

Teknik geofizik dalam kajian tanah runtuh di kawasan Bau, Sarawak

UMAR HAMZAH, ABDUL RAHIM SAMSUDIN, RAHMAN YACCUP, ABDUL GHANI RAFEK, MOHD HAFIZAL MAD ZAHIR DAN LAKAM MEJUS

Program Geologi, Pusat pengajian Sains Sekitaran & Sumber Alam,
Fakulti Sains & Teknologi, 43600 UKM Bangi, Selangor D.E.

Abstrak: Teren batu kapur atau kars biasanya adalah tempat yang amat mudah untuk berlakunya amblesan permukaan yang boleh memusnahkan harta benda dan nyawa. Runtuhan permukaan dan lubang benam dalam teren batu kapur ini berpunca daripada proses pelarutan dalam batu kapur yang biasanya ditutupi oleh aluvium. Proses pelarutan biasanya berlaku di bahagian retakan atau rongga yang diisi oleh air hujan atau air bawah tanah. Oleh itu kajian untuk mengenal pasti sebarang kemungkinan untuk berlakunya runtuhan adalah amat penting sebelum sebarang projek binaan dilakukan dikawasan batu kapur. Kertas kerja ini membentang beberapa teknik survei geofizik permukaan untuk mengesan rongga dan retakan bawah tanah dikawasan runtuhan batu kapur di sekitar Bau, Sarawak. Teknik-teknik survei yang digunakan ialah seismos biasan, seismos pantulan dan pengimejan geoelektrik. Alat yang digunakan untuk kajian seismos biasan dan pantulan ialah ABEM Terraloc MK3 bersama dengan pengesan berfrekuensi 100Hz. Punca tenaga gelombang bunyi ditusukkan ke dalam bumi menggunakan ketukan tukul 5kg ke atas kepingan besi yang diletakkan diatas jalan bertar. Sejumlah 24 pengesan yang disusun sebaris dengan punca digunakan untuk menerima isyarat yang kembali ke permukaan. Isyarat-isyarat tersebut diproses untuk menghasilkan profil jarak-kedalaman dan keratan rentas seismos 2-D. Nilai halaju yang diperolehi digunakan untuk mentafsir batuan dan struktur yang terdapat didalamnya. Manakala teknik pengimejan geoelektrik pula mengguna pakai alat ABEM AC Terrameter bersama-sama dengan 50 elektrod keluli untuk menyalurkan arus elektrik ke dalam bumi dan menyukat beza keupayaan bahan bumi. Keratan rentas pseudo 2-D yang dihasilkan menunjukkan perubahan kerintangan secara sisi dan menegak. Perubahan ini digunakan untuk mentafsir bahan bumi berserta dengan jenis kandungan air tanah yang dikandungi. Dalam kajian ini, ketiga-tiga teknik tersebut telah dicuba disatu retakan periferil berbentuk bulatan bergaris pusat 8m untuk menganggarkan sebarang retakan atau rongga yang terdapat di bawahnya. Ketiga-tiga teknik ini berjaya mengesan rongga dan sesar di sekitarnya di bawah retakan tersebut. Kedalaman dan lebar rongga adalah diantara 7-10 m.

Abstract: Limestone terrain or karst is susceptible to surface collapse or subsidence which could cause damage to property and loss of life. Surface depressions in the limestone terrain which is always covered by alluvium may be caused by solution in the limestone. Dissolution of the limestone always take place along discontinuities or cracks and cavities which are filled up by rain water or subsurface solution. Therefore it is necessary to investigate the possibility of collapse before any project in limestone areas is carried out. This paper presents a few surface geophysical techniques to detect subsurface cavities and cracks in collapsed limestone in the Bau area, Sarawak. These techniques include seismic refraction, seismic reflection and geoelectrical imaging. ABEM Terraloc MK3 seismograph together with 100 Hz frequency detectors are used for the seismic work. Sound wave energy is produced by impinging a 5 kg sledgehammer on a squared steel plate placed on the tarmac road. A total of 24 detectors which are linearly arranged with the source are used to receive signals returning to the surface. These signals are then processed to produce profiles of distance versus depth and 2-D seismic sections. Velocity values calculated are used for rocks and structural interpretations. On the other hand, ABEM AC Terrameter is the instrument used in the geoelectrical survey together with a total of 50 steel rods representing electrodes for injecting currents into the ground and measuring the potential difference between them. Final 2-D pseudosection shows the resistivity distribution laterally and vertically. This variation is used for interpreting the earth material and the type of water content in it. In this study, the three techniques were tried in order to detect any possible cavity or cracks underneath a peripheral shaped cracks on the tarmac road. These techniques have more or less been able to detect the presence of a sinkhole with faults surrounding it underneath the cracks. Depth and width of the cavity is about 7-10 m.

PENDAHULUAN

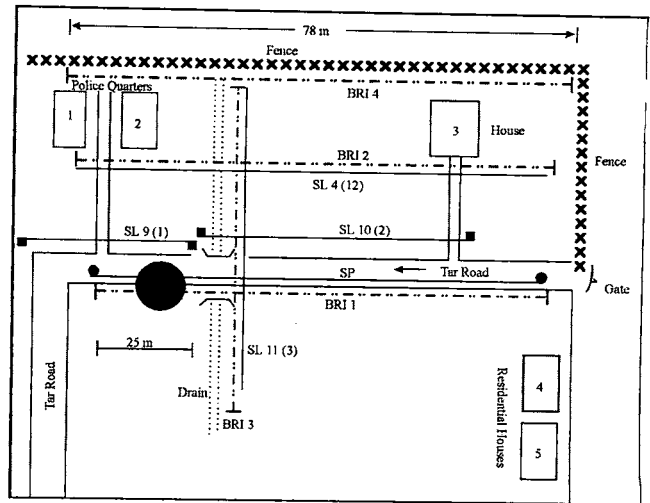
Chow *et al.* (1996) menyatakan bahawa tapak binaan di kawasan yang bermorfologi kars seringkali ditimpa masalah geoteknik terutama semasa penanaman cerucuk. Masalah yang dimaksudkan ialah samada cerucuk besi atau konkrit tersebut mungkin bersandar diatas bumbung rongga yang besar atau disisi puncak pinakel atau pun mungkin diatas puncak tebing tergantung. Tebing

tergantung tersebut akan lama kelamaan akan jatuh dan seluruh sistem cerucuk akan gagal dan akibatnya akan berlaku kemusnahan terhadap sebarang binaan yang dibuat di bahagian di atasnya. Begitu juga dengan cerucuk yang ditanam di atas rabung nipis yang dibawahnya terdapat rongga besar dalam batu kapur. Jika sekiranya bahagian rabung mengalami pelarutan dan runtuh maka sistem cerucuk tersebut juga akan gagal dan memusnahkan bangunan yang dibina di bahagian atasnya. Manakala

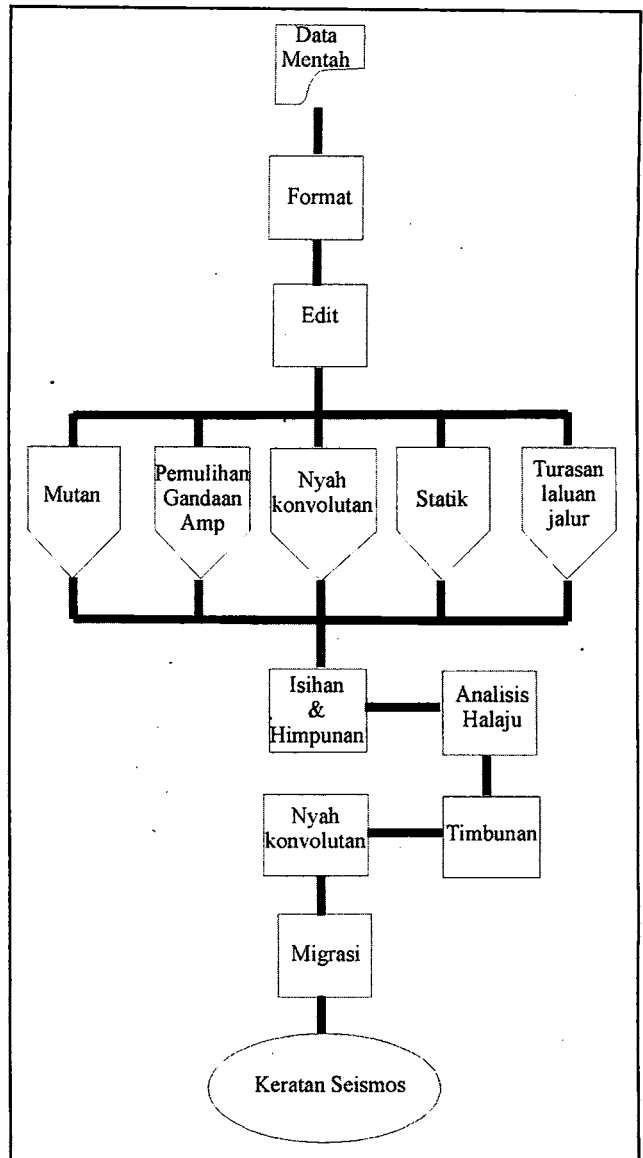
cerucuk yang terkena puncak pinakel akan besar kemungkinan menghadapi lencongan menyebabkan cerucuk yang ditanam menjadi senget dan tidak akan diluluskan oleh pihak yang bertanggung jawab dan terpaksa diganti dengan dua cerucuk. Oleh itu untuk mengetahui keadaan sebenar morfologi kars tersebut mereka mencadangkan agar setiap satu penggerudian dibuat dengan jarak 20 m (Ting, dalam Chan, 1986). Langkah ini akan mengambil masa yang lama dan belanja yang besar. Jamaludin Othman (1996) menyarankan cara yang mudah dan berkesan untuk mengesan fenomena tersebut ialah dengan menjalankan survei geofizik permukaan seperti teknik mikrograviti, seismos pantulan dan georadar. Penggunaan teknik geofizik dalam mengesan sesar dalam batu kapur juga telah dilaporkan oleh Umar Hamzah *et al.*(1998). Untuk terus menguji keberkesanan teknik-teknik geofizik permukaan dalam mengimej morfologi bawah tanah teren kars, beberapa teknik geofizik telah diguna pakai untuk menyiasat satu retakan berbentuk periferal atau bulat dengan depresi se dalam 1-3 cm yang berada di atas jalan tar di kawasan runtuhan batu kapur disekitar Bau, Sarawak (Rajah 1). Kertas ini membentangkan hasil kajian yang telah dijalankan menggunakan teknik seismos biasan, pantulan dan pengimejan geoelektrik.

TEKNIK LAPANGAN

Kaedah lapangan bagi teknik seismos pantulan adalah modifikasi dari teknik yang digunakan dalam penjelajahan petroleum dilautan. Punca gelombang bunyi dan pengesan disusun dalam satu baris dan dianjatkan serentak sekali gus pada sela jarak yang tetap disepanjang garis survei. Susunatur timbunan (stack array) ini menggunakan penemuan yang dibuat oleh Mayne (1962). Tukul besi seberat 5 Kg yang dihentakkan keatas kepingan besi segi empat diatas jalan bertar untuk menghasilkan tenaga gelombang bunyi maksimum sekitar 200 Hz Gelombang P yang menusuk ke dalam tanah tersebut secara teorinya akan dipantul-bias di sempadan peralapisan atau sebarang struktur yang mempunyai perbezaan impedans akustik. Rentetan gelombang-gelombang tersebut akan kembali kepermukaan tanah dan akan dikesan oleh sejumlah 24 pengesan berfrekuensi optimum 100 Hz. yang diletakkan pada jarak ofset 10m dari punca. Jarak di antara setiap pengesan ialah 1 m. Sela anjakan (n) punca-pengesan di sepanjang garis survei ialah 1m. Teknik susunatur ini akan menghasilkan liputan di sepanjang pemantul sub-permukaan pada sela 0.5 m dan disetiap titik pemantul akan diperolehi $24/2(n)=12$ pantulan dari kedudukan punca-pengesan yang berlainan di sepanjang anjakan. Oleh sebab itu teknik ini dikenali juga sebagai susunatur titik kedalaman sepunya (common depth point) dan dalam kes ini akan menghasilkan liputan 12 liputan titik kedalaman sepunya. Data lapangan akan disimpan kedalam disket untuk pemprosesan selanjutnya menggunakan perisian komputer WINSEIS yang ditulis oleh Somanas *et al.* (1992). Carta alir pemprosesan diberikan dalam Rajah 2. Secara umum



Rajah 1. Lokasi garis survei seismos biasan (SL), seismos pantulan (SP), pengimejan geoelektrik (BRI) dan retakan periferal yang direntasi (bulatan hitam).

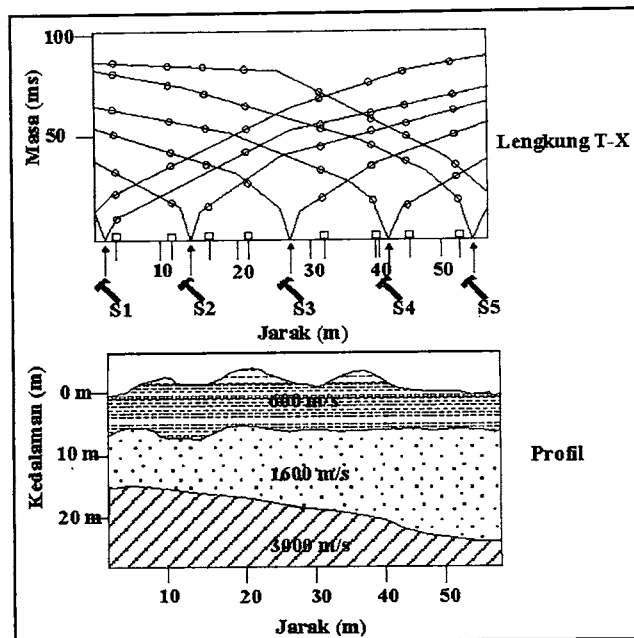


Rajah 2. Carta alir pemprosesan data seismos pantulan.

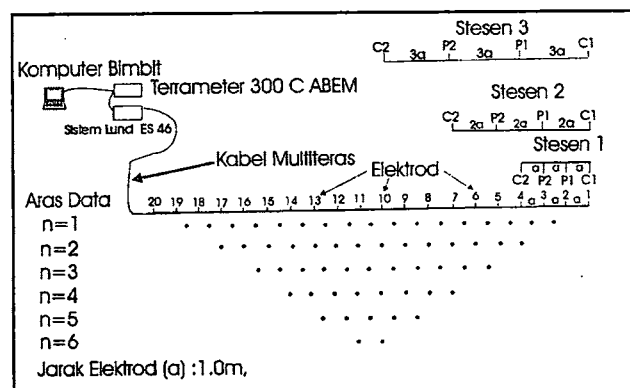
pemrosesan dimulai dengan peringkat pengeditan untuk mengeluarkan data yang rosak dan gangguan lain, diikuti dengan nyahkonvolutan untuk mengimbangi faktor serapan gelombang yang bergerak jauh ke dalam bumi sehingga gelombang asal bertukar menjadi gelombang yang berfrekuensi lebih rendah. Selain dari pembetulan nyahkonvolutan, penurasan frekuensi juga boleh dilakukan pada peringkat ini untuk menyingkirkan gelombang-gelombang yang tidak dikehendaki. Peringkat seterusnya ialah penghimpunan gelombang-gelombang pantulan atau surihan yang berasal dari setiap titik pantulan disepanjang garis survei. Himpunan-himpunan tersebut akan digunakan untuk membuat analisis halaju di mana halaju bagi setiap pemantul akan ditentukan dan digunakan dalam peringkat pembetulan halaju. Setelah pembetulan halaju, kesemua surihan akan ditimbun atau dicampur untuk menghasilkan satu surihan pantulan sahaja di setiap titik pantulan. Surihan ini adalah mewakili gelombang yang seolah-olah dilepaskan dari punca lalu bergerak terus ke dalam bumi secara menegak kebawah dan terpantul secara menegak untuk kembali ke permukaan. Peringkat terakhir ialah untuk membetulkan kesan kelengkungan yang terdapat pada sebarang struktur dalam bumi sehingga mengujudkan difraksi pada gelombang yang langgarinya. Peringkat ini dikenali sebagai migrasi. Hasil akhir pemrosesan ialah keratan seismos dalam bentuk 2-D yang merupakan imej fotografi keratan bumi di bawah sesuatu garis survei. Oleh itu sebarang keratan seismos boleh ditafsirkan secara langsung berpandukan morfologi atau bentuk-bentuk fitur yang dipamirkan didalam keratan rentas seismos tersebut.

Kaedah kedua iaitu seismos biasan adalah teknik yang biasa digunakan untuk mengkaji kekerasan bahan sub-permukaan yang cetek di sekitar 10-20 meter khususnya dalam penyiasatan tapak kejuruteraan. Hentakan tukul keatas kepingan besi digunakan sebagai cara untuk menghasilkan gelombang bunyi. 24 pengesan berfrekuensi rendah (14 Hz) disusun pada satu garis survei dan sumber gelombang bunyi dihasilkan di tujuh titik di sepanjang garis survei. (Rajah 3). Dua ofset jauh dilakukan di bahagian kiri dan kanan rebakan pengesan bertujuan untuk mendapatkan liputan gelombang yang bergerak dalam batu dasar. Titik-titik punca dalam rebakan pengesan dilakukan untuk memperolehi data yang lebih terperinci mewakili bahan yang lebih cetek. Survei yang dilakukan di Bau ini hanya menggunakan punca gelombang seismos jenis primer (P). Pemilihan masa ketibaan gelombang pertama dilakukan dengan perisian komputer FIRSTPIX (Interpex, 1998) dan profil jarak-halaju diperolehi dengan perisian GREMIX (Interpex, 1998) menggunakan algoritma masa salingan (reciprocal time) yang dipopularkan oleh Palmer (1981).

Kaedah ketiga yang diuji dalam kajian di Bau ini ialah Pengimejan geoelektrik. Survei ini hanya melibatkan meter keberintangan elektrod-multi (Rajah 4) dan 80 elektrod yang dipasang di sepanjang satu garis survei dengan sela jarak yang sama. Satu sistem kawalan-komputer digunakan untuk memilih secara automatik elektrod yang perlu diaktifkan untuk setiap bacaan. Teknik ini dipopularkan



Rajah 3. Teknik survei seismos biasan dan profil geologi yang akan dihasilkan.



Rajah 4. Susunatur elektrod survei pengimejan geoelektrik dan kedudukan titik pengukuran keberintangan.

oleh Barker (1992). Untuk keseluruhan survei, teknik susunatur elektrod yang digunakan ialah susunatur Wenner. Data diproses dengan perisian komputer RES2DINV yang ditulis oleh Loke *et al.* (1996). Pada asasnya, kaedah keberintangan mengukur taburan keberintangan bahan-bahan sub-permukaan. Batuan igneus dan metamorf biasanya mempunyai keberintangan yang tinggi berbanding dengan batuan sedimen dan aluvium. Walau bagaimanapun nilai tersebut bergantung kepada darjah peretakan. Oleh kerana di Malaysia aras air tanahnya agak tinggi, retakan tersebut akan diisi oleh air tanah. Dengan ini nilai keberintangan akan berkurang berkadar seturut dengan darjah retakan.

HASIL DAN PERBINCANGAN

Rajah 5 menunjukkan seismogram yang diperolehi semasa menjalankan ujian pengcaman gelombang (noise test). Ujian ini adalah menjadi rutin yang dijalankan di peringkat awal sebelum data dipungut bagi kaedah seismos

pantulan. Daripada rajah tersebut dapat dicamkan gelombang-gelombang terus, biasan, pantulan dan permukaan. Gelombang permukaan atau Rayleigh mempunyai frekuensi dominan di sekitar 50-65 Hz manakala gelombang primer jenis terus dan biasan berfrekuensi di sekitar 100 Hz. Gelombang primer pantulan mempunyai frekuensi dominan di sekitar 200 Hz. Rajah 6 menunjukkan spektrum frekuensi yang wujud dalam surihan pengesan yang terdekat dengan punca. Frekuensi dominan yang dihitung ialah di sekitar 200-250 Hz. Rajah 7 ialah keratan rentas seismos tertimbulkun dan Rajah 8 ialah tafsiran geologi keratan tersebut. Fitur berbentuk kawah bertindan dapat dilihat dengan jelas pada keratan seismos. Fitur ini didapati bersamaan dengan bentuk morfologi lubang benam dalam batu kapur dan kedudukannya juga bertepatan dengan lokasi retakan periferil yang terletak di bahagian pangkal garis survei.

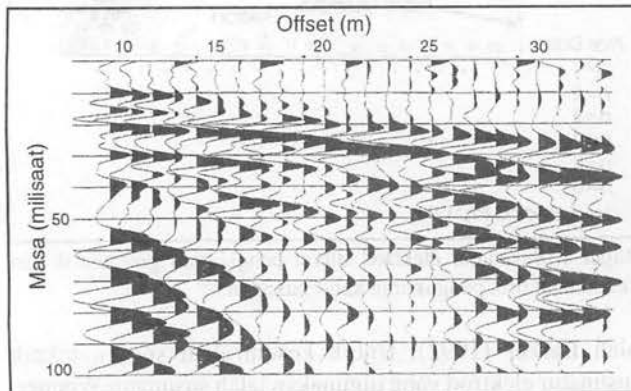
Rajah 9 menunjukkan lengkung T-X seismogram lapangan yang diperolehi daripada survei seismos biasan. Profil kedalaman yang dihitung diplotkan di bahagian bawah lengkung tersebut. Terdapat tiga lapisan bahan sub-permukaan yang bermorfologi hampir mendatar dengan satu fitur berbentuk palung di bahagian tengah profil. Halaju lapisan pertama bersela 632-702 m/s, diikuti oleh lapisan kedua 849-1205 m/s dan lapisan ketiga 2321 m/s. Kedalaman maksimum ialah 15 meter. Fitur berbentuk

palung pada jarak 20-30 meter bertepatan dengan kedudukan lubang benam yang ditunjukkan pada keratan seismos migrasi. Ini menguatkan lagi tentang wujudnya satu lubang benam pada kedudukan tersebut.

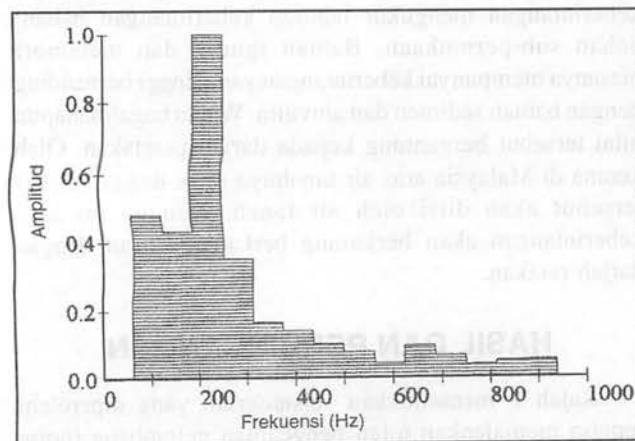
Keratan rentas pseudo garis keberintangan geoelektrik ditunjukkan dalam Rajah 10. Rajah ini mewakili taburan keberintangan secara sisi dan menegak bagi keseluruhan garis survei. Nilai keberintangan yang rendah di sekitar 5-77 ohm-m biasanya diwakili oleh bahan tanah penutup yang tepu air dalam hal ini boleh merujuk kepada tanah yang mengisi sebarang rongga dalam batu kapur. Batu kapur terluluhawa dan beretakan sebagai batu dasar di kawasan kajian dianggarkan mempunyai keberintangan yang relatif lebih tinggi iaitu disekitar 100-300 ohm-m. Pola kontur keberintangan garis survei ini juga memperlihatkan bentuk lubang benam pada jarak di antara 20-40 meter dan kedalaman di sekitar 8 meter.

KESIMPULAN

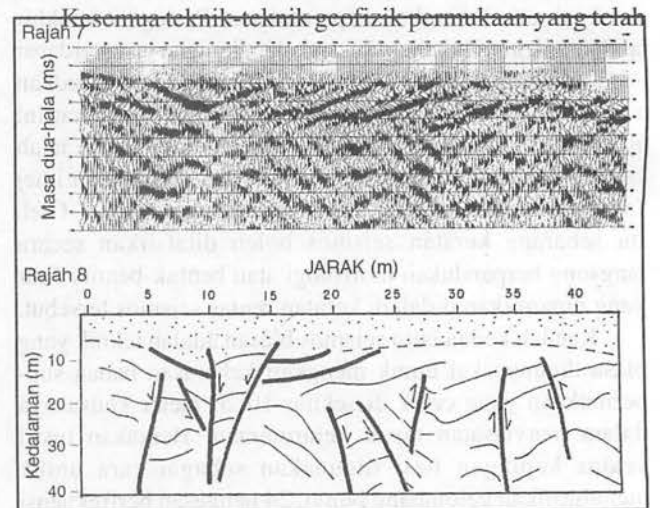
Kesemua teknik-teknik geofizik permukaan yang telah



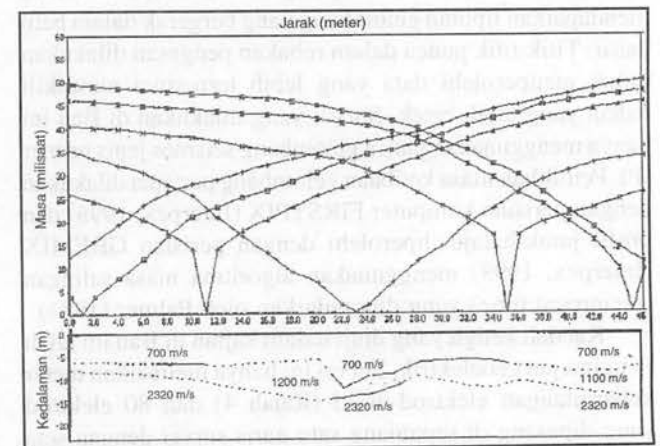
Rajah 5. Contoh seismogram lapangan survei seismos pantulan.



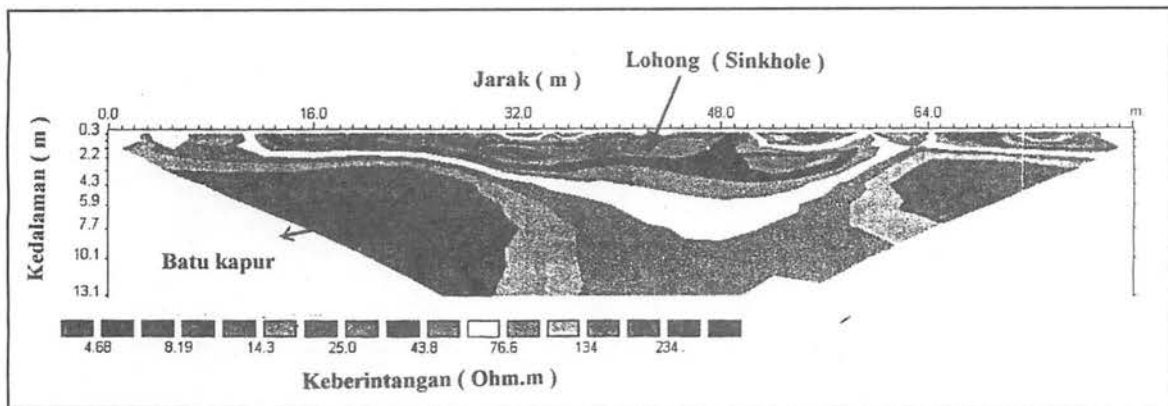
Rajah 6. Spektrum frekuensi data seismos pantulan. Frekuensi dominan pantulan ialah 200-250 Hz.



Rajah 7. Keratan seismos 2-D.
Rajah 8. Pentafsiran geologi.



Rajah 9. Lengkung T-X data seismos biasan dan profil halaju-kedalaman. Halaju 700-1200 m/s ialah lempung tepu air manakala 2300 m/s ialah batu kapur terluluhawa.



Rajah 10. Keratan rentas pseudo keberintangan elektrik merentasi retakan perifer. Depresi di bahagian tengah rentasan adalah anggaran kedudukan lohong batu kapur.

diuji di kawasan kajian ini telah dapat mengesan fitur lubang benam yang wujud pada garis survei seperti yang dijangkakan. Dengan ini dapat disimpulkan bahawa teknik-teknik survei geofizik permukaan ini adalah amat sesuai dimasukkan sebagai satu agenda penting dalam sebarang penyiasatan tapak terutama bagi binaan yang dicadangkan di sesuatu kawasan yang didasari oleh batu kapur.

PENGHARGAAN

Kajian dilakukan di Kuarters Polis Pekan Bau, Sarawak dengan pembiayaan oleh Kerajaan Malaysia melalui peruntukan IRPA 02-02-02-010. Para penulis merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada semua yang terlibat.

RUJUKAN

- BARKER, R.D., 1992. A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface. *First Break* 10:53-62.
- CHAN, S.F., 1986. *Foundation problems in limestone areas of Peninsular Malaysia*. Publication of The geotechnical Engineering Division of the Institute of Engineers Malaysia, ms.13-24.
- CHOW W. S., JAMALUDIN OTHMAN AND LOGANATHAN, P., 1996. Geotechnical problems in limestone terrain with emphasis on cavities and sinkholes. *Prosiding Seminar Geologi & Sekitaran*. UKM Bangi, 102-117.
- INTERPEX, 1998. FIRSTPIX manual, documentation and software, Golden, Colorado.
- INTERPEX, 1998. GREMIX manual, documentation and software, Golden, Colorado.
- JAMALUDIN OTHMAN, 1996. Microgravity as an effective geophysical tool in sinkhole investigation. *Prosiding Seminar Geologi & Sekitaran*. UKM Bangi, ms. 173-186
- LOKE, M.H. DAN BARKER, R.D., 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosection using a Quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting* 44:131-152.
- MAYNE, W.H., 1962. Horizontal data stacking technique. *Supplement to Geophysics*, 27:927-937.
- PALMER, D., 1981. An introduction to the generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation. *Geophysics*, 46:1508-1518
- SOMANAS, C.D., BENNETT, B.C., PARK, C.B. DAN CHUNG, Y.J., 1992. *WINSEIS manual, documentation and software*. Kansas Geological Survey, U.S.A.
- UMAR HAMZAH, ABDUL RAHIM SAMSUDIN DAN ABDUL GHANI RAFEK, 1998. Application of shallow seismic reflection in geoenvironment and geoenvironment mapping. *Proceeding of Ninth Regional Congress on Geology, Mineral and Energy Resources of Southeast Asia-GEOSEA*. Kuala Lumpur, ms. 66-68.