

# Penggunaan kaedah pengimejan keberintangan geoelektrik dan isotop sekitaran dalam kajian air resapan di empangan Durian Tunggal, Melaka

RAHMAN B. YACCUP<sup>1</sup>, WAN ZAKARIA B. WAN MUHAMAD TAHIR<sup>1</sup> & MOHD KHALID B. NASIR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Penyelidikan Teknologi Malaysia (MINT)

<sup>2</sup>Perbadanan Air Melaka (PAM)

**Abstrak:** Kajian menggunakan kaedah pengimejan keberintangan geoelektrik dan nuklear (isotop stabil) dilakukan untuk mengenalpasti punca terbitnya air resapan di kaki sayap sebelah kiri empangan Durian Tunggal, Melaka sehingga menyebabkan wujudnya tompokan air di kaki empangan berkenaan. Kaedah nuklear digunakan untuk mengesan punca air resapan dengan menganalisis kandungan isotop stabil oksigen-18 dan deuterium (H-2) dalam sampel air yang dipungut di kawasan kajian. Sementara itu, maklumat mengenai lokasi dan taburan air resapan diperolehi daripada kajian pengimejan keberintangan geoelektrik yang digambarkan dalam bentuk profil 2-D. Hasil kajian menunjukkan kehadiran air resapan di kaki empangan dikaitkan dengan berlakunya kebocoran paip air yang di tanam di kaki empangan melalui 'Bounded Storage' dan sebaliknya ke di Sg. Melaka.

**Abstract:** A study using geoelectrical resistivity imaging and nuclear techniques (stable isotopes) was undertaken to identify the source of emerging seepage water at the left downstream abutment of the Durian Tunggal dam. Nuclear technique is used to identify the source of wet areas/ seepage water by analyzing stable isotopes oxygen-18 and deuterium (H-2) compositions from a set of collected water samples. Whilst, information on the location and extent of seepage paths in the specified zone of interest are provided by a 2-D geoelectrical resistivity imaging techniques. Results of the study indicate that the origin of emerging seepage water found at the left downstream abutment is related to the seepage paths coming from the suspected broken buried pipeline carrying water from the bounded storage to the reservoir.

## PENDAHULUAN

Satu kajian air resapan telah dilakukan di Empangan Durian Tunggal Melaka (Rajah 1) bagi membantu pihak empangan menyelesaikan masalah yang mereka hadapi. Masalah air resapan ini mula berlaku beberapa tahun yang lalu dan menjadi amat ketara setelah berlaku sedikit gelongsoran tanah di tepi cerun sayap kiri empangan dan keadaan kaki empangan yang sentiasa basah dan lembab. Ia berlaku tanpa mengira musim sama ada pada musim kemarau atau musim hujan. Bencana kemarau panjang yang melanda negara pada tahun 1997 menyebabkan air empangan menurun ke paras kritikal tetapi tahap air resapan yang berlaku masih pada keadaan normal. Ini membimbangkan pihak empangan dan menyukarkan mereka untuk mengenalpasti punca air resapan yang berlaku.

Tinjauan di lapangan mendapati permukaan tanah di kaki empangan sebelah kanan (arah menghadap empangan) dalam keadaan basah sehingga ada aliran air bergerak ke arah parit di bawah cerun. Kesan aliran air ini terdapat di sepanjang parit (Rajah 2) dan di tepi cerun sebelah kanan (Rajah 3). Berdasarkan maklumat awal yang diberi oleh pihak empangan, terdapat saluran paip sepanjang 7.1 km yang berdiameter 1.2 m digunakan untuk menyalurkan air dari empangan ke 'Bunded Storage' atau sebaliknya. Paip ini dikhuatiri pecah / bocor atau kemungkinan berlaku resapan air dari empangan atau daripada punca-punca air

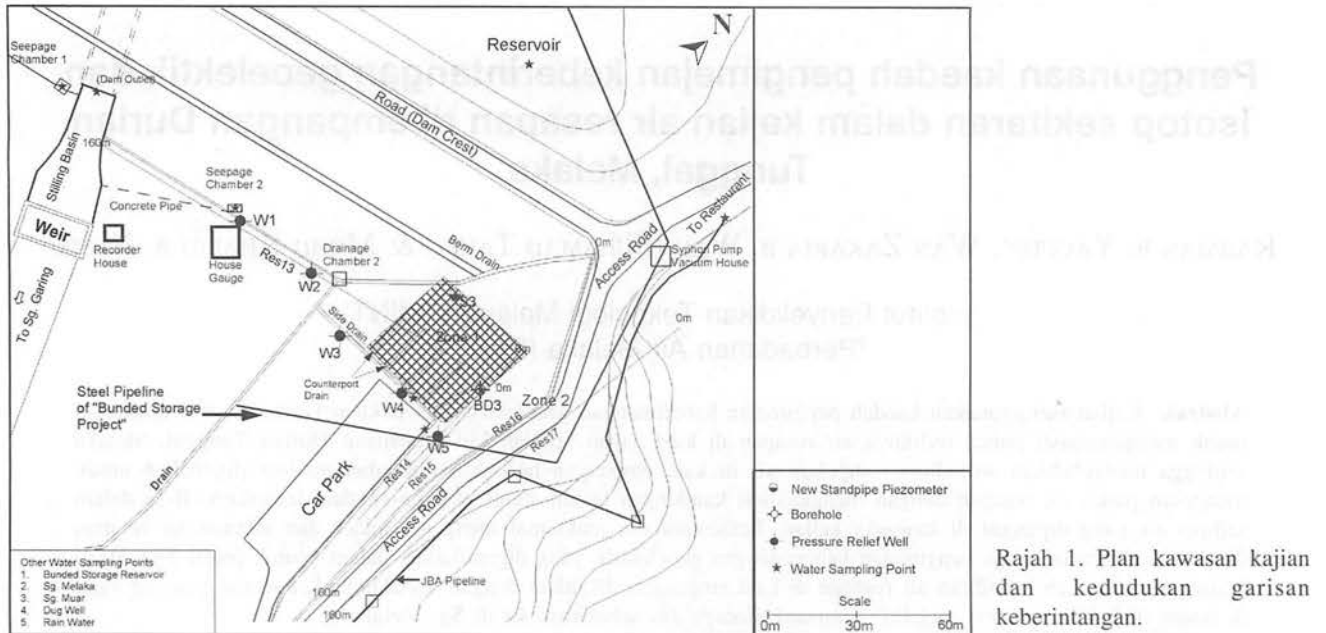
yang lain. Oleh itu satu kajian menggunakan kaedah pengimejan kerintangan geoelektrik telah dilakukan bagi menentukan punca dan taburan air resapan yang berlaku di kawasan berkenaan.

## BAHAN DAN METODOLOGI

### Kaedah Kerintangan Geoelektrik

Kaedah keberintangan geoelektrik merupakan satu kaedah geofizik yang telah diperkenalkan sejak awal kurun ke 20 untuk mengkaji struktur bawah permukaan, penjelajahan mineral ekonomi dan air tanah. Kaedah ini hanya giat digunakan bermula pada tahun 1970an di mana penggunaannya semakin meluas kepada bidang kejuruteraan terutamanya dalam kajian pendasaran atau penyiasatan tapak pembinaan yang melibatkan pemetaan kedudukan batu dasar, kehadiran bongkah batuan, lohong (cavity) dan sebagainya. Kaedah ini telah berkembang penggunaannya dalam bidang carigali arkeologi terutamanya dalam mencari tapak binaan purba yang tertimbus di bawah permukaan (Reynolds, 1997).

Kaedah ini tidak agresif dan tidak memusnahkan bahan atau struktur yang dikaji. Ia boleh dilakukan berulang kali dengan menggunakan kos yang amat rendah dan mampu menentukan kedudukan struktur-struktur geologi di bawah permukaan (Griffith & Barker, 1993). Kaedah pengimejan keberintangan geoelektrik merupakan pendekatan terbaru



Rajah 1. Plan kawasan kajian dan kedudukan garis keberintangan.

dalam kaedah keberintangan yang menggunakan elektrod yang banyak. Data diperolehi secara automatik dengan bantuan peralatan dan komputer. Dalam kajian ini, konfigurasi elektrod Wenner telah digunakan dengan menyambung alat Sistem Pemilih Elektrod LUND (LUND Electrode Selector System) dengan 4 kabel multicore (Multicore cable) yang digunakan untuk menyambung 61 batang elektrod. Sistem Pemilih Elektrod LUND pula akan di sambung dengan Terrameter SAS 300C untuk mengukur nilai kerintangan bahan yang berada di kawasan kajian. Satu komputer bimbit disambung dengan Terrameter SAS 300C yang digunakan untuk merekod data yang diperolehi dari Terrameter secara terus. Setiap garisan survei mengandungi 277 data yang kemudiannya diproses dengan menggunakan Perisian RES2Dinv bagi memperolehi imej keberintangan dalam bentuk 2-D (Loke & Baker, 1996).

Sebanyak 16 garisan survei telah dibuat iaitu 12 garisan berada kaki empangan sebelah kanan iaitu garisan Res1 sehingga Res12 (Zone 1), 2 di bawah cerun jalan (Res 14 & Res15) dan masing-masingnya satu di kiri (Res 16) dan kanan (Res 17) jalan menuju ke puncak empangan (Rajah 1). Garisan Res 14, Res 15, Res 16 dan Res 17 dibuat memotong saluran paip yang tertanam di dalam tanah (Rajah 1).

### Kaedah Isotop Sekitaran

Beberapa set sampel air (30ml/setiap satu) telah dipungut dari berbagai lokasi iaitu dari empangan yang diambil pada kedalaman yang berbeza, air dari sungai berhampiran (Sg. Melaka & Sg. Muar), air dari lubang-lubang gerudi, lubang piezometer, air "bunded storage (BSW)", air resapan terkawal dari "chambers" dan parit (drainage), dan air resapan yang keluar dari permukaan tanah (i.e., sebagai air permukaan tak terkawal). Kesemua sampel-sampel ini dianalisis bagi memperolehi kandungan



Rajah 2. Permukaan parit (drain) yang sentiasa basah.



Rajah 3. Kadar aliran air resapan yang sentiasa tetap tanpa mengira musim hujan atau kemarau.

deuterium dan oksigen-18. Kandungan isotop stabil  $^2\text{H}$  dan  $^{18}\text{O}$  dalam sampel air tersebut masing-masing dianalisis dalam bentuk ( $^2\text{H}/^1\text{H}$ ) dan ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) yang dibandingkan dengan nisbah rujukan standard dengan menggunakan alat Mass Spectrometer SIRA-2.

Secara semulajadi hidrogen yang membentuk molikul air mempunyai 3 isotop yang utama iaitu hidrogen (H-1), Deuterium (H-2) dan Tritium (H-3). Hidrogen (H-1) merupakan isotop utama yang mudah dibebaskan melalui proses penyejatan dan evaporasi. Tritium pula merupakan isotop radioaktif dari molekul air tersebut yang secara relatif mengalami penyusutan yang lebih banyak berbanding dengan Deuterium. Sementara itu Oksigen pula wujud sebagai O-16 dan O-18 dalam air di mana kandungan O-16 lebih mudah terbebas berbanding dengan O-18 kerana perbezaan berat unsur. Proses fizikal seperti evaporasi dan penyejatan dan lain-lain boleh merubah (variasi) nisbah isotop-isotop stabil  $^2\text{H}/^1\text{H}$  dan  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  di dalam sampel air yang mewakili lokasi tertentu dan secara tidak langsung variasi sedemikian berkemungkinan membolehkan "finger-print" air dapat dikaitkan dengan asal-usul (origins) dan saling hubungan di antara nya dapat dikenalpasti.

Analisis kandungan deuterium dan oksigen-18 dibuat untuk menentukan punca air resapan yang berada di kaki empangan tersebut. Kandungan  $^2\text{H}$  dan  $^{18}\text{O}$  akan diplotkan dalam graf yang sama dan akan dibandingkan kandungan  $^2\text{H}$  dan  $^{18}\text{O}$  dalam sampel air resapan dengan sampel dari punca lain (Sungai, empangan, piezometer, lubang gerudi dan parit (drainage)). Pada umumnya, jika kandungan  $^2\text{H}$  dan  $^{18}\text{O}$  sampel hampir sama dengan sampel air resapan maka punca air resapan itu besar kemungkinan mempunyai hubungan kait dengan sampel berkenaan (i.e., dari komponen air yang sama).

## HASIL DAN PERBINCANGAN

### Kaedah Kerintangan Geoelektrik

Secara keseluruhannya, kajian mendapati beberapa kawasan yang berkerintangan rendah mewakili kawasan yang lembab (100 Ohm-m – 200 Ohm-m) dan tepu air (kurang dari 100 Ohm-m). Manakala nilai kerintangan yang lebih tinggi mungkin disebabkan oleh tanah yang tidak mampat, kawasan tambakan, kawasan kering dan batuan dasar. Perbincangan akan dibuat dalam dua bahagian iaitu Zon 1 dan Zon 2. Zon 1 yang terletak di kaki empangan dan zon 2 terletak di sayap kiri empangan (Rajah 1).

### Kawasan Zon 1

12 garisan resistiviti yang dibina di sini menunjukan berlakunya peningkatan terhadap nilai keberintangan bahan menghala ke atas (upstream). Garisan yang menunjukkan keberintangan yang rendah dijumpai di garisan Res 1 dan Res 2 (Rajah 4). Zon keberintangan rendah dijumpai di bahagian bawah dan atas profil Res 1 dan Res 2. Bahagian

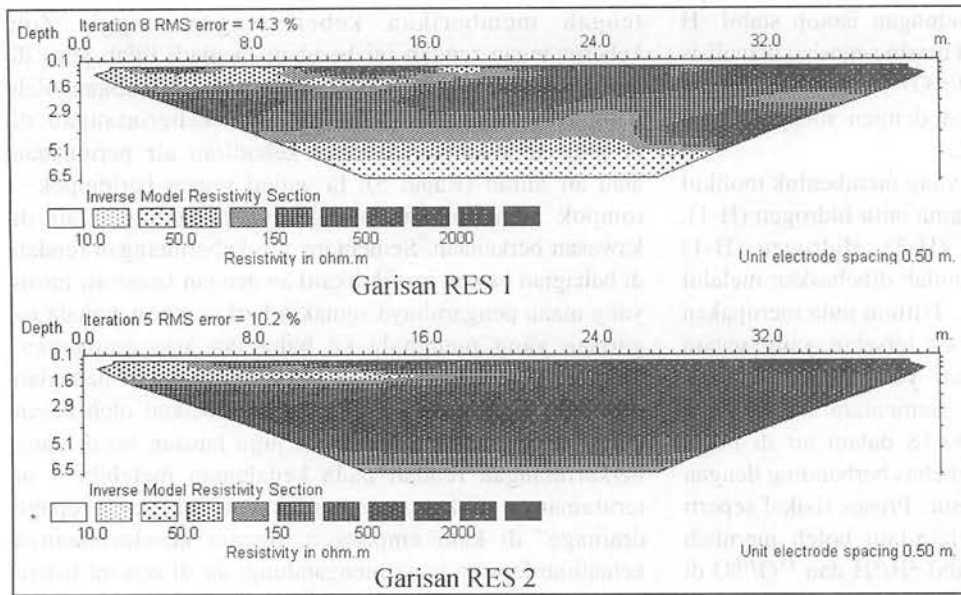
tengah memberikan keberintangan tinggi. Zon keberintangan rendah ini berubah menjadi tidak jelas di garis Res3 sehingga Res12, mungkin disebabkan oleh pengaruh topografi. Taburan nilai keberintangan di permukaan dikaitkan dengan kehadiran air permukaan atau air aliran (Rajah 5). Ia wujud secara bertompok –ompok menunjukkan berlakunya penakungan air di kawasan berkenaan. Sementara zon keberintangan rendah di bahagian bawah profil dikaitkan dengan kesan air tanah yang mana pengaruhnya semakin berkurangan menghala ke garisan yang menghala ke bahagian atas empangan. Taburan kerintangan rendah hanya tertumpu di bahagian atas iaitu kurang dari 2 m yang diakibatkan oleh kesan aliran air permukaan. Terdapat juga lapisan tanah yang berkerintangan rendah pada kedalaman melebihi 4 m terutamanya di kawasan berdekatan dengan "seepage drainage" di kaki empangan. Secara keseluruhannya kehadiran lapisan yang mengandungi air di zon ini hanya bersifat lokal dan tidak menyeluruh dan punca air resapan masih tidak dijumpai.

### b) Kawasan Zon 2

Sebanyak empat garisan survei dibuat memotong saluran paip bawah tanah berdiameter 1.2 m yang digunakan untuk membekalkan air ke empangan dari Sg. Melaka semasa paras air empangan kritikal dan akan menyalurkan air empangan ke Sg. Melaka semasa musim kemarau. Hasil survei menunjukkan (Rajah 6), profil keberintangan bahan untuk keempat-empat garisan survei dapat mengesan salur paip ini pada kedalaman sekitar 4-6 m dari permukaan. Garisan survei Res14 dan Res15 yang terletak di kaki cerun sayap kanan empangan menunjukkan tidak ada kesan air resapan yang ketara selain daripada kesan kehadiran saluran paip yang ditunjukkan oleh kontur keberintangan rendah dalam profil keberintangan songsang yang diperolehi.

Garisan Res16 terletak berhampiran dengan cerun sayap kiri empangan (left abutment) dan dipisahkan dengan Res17 oleh jalan selebar ~6m. Hasil yang diperolehi menunjukkan terdapat dua kawasan yang mempunyai nilai keberintangan yang rendah iaitu pada kedudukan elektrod 25-35 (48 m-68 m) dan elektrod nombor 41 – 45 (80 m-88 m). Masing-masingnya pada kedalaman 5m dan 2m dari permukaan (Rajah 6). Nilai kerintangan yang rendah (<100 Ohm-m) ditafsirkan sebagai kawasan lembab yang secara relatifnya bersifat lembut. Zon keberintangan rendah pada kedudukan 80-88 m terjadi akibat daripada saluran paip bawah permukaan yang terdapat di kawasan berkenaan. Sementara zon kerintangan rendah pada kedudukan 48-68 m masih tidak diketahui puncanya. Kemungkinan dengan melihat keputusan dari Res17 akan membantu dalam mentafsirkan keadaan yang dijumpai di sini.

Garisan Res17 juga menunjukkan hasil yang hampir sama seperti dalam Res16 tetapi jalur zon keberintangan rendah lebih panjang dan ia bergerak menuju ke lapisan lebih bawah. Ini menunjukkan terdapatnya zon tepu air



Rajah 4. Profil keberintangan geoelektrik RES 1 dan RES 2.

yang berpunca dari bahagian atas. Berdasarkan kepada tafsiran ini, kemungkinan besar terdapat kebocoran kepada paip sehingga menyebabkan air meresap ke bawah. Sebahagian daripada air ini telah menyusup ke permukaan cerun dan mengalir ke dataran kaki empangan (zon 1) menyebabkan permukaan kaki empangan lembab dan basah.

**Kaedah Isotop Sekitaran**

Dalam keadaan normal nisbah kandungan Oksigen-18 dan Deuterium masing-masing berbanding dengan Oksigen-16 dan Hidrogen-1 dalam air adalah 0.2% dan 0.015%. Analisa dilakukan dengan membuat perbandingan kepekatan kandungan isotop semulajadi dalam sampel dengan SMOW (Standard Mean Ocean Water). Nilai SMOW yang digunakan sebagai rujukan ialah sifar untuk kedua-dua isotop. Secara umumnya kandungan kedua-dua isotop dalam sampel air yang dipungut selalunya rendah (nilai negatif) berbanding SMOW.

Sebanyak 22 sampel air telah dianalisa, hasil kajian menunjukkan kandungan Deuterium dan Oksigen 18 dalam sampel air empangan masing-masingnya berjulat di antara -5.55‰ sehingga -5.26‰ dan -37.48‰ sehingga -34.39‰. Nilai yang diperolehi ini adalah tinggi kandungannya berbanding dengan sampel lain. Kandungan isotop dari air tanah (lubang gerudi dan piezometer) menunjukkan kandungan isotop yang rendah iaitu -7.39‰ sehingga -7.21‰ (O-18) dan -43.39‰ sehingga -40.29‰ (Deuterium) kerana air tersebut tidak mudah terdedah kepada proses evaporasi. Berbanding dengan kandungan Deuterium dan Oksigen 18 bagi air resapan (seepage water) yang diambil di kaki empangan di dapati kandungan isotopnya terletak di antara kedua-dua sumber air tersebut. Ini mungkin disebabkan oleh:

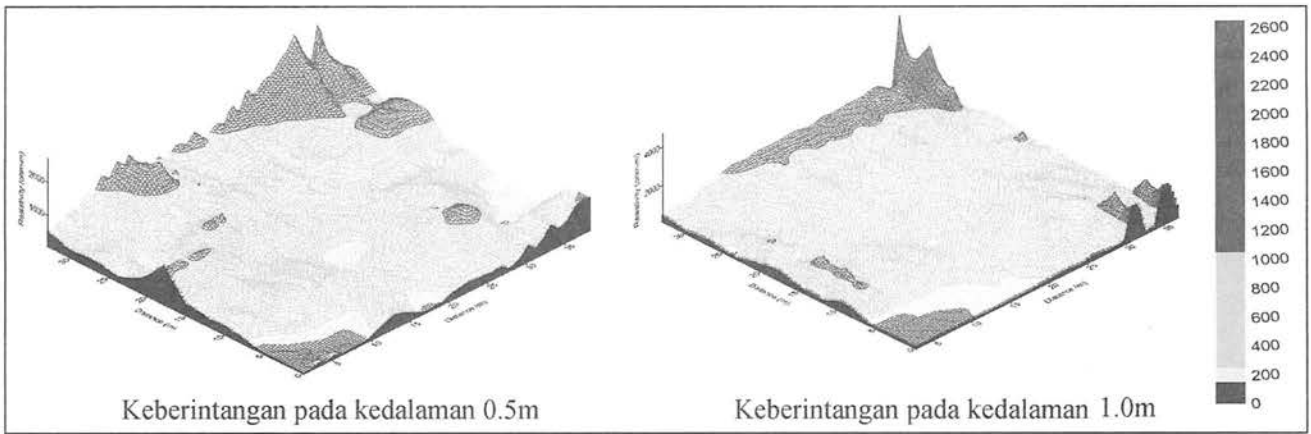
- 1) Kesan pencampuran air empangan dan air tanah, atau
- 2) Kebocoran paip air yang menyalurkan air dari Sungai

Jadual 1. Keberintangan dan kekonduksian beberapa batuan, tanah dan air (ubahsuai daripada Keller & Frishcknecht, 1966).

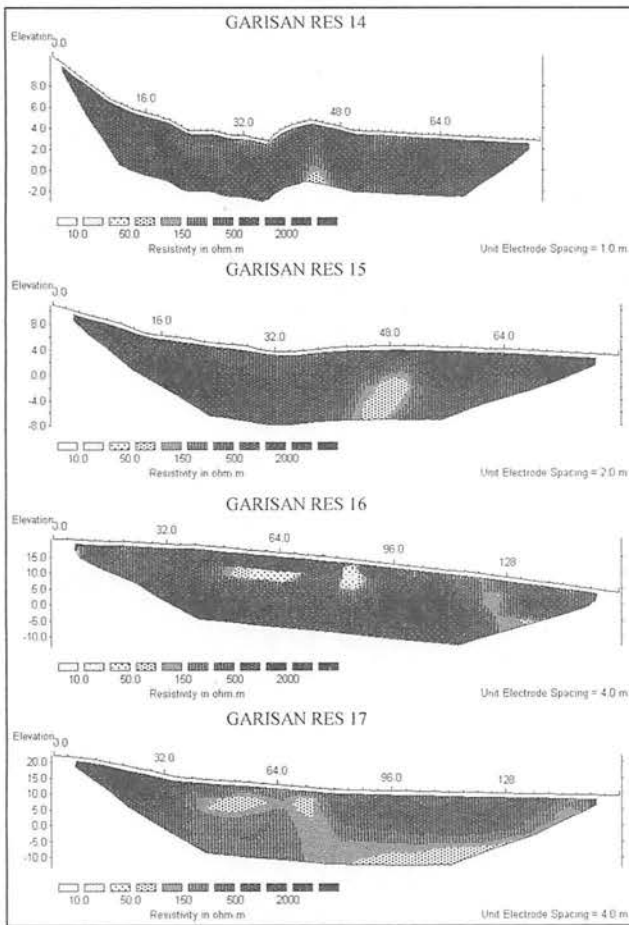
Bahan	Kerintangan (Ohm-m)	Kekonduksian (Ohm-m) <sup>-1</sup>
<b>Batuan Igneus dan metamorfik</b>		
Granit	5 X 10 <sup>3</sup> - 10 <sup>6</sup>	10 <sup>-6</sup> - 2.0 X 10 <sup>-4</sup>
Basalt	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>6</sup>	10 <sup>-6</sup> - 10 <sup>-3</sup>
Syis	50-10000	2 X 10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>-4</sup>
Marmar	10 <sup>2</sup> - 2.5 X 10 <sup>8</sup>	4.0 X 10 <sup>-9</sup> - 10 <sup>-2</sup>
Kuarzit	10 <sup>2</sup> - 2.0 X 10 <sup>8</sup>	5 X 10 <sup>-9</sup> - 10 <sup>-2</sup>
Hornfel	8 X 10 <sup>3</sup> - 6.0 X 10 <sup>7</sup>	1.7 X 10 <sup>-8</sup> - 1.3 X 10 <sup>-4</sup>
<b>Batuan Sedimen</b>		
Batu pasir	8 - 4.0 X 10 <sup>3</sup>	2.5 X 10 <sup>-4</sup> - 0.125
Syal	20 - 2.0 X 10 <sup>3</sup>	5.0 X 10 <sup>-4</sup> - 0.05
Batu kapur	50 - 4.0 X 10 <sup>2</sup>	2.5 X 10 <sup>-3</sup> - 0.02
<b>Tanah dan Air</b>		
Lumpur	1-100	1-0.01
Aluvium	10-800	1.25 X 10 <sup>-3</sup> - 1.7 X 10 <sup>-3</sup>
Air	10-100	0.01-0.1
Air Laut	0.15	6.7

Melaka (bunded storage/BSW) ke empangan. Kandungan isotop BSW ini adalah -6.84‰ (O-18) dan -41.46‰ (Deuterium).

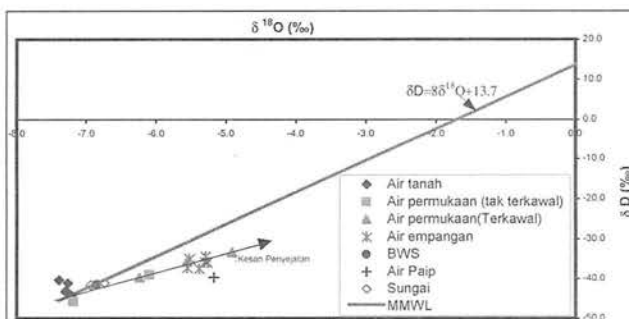
Berdasarkan daripada kajian keberintangan geoelektrik, terdapat satu zon keberintangan rendah di kawasan kajian iaitu di sekitar saluran paip yang menyalur air dari Sg. Melaka (BSW). Jadi pengaruh air tanah dan air empangan terhadap kehadiran zon keberintangan rendah ini adalah sedikit. Ia lebih kepada kesan kebocoran paip yang menyebabkan kawasan kaki empangan sentiasa basah tanpa mengira musim. Daripada kajian isotop sekitaran ini didapati kandungan isotop dalam air resapan lebih menjurus kepada kandungan isotop dalam air BSW dan bukan dari empangan. Nilainya agak tinggi sedikit dari kandungan isotop air tanah.



Rajah 5. Gambaran 3-D nilai kerintangan geoelektrik bahan untuk kedalaman 0.5 m dan 1.0 m (Zon 1).



Rajah 6. Profil keberintangan geoelektrik RES 14 – RES 17.



Rajah 7. Plot kandungan isotop δD vs δ<sup>18</sup>O dalam sampel air bagi empangan Durian Tunggal.

### KESIMPULAN

Secara amnya kajian telah mendapati:

- i. Air resapan yang muncul di kaki empangan berpunca daripada kebocoran paip bawah permukaan yang berada di bahagian kaki empangan dan sayap empangan.
- ii. Kebocoran paip kemungkinan berlaku di bawah jalan menuju ke puncak empangan iaitu di kawasan jalan yang lekuk (soil depression)
- iii. Kesan basah yang berada di kaki empangan (zon 1) berpunca daripada aliran air permukaan dari kebocoran paip dan daripada tekanan air liang iaitu peningkatan terhadap paras air tanah.
- iv. Lapisan berair (wet areas) yang dijumpai dekat dengan parit di kaki empangan adalah dipercayai akibat dari kedudukan paras air tanah (water table) yang hampir kepada paras permukaan tanah yang mana kesan ini tidak dijumpai untuk kawasan yang bertopografi lebih tinggi.

### RUJUKAN

• GRIFFITHS, D.H & BARKER R.D., 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, 29, 211-226.

KELLER, G.V. & FRISCHKNECHT, F.C., 1966. *Electrical methods in geophysics prospecting*, Pergamon Press Inc. Oxford.

LOKE, M.H. & BARKER, R.D., 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.

REYNOLDS, J.M., 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley & Sons Inc.