

Penggunaan seismik pantulan cetek dalam kajian enapan Kuaterner di delta Sungai Pahang, Pekan, Pahang

LEE BENG HUAT, UMAR HAMZAH, AHMAD JANTAN, CHE AZIZ ALI
DAN IBRAHIM ABDULLAH

Jabatan Geologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 Bangi

Abstrak: Seismik pantulan merupakan kaedah geofizik yang biasa digunakan dalam pengimejan struktur bawah tanah. Dengan sedikit pengubahsuaian dari seismik pantulan dalam, teknik ini mampu digunakan untuk kajian enapan Kuaterner di sekitar Pekan, Pahang. Teknik tingkap optimum digunakan untuk menentukan parameter-parameter lapangan terbaik untuk memperolehi data lapangan. Tukul dan dinamit digunakan untuk menghasilkan gelombang seismik. Isyarat gelombang pantulan dikesan oleh geofon yang berfrekuensi semula jadi 100 Hz dan 14 Hz dan dirakam oleh seismograf 24 saluran. Data lapangan kemudian diedit, diisih dan dikumpulkan mengikut tatacara titik kedalaman sepunya. Proses seterusnya melibatkan pembetulan aras, analisis halaju, timbunan, dikonvolusi dan migrasi untuk menghasilkan keratan rentas seismik. Keratan ini kemudian dipadankan dengan data lubang gerudi dan data-data lain untuk pentafsiran geologi secara keseluruhannya. Secara amnya, enapan Holosen merupakan enapan samudera yang berada pada kedalaman kurang dari 35 m. Walau bagaimanapun, maklumat ini tidak dapat ditunjukkan dalam keratan rentas seismik. Pantulan selari yang beramplitud dan berfrekuensi tinggi dikesan pada kedalaman sekitar 35 m hingga 200 m dan mewakili enapan fluvial yang berusia Pleistosen. Pantulan-pantulan tersebut sebahagiannya telah mengalami penyesaran jenis normal, bersudut tinggi dan berbentuk listrik. Ciri-ciri pantulan seperti top lap dan kudung hakisan yang merupakan hasil kesan pembentukan palung kuno juga dicerap dalam julat kedalaman ini. Enapan Pleistosen ini menindih batuan dasar yang berbentuk tidak seragam. Batuan dasar ini menunjukkan pantulan bebas pada keratan rentas seismik. Jenis batuan tidak diketahui lantaran kekurangan data mengenainya.

Abstract: Seismic reflection is the most common geophysical technique applied for underground structures imaging. With some modification from the deep seismic reflection, shallow seismic reflection could be applied for the Quaternary deposit study in the vicinity of Pekan, Pahang. Optimum window technique is the common technique being applied to determine the most suitable field data acquisition parameters. Seismic waves are generated by sledgehammer and dynamite explosion. Reflection signals are detected by geophone array with natural frequency 14 Hz and 100 Hz and recorded by 24-channel seismograph. After that, the raw field data will be edited, sorted and gathered following the common depth point (CDP) sequence. After these processes, the CDP gathered data's would go through some process especially static correction, velocity analysis, stacking, deconvolution and migration to produce the seismic reflection section. Seismic reflection section afterwards has to be fitted with borehole data and combined with the others data's to conclude the overall geological interpretation. In general, Holocene sediment is the marine environment depositional sediment and covered the top 35 m of the lithologic log but this information could not show at the seismic reflection section. The high amplitude, frequency and parallel reflections are recorded from the depth of 35 m to 200 m and represented by Pleistocene fluvial deposit. Parts of the parallel reflections were displaced by normal high listric fault. The seismic stratigraphic features such as erosional truncation and toplap also occur in this range of depth and interpreted as paleochannels. Bedrock was overlaid by Pleistocene sediment. In the seismic section, the bedrock showed by the free reflection and was unable to determine the rock type of bedrock because of the lack of data.

PENGENALAN

Teknik seismik pantulan cetek telah diperkenalkan pada tiga dekad yang dahulu. Namun begitu, teknik ini hanya menjadi popular pada awal dekad lapan puluhan berikutan kejayaan yang dicapai oleh penyelidik-peyelidik seperti Hunter *et al.* (1984), Knapp and Steeples (1986),

Davies *et al.* (1992), Hill (1992), Whiteley *et al.* (1998) dan lain-lain. Teknik seismik pantulan walaupun masih baru dan masih banyak perlu diperbaiki, ia mampu memberi imej struktur bawah bumi yang baik untuk memudahkan kajian enapan Kuaterner.

Kaedah seismik pantulan cetek umumnya juga dipanggil kaedah seismik pantulan yang beresolusi

tinggi direka untuk membekalkan maklumat terperinci di sebahagian atas kerak bumi dalam julat beberapa ratus meter sahaja. Punca gelombang seismik biasanya memiliki dominan frekuensi yang melebihi 100 Hz. Kedalaman yang boleh ditemusi berjulat dari 20 m hingga 500 m. Oleh kerana skala kajian kecil, ia hanya melibatkan kos kajian yang kecil dan mampu dibiayai oleh kebanyakan pengkaji. Teknik seismik pantulan melibatkan tiga komponen utama iaitu teknik perolehan data lapangan, pemprosesan dan pentafsiran.

OBJEKTIF KAJIAN

Sasaran kajian ditumpukan kepada enapan sedimen Kuaterner yang terletak di kawasan delta sungai Pahang. Teknik seismik pantulan cetek bertujuan mendapatkan keratan rentas seismik yang boleh memberi imej peralihan dan struktur sedimen yang lain secara terus berdasarkan pengetahuan geologi yang sedia ada dan bantuan maklumat yang lain. Sasaran kedua kajian memfokuskan kepada struktur permukaan batuan dasar dan kedalaman batuan dasar atau lebih tepat ketebalan enapan Kuaterner yang diminati. Menurut Hj Shaffeen Baharuddin (1992), batuan

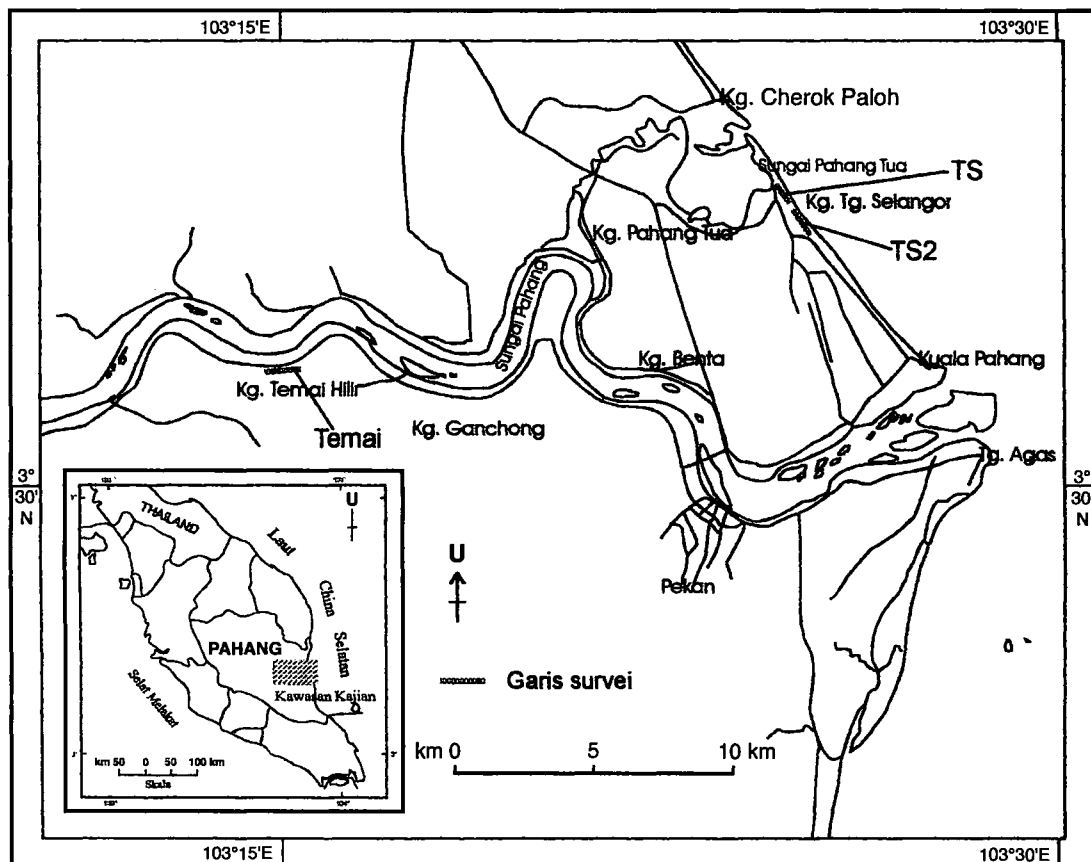
dasar terdiri daripada batuan granit yang ditindih secara tidak selaras oleh sedimen Kuaterner.

KAWASAN KAJIAN

Kawasan kajian terletak di sekitar delta sungai Pahang berhampiran dengan Pekan, Pahang. Lokaliti kawasan kajian terletak di Kampung Temai Hilir dan Kampung Tanjung Selangor (Rajah 1). Keseluruhan permukaan atas tanah kawasan kajian dilitupi oleh enapan fluvial dan merin yang berusia Holosen. Sebanyak tiga garis kajian telah dijalankan di dua lokaliti kajian masing-masing (Rajah 1).

TEKNIK PEROLEHAN DATA LAPANGAN

Penjelajahan seismik pantulan cetek dimulakan dengan teknik memperolehi data lapangan. Teknik tingkap optimum mengikut Hunter *et al.* (1984) biasanya digunakan untuk menganggar dan memilih parameter-parameter lapangan yang terbaik untuk menerima isyarat. Teknik aturan lapangan dipraktik berdasarkan kepada kaedah pemprofilan titik kedalaman sepunya (CDP) yang diperkenalkan oleh Hary Mayne pada tahun 1950 (dalam Sheriff and Geldart, 1995). Rebakan



Rajah 1. Peta lokasi kawasan kajian.

(*spreading*) hujung dengan offset terletak dalam garis penjelajahan digunakan untuk menyusun punca dan barisan geofon. Untuk garis kajian TS dan TS2, letusan dinamit digunakan sebagai punca gelombang seismik. Garis kajian Temai pula menggunakan punca hentakan tukul. Kesemua isyarat pantulan ini dikesan dengan menggunakan geofon berfrekuensi semula jadi 100 Hz atau 14 Hz. Selepas itu, isyarat dari geofon akan dirakam oleh seismigraf ABEM Terraloc Mark 3 yang mempunyai 24 saluran.

PEMROSESAN

Langkah pemprosesan penting dalam teknik seismik pantulan cetek lantaran teknik perolehan data lapangan yang diamalkan kini menghasilkan banyak hingar yang tidak diperlukan walaupun teknik lapangan yang baik digunakan. Lantaran itu, teknik seismik pantulan cetek banyak bergantung kepada operasi pemprosesan untuk meningkatkan kualiti data lapangan.

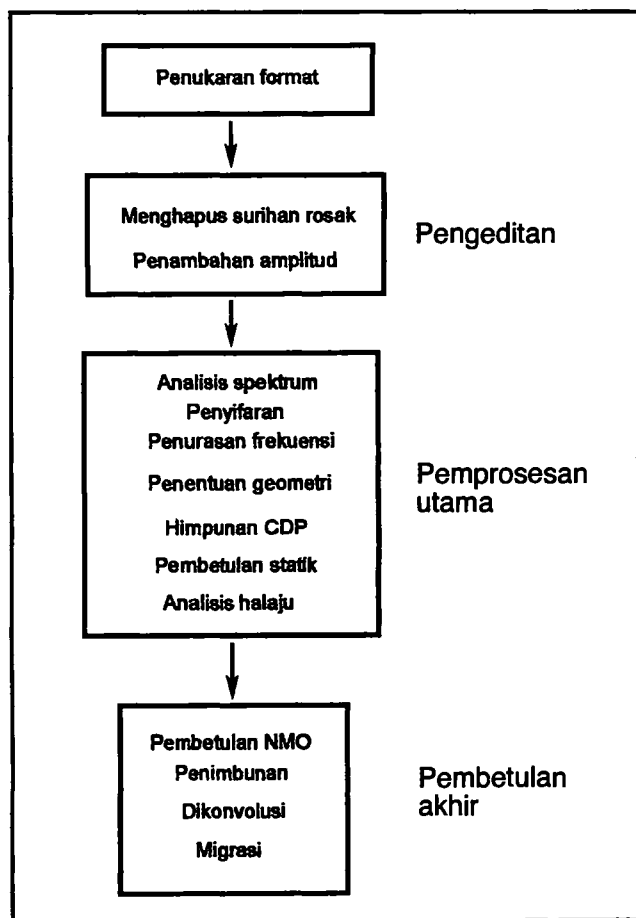
Operasi pemprosesan ini menggunakan perisian WINSEIS dan bermula dengan pengeditan. Selepas itu, operasi pemprosesan utama dimulakan dengan

langkah analisis spektrum, penurasan frekuensi dan lain-lain seperti ditunjukkan dalam Rajah 2. Pembetulan statik dijalankan mengikut Coppens (1985) untuk membetulkan perbezaan masa antara surihan yang direkodkan akibat perbezaan topografi permukaan dan ketidakhomogenan lapisan tanah yang berhalaju rendah (Sheriff, 1978). Analisis halaju bertujuan mencari halaju gerak luar normal atau halaju penimbun setiap pemantul dalam himpunan CDP. Analisis ini dijalankan pada setiap selang 50 CDP untuk mengesan perbezaan halaju penimbun antara CDP. Pembetulan gerak luar normal (NMO) menggunakan halaju penimbun yang diperolehi dari analisis halaju. Selepas itu, semua surihan dalam setiap CDP ditimbunkan untuk menghasilkan keratan rentas seismik. Isyarat gelombang seismik dalam keratan berkenaan masih tersembunyi komponen hingar yang tidak berjaya dihapuskan dengan langkah terdahulu. Hingar ini boleh dikurangkan dengan menggunakan langkah dikovolusi seperti dikonvolusi kuasdua terkecil dan dikonvolusi ramalan. Akhir sekali, keratan rentas seismik diperbaiki dengan menggunakan langkah migrasi f-k yang diperkenalkan oleh Stolt (1978).

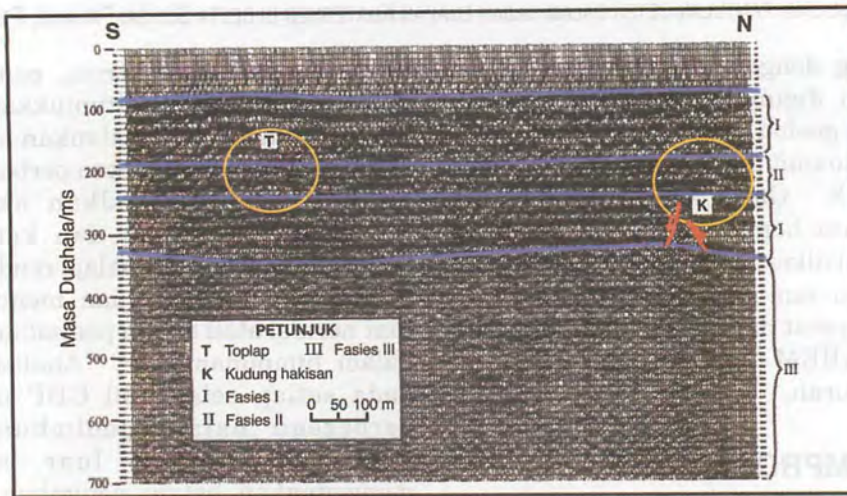
HASIL DAN PERBINCANGAN

Secara am, ketiga-tiga keratan rentas seismik menunjukkan pantulan yang baik bermula dari 50 ms. Permukaan batuan dasar yang diminati tidak dipantulkan dengan jelas. Keadaan ini berlaku lantaran perbezaan akustik impedans antara permukaan batuan dasar dan lapisan enapan Kuaterner di atasnya tidak besar. Keadaan ini juga jelas menunjukkan bahawa permukaan atas batuan telah mengalami luluhawa yang teruk. Ketumpatan lapisan sedimen dan lapisan batuan dasar yang terluluhawa berubah secara beransur-ansur sehingga batuan segar. Pantulan bebas yang seragam tanpa menunjukkan sebarang struktur tertentu diperhatikan dalam bahagian batuan dasar jelas menunjukkan batuan dasar merupakan batuan homogen tanpa perlapisan yang jelas. Pantulan mula dicatat pada masa dua hala 50 ms dan ke atas. Oleh itu, enapan yang berusia Holosen yang terletak pada masa dua hala kurang dari 50 ms tidak dapat ditonjolkan. Hanya enapan berusia Pleistosen yang berjaya dipantulkan dan ditonjolkan.

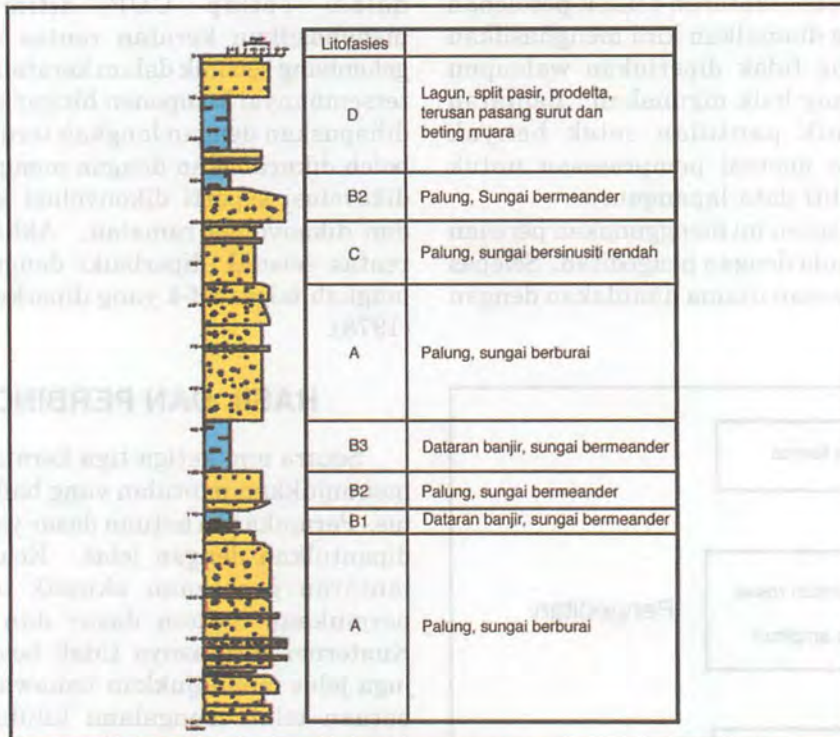
Di Kampung Tanjung Selangor, dua garis kajian dijalankan. Garis kajian TS terletak lebih ke utara manakala garis kajian TS2 terletak di selatan garis kajian TS (Rajah 1). Untuk garis kajian TS, pantulan jelas bermula dari 60 ms hingga 350 ms (Rajah 3). Sempadan batuan dasar tidak jelas.



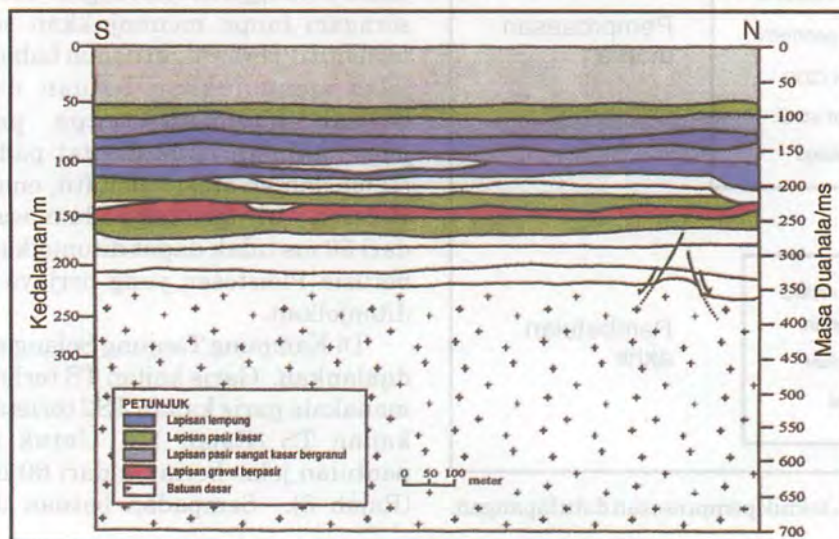
Rajah 2. Carta aliran teknik pemprosesan data lapangan.



Rajah 3. Keratan rentas seismik TS dan pengelasan fasies seismik.



Rajah 4. Log sedimen bersama pentafsiran sekiran dan litofasies untuk lubang gerudi di Kampung Tanjung Selangor (diubahsuai daripada Liau, 1999).



Rajah 5. Keratan rentas geologi pada garis kajian TS.

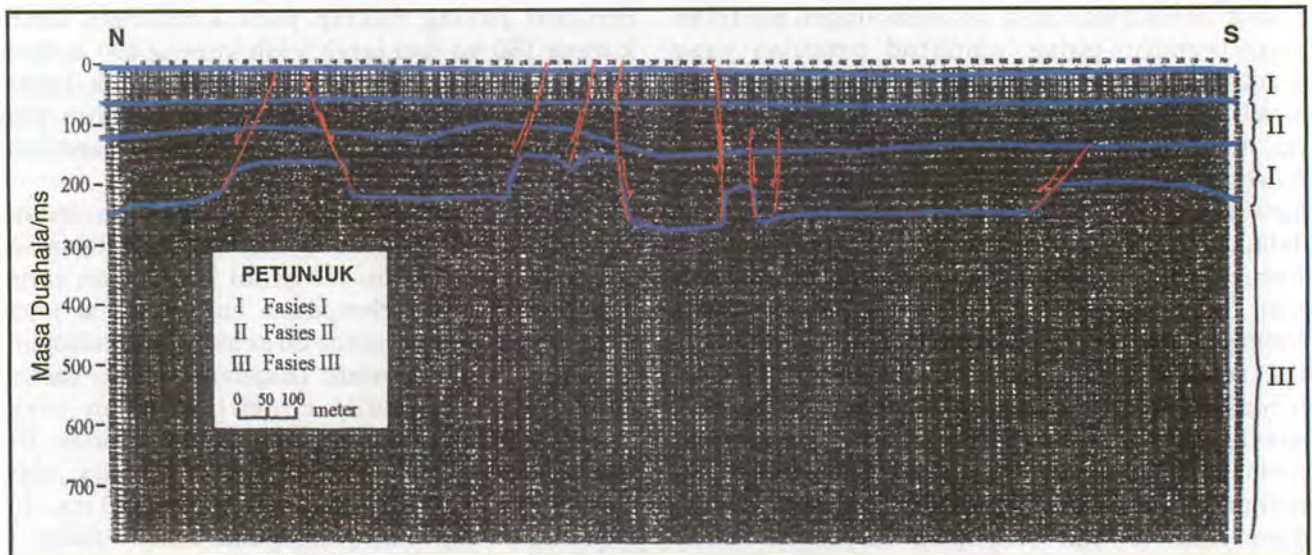
Keratan rentas seismik ini kemudian dikelaskan mengikut fasies seismik seperti ditunjukkan dalam Rajah 3. Fasies I bermula pada julat masa dua hala 80 ms hingga 170 ms. Fasies ini memiliki kesinambungan yang berterusan, amplitud pantulan yang sederhana dan frekuensi jarak yang rendah. Ciri-ciri pantulan lain iaitu toplap diperhatikan. Fasies yang sama juga diperhatikan pada julat masa dua hala 250 ms hingga 320 ms tanpa cirian toplap. Fasies II dicirikan oleh frekuensi jarak yang tinggi, amplitudnya yang juga tinggi dan kesinambungan pantulan yang berterusan. Cirian lain seperti toplap dan kudung hakisan juga diperhatikan. Fasies ini terletak pada julat masa dua hala 180 ms hingga 230 ms. Kedua-dua fasies di atas menghasilkan pantulan yang selari atau subselari yang hampir mendatar. Fasies III pula ditunjukkan pada masa dua hala 320 ms hingga penghujung keratan rentas berkenaan. Fasies ini dicirikan oleh kesinambungan pantulan yang berputus-putus, amplitud pantulan yang berubah-ubah dan umumnya rendah serta frekuensi jarak pantulan yang berubah-ubah juga. Fasies ini juga dikenali sebagai pantulan bebas (*free reflection*) lantaran tiada pantulan yang jelas yang mewakili sempadan peristiwa geologi ditunjukkan dalam julat masa berkenaan. Cirian fasies III merupakan ciri khas batuan berketumpatan tetap atau dalam kes ini, ia merujuk kepada medium homogen yang ditunjukkan oleh batuan dasar. Oleh itu, sempadan batuan dasar boleh ditafsirkan berdasarkannya. Anjakan peralihan akibat sesar-sesar normal tidak banyak mempengaruhi peralihan berkenaan kecuali di bahagian utara berhampiran dengan sempadan batuan dasar. Sesar-sesar normal berkenaan berbentuk listrik dan bersudut caram. Keratan rentas seismik di atas ditukar kepada keratan rentas seismik kedalaman unit meter mengikut Dix (1955) dan Al-Chalabi (1979). Keratan berkenaan dipadankan dengan data lubang gerudi (Rajah 4). Hasilnya, keratan rentas geologi boleh dibentuk berdasarkan data lubang gerudi, fasies seismik dan lain-lain (Rajah 5). Fasies I boleh dikaitkan dengan litofasies A, sublitofasies B3 dan B2 dalam litolog berkenaan dari kedalaman 55 m hingga 110 m iaitu berketebalan 55 m. Sempadan atas fasies ini dipantulkan oleh litologi pasir sangat kasar dan bergranul manakala sempadan bawahnya dipantulkan oleh sempadan litologi lempung dan pasir kasar. Litologinya terdiri daripada pasir sangat kasar bergranul hingga lempung. Sekitaran enapannya merangkumi dataran banjir, palung sungai bermenader hingga palung sungai berburai. Fasies II pula boleh dikolerasikan dengan sublitofasies B1 dan litofasies A dalam litolog berkenaan dari kedalaman 110 m hingga 150 m

iaitu berketebalan 40 m. Sempadan atas fasies ini merupakan lapisan lempung dan sempadan bawahnya ialah lapisan gravel berpasir. Litologinya terdiri daripada gravel berpasir hingga ke lempung. Sekitaran enapannya terdiri daripada dataran banjir dan palung sungai berburai. Sempadan bawah fasies ini terpantul kuat menandakan satu peristiwa geologi berakhir pada sempadan ini. Ini jelas dapat ditunjukkan oleh kehadiran lapisan gravel berpasir pada sempadan ini dan menandakan penghujung unit kitaran enapan. Di bawah fasies II, fasies I sekali lagi dicerap dari kedalaman 150 hingga di sekitar 210 m. Maklumat litologi mengenai fasies ini tidak lengkap lantaran kekurangan data lubang gerudi. Fasies ini bermula dengan sempadan atasnya merupakan sempadan antara unit litologi gravel berpasir dan pasir sangat kasar dan bergranul. Fasies III ditafsirkan sebagai batuan dasar tetapi litologinya tidak diketahui. Struktur palung dicerap pada kedalaman lebih kurang 150 ms dan jarak lebih kurang 400 m dari selatan garis kajian. Palung yang lebih besar dicerap pada kedalaman yang lebih tinggi iaitu 200 ms. Palung-palung ini membentuk ciri-ciri pantulan iaitu kudung hakisan dan toplap.

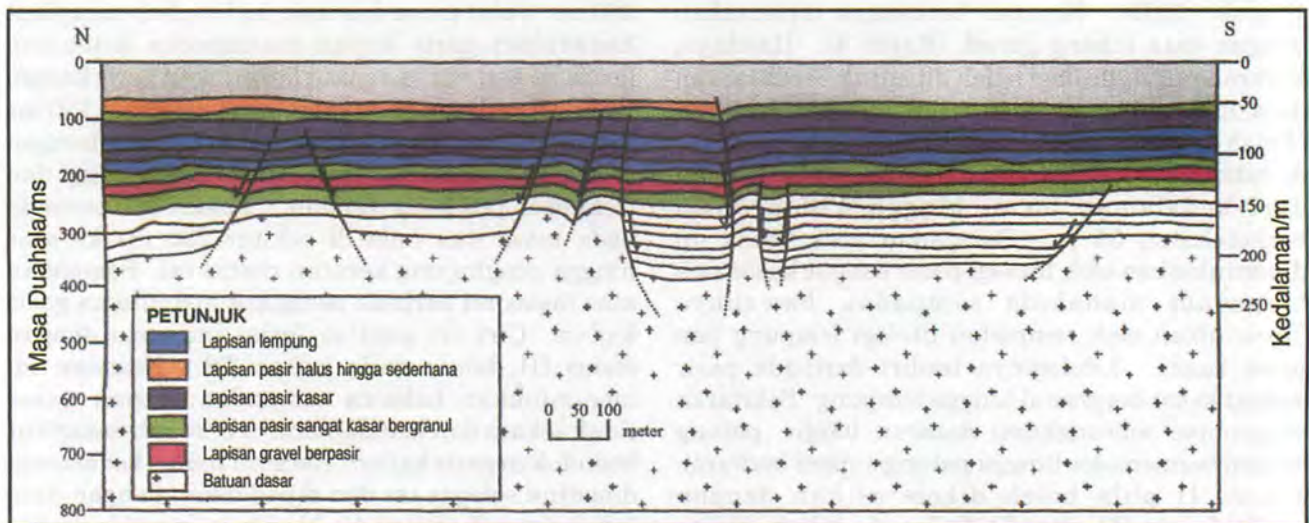
Garis kajian TS2 menunjukkan pantulan bermula dari kedalaman 60 ms sehingga kedalaman 300 ms hingga 350 ms mengikut kedudukan garis kajian (Rajah 6). Sempadan batuan dasar juga tidak jelas. Keratan rentas ini kemudian dikelaskan mengikut fasies seismik (Rajah 6). Tiga fasies seismik yang memiliki ciri-ciri pantulan yang hampir sama dengan keratan rentas seismik TS telah dikenalpasti. Fasies I terletak pada julat masa dua hala di sekitar 65 ms hingga 120 ms. Ia memiliki cirian khas yang sama dengan fasies I dalam garis kajian TS tetapi tanpa cirian toplap. Fasies yang sama juga diperhatikan pada julat masa dua hala di sekitar 210 ms hingga di sekitar 360 ms. Julat masa dua hala ini berubah mengikut kedudukan garis kajian menandakan ketebalan fasies ini berbeza mengikut kedudukan garis kajian. Fasies II terletak pada julat masa dua hala 130 ms hingga 200 ms. Fasies ini memiliki kesinambungan pantulan yang berterusan, beramplitud tinggi dan frekuensi jaraknya rendah. Fasies III bermula pada masa dua hala di sekitar 290 ms ke atas hingga penghujung keratan rentas ini. Sempadan atas fasies ini berbeza mengikut kedudukan garis kajian. Ciri-ciri pantulan fasies ini sama dengan fasies III dalam garis kajian TS. Keadaan ini menunjukkan bahawa sempadan batuan dasar tidak sekata dan kedalamannya berubah mengikut kedudukan garis kajian. Keratan rentas kedalaman dibentuk selepas ini dan dipadankan dengan data lubang gerudi (Rajah 4). Hasilnya, keratan rentas geologi diperolehi (Rajah 7). Hasil ini juga

menunjukkan bahawa fasies I boleh dikaitkan dengan litofasies A dan C dalam litolog berkenaan dari kedalaman 40 m hingga 88 m. Sempadan atas fasies I ini ialah lapisan pasir halus hingga sederhana. Sempadan bawahnya pula merupakan sempada lapisan antara lapisan pasir kasar dengan lapisan lempung. Kedua-dua litofasies ini terdiri daripada pasir halus hingga pasir kasar dan merupakan enapan palung jenis sungai berburai atau sungai bersinusiti rendah. Fasies II pula dikaitkan dengan beberapa sublitofasies sungai bermeander. Sublitofasies ini merangkumi sublitofasies B1, B2 dan B3 dari kedalaman 88 m hingga 115 m. Secara amnya, kedua-dua sempadan atas dan bawah dipantulkan oleh lapisan berlempung dari sublitofasies B1 dan B3. Litofasies

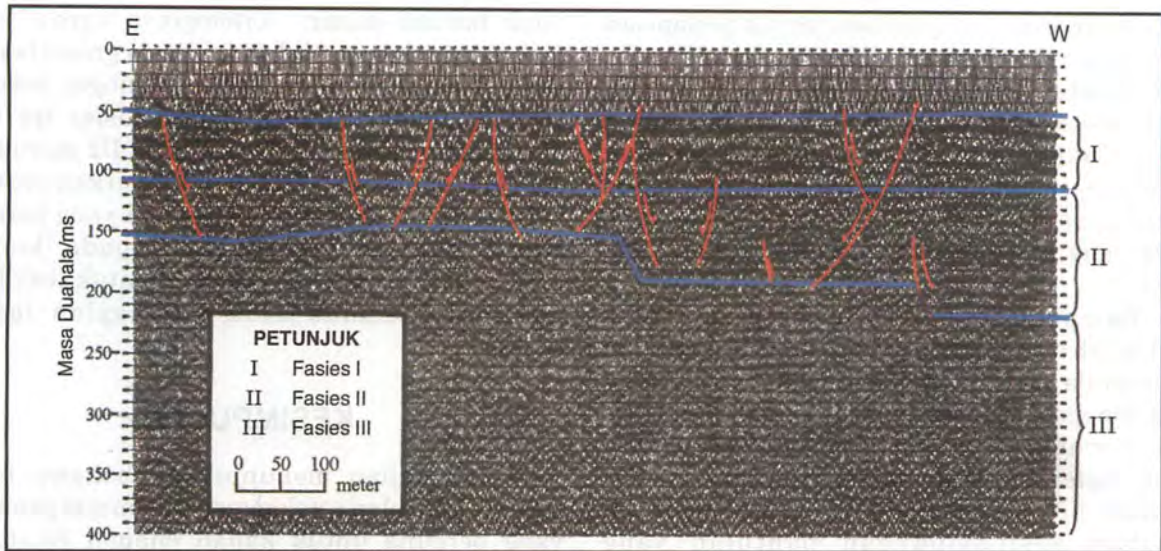
B ini merupakan enapan dataran banjir dan palung sungai bermeander. Fasies I yang terletak di bawah fasies II ini dan dikaitkan dengan litofasies A yang terdiri daripada lapisan pasir kasar hingga garvel berpasir serta terletak pada kedalaman dari 115 m hingga kedalaman paling tinggi iaitu 210 m. Litofasies A ini merupakan enapan palung sungai berburai. Maklumat litologi lubang gerudi hanya setakat 160 m sahaja. Oleh itu, sebahagian daripada fasies I tidak dapat dikorelasikan. Fasies III pula mewakili satu medium homogen yang membentuk batuan dasar dalam keratan rentas berkenaan. Di sini, jelas bahawa fasies II yang terpantul dengan jelas ini dipantulkan oleh lapisan lempung. Lapisan pasir menunjukkan pantulan yang sederhana seperti ditunjukkan oleh fasies I.



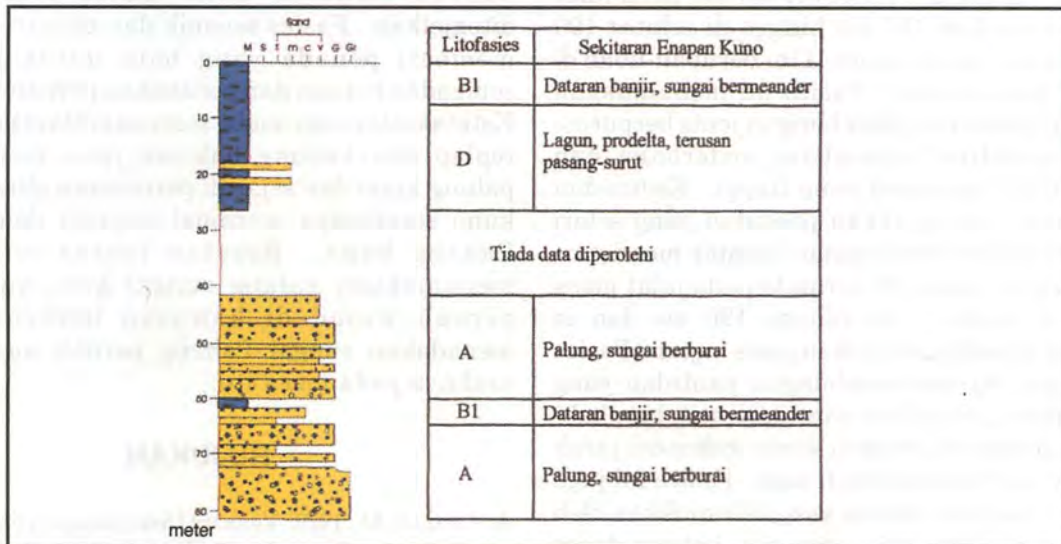
Rajah 6. Pengelasan fasies seismik dan struktur untuk keratan rentas seismik TS2.



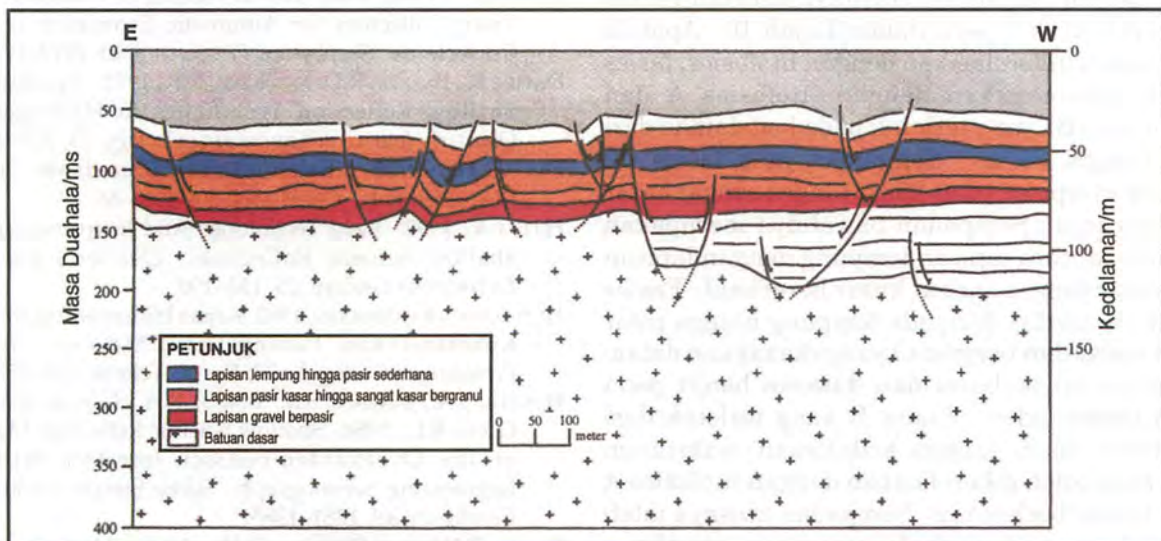
Rajah 7. Keratan rentas geologi bagi garis kajian TS2.



Rajah 8. Pengelasan fasies seismik dan struktur untuk keratan rentas seismik Temai.



Rajah 9. Log sedimen bersama tafsiran sekitaran enapan dan litofasies untuk lubang gerudi di Kampung Temai Hilir.



Rajah 10. Keratan rentas geologi pada garis kajian Temai.

Sesar-sesar normal banyak menganjak peralihan enapan fluvial berkenaan. Kesemua jenis sesar juga bersudut curam dan berbentuk listrik. Anjakan sesar-sesar ini berskala kecil dan wujud dipercayai akibat pemadatan yang tidak seragam semasa pegenapan oleh morfologi batuan dasar yang tidak seragam dan ketebalan lapisan yang berbeza yang menghasilkan kesan bebanan yang berbeza.

Di Kampung Temai Hilir, keratan rentas seismik boleh ditunjukkan dalam Rajah 8. Pantulan jelas bermula pada 50 ms sehingga lebih kurang 150 ms hingga 250 ms mengikut kedudukan garis kajian. Permukaan batuan dasar tidak jelas. Dari Rajah 8, fasies I terletak dalam julat masa t_0 dari di sekitar 50 ms hingga 105 ms. Fasies ini bercirikan kesinambungan pantulan yang berterusan, beramplitud tinggi dan frekuensi jarak pantulan yang tinggi. Fasies II berada pada julat masa dua hala dari 105 ms hingga di sekitar 190 ms. Sempadan bawah fasies II ini berubah-ubah di sepanjang garis kajian. Fasies ini menunjukkan cirian pantulan berkesinambungan jenis berputus-putus, beramplitud gelombang sederhana dan frekuensi jarak pantulan yang tinggi. Kedua-dua fasies di atas menunjukkan pantulan yang selari atau subselari dan berkeadaan hampir mendatar. Sempadan atas fasies III bermula pada julat masa dua hala di sekitar 160 hingga 190 ms dan ia bergantung kepada kedudukan garis kajian. Fasies ini dicirikan oleh kesinambungan pantulan yang berputus-putus, amplitud pantulan yang berubah-ubah dan umumnya rendah serta frekuensi jarak pantulan yang berubah-ubah juga. Fasies ini juga merupakan pantulan bebas yang ditunjukkan oleh batuan dasar. Oleh itu, sempadan batuan dasar boleh ditafsirkan berdasarkan data lubang gerudi (Rajah 9). Hasilnya keratan rentas geologi dibentuk seperti dalam Rajah 10. Apabila fasies sismik dikorelasikan dengan litofasies, fasies I boleh dikorelasikan dengan litofasies A dan sublitofasies B1 yang terletak pada kedalaman dari 42 m hingga 65 m. Sempadan atas fasies ini merupakan lapisan pasir kasar hingga sangat kasar dan bergranul. Sempadan bawahnya merupakan sempadan antara lapisan lempung dengan lapisan pasir kasar hingga sangat kasar bergranul. Fasies seismik ini terdiri daripada lempung hingga pasir sangat kasar dan bergranul yang dikenakan dalam palung sungai berburai dan dataran banjir pada sungai bermeander. Fasies II yang terletak dari kedalaman 65 m hingga kedalaman maksimum 120 m pula boleh dikorelasikan dengan litofasies A dalam litolog berkenaan. Sempadan atasnya ialah lapisan lempung manakala sempadan bawahnya

ialah batuan dasar. Litologinya hanya terdiri daripada lapisan pasir kasar hingga gravel berpasir yang dikenakan dalam palung sungai berburai. Unit sempadan litologi dalam fasies ini tidak dipantulkan dengan jelas. Fasies III merupakan satu zon pantulan bebas dan ditafsirkan mewakili batuan dasar. Sesar-sesar normal yang bersudut tinggi banyak diperhatikan pada keratan berkenaan. Kesemua sesar berbentuk listrik dan menganjak semua atau sebahagian lapisan sedimen.

KESIMPULAN

Hasil kajian menunjukkan bahawa teknik seismik pantulan cetek mampu memberi gambaran yang berguna untuk kajian enapan Kuaterner. Namun begitu, resolusinya masih rendah dan banyak struktur kecil masih tidak dapat ditonjolkan. Fasies seismik dan ciri-ciri pantulan memberi penanda yang baik untuk meramal sempadan batuan dan perubahan peristiwa geologi. Ketidakselarasan pada sempadan lapisan seperti toplap dan kudung hakisan jelas menonjolkan palung kuno dan sejarah perubahan aliran sungai kuno seterusnya meramal migrasi delta sungai Pahang kuno. Keratan rentas seismik TS menunjukkan palung sungai kuno yang besar pernah wujud di kawasan berkenaan dan menandakan sungai Pahang pernah mengalir ke arahnya pada masa itu.

RUJUKAN

- AL-CHALABI, M., 1979. Velocity Determination From Seismic Reflection Data. In: Fitch, A.A. (Ed.), *Development In Geophysical Exploration Method - 1*. Applied Science Publishers, 1-68.
- COPPENS, F., 1985. First Arrival Picking on Common-Offset Trace Collection for Automatic Estimation of Static Corrections. *Geophysical Prospecting*, 33, 1212-1231.
- DAVIES, K., BARKER, R.D. AND KING, R.F., 1992. Application of Shallow Reflection Techniques in Hydrogeology. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 25, 207-216.
- DIX, C.H., 1955. Seismic Velocities from Surface Measurements. *Geophysics*, 20(1), 68-86.
- HILL, I.A., 1992. Field Techniques And Instrumentation in Shallow Seismic Reflection. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 25, 183-190.
- HJ. SHAFFEEN BAHARUDDIN, 1992. Kajian Hidrogeologi Kawasan Kuantan-Pekan, Pahang Darul Makmur. *Laporan Persidangan Geologi Ke 23*; Kertas Teknik, 238-257.
- HUNTER, J.A., PULLAN, S.E., BURNS, R.A., GAGNE, R.M. AND GOOD, R.L., 1984. Shallow Seismic Reflection Mapping of The Overburden-bedrock Interface With The Engineering Seismograph: Some Simple Techniques. *Geophysics*, 49, 1381-1385.
- KNAPP, R.W. AND STEEPLES, D.W., 1986. High Resolution

- Common-Depth-Point Reflection Profiling — Field Acquisition Parameter Design. *Geophysics*, 51(2), 293–294.
- LIAU, M.H., 1999. *Sedimentologi Dan Mikropaleontologi Di Tanjung Selangor, Pekan, Pahang*. Tesis Tahun Kepujian, Jabatan Geologi, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- SHERIFF, R.E., 1978. *A First Course In Geophysical Exploration And Interpretation*. International Human Resource Development Co., Boston.
- SHERIFF, R.E. AND GELDART, L.P., 1995. *Exploration Seismology*, Cambridge University Press, 1995.
- STOLT, R.H., 1978. Migration By Fourier Transform. *Geophysics*, 43(1), 23–48.
- WHITELEY, R.J., HUNTER, J.A., PULLAN, S.E. AND NUTALAYA, P., 1998. Optimum Offset Reflection Mapping of Shallow Aquifer Near Bangkok, Thailand. *Geophysics*, 63(4), 1385–1394.

Manuscript received 1 September 1999