai 4,2 ohm meter, ini menandakan bahwa air pada daerah ini sudah jenuh sekali, sedangkan terowongan kereta api terdapat di dalam zona jenuh air ini. Kesalahan pada lintasan ini cukup besar, yaitu 27,7%, ini disebabkan lapisan batuan lebih kompleks dari lapisan batuan pada lintasan lain.

Analisa Pengeboran Zona Jenuh Air

Untuk mengurangi kejenuhan air di atas terowongan Kereta Sasaksaat Padalarang, maka harus dilakukan pengeboran pada zona-zona jenuh air. Dari hasil dari penelitian diperoleh beberapa titik zona jenuh air yaitu:

- a. Pada lintasan tegak lurus arah terowongan zona kejenuhan air terdapat pada ketiga lintasan, lintasan 1 pada titik 50 sampai 75 meter dengan kedalaman ± 10 meter, lintasan 2 pada titik 30 sampai 45 meter dengan kedalaman

± 10 meter dan pada titik 65 sampai 90 meter dengan kedalaman ± 10 meter, pada lintasan 3 terdapat pada titik 20, 50 dan 95 meter, pada titik-titik ini zona air mendekati permukaan. Pada ketiga lintasan ini zona air yang paling jenuh terdapat pada lintasan 3 dengan nilai resistivitas 2,4 ohm meter.

- b. Pada lintasan searah terowongan, masing-masing terowongan saling menguatkan data yang diperoleh. Pada lintasan dengan spasi 10 meter terdapat zona air pada titik 150 sampai 300 meter dengan kedalaman ± 40 , pada lintasan 20 meter titik ini hanya terlihat sedikit. Pada spasi 20 terdapat titik-titik jenuh air pada posisi 380 sampai 540 meter, tetapi yang paling dekat dengan permukaan pada titik 430 meter.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Zona-zona jenuh air terdapat pada setiap lintasan, baik lintasan tegak lurus arah terowongan maupun lintasan searah terowongan, zona jenuh air tiap lintasan mempunyai kedalaman dan resistivitas yang berbeda
2. Demi ketahanan tembok terowongan kereta api Sasaksaat

perlu penambahan penyamenan pada dinding terowongan, namun karena kejenuhan air di atas terowongan sudah jenuh maka terlebih dahulu harus dilakukan pengeboran untuk mengurangi kejenuhan pada zona-zona jenuh air tersebut

Daftar Pustaka

Kample, A., 1999. *Focused imaging of electrical resistivity data in archaeological prospecting*, Journal of Applied Geophysics, vol. 41, pp. 215

Loke, M.H., 1999. *RES2DINV ver. 3.3 for windows 3.1. 95 and NT; Rapid 2D resistivity & IP inversion using the least-squares method (wenner, dipole-dipole, inline pole-pole, pole-dipole, equatorial*

dipole-dipole, schlumberger) On land and cross-borehole surveys, Penang, Malaysia

Taib, M. I. T., 1999. *Dasar Metode Eksplorasi Tahanan Jenis galvanik*; Diktat kuliah metode geolistrik, Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, ITB, Bandung, pp 1-4

Telford, W., L. P. Geldart and R. E. Sheriff, 1997. *Applied Geophysics: Second Edition*, Cambridge University Press, USA, 286, 522-538

Todd, D. K., 1995. *Groundwater Hydrology*, John Wiley and Sons

Zhdanov, M. S and G. V. Keller, 1993, *The Geoelectrical Method in Geophysical Exploration*, Elsevier, Amsterdam