

Penentuan Zon Sesar di Ulu Bendol, Negeri Sembilan menggunakan Kaedah Keberintangan Goeletrik dan Mikrostruktur Batuan

(Determination of Fault Zones at Ulu Bendol, Negeri Sembilan using Geoelectrical Resistivity and Rock Microstructure Methods)

AZHAR AHMAD NAZRI^{1,2}, MOHD ROZI UMOR^{2,*}, NUR SYARIENNA RAZMI², MOHAMMAD ANURI GHAZALI³, MOHD HARIRI ARIFIN², NOR SHAHIDAH MOHD NADZIR² & NORBERT SIMON²

¹*Cawangan Kejuruteraan Cerun, Jabatan Kerja Raya, Tingkat 12, Blok F, Ibupejabat JKR Malaysia, Jalan Sultan Salahuddin, 50480 Kuala Lumpur, Malaysia*

²*Program Geologi, Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia*

³*Geo Mag Engineering, No 31B, Level 2, Jalan Pelabur B, 23/B, Seksyen 23, 40300 Shah Alam, Selangor, Malaysia*

Diserahkan: 26 Jun 2023/Diterima: 28 Februari 2024

ABSTRAK

Kawasan kajian terletak di Kg Ulu Bendol, daerah Kuala Pilah di Negeri Sembilan. Objektif utama kajian adalah untuk mengenal pasti zon sesar menggunakan kaedah geofizik keberintangan elektrik secara protokol Wenner-Schlumberger. Sesar Ulu Bendol, juga dikenali sebagai zon sesar Kuala Pilah, menganjur hampir timur ke barat. Rekod seismik menunjukkan gegaran kecil telah dicetuskan di empat lokasi berhampiran jalan utama Seremban-Kuala Pilah, yang sejajar dengan garisan sesar Ulu Bendol. Kaedah keberintangan elektrik digunakan untuk menentukan lokasi garis sesar secara tepat. Sebanyak 14 garis survei keberintangan elektrik telah dijalankan di 14 lokasi yang dikenal pasti. Batuan granit merupakan unit geologi utama yang menutupi kawasan kajian. Jenis batuan, tahap luluhawa, struktur sesar utama, zon retakan dan kehadiran zon tepu air di bawah permukaan ditentukan berdasarkan tafsiran nilai keberintangan, iaitu granit segar batuan dasar ($> 1000 \Omega\text{m}$), granit sederhana luluhawa dan terkekar ($500\text{-}1000 \Omega\text{m}$), batuan dasar granit terluluhawa dengan batuan yang sangat terkekar ($100\text{-}500 \Omega\text{m}$) dan zon tepu air dalam batuan yang sangat retak ($<100 \Omega\text{m}$). Sesar yang ditafsirkan terletak di kawasan tanah pamah dan dataran dengan nilai kerintangan $100 \Omega\text{m}$ hingga $500 \Omega\text{m}$. Sesar yang terletak di Kg. Ulu Bendol, telah menganjur ke timur berhampiran Kg. Mampas, Seri Menanti dengan anggaran kira-kira 10 km. Kajian petrografi ke atas 12 sampel batuan dalam zon sesar menunjukkan bahawa kebanyakan batuan sesar telah mengalami canggaan yang kuat dibuktikan dengan wujudnya mikro sesar, herotan mineral dan kuarza dihancurkan menjadi saiz lebih kecil. Di kawasan zon sesar, sesar yang lebih kecil, juga dikenali sebagai sesar tersegmentasi dengan panjang kira-kira 50 hingga 250 meter, mencetuskan pergerakan berulang sesar utama. Kesimpulan daripada kajian ini menunjukkan kaedah keberintangan elektrik dapat menentukan keujudan sesar utama di Ulu Bendol. Ia boleh digunakan bagi menentukan sesar utama di kawasan lain sekiranya sesar tidak dapat dicerap di permukaan.

Kata kunci: Kajian petrografi; sesar Ulu Bendol, survei keberintangan elektrik

ABSTRACT

The study area is located at Kg Ulu Bendol, Kuala Pilah district in Negeri Sembilan. The main objective of the study was to identify fault zones using electrical resistivity geophysical methods with Wenner-Schlumberger protocol. The Ulu Bendol fault, known as the Kuala Pilah fault zone, towards from east to west. Seismic records show small tremors have been triggered at four locations near the main Seremban-Kuala Pilah road, which is aligned with the Ulu Bendol fault line. The electrical resistance method is used to determine the fault line's exact location. A total of 14 resistivity survey lines were conducted in 14 identified locations. Granite rock is the main geological unit that covers the study area. Rock type, degree of weathering, main fault structure, fracture zone and the presence of subsurface water-saturated zone are determined based on the interpretation of resistivity values, i.e., fresh granite bedrock ($> 1000 \Omega\text{m}$), moderately weathered and fractured granite ($500\text{-}1000 \Omega\text{m}$), weathered granite bedrock with highly fractured rocks ($100\text{-}500 \Omega\text{m}$)

and water-saturated zones in highly fractured rocks ($<100 \Omega\text{m}$). The interpreted faults are located in the lowlands and plains with resistivity values of $100 \Omega\text{m}$ to $500 \Omega\text{m}$. Fault located at Kg. Ulu Bendol has extended to the east near Kg. Mampas, Seri Menanti with an estimated length of about 10 km. A petrographic study of 12 rock samples from the fault zone showed that most of the fault rocks were severely deformed indicated by micro fault, mineral eroded and quartz crushed into small grain. In the fault zone area, smaller faults, also known as segmented faults, with a length of about 50 to 250 meters, trigger the repeated movement of main faults. The conclusion from this study shows that the electrical resistivity method can determine the existence of the main fault in Ulu Bendol. It can also be used to determine the main fault in other areas when the fault cannot be observed on the surface.

Keywords: Petrography study; resistivity survey; Ulu Bendol Fault

PENGENALAN

Kebanyakan gegaran yang dialami di Semenanjung Malaysia adalah akibat gempa bumi yang berlaku di Sumatera. Namun begitu, kejadian gempa bumi tempatan yang berpusat di Semenanjung Malaysia semenjak tahun 1978 yang bermagnitud lemah pernah dicatatkan berlaku. Kejadian gempa bumi tempatan yang bermagnitud lebih tinggi pertama kali berlaku di Bukit Tinggi pada November 2007 berskala 4.7 Mw. Ia berterusan sehingga Mei 2008. Ia diikuti oleh beberapa siri gempa bumi di Jerantut (17 Mac 2009), Manjong (29 April 2009) dan Kuala Pilah (29-30 November 2009) (Mustaffa Kamal et al. 2017).

Kejadian gempa bumi yang semakin meningkat di Semenanjung Malaysia dikaitkan dengan zon sesar-sesar yang utama telah tidak aktif. Sesar yang tidak aktif ini dipercayai telah mula menunjukkan tanda pengaktifan semula akibat gempa bumi besar yang berlaku di Sumatera-Andaman pada 26 Disember 2004, Gempa Nias pada 8 Mac 2005 dan Gempa Bengkulu pada 12 September 2007 (Mustaffa Kamal et al. 2017).

Kejadian gempa setempat di Semenanjung Malaysia didapati berlaku di sepanjang sesar-sesar utama yang dikatakan sudah tidak aktif (Lim & Tjia 1979; Tjia 1989; Tjia & Zaiton 1985). Antara sesar utama yang merekodkan gempa bumi adalah Sesar Bukit Tinggi, Sesar Kuala Lumpur, Sesar Ulu Bendol dan Sesar Lepar (Mustaffa Kamal 2012, 2009, 2008; Wah 2011). Justeru, fokus kajian ini adalah di Sesar Ulu Bendol, Seremban, Negeri Sembilan menggunakan kaedah keberintangan geoelektrik. Teknik keberintangan geoelektrik dapat memberi imej bawah permukaan yang berguna untuk kajian sesar, tanah runtuh, pencemaran dan juga eksplorasi sumber bumi seperti air tanah, batuan dan bijih besi (Abdul Rahim 1990; Esmail et al. 2008; John, Mohd Hariri & Mohd Nawawi 2019; Mark & Umar 2012; Siti Nazira et al. 2011; Umar et al. 2009). Terdapat empat pusat gempa bumi telah direkodkan di sepanjang Sesar Ulu Bendol. Oleh itu, kawasan Ulu Bendol dipilih bagi mengkaji kewujudan sesar bawah permukaan. Tujuan penyelidikan ini adalah untuk mencari, mengenal pasti kewujudan sesar terbabit dan memetakan

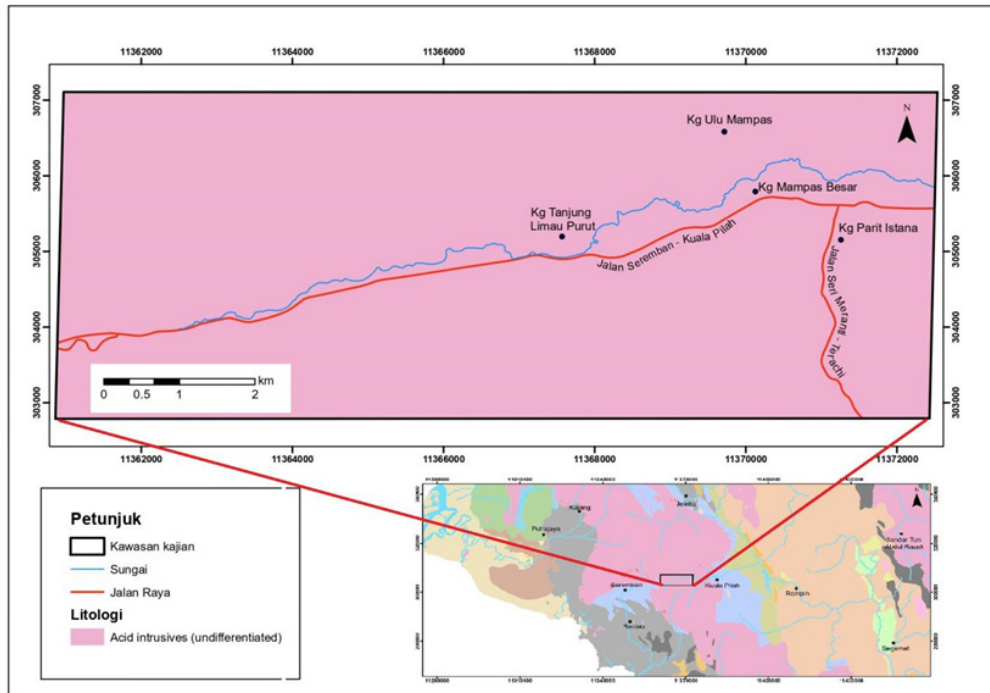
sesar tersebut secara pengimejan bawah permukaan. Hasil analisis data keberintangan akan membantu untuk menerangkan dengan lebih jelas tentang kawasan-kawasan lemah yang dipengaruhi oleh ketakselajaran seperti retakan, sesar dan zon ricihan.

GEOLOGI AM DAN STRUKTUR

Negeri Sembilan didasari oleh lima jenis batuan utama dari seawal usia Palaeozoik dengan pembentukan batuan metasedimen yang bertumpu di sebelah barat dan timur Negeri Sembilan. Batuan Formasi Kenny Hill ditafsir berusia Karbon tersebar di sebelah barat laut Negeri Sembilan bersempadan dengan Selangor. Di bahagian sebelah timur terdapat batuan Lapisan Kepis yang berusia Karbon dan dipisahkan oleh sesar dengan batuan Syis Pilah yang lebih tua (Khoo 1998, 1973). Rejahan granit Banjaran Utama tersingkap di bahagian tengah Negeri Sembilan dan menjadi pembahagi kepada litologi sebelah barat dan timur berusia antara 220 Ma hingga 190 Ma (Bignell & Snelling 1977; Cobbing et al. 1992; Ghani 2009).

Kawasan kajian berada di dalam jasad granit Banjaran Utama. Ia terdiri daripada granit berbutir kasar bertekstur porfiritik yang kuat dengan fenokris mencapai saiz 6.0 cm panjang dan 2.0 cm lebar (Rajah 1).

Terdapat tiga lineamen sesar yang memotong kawasan kajian, iaitu lineamen pertama berorientasi 315° - 135° U, lineamen kedua yang berarah hampir utara-selatan, iaitu 355° - 175° U dan lineamen ketiga pula timur-barat berarah 90° - 270° U (Rajah 2). Lineamen pertama diwakili oleh Sesar Gapau dan Sesar Jelebu. Sesar Gapau juga dikenali Sesar Kongkoi berada di utara Kuala Klawang sepanjang 8 km yang terdiri daripada granit breksia dan syis terkedut tersingkap di sepanjang Sungai Kongkoi. Sesar Jelebu pula berada di bahagian selatan Kuala Klawang. Ia berlaku di sepanjang Granit Semenyih dan berterusan ke utara bersambung dengan Sesar Kuala Lumpur. Lineamen kedua diwakili oleh Sesar Karak yang bermula dari Karak ke Kuala Klawang dan merentas ke Sri Menanti. Ia memotong secara bersilang dengan Sesar Gapau, Sesar Jelebu dan



RAJAH 1. Peta geologi yang menunjukkan kawasan kajian berada di antara Seremban dan Kuala Pilah dan terdiri daripada Granit Banjaran Utama

Sesar Ulu Bendul. Lineamen ketiga berorientasi hampir timur-barat adalah Sesar Ulu Bendul yang bermula dari Senawang sehingga ke Kuala Pilah (Khoo 1998; Shu 1989; Stauffer 1968; Zaitun 1992).

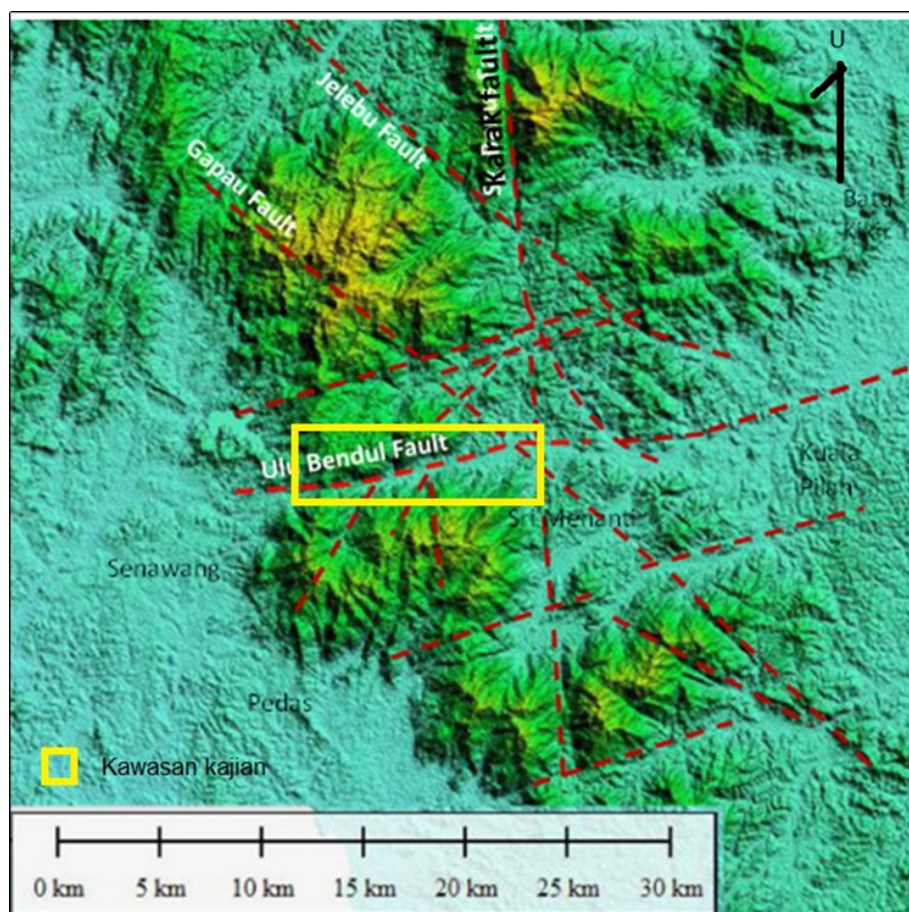
BAHAN DAN KAEDAH

SURVEI KEBERINTANGAN ELEKTRIK

Pembangunan survei keberintangan elektrik yang boleh mengukur secara automatik dan mampu mendapatkan jumlah data yang banyak serta algoritma penyongsangan yang cekap untuk memproses maklumat medan dengan pantas, telah memberikan dorongan yang besar kepada penggunaan kaedah ini. Pada masa kini, tomografi kerintangan elektrik ialah kaedah geofizik yang menyediakan model dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D) tanah yang amat berkesan dan membolehkan pengimejan model geologi kompleks seperti struktur sesar bawah permukaan (Griffiths & Barker 1993; Loke & Barker 1996; Loke & Dahlin 2002; Sasaki 1992; Store, Storz & Jacobs 2000).

Data geofizik diperoleh menggunakan mesin Terrameter LS, dengan arus maksimum 250W dan kerintangan 2.5A. Parameter konfigurasi peralatan ialah: 500 mA, masa penghantaran dalam 1 s, permulaan bacaan selepas pemotongan arus 0.2 s dan voltan baki bacaan dalam 2 tingkap tetap dan diukur 0.1 s berturut-turut. Panjang garis survei ialah 400 m dan menggunakan empat gelung kabel dengan sela antara elektrod adalah 5 m pada kabel dalam, dan 10 m pada kabel luar. Protokol yang digunakan adalah susunan Wenner yang sesuai bagi menunjukkan perbezaan nilai keberintangan secara lateral dan atau secara menegak dalam survei keberintangan (Wang et al. 2017).

Data mentah terkumpul daripada 14 garis keberintangan diproses dengan komputer yang mempunyai perisian Res2dinv dan menghasilkan bahagian kerintangan dari segi jarak dan kedalaman, dengan skala grafik logaritma dan selang interpolasi nilai dalam warna. Ini adalah program yang secara automatik menentukan model dua dimensi subpermukaan (Loke & Barker 1996).



RAJAH 2. Sesar-sesar utama di sekitar kawasan kajian iaitu Sesar Gapau, Sesar Jelebu, Sesar Karak dan Sesar Ulu Bendul

KAJIAN PETROGRAFI

Kawasan zon sesar dikenal pasti di lapangan berdasarkan singkapan batuan yang mempunyai retakan, pecah dan mengandungi kesan gores yang tinggi. Tumpuan singkapan batuan tersesar adalah di sepanjang sungai dan jeram. Batuan yang menunjukkan goresan dan kesan terseret akan diambil dan dibawa ke makmal untuk penyediaan keratan nipis. Analisis petrografi batuan tersesar akan melibatkan kajian terperinci secara analisis petrografi keratan nipis melibatkan pengenalan mikrostruktur dan canggaan terhadap mineral. Mineral tercangga boleh berubah bentuk, kesan ricihan, terherot, berlaku penghabluran semula, terpecah di bahagian sempadan kepada butiran halus. Petunjuk canggaan ini menjadi bukti untuk menentukan batuan tersesar yang dianalisis berasal dari kawasan zon sesar.

HASIL

SURVEI KEBERINTANGAN ELEKTRIK

Sejumlah 14 garis survei telah dijalankan di sekitar Ulu Bendul bermula dari persimpangan Bukit Putus menghala ke Kg. Ulu Bendol, Kg, Mampas dan Kg Parit Seri Menanti di bahagian timur kawasan kajian. Ia ditandakan sebagai garis survei UB1 hingga UB14 merujuk kepada Ulu Bendul. Arah sesar Ulu Bendul adalah hampir timur-barat, iaitu selari dengan arah jalan raya Ulu Bendul ke Kuala Pilah. Oleh itu, orientasi garis survei dijalankan hampir berserenjang, iaitu pada arah utara-selatan. Garis survei dilakukan berdekatan dengan pusat gempa yang berlaku di sepanjang Sesar Ulu Bendul. Kedudukan garis survei di sepanjang sesar Ulu Bendul ditunjukkan di dalam Rajah 3.

Berdasarkan nilai keberintangan elektrik yang diperoleh, bahan bumi bawah permukaan boleh dikelaskan kepada empat, iaitu (1) nilai keberintangan kurang daripada 100 ohm-m adalah dikaitkan dengan bahan bumi yang tinggi kandungan air. Bahan bumi kemungkinan tanah atau batuan yang terluluhawa atau mengalami retakan yang tinggi. Ia tandakan di dalam profil bawah permukaan sebagai zon tinggi air. Zon ini diwakili oleh warna biru gelap hingga biru muda, (2) nilai keberintangan antara 100 hingga 500 ohm-m adalah dikaitkan dengan tanah baki granit atau batuan terluluhawa tinggi atau mengalami retakan yang tinggi dengan keadaan yang agak kering. Ia ditandakan di dalam profil bawah permukaan sebagai tanah baki granit. Di dalam profil, zon ini diwakili oleh warna hijau hingga hijau muda, (3) nilai keberintangan antara 500 hingga 1,000 ohm-m adalah dikaitkan dengan batuan granit terluluhawa mengalami retakan yang tinggi dengan keadaan yang agak kering. Ia ditandakan di dalam profil subpermukaan sebagai granit terluluhawa dan diwakili oleh warna kuning hingga coklat dan (4) nilai keberintangan melebihi 1,000 ohm-m adalah dikaitkan dengan batuan granit yang segar. Sekiranya ia berada di lapisan bawah, ia ditafsirkan sebagai batuan dasar granit dan sekiranya ia berada di bahagian atas profil, ia ditafsirkan sebagai bongkah granit. Di dalam profil, zon ini diwakili oleh warna merah hingga ungu.

Dalam kajian ini, lokasi sesar dan zon sesar sepanjang garis survei boleh ditafsirkan berdasarkan nilai keberintangan elektrik dan perubahan yang berlaku seperti berikut, iaitu (1) perubahan secara mendadak nilai keberintangan elektrik. Perubahan mendadak menandakan kehadiran satah sesar antara batuan, (2) sempadan yang jelas antara nilai keberintangan elektrik. Ia juga boleh terjadi akibat kehadiran sesar, (3) jatuhan atau pengangkatan batuan yang hampir sama nilai keberintangan elektrik boleh berlaku akibat sesar dan (4) lompong yang wujud di dalam batuan granit yang diisi oleh tanah granit atau batuan terkekar juga boleh menjadi petunjuk zon sesar.

HASIL SURVEI KEBERINTANGAN DI PUSAT GEMPA 1

Pusat Gempa 1 berada sebelum Taman Rekreasi Ulu Bendul. Terdapat 4 garis survei yang dilakukan mewakili pusat gempa 1, iaitu garis survei UB1, UB5, UB6 dan UB7. Keputusan garis keberintangan elektrik UB1, UB5, UB6 dan UB7 yang diperoleh menunjukkan kehadiran zon garis sesar yang berkelebaran 50 meter hingga 200 meter selain kehadiran retakan utama yang besar di kesemua 4 garis keberintangan yang dibincangkan tadi. Geologi utama kawasan zon sesar di ke empat-empat garis survei mewakili batuan granit sahaja. Dengan mengambil contoh hasil survei keberintangan untuk garis UB5 didapati survei

keberintangan jelas dapat menunjukkan kedudukan zon sesar berkelebaran 100 m disempadani oleh dua sesar yang tegak. Zon sesar dicirikan oleh zon lemah diisi oleh batuan terluluhawa yang tinggi kandungan air (Rajah 4(a)).

HASIL SURVEI KEBERINTANGAN DI PUSAT GEMPA 2

Garis keberintangan elektrik yang mewakili kedudukan pusat gempa 2 adalah garis survei UB2, UB8, UB9, UB10 dan UB11. Ia menunjukkan kehadiran zon garis sesar yang berkelebaran melebihi 150 meter hingga 250 meter selain kehadiran banyak retakan utama besar disempadani nilai keberintangan antara 500 Ω m hingga 1000 Ω m. Ia memberikan tafsiran bahawa zon sesar semakin melebar menghala ke arah sebelah timur. Ini dapat dilihat pada hasil garis survei UB8 yang menunjukkan zon sesar berkelebaran hampir 200 m (Rajah 4(b)). Keamatan retakan dan batuan terluluhawa semakin berkurangan. Kesemua 4 garis keberintangan diwakili oleh batuan granit sahaja.

HASIL SURVEI KEBERINTANGAN DI PUSAT GEMPA 3

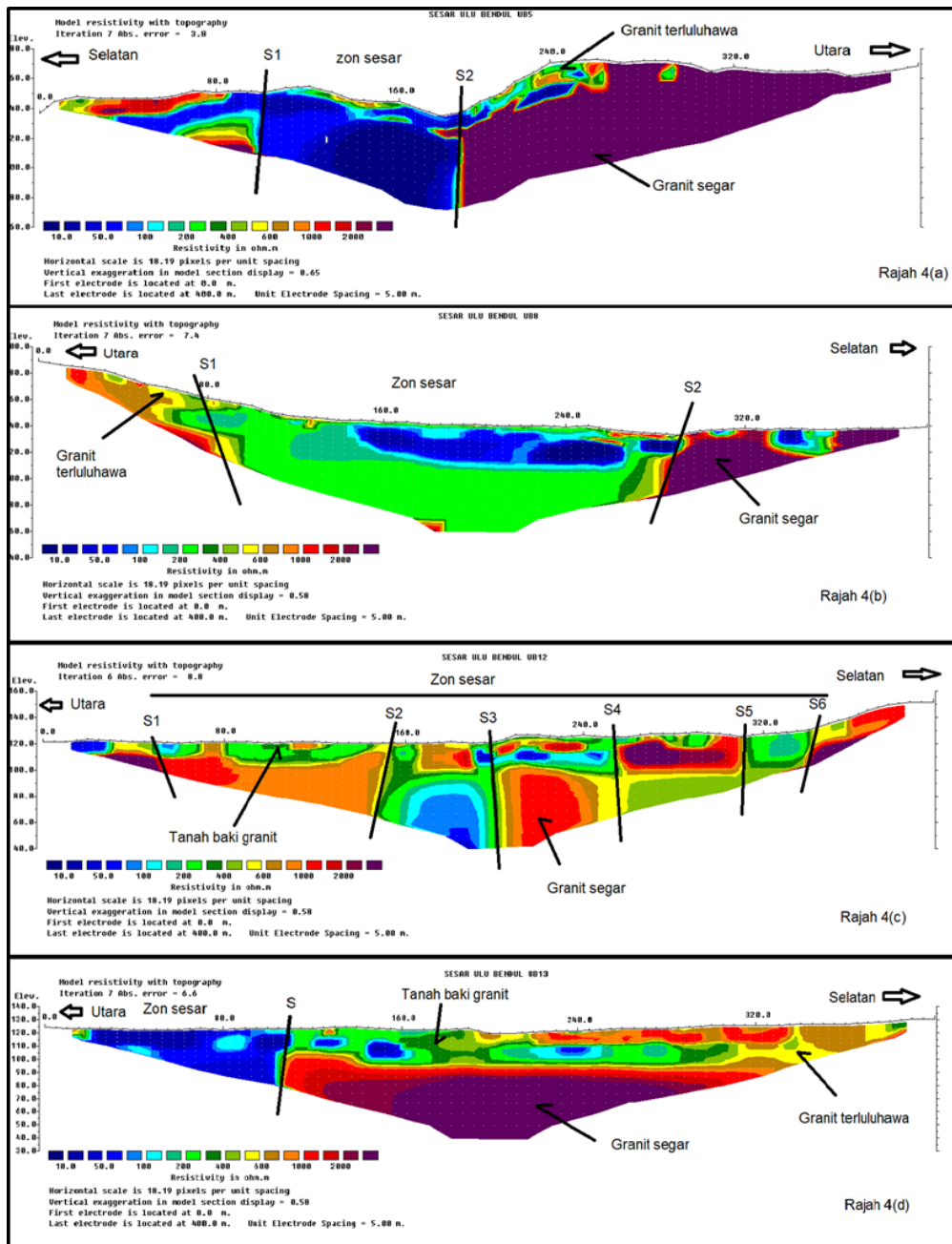
Garis survei UB12 pula mewakili kedudukan pusat gempa 3. Hasil menunjukkan bahawa zon sesar ini mempunyai kelebaran yang melebihi 200 meter dan dipercayai mempunyai zon sesar yang mengandungi sesar-sesar yang banyak berdasarkan rupa bentuk profil keberintangan (Rajah 4(c)).

HASIL SURVEI KEBERINTANGAN DI PUSAT GEMPA 4

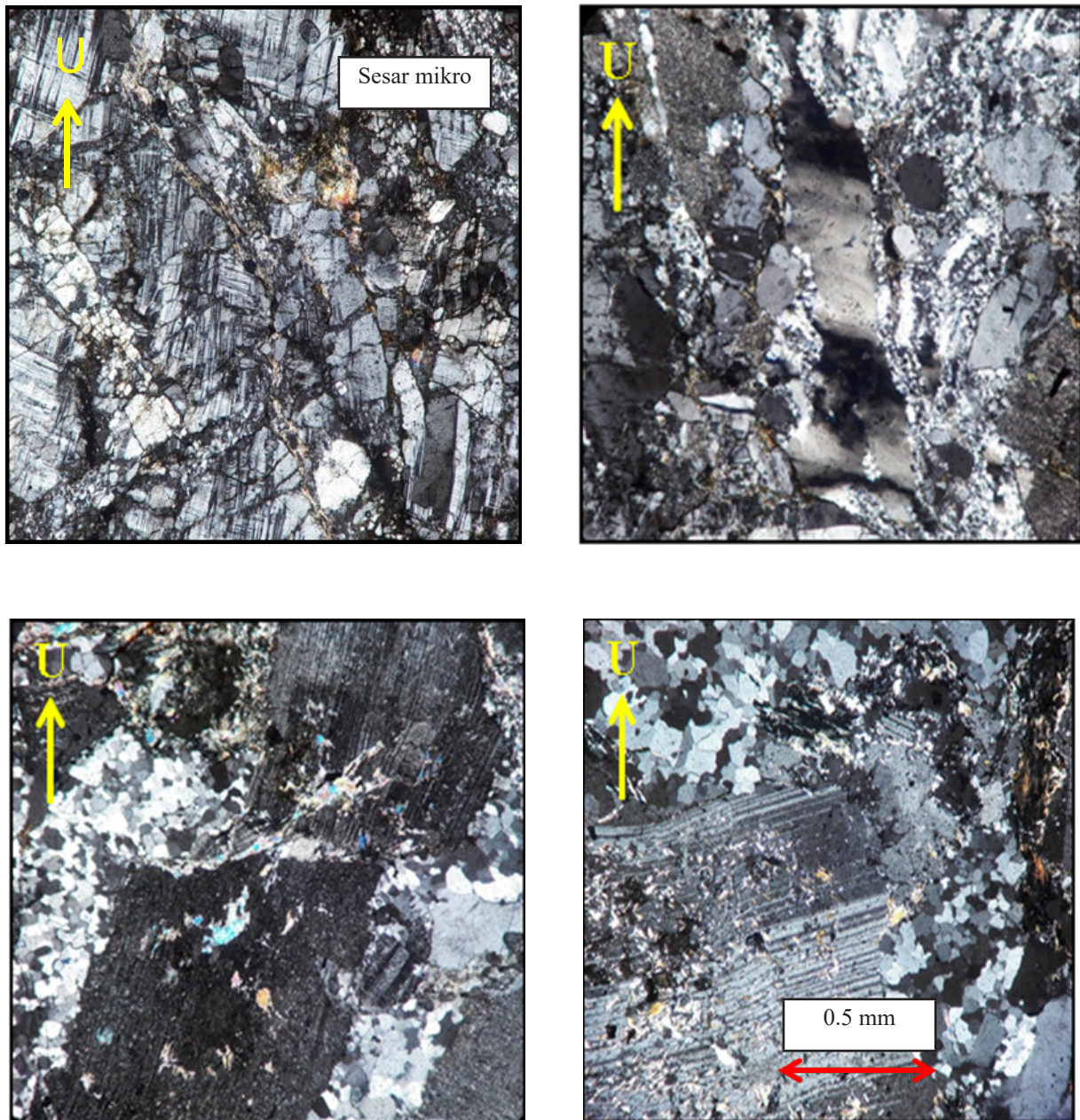
Kedudukan pusat gempa 4 diwakili oleh garis survei UB13 (Rajah 4(d)). Hanya satu satah sesar yang disebut segmen sesar parit sahaja ditemui mewakili zon sesar. Ini menunjukkan bahawa segmen sesar berkemungkinan lebih mudah ditemui sekiranya garis survei dijalankan lebih jauh ke utara sekiranya kajian lanjut dijalankan di bahagian timur kawasan kajian.

KAJIAN PETROGRAFI BATUAN

Kajian analisis mikroskopik ke atas 20 batuan terpilih daripada Ulu Bendul menunjukkan kebanyakan batuan dianalisis telah mengalami canggaan akibat daripada retakan dan sesar. Sekurang-kurangnya 12 sampel batuan menunjukkan bukti canggaan pada peringkat tahap lemah sehingga kuat. Tahap canggaan lemah ditunjukkan oleh herotan pada ira mineral seperti biotit dan apabila canggaan bertambah akan menyebabkan berlaku patahan atau sesar mikro pada mineral tersebut. Apabila dilihat daripada corak sesar mikro iaitu rekahan yang terbentuk dalam mineral secara mikroskopik, corak utama adalah



RAJAH 4. Hasil survei keberintangan elektrik di Ulu Bendul. (a) garis survei UB5 mewakili pusat gempa 1, (b) garis survei UB8 mewakili pusat gempa 2, (c) garis survei UB12 mewakili pusat gempa 3 (d) garis survei UB13 mewakili pusat gempa 4



RAJAH 5. Fotomikrograf sampel batuan dari Ulu Bendul yang mengalami canggaan dan tersesar. (a) Arah sesar mikro yang utama di dalam batuan berarah barat laut - tenggara (NW - SE) (b) Padaman bergelombang pada kuarza (Q) yang mengalami herotan kesan canggaan yang kuat (c) Kuarza berbutir halus (Q) terhasil akibat canggaan sesar berulang (d) Mineral plagioklas (PL) berubah kepada serisit akibat canggaan dan penambahan suhu

Baratlaut (NW) – Tenggara (SE), Utara-Barat Laut (NNW) – Selatan-Tenggara (SSE) dan Timur (E) – Barat (W). Corak yang terdapat pada sampel yang telah mengalami canggaan menunjukkan bahawa struktur mikroskopik dikawal oleh sistem lineamen/sesar utama yang terdapat di bahagian Jalur Barat sekitar Negeri Sembilan. Lineamen NW - SE adalah yang pertama terbentuk dan dipotong atau ditindih selepas itu oleh lineamen atau sesar yang berarah NNW – SSE dan E - W (Rajah 5(a)). Selain daripada itu, kelihatan kebanyakan kuarza bersaiz besar telah mengalami canggaan sehingga menyebabkan kuarza menunjukkan padaman bergelombang yang kuat (Rajah 5(b)).

Terdapat juga butiran yang bersaiz mikrokristalin dan kriptokristalin terdiri daripada kuarza halus yang terbentuk hasil daripada proses canggaan sesar berulang-ulang (Rajah 5(c)). Kelihatan sesetengah mineral plagioklas telah berubah kepada serisit disebabkan oleh proses canggaan sesar disertai dengan pertambahan suhu. Ini sekali gus telah membuktikan bahawa aktiviti seismik kecil telah berlaku dengan kewujudan sesar yang bergerak dalam zon sesar yang lebar di Ulu Bendol (Rajah 5(d)).

Berdasarkan analisis petrografi batuan tersesar yang telah dijalankan menunjukkan bahawa sampel telah mengalami canggaan sederhana dan kesan haba disebabkan oleh pergerakan sesar yang dinamik. Kesan geseran haba yang tinggi telah menyebabkan berlakunya penghabluran semula. Ini ditunjukkan dalam analisis petrografi kepada sampel batuan tersesar dengan beberapa mineral yang mengalami perubahan dan terhablur semula. Kristal tercangga dan terhablur semula menunjukkan batuan telah mengalami canggaan yang progresif.

PERBINCANGAN

Garis zon sesar boleh ditafsirkan berdasarkan nilai keberintangan elektrik sebenar yang ditunjukkan dalam model songsangan daripada setiap garis survei keberintangan yang didapati. Model songsangan yang dihasilkan daripada pemrosesan data menunjukkan bahawa zon sesar telah hadir di setiap profil keratan rentas keberintangan bermula dari UB5 sehingga ke UB14. Sungguhpun begitu, terdapat perbezaan yang ketara dari aspek kelebaran zon sesar dari satu lokaliti survei kepada lokaliti yang lain kerana zon kelebaran berubah-ubah dari julat 50 meter hingga 400 meter di sepanjang hampir 10 km panjang zon sesar Kuala Pilah. Selain daripada itu, penggunaan kaedah keberintangan elektrik adalah sangat berkesan untuk mengkaji kehadiran struktur sesar dan kehadiran zon sesar. Ia berdasarkan kepada perubahan yang berlaku secara mendadak terhadap nilai keberintangan elektrik. Perubahan mendadak ini menandakan wujudnya sesar dalam jasad batuan. Kehadiran lompong besar di

dalam batuan granit yang diisi oleh tanah granit terluluhawa, bahan lempung yang tebal atau batuan sangat terkekar yang memberikan nilai keberintangan yang rendah juga menjadi kepada petunjuk kepada kewujudan zon sesar dalam kawasan kajian.

KESIMPULAN

Berdasarkan kajian yang dijalankan dapat disimpulkan bahawa survei keberintangan elektrik amat sesuai digunakan bagi menentukan kehadiran sesar di bawah permukaan. Sesar yang tidak dapat dicerap pada singkapan batuan di permukaan boleh dipetakan dengan jelas dari segi saiz zon sesar tersebut.

PENGHARGAAN

Hasil penyelidikan ini merupakan sebahagian daripada hasil Projek Pemetaan Sesar Aktif Kuala Pilah di bawah Projek RMK-11 (2016-2020) yang telah dilakukan oleh Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia. Ia juga merupakan sebahagian daripada hasil penyelidikan Geran Penyelidikan Fundamental dengan kod FRGS/1/2022/STG08/UKM/02/2 dan geran industri ST-2023-017. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia serta Universiti Kebangsaan Malaysia terutamanya kakitanga Program Geologi.

RUJUKAN

- Abdul Rahim Samsudin. 1990. *Geofizik: Konsep dan Kepenggunaan*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Bignell, J.D. & Snelling, N.J. 1977. Geochronology of Malayan granites. *Overseas Geology and Mineral Resources* 47: 77.
- Cobbing, E.J., Pitfield, P.E.J., Darbyshire, D.P.F. & Mallick, D.J. 1992. The granites of the South East Asian tin belt (BGS overseas memoirs). *British Geological Survey*. hlm. 369.
- Esmail Al-Sabahi, Abdul Rahim Samsudin, Wan Zuhairi Wan Yaacob & Umar Hamzah. 2008. 2D Electrical resistivity investigation at Ampar Tenang Landfill Site, Selangor D.E. *Sains Malaysiana* 37(1): 33-37.
- Ghani, A.A. 2009. Plutonism. In *Geology of Peninsular Malaysia*, disunting oleh Hutchison, C.S. & Tan, D.N.K. Kuala Lumpur: Geological Society of Malaysia. hlm. 211-232.
- Griffiths, D.H. & Barker, R.D. 1993. Two-dimensional resistivity, imaging and modelling in areas of complex geology. *Applied Geophysics* 29: 211-226.

- John Stephen Kayode, Mohd Hariri Arifin & Mohd Nawawi. 2019. Characterization of a proposed quarry site using multi-electrode electrical resistivity tomography. *Sains Malaysiana* 48(5): 945-963.
- Khoo, K.K. 1998. Geology and Mineral Resources of the Kuala Pilah area, Negeri Sembilan. *Geological Survey of Malaysia Map Report 11*. hlm. 93.
- Khoo, K.K. 1973. The geology of Bahau area, Sheet 104, (Kuala Pilah), Negeri Sembilan. *Geological Survey of Malaysia Annual Report 1972*. hlm. 93-103.
- Lim, P.L. & Tjia, H.D. 1979. The Genting Thrust Belt at Genting Sempah, Selangor. *Sains Malaysiana* 8(2): 125-146.
- Loke, M.H. & Dahlin, T. 2002. A comparison of the Gauss-Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. *J. Appl. Geophys.* 49: 149-162.
- Loke, M.H. & Barker, R.D. 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting* 44: 131-152.
- Mark Jeeva & Umar Hamzah. 2012. Kajian migrasi bahan larut resap di tapak pelupusan sampah Sungai Sedu, Telok Datuk dengan kaedah geofizik dan geokimia. *Sains Malaysiana* 41(7): 829-840.
- Mustaffa Kamal Shuib, Mohammad Abdul Manap, Felix Tongkul, Ismail Bin Abd Rahim, Tajul Anuar Jamaludin, Noraini Surip, Rabieahatul Abu Bakar, Mohd Rozaidi Che Abas, Roziah Che Musa & Zahid Ahmad. 2017. Active faults in Peninsular Malaysia with emphasis on active geomorphic features of Bukit Tinggi Region. *Malaysian Journal of Geosciences* 1(1): 13-26.
- Mustaffa Kamal Shuib. 2012. Paleoearthquakes and active faulting activities in Peninsular Malaysia. *Seminar Teknikal Kebangsaan Gempabumi dan tsunami*, Petaling Jaya 13-14 Disember 2012. Jabatan Meteorologi Malaysia.
- Mustaffa Kamal Shuib. 2009. The recent Bukit Tinggi earthquakes and its relationship to major structures. *Geological Society of Malaysia Bulletin* 55: 1-6.
- Mustaffa Kamal Shuib. 2008. A preliminary interpretation of the recent Bukit Tinggi earthquakes using SRTM DEM. *Warta Geologi* 34(1): 5-7.
- Sasaki, Y. 1992. Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. *Geophys. Prospect* 40: 453-464.
- Shu, Y.K. 1989. Geology and mineral resources of the Kuala Klawang area, Jelebu district, Negeri Sembilan. *Geological Survey of Malaysia District Memoir* 20: 208.
- Siti Nazira Masrom, Mohd Hariri Arifin, Abdul Rahim Harun & Abdul Rahim Samsudin. 2011. Survei keberintangan geoelektrik untuk mengesan terowong di Bukit Tenggek, Setiu, Terengganu. *Sains Malaysiana* 40(11): 1223-1229.
- Stauffer, P.H. 1968. The Kuala Lumpur Fault Zone: A proposed major strike-slip fault across Malaysia. *Newsletter Geol. Soc. Malaysia* 15: 2-4.
- Store, H., Storz, W. & Jacobs, F. 2000. Electrical resistivity tomography to investigate geological structures of earth's upper crust. *Geophys. Prospect* 48: 455-471.
- Tjia, H.D. 1989. Major faults of Peninsular Malaysia on remotely sensed images. *Sains Malaysiana* 18(1): 101-114.
- Tjia, H.D. & Zaiton Harun. 1985. Regional structures of Peninsular Malaysia. *Sains Malaysiana* 14(1): 95-107.
- Umar Hamzah, Nurul Diyana Bahrudin, Mohd Azmi Ismail & Amry Amin Abbas. 2009. Survei pengimejan elektrik dan georadar dalam kajian Tanah Runtuh Taman Hill View, Ampang, Selangor. *Sains Malaysiana* 38(5): 645-653.
- Wah, A.Y.S. 2011. Geological assessment of the earthquake sources and hazard in Malaysia. Seminar Teknikal Gempabumi, Kuala Lumpur.
- Wang, Z., Cai, X., Yan, J., Wang, J., Liu, Y. & Zhang, L. 2017. Using the intergrated geophysical methods detecting active faults: A case study in Beijing, China. *Journal of Applied Geophysics* 156: 82-91.
- Zaiton Harun. 1992. Anatomi sesar-sesar utama Semenanjung Malaysia. Tesis Doktor Falsafah, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi: 215 (tidak diterbitkan).

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: umor@ukm.edu.my