Sains Malaysiana 55(10)(2026): 1774-1793
http://doi.org/10.17576/jsm-2026-5510-15

Eksplorasi Potensi Zon Pemineralan Emas menggunakan Teknik Keberintangan Geoelektrik dan Pengutuban Teraruh 2 Dimensi di Kawasan Sungai Tongkat, Setiu, Terengganu, Malaysia

(Exploration of Gold Mineralization Zone Potential using Geoelectrical Resistivity Techniques and 2-Dimensional Induced Polarization in Sungai Tongkat Basin, Setiu, Terengganu, Malaysia)

MOHD HARIRI ARIFIN[1], AZLAN SHAH NERWAN SHAH[2,*], MOHAMAD KAMAL IZZAT[3], MOHD AMIR ASYRAF SULAIMAN[3], MOHD BASRIL ISWADI BASORI[1], NOR SHAHIDAH MOHD NAZER[1], KHAIRUL NAZRI YAAKUB[4], SHARI B. ISMAIL[5], MUHAMAD SAFID SAAD[6] & ABDUL RAHIM HARUN[7]

[1]Program Geologi, Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia
[2]Kumpulan Teknologi Bahan, Bahagian Teknologi Industri, Agensi Nuklear Malaysia, 43000 Kajang, Selangor, Malaysia
[3]Geo Technology Resources Sdn Bhd, 31-1, Jalan Mawar 5B, Taman Mawar, 43900 Sepang, Selangor, Malaysia
[4]Jabatan Mineral dan Geosains Terengganu, PT3102K, Jalan Sultan Sulaiman, 20000 Kuala Terengganu, Terengganu, Malaysia
[5]Jabatan Mineral dan Geosains Pahang, Jalan IM 4/1, Bandar Indera Mahkota, 25604 Kuantan, Pahang, Malaysia
[6]Bahagian Perkhidamatan Teknikal, Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia, Jalan Sultan Azlan Shah, 31400 Ipoh, Perak, Malaysia
[7]Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia, Tingkat 9 Menara PJH, Jalan Tun Abdul Razak, Presint 2, 62000 Putrajaya, Malaysia

Diserahkan: 29 Mac 2026/Diterima: 30 September 2026

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: azlanshah@nm.gov.my

ABSTRAK

Jalur Timur Semenanjung Malaysia mempunyai potensi deposit logam, namun eksplorasi berfokuskan zon pemineralan emas subpermukaan berasaskan data geofizik bersepadu masih lagi terhad. Kajian ini menilai potensi zon pemineralan emas di kawasan Sungai Tongkat, Setiu, Terengganu menggunakan teknik keberintangan geoelektrik dan pengutuban teraruh (IP) 2 dimensi. Sebanyak 10 garis survei dengan panjang 200 m dan 400 m telah dijalankan dengan menggunakan susun atur Wenner-Schlumberger. Keputusan menunjukkan corak zon berpotensi pemineralan yang berbeza mengikut kedudukan geologi dan tekstur kuarza-sulfida. Zon dengan pengutuban teraruh tinggi (8-20 ms) dan keberintangan elektrik rendah hingga sederhana tinggi (1-800 Ωm) ditemui di barat laut kawasan kajian yang berpotensi mewakili koridor pemineralan berasosiasi dengan mineral sulfida tersebar di dalam zon perumah batuan metasedimen yang mengalami luluhawa atau rekahan kaya lempung. Sebaliknya, zon dengan keberintangan elektrik tinggi dan pengutuban teraruh tinggi (800-5000 Ωm; 8-20 ms) ditemui di zon tenggara menandakan kemungkinan pemineralan sulfida yang lebih tersebar atau kehadiran struktur telerang kuarza. Zon dengan keberintangan elektrik dan pengutuban teraruh rendah (1-200 Ωm; 0-2 ms) tertumpu di bahagian atas profil garis survei, mencadangkan peranan pola retakan Timur Laut ke Barat Daya di kawasan kajian yang bertindak secara fizikal sebagai saluran utama migrasi cecair hidrotermal pembawa emas. Keputusan kajian ini menyediakan kerangka eksplorasi subpermukaan terbaharu bagi prospek emas di Jalur Emas Timur Semenanjung Malaysia yang masih kurang diterokai.

Kata kunci: Jalur eksplorasi; keberintangan geoelektrik; pemineralan emas; pengutuban teraruh; Sungai Tongkat; zon berpotensi pemineralan

ABSTRACT

The Eastern Belt of Peninsular Malaysia possesses high potential for metal deposits; however, subsurface gold mineralization exploration utilizing integrated geophysical data remains limited. This study assesses potential gold mineralization zones in the Sungai Tongkat area, Setiu, Terengganu, using 2-dimensional geoelectrical resistivity and induced polarization (IP) techniques. Ten survey lines with lengths of 200 m and 400 m were conducted using the Wenner-Schlumberger array configuration. The results indicate distinct potential mineralization patterns varying

with geological settings and quartz–sulfide textures. Zones exhibiting high chargeability (8-20 ms) and low to moderately high electrical resistivity (1-800 Ωm) were identified in the northwest, potentially representing mineralized corridors associated with disseminated sulfide minerals within weathered or clay-rich fractured metasedimentary host rocks. Conversely, zones of high electrical resistivity and high chargeability (800-5000 Ωm; 8-20 ms) detected in the southeast suggest more dispersed sulfide mineralization or the presence of a quartz vein structure. Near-surface zones characterized by low resistivity and low chargeability (1-200 Ωm; 0-2 ms) are concentrated at the upper part of the survey profiles, suggesting that the Northeast–Southwest fracture patterns physically act as main conduits for gold-bearing hydrothermal fluid migration. The findings of this study provide a contemporary subsurface exploration framework for gold prospects along the relatively underexplored Eastern Peninsular Malaysia Gold Belt.

Keywords: Exploration belt; geoelectrical resistivity; gold mineralization; induced polarization; potential mineralization zones; Sungai Tongkat

PENGENALAN

Emas merupakan logam strategik yang digunakan secara meluas dalam pelbagai industri seperti elektronik, pembuatan perhiasan dan kewangan disebabkan keunikan sifat fiziko-kimianya (Liu & Lan 2025). Kebanyakan deposit emas dunia terbentuk melalui proses orogenik di zon akresi dan sutur kerak benua sejak era Arkean hingga Kenozoik (Goldfarb & Groves 2015; Sun et al. 2019). Semenanjung Malaysia sering digelar sebagai 'Golden Peninsula' kerana menghasilkan jumlah emas yang masif (Ariffin 2012; Yusoff, Aziz & Roselee 2022). Secara geologinya, Semenanjung Malaysia dibahagikan kepada tiga jalur mineral utama iaitu Barat, Tengah dan Timur yang memanjang dari Utara ke Selatan, yang mana penumpukan deposit emas berada di Jalur Tengah seperti Tersang, Penjom, Raub dan Selinsing (Sun et al. 2019).

Berbeza dengan Jalur Tengah Semenanjung Malaysia yang dikawal oleh proses mesoterma-orogenik di sepanjang Sutur Raub-Bentong (Li et al. 2015; Makoundi et al. 2014), pemineralan emas di Jalur Timur berlaku di dalam jujukan batuan metasedimen and batuan volkanik berusia Karbon hingga Permian yang berkait rapat dengan rejahan granitoid serta sistem zon sesar regional (Purwanto 2001; Rajah, Chand & Singh 1977). Pengkaji terdahulu seperti Yeap (1993) mencadangkan bahawa sumber logam emas di sepanjang jaluran ini dipercayai berasal daripada fasa metamorfisme serantau bergred rendah purba yang merembeskan aliran hidrotermal magmatik menembusi rekahan kerak bumi. Potensi sistem telerang kuarza-sulfida pembawa emas di Jalur Timur ini telah dibuktikan melalui beberapa kajian terdahulu di kawasan sekitarnya seperti Lubok Mandi (Purwanto 2001) dan Setiu, Terengganu (Jabatan Mineral dan Geosains Terengganu 2021).

Walau bagaimanapun, sebahagian besar kawasan prospek emas di Jalur Timur seperti Sungai Tongkat, Setiu masih dikategorikan sebagai kurang diterokai akibat kekangan litologi batuan metasedimen padat yang dilitupi oleh lapisan batuan terluluhawa yang tebal. Oleh itu, terdapat keperluan kritikal untuk mengaplikasikan pendekatan geofizik permukaan beresolusi tinggi bagi memetakan kontras sifat fizik batuan bawah tanah di kawasan Sungai Tongkat sebagai kerangka asas eksplorasi yang lebih jitu.

Teknik imej keberintangan elektrik (ERI) dan pengutuban teraruh (IP) 2 dimensi merupakan kaedah geofizik permukaan yang sangat berkesan dalam eksplorasi mineral lod kuarza-sulfida (Zaid et al. 2023). Menurut Kayode et al. (2022), ERI berfungsi mengesan zon rekahan basah atau telerang kuarza-sulfida berasaskan variasi keberintangan, manakala IP bertindak sebagai parameter pelengkap yang sensitif terhadap kesan pengutuban permukaan oleh mineral sulfida tersebar seperti pirit. Integrasi kedua-dua parameter ini mengurangkan ketaksaan dalam mentafsir zon anomali geofizik berkaitan dengan struktur perumah mineral (Ali et al. 2023), selain memetakan profil subpermukaan struktur lemah dalam batuan metasedimen (Arifin et al. 2025). Pendekatan gabungan ERI–IP telah dibuktikan keberkesanannya untuk mengenal pasti potensi kewujudan mineral yang berasosiasi dengan deposit logam asas (Arifin et al. 2026).

Justeru, kajian ini dijalankan untuk menilai keupayaan integrasi kaedah ERI 2D dan IP dalam mengesan potensi zon pemineralan emas di Jalur Timur. Objektif kajian ini adalah untuk mengenal pasti taburan, orientasi dan kedalaman struktur subpermukaan yang berpotensi mengandungi emas melalui tafsiran data geofizik lapangan. Selain itu, kajian ini turut mengenal pasti kawasan dengan ciri isyarat geofizik yang tekal dengan pemineralan pembawa sulfida sebagai perumah berpotensi emas. Keputusan kajian ini dijangka mampu menyediakan kerangka eksplorasi terkini bagi prospek emas di Jalur Emas Timur Semenanjung Malaysia yang masih kurang diterokai.

BAHAN DAN KAEDAH

KAWASAN KAJIAN

Geologi Am

Kajian ini telah dijalankan di kawasan Sungai Tongkat, Setiu, Terengganu yang terletak di bahagian utara Jalur Timur Semenanjung Malaysia. Secara amnya, topografi kawasan kajian diklasifikasikan sebagai kawasan berbukit dengan julat ketinggian kira-kira 55 m hingga 196 m dari aras laut (Rajah 1). Berdasarkan pemetaan serantau, litologi batuan utama di Sungai Tongkat terdiri daripada tiga unit utama iaitu batuan sedimen klastik, batuan metasedimen dan wilayah Granit Jalur Banjaran Sempadan. Menurut Chu dan Singh (1986), jujukan batuan di utara Jalur Emas Timur didominasi oleh batuan metasedimen berkarbon, batuan igneus dan endapan daratan berusia Jura-Kapur.

Batuan sedimen klastik dan metasedimen yang merangkumi sabak, filit, syal dan batu pasir di kawasan Setiu ini diklasifikasikan sebagai unit batuan berusia Karbon (Abdullah 2006; Fateh 1978). Batuan sedimen klastik di jalur ini juga dilaporkan telah mengalami proses metamorfisme rantau bergred rendah dengan taburan batuan jenis metakuarzit dan filit (Abdullah & Setiawan 2003). Siri batuan metasedimen berusia Karbon hingga Permian ini diklasifikasikan sebagai sebahagian daripada Lapisan Sungai Perlis di bawah Kumpulan Kuantan yang mempunyai ketebalan sekurang-kurangnya 1500 m (Fateh 1978; Lee 2009). Formasi dominan ini terdiri daripada sabak berkarbon, argilit, filit dan syis dengan kehadiran jalur kuarzit, metakonglomerat dan hornfels yang menjadi dasar kepada konglomerat benua (Abdullah 2006).

STRUKTUR GEOLOGI

Dari sudut struktur geologi, *strata* berusia Karbon di kawasan Sungai Tongkat telah mengalami ricihan and canggaan yang membentuk perlipatan antiklin yang menjunam ke arah Utara-Barat Laut (Idris & Zaki 1986). Lapisan batuan ini direkodkan berjurus ke arah Utara-Barat Laut dan Selatan-Tenggara dengan kemiringan ke arah Timur-Timur Laut. Beberapa *strata* pada Lapisan Sungai Perlis ini menunjukkan canggaan sederhana yang membawa kepada hipotesis bahawa jujukan *strata* yang menunjukkan struktur lebih kompleks kemungkinan berusia lebih tua iaitu pra-Karbon (Abdullah 2001).

Berdasarkan cerapan fizikal di lapangan pada singkapan batuan, jujukan metasedimen menunjukkan satah foliasi batuan filit yang mengikut haluan Utara-Selatan (Rajah 2(a)). Struktur subpermukaan kawasan ini dipengaruhi oleh kehadiran telerang kuarza (ditandai oleh garisan merah) yang memotong satah batuan filit dengan jelas (Rajah 2(b)). Jaringan kelemahan struktur ini menjadi laluan fizikal aliran hidrotermal pembawa mineral yang dibuktikan melalui kewujudan struktur telerang kuarza masif berskala makroskopik setebal 5-25 cm yang memotong satah foliasi filit tersebut (Rajah 2(c)).

Selain itu, cerapan pada singkapan batuan filit turut menunjukkan kehadiran telerang kuarza yang menunjukkan kepingan mika yang ketara (Rajah 2(d)), manakala endapan aluvium longgar tersingkap di kawasan lembah sungai. Kehadiran mika di sepanjang sempadan telerang kuarza ini merupakan petunjuk geologi klasik bagi zon pengubahan filik. Kehadiran mineralisasi emas di Terengganu ini disahkan berada di dalam sistem Jalur Emas 4 yang dikawal oleh jujukan metasedimen dan penerobosan volkanik-sulfida (Yeap 1993).

KAEDAH KEBERINTANGAN GEOELEKTRIK DAN PENGUTUBAN TERARUH 2 DIMENSI

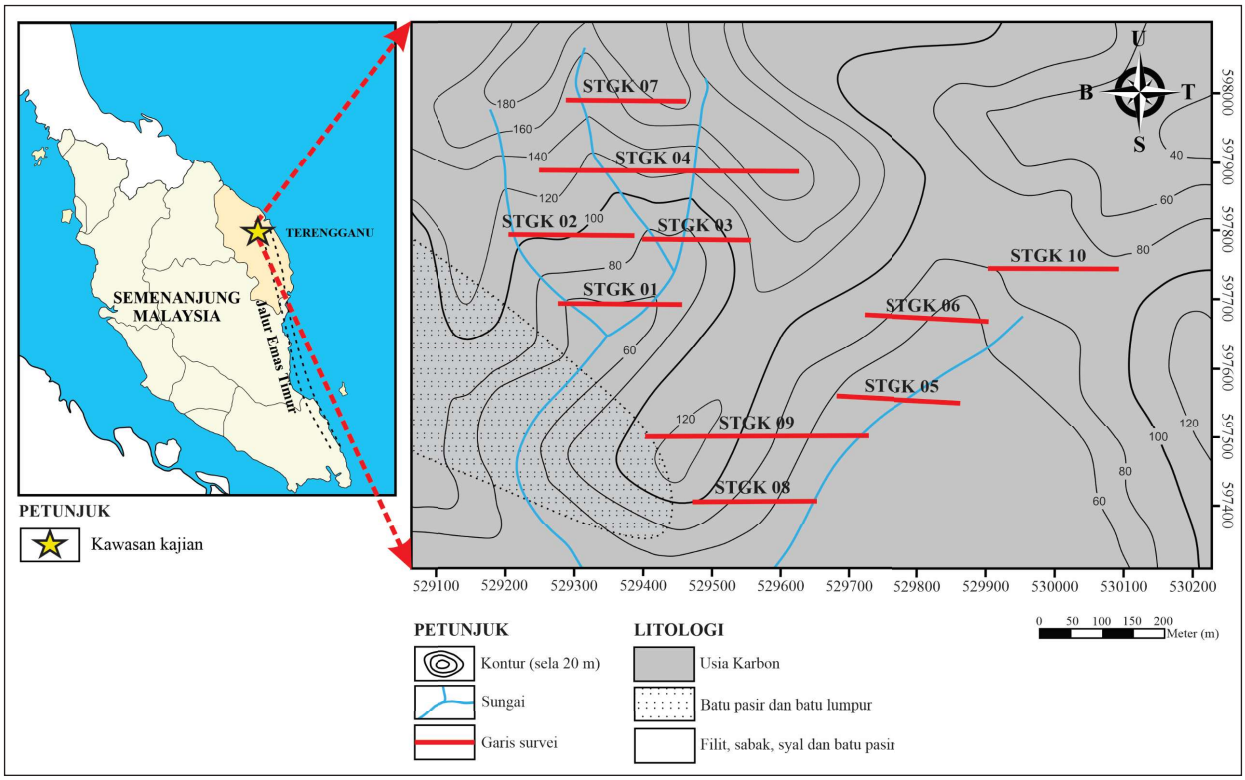
PROTOKOL LAPANGAN DAN KONFIGURASI PENGUKURAN

Survei imej keberintangan elektrik (ERT) dan pengutuban teraruh (IP) 2 dimensi di kawasan kajian dijalankan menggunakan sistem instrumen ABEM Terrameter SAS 4000 yang disambungkan bersama unit pemilih elektrod automatik ES 10-64C. Operasi lapangan ini melibatkan pemasangan sebanyak 61 elektrod keluli yang disambungkan secara sistematik pada 4 kabel berbilang teras. Jajaran elektrod direntangkan pada satu garis lurus berasaskan susun atur Wenner-Schlumberger. Pengukuran ini digerakkan oleh unit mikro–komputer dalam Terrameter yang memilih gabungan empat elektrod aktif secara automatik bagi menghantar suntikan arus elektrik dan mengukur keupayaan voltan subpermukaan secara silih berganti.

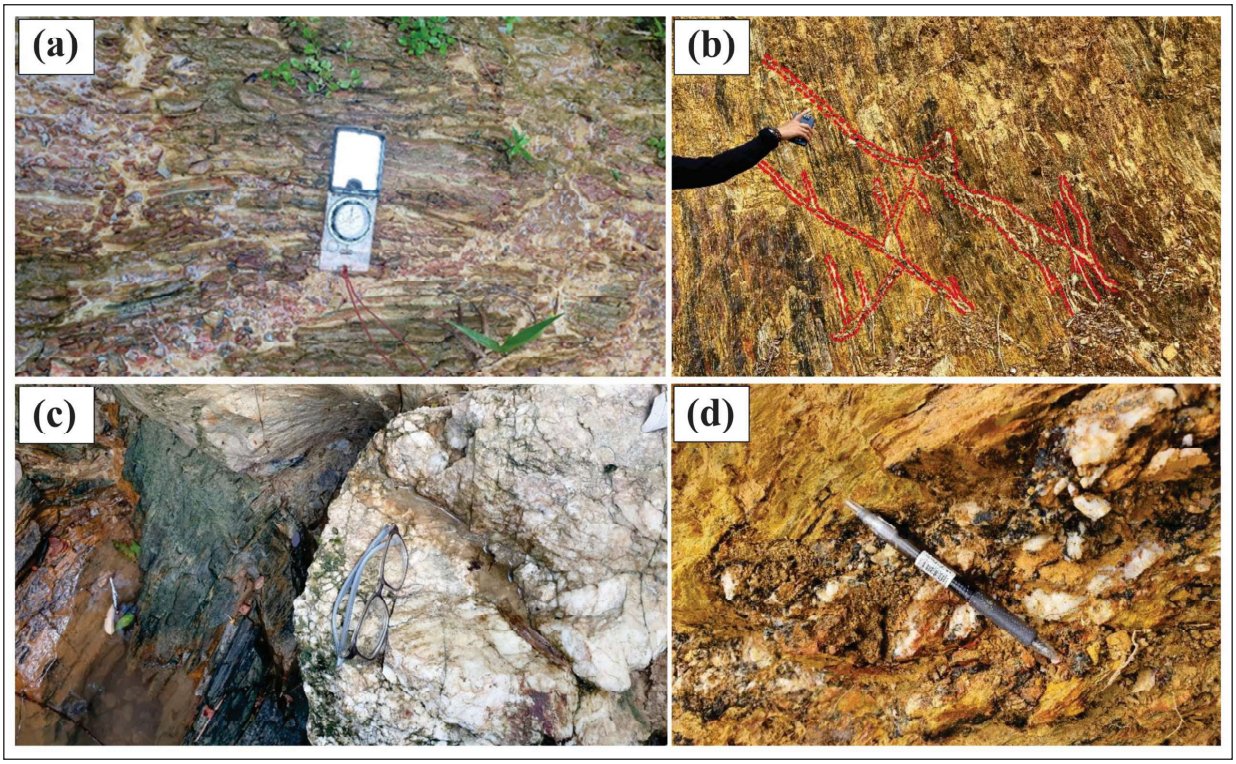
Sebanyak 10 garis survei selari telah dibina merentasi kawasan berbukit dan bercerun hutan tebal dengan orientasi Barat-Timur bagi memotong struktur geologi secara berserenjang. Singkatan SGTK (Sungai Tongkat) digunakan bagi mewakili setiap garis survei di kawasan kajian (SGTK 01–10). Lapan garis survei dijalankan dengan panjang garis 200 m menggunakan sela elektrod tetap pada 2.5 m, manakala 2 garis survei dipanjangkan kepada 400 m menggunakan sela elektrod 5.0 m dengan jarak antara garis yang tekal antara 50 m hingga 100 m. Konfigurasi geometri garis 200 m menghasilkan had kedalaman penyelidikan boleh dipercayai (DOI) sekitar 40 m, manakala garis 400 m mampu mencapai unjuran kedalaman model maksimum sehingga 75 m.

Suntikan arus ditetapkan menggunakan mod *Time-Domain* IP dengan kitaran masa denyut selama 2 saat dan masa tunda selama 0.2 saat. Integrasi voltan susut diukur merentasi tingkap masa piawai bagi menentukan nilai kebolehcasan. Bagi mengoptimumkan nisbah isyarat-ke-bunyi, pemerataan bacaan automatik dilakukan antara 3 hingga 6 kali kitaran bagi setiap titik data.

Pemilihan orientasi kesemua 10 garis survei yang dijajarkan mengikut arah Barat–Timur (azimut 090°) ditentukan berdasarkan unjuran azimut struktur



RAJAH 1. Peta geologi kawasan kajian menunjukkan lokasi garis survei



RAJAH 2. Rajah menunjukkan singkapan lapangan (a) Batuan filit di kawasan kajian yang memperlihatkan arah foliasi yang jelas, (b) struktur telerang kuarza (garis merah) memotong satah batuan, (c) telerang kuarza masif setebal 5-25 cm dan (d) telerang kuarza yang menunjukkan kehadiran kepingan mika sebagai petunjuk zon pengubahan hidrotermal

geologi serantau di kawasan kajian. Rekahan ricih dan lineamen struktur utama yang mengawal zon berpotensi pemineralan emas di sepanjang Sungai Tongkat secara umumnya berorientasikan tren Utara–Selatan hingga Timur Laut–Barat Daya (julat azimut ~000° hingga 045°). Berasaskan prinsip geometri ini, lintasan garis survei berarah Barat–Timur adalah optimum kerana ia memotong jajaran struktur sesar dan foliasi batuan perumah secara berserenjang dengan sudut serong yang besar (antara 45° hingga 90°). Sudut pemotongan ini adalah kritikal bagi membolehkan teknik ERT 2 dimensi membentuk kontras sempadan batuan subpermukaan. Rajah 3(a) menunjukkan konfigurasi peralatan survei yang digunakan di lapangan, manakala Rajah 3(b) mengilustrasikan rajah skematik susun atur elektrod dan taburan titik pengambilan data bagi membentuk profil subpermukaan.

PEMPROSESAN DATA DAN KAWALAN KUALITI PENYONGSANGAN

Data lapangan yang telah dicerap dipindahkan ke dalam komputer dan ditukarkan ke format yang serasi dengan perisian pemprosesan RES2DINV Versi 3.57. Melalui algoritma kekangan kelancaran kuasi-Newton kuasa dua terkecil, profil grafik dihasilkan bagi memperoleh imej keberintangan bahan dalam bentuk 2D (Loke & Barker 1996; Nguyen et al. 2005). Peta model permukaan topografi terpampas dan model blok hirisan kedalaman telah diekstrak melalui fungsi ekstrapolasi grid dalaman model penyongsangan berasaskan geometri pensampelan 10 garis survei 2D yang disusun secara selari dengan sela jarak 50-100 m. Parameter carian jejari dioptimumkan secara digital oleh algoritma perisian bagi meminimumkan kesan herotan lateral akibat variasi bentuk muka bumi serta mengekalkan korelasi anomali yang tekal antara garis profil. Kriteria penumpuan model dihadkan sehingga lelaran ke-7 hingga ke-10 dengan pemantauan kualiti ralat herotan RMS yang stabil bagi mengelakkan ralat isyarat palsu dalam model akhir.

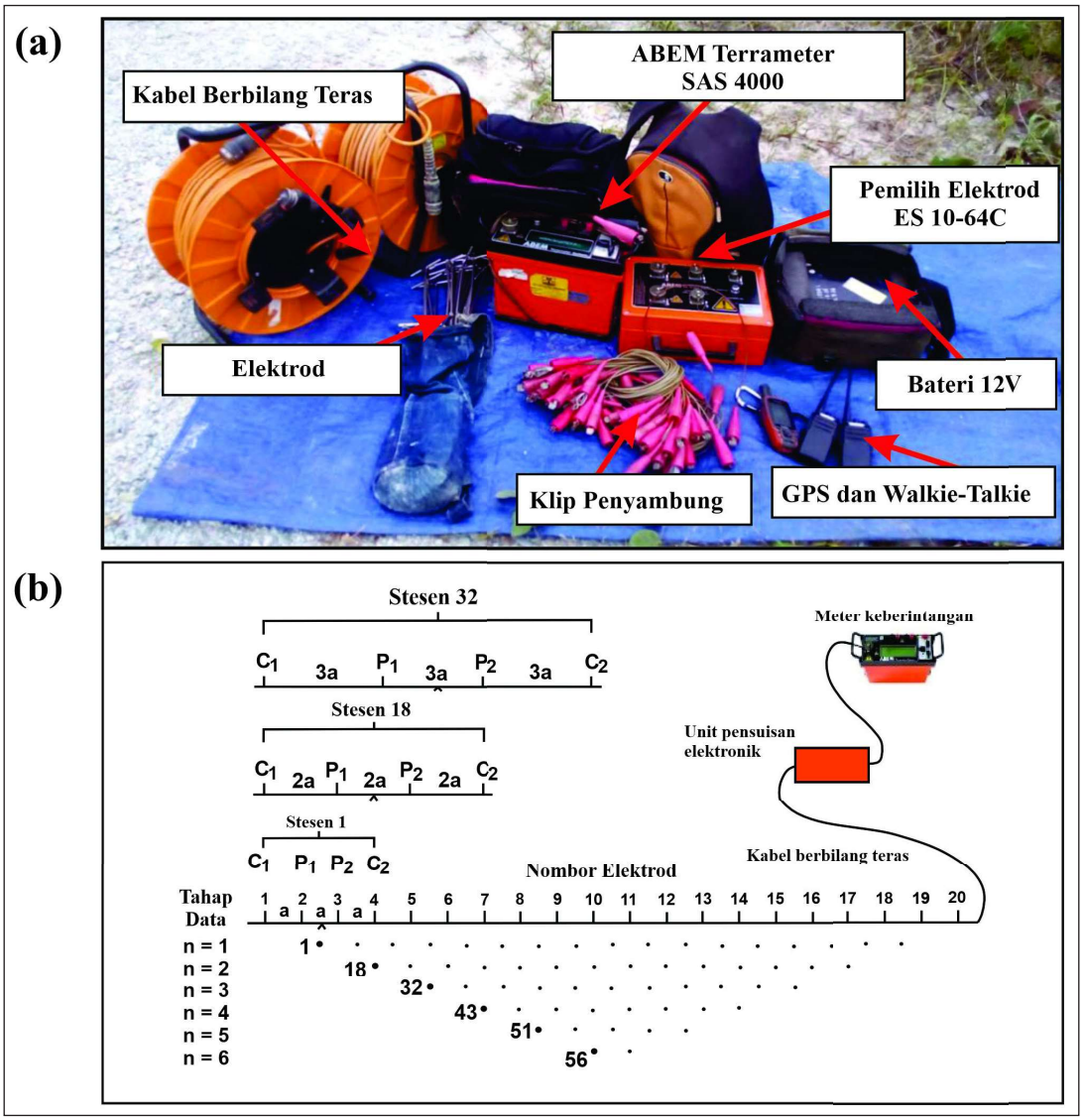
Protokol kawalan kualiti data mentah dan darjah penumpuan model penyongsangan akhir dianalisis secara menyeluruh bagi kesemua 10 garis survei untuk mengukuhkan penyataan dan mengurangkan faktor ketakpastian model (Jadual 1). Semasa fasa pra-pemprosesan data, kriteria penolakan data dilakukan secara manual dengan mengeluarkan titik data buruk yang mengalami herotan isyarat ralat melebihi had ralat piawai (5%). Langkah penapisan ini mengekalkan datum yang berkualiti bersih sahaja untuk dimasukkan ke dalam pemodelan RES2DINV bagi memastikan kebolehpercayaan keratan rentas subpermukaan yang dihasilkan. Ralat penumpuan RMS bagi keseluruhan garis survei menunjukkan variasi yang minimum dan stabil. Garis survei SGTK 01 misalnya mencatatkan ralat RMS sebanyak 15.6% (keberintangan elektrik) dan 0.65% (IP). Kestabilan isyarat ini dibuktikan oleh garis survei SGTK 02 dan SGTK 06 yang mencatatkan ralat RMS parameter IP terendah iaitu masing-masing pada kadar 1.80% dan 0.48%. Bagi garis survei panjang 400 m seperti SGTK 04 and SGTK 09, ralat RMS keberintangan elektrik kekal optimum dengan purata 13.2% hingga 15.7%. Manakala bagi garis profil timur-tenggara seperti garis SGTK 10, pemodelan akhir mencatatkan nilai ralat RMS yang tekal iaitu sebanyak 15.7% bagi keberintangan elektrik dan 0.64% bagi parameter IP dengan kadar kehilangan data terkawal pada paras 14.57% (88 datum) daripada jumlah keseluruhan 604 titik data awal. Purata kadar data bersih keseluruhan garis survei yang mengekalkan keutuhan data asal adalah melebihi 85%.

HASIL DAN PERBINCANGAN

RESPONS GEOFIZIK SUBPERMUKAAN

Berdasarkan keputusan dan tafsiran profil keberintangan elektrik serta pengutuban teraruh (IP) bagi kesemua garis survei, beberapa zon berpotensi untuk pemineralan emas telah dikenal pasti (Rajah 4 - 8). Penentuan nilai ambang bagi zon berpotensi ini ditentukan berasaskan analisis statistik anomali ke atas keseluruhan set populasi data lapangan yang dicerap, yang mana nilai median dan sisihan piawai (SD) bagi data keberintangan elektrik masing-masing mencatatkan 1678.76 Ωm dan 1348.37 Ωm, manakala bagi parameter kebolehcasan mencatatkan nilai 2.26 ms dan 33.18 ms. Statistik deskriptif ini kemudiannya dipadankan dengan nilai latar belakang geologi batuan metasedimen daripada kajian terdahulu (Zaid et al. 2023). Tafsiran ini berpandukan kepada tiga komponen utama iaitu: (i) nilai pengutuban teraruh yang tinggi (8-20 ms), (ii) keberintangan elektrik rendah hingga sederhana tinggi (1-800 Ωm) dan perubahan pola keberintangan sepanjang profil yang selari dengan kehadiran mineral sulfida dan (iii) keupayaan penyimpanan cas elektrik. Hubungan antara parameter ini adalah kunci untuk memahami mekanisme pemineralan yang berpotensi wujud.

Zon pemineralan berpotensi dengan nilai pengutuban teraruh tinggi dan keberintangan elektrik rendah hingga sederhana tinggi (8-20 ms; 1-800 Ωm) ditemui pada garis survei STGK 01 (Rajah 4(a)), STGK 03 (Rajah 5(a)), STGK 04 (Rajah 5(b)), STGK 05 (Rajah 6(a)) dan STGK 09 (Rajah 8(a)). Tafsiran ini menunjukkan perbezaan antara pengutuban teraruh yang tinggi dan nilai keberintangan elektrik rendah-sederhana yang meramalkan kehadiran mineral sulfida dengan keberintangan elektrik yang lebih rendah serta kapasiti penyimpanan cas elektrik di dalam atau berhampiran jalur telerang. Selain itu, zon pemineralan yang lebih tersebar atau berstruktur dengan keberintangan elektrik tinggi dan pengutuban teraruh tinggi (800-5000 Ωm; 8-20 ms) ditemui pada garis survei STGK 07 (Rajah 7) dan STGK 10 (Rajah 8(b)).



RAJAH 3. (a) Peralatan survei keberintangan elektrik dan pengutuban teraruh yang digunakan dalam kajian dan (b) Susun atur elektod dan titik pengambilan data di lapangan untuk membentuk profil *pseudo*

JADUAL 1. Ringkasan metrik kawalan kualiti data bagi 10 garis survei (SGTK 01–10) di kawasan kajian

Garis survei	Panjang (m)	Jumlah datum awal	Data bersih	Kehilangan data (%)	Ralat penumpuan RMS (%)	
					Keberintangan elektrik	Pengutuban teraruh
SGTK 01	200	604	550	8.94	15.6	0.65
SGTK 02	200	580	538	7.24	10.8	1.80
SGTK 03	200	601	541	9.98	19.3	1.80
SGTK 04	400	604	526	12.91	13.2	3.10
SGTK 05	200	582	541	7.04	13.2	3.10
SGTK 06	200	585	561	4.10	14.7	0.48
SGTK 07	200	636	516	18.87	15.7	0.64
SGTK 08	200	677	601	11.23	15.7	0.64
SGTK 09	400	603	536	11.11	15.7	0.64
SGTK 10	200	604	516	14.57	15.7	0.64

Peta model permukaan (0 m) topografi terpampas (Rajah 10) menunjukkan respons keberintangan elektrik rendah hingga sederhana (< 800 Ωm) dominan di barat laut (Rajah 10(a)). Sebaliknya, nilai pengutuban teraruh bertumpu di bahagian tenggara, yang mana zon kebolehcasan tinggi pada satah permukaan ini dicirikan oleh nilai > 2.5 ms akibat kesan pemerataan ruang daripada grid rujukan permukaan (Rajah 10(b)). Kesinambungan corak reruang yang tekal merentasi sela grid 10 garis survei ini menggambarkan orientasi jasad anomali geologi yang nyata. Korelasi ruang yang dipaparkan pada satah permukaan 0 m ini menunjukkan korelasi lateral yang koheren dengan kedudukan zon ricih dan taburan sulfida utama. Had liputan reruang serta kesinambungan fizikal jasad mineralisasi ini disahkan secara bersilang melalui rujukan konfigurasi rajah berpagar (Rajah 9).

Melalui model blok hirisan kedalaman (Rajah 11) yang dipotong mendatar pada tahap kedalaman 5 m, 15 m, 25 m dan 50 m, corak keberintangan elektrik (Rajah 11(a)) menunjukkan penurunan berterusan dengan peningkatan kedalaman, yang mana zon keberintangan rendah meluas pada kedalaman melebihi 15 m. Sebaliknya, isyarat pengutuban teraruh tinggi (Rajah 11(b)) mula muncul dengan jelas melebihi kedalaman dangkal 5 m dan berterusan secara aktif ke zon subpermukaan yang lebih dalam (25 m dan 50 m) dengan merekodkan semula nilai anomali tulen mencapai julat 20.0-30.0 ms.

TAFSIRAN GEOLOGI

Variasi respons parameter fizikal ini mencerminkan keadaan litologi batuan dan sekitaran geologi subpermukaan di sepanjang Sungai Tongkat yang tekal dengan kehadiran zon pembawa sulfida. Kehadiran mineral sulfida (seperti pirit dan arsenopirit) ditafsirkan menyumbang kepada nilai kebolehcasan yang tinggi akibat kesan pengutuban elektrod, di samping sifat elektriknya yang lebih konduktif (keberintangan rendah) berbanding batuan perumah metasedimen tegar. Tafsiran ini selari dengan model mineralogi emas orogenik serantau yang dilaporkan oleh pengkaji terdahulu (Dusabemariya et al. 2020; Makoundi, Zaw & Endut 2020). Zon ini berpotensi menjadi jalur pemineralan emas dalam koridor tektonik atau zon telerang-kuarza yang berorientasi mengikut struktur geologi setempat.

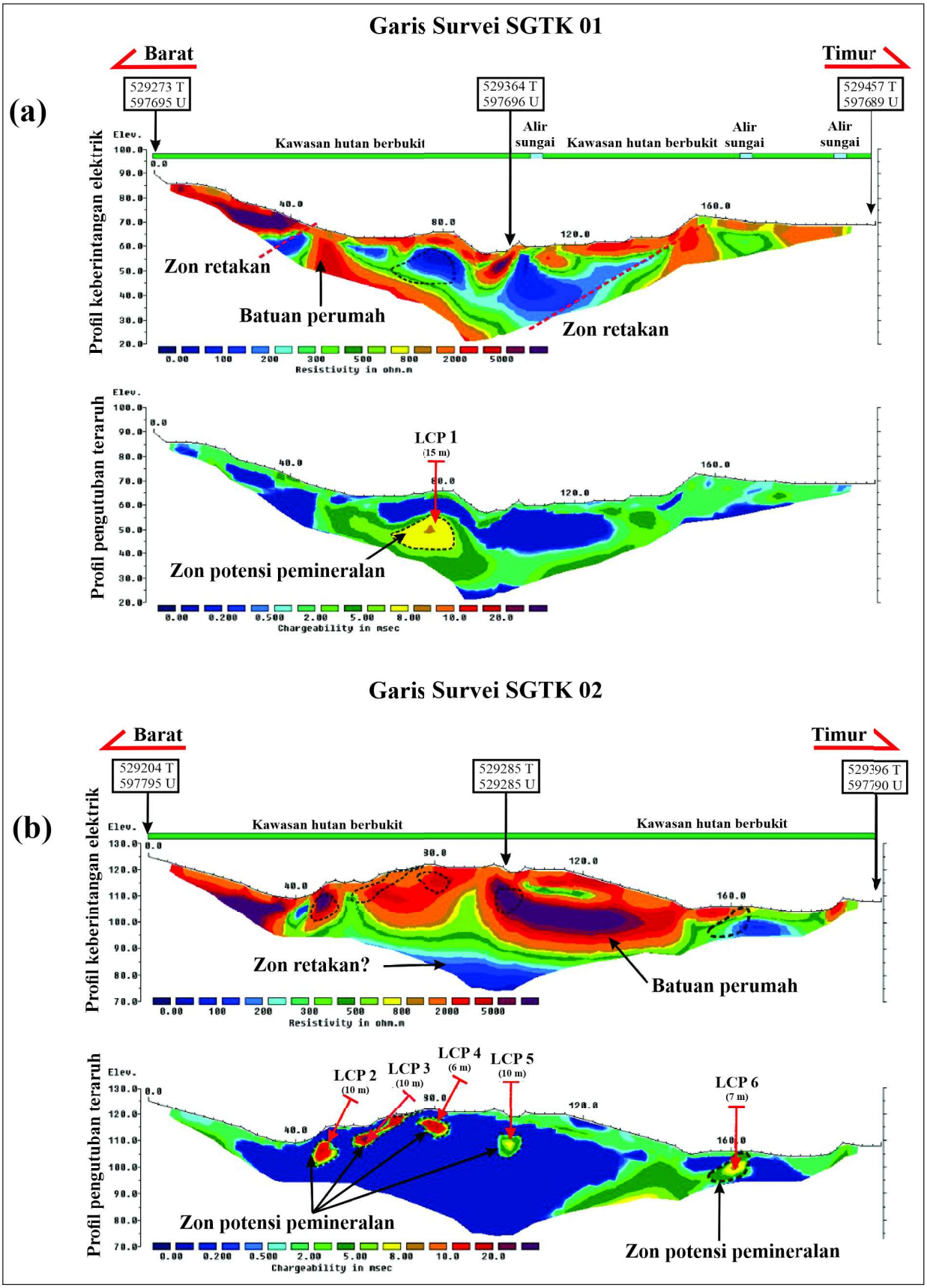
Tafsiran respons anomali yang ketara ini juga selari dengan kajian eksplorasi emas bersulfida oleh Zaid et al. (2023) di dalam batuan metasedimen yang melaporkan korelasi kuat antara zon berkeberintangan rendah berkebolehan tinggi dengan lokasi pemineralan lod emas. Dalam konteks pemodelan sifat elektrik batuan bawah tanah, gandingan isyarat kebolehcasan tinggi bersama keberintangan yang rendah mencerminkan zon konsentrasi mineral sulfida ricih tebal yang berfungsi sebagai batuan perumah emas utama. Sebaliknya, unjuran anomali kebolehcasan yang lebih rendah tetapi bertindih dengan nilai keberintangan elektrik yang tinggi (800-5000 Ωm) ditafsirkan sebagai kehadiran sistem telerang kuarza tegar dengan kandungan sulfida minor yang tersebar sebagai deposit lod emas.

Tafsiran pada data resistif dan kebolehcasan tinggi menunjukkan bahawa zon ini berkemungkinan mewakili pemineralan yang lebih tersebar atau berpusat di dalam sistem telerang kuarza yang mengandungi sulfida. Perbezaan tahap keberintangan disebabkan oleh saiz telerang kuarza yang kecil atau tahap konsentrasi sulfida yang rendah. Kehadiran nilai keberintangan elektrik yang rendah di sekeliling zon resistif berkebolehan tinggi (pengutuban teraruh tinggi) ini pula menandakan zon rekahan basah atau alterasi filik kaya lempung yang menyokong migrasi cecair hidrotermal purba pembawa mineral. Peranan jaringan rekahan ricih ini adalah selari dengan mekanik kawalan struktur telerang lod kuarza bersulfida yang dibincangkan oleh Tripp dan Vearncombe (2004).

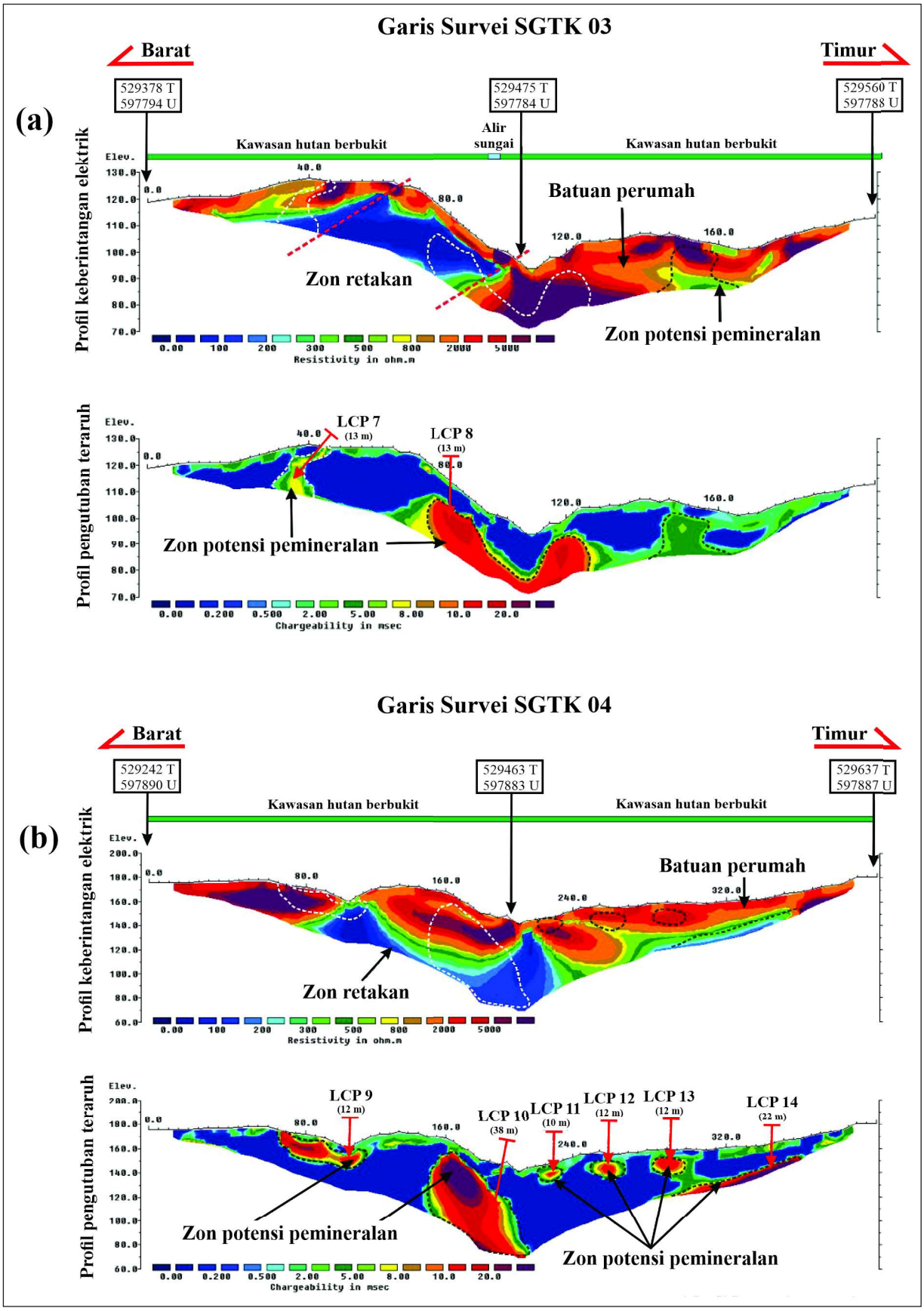
Bagi mengurangkan sifat ketaksaan interpretasi geofizik permukaan, model anomali subpermukaan Sungai Tongkat telah dipadankan secara analogi dengan bukti fizikal sampel teras gerudi daripada Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia Terengganu (2021) bagi jujukan batuan metasedimen berusia Karbon yang setara (Rajah 12). Kehadiran zon keberintangan elektrik rendah yang diinterpretasikan sebagai zon kelemahan struktur didapati tekal secara fizikal dengan bukti kemunculan struktur sesar songsang mikro (Rajah 12(a)) serta struktur nendatan dan lipatan minor (Rajah 12(b)-12(c)) pada sampel teras batuan metasedimen serantau tersebut. Tambahan pula, kewujudan struktur telerang kuarza subpermukaan yang memotong unit batuan metasedimen dan sabak berkarbon (Rajah 12(d)-12(e)) memberikan asas perbandingan geologi yang kukuh terhadap tindihan anomali nilai tinggi di bahagian tenggara kawasan kajian, yang mana kehadiran batuan filit terubah kuat (Rajah 12(f)) berkait rapat dengan fasa ubahan kimia batuan perumah akibat rejahan batuan igneus.

MODEL KONSEPTUAL PEMINERALAN

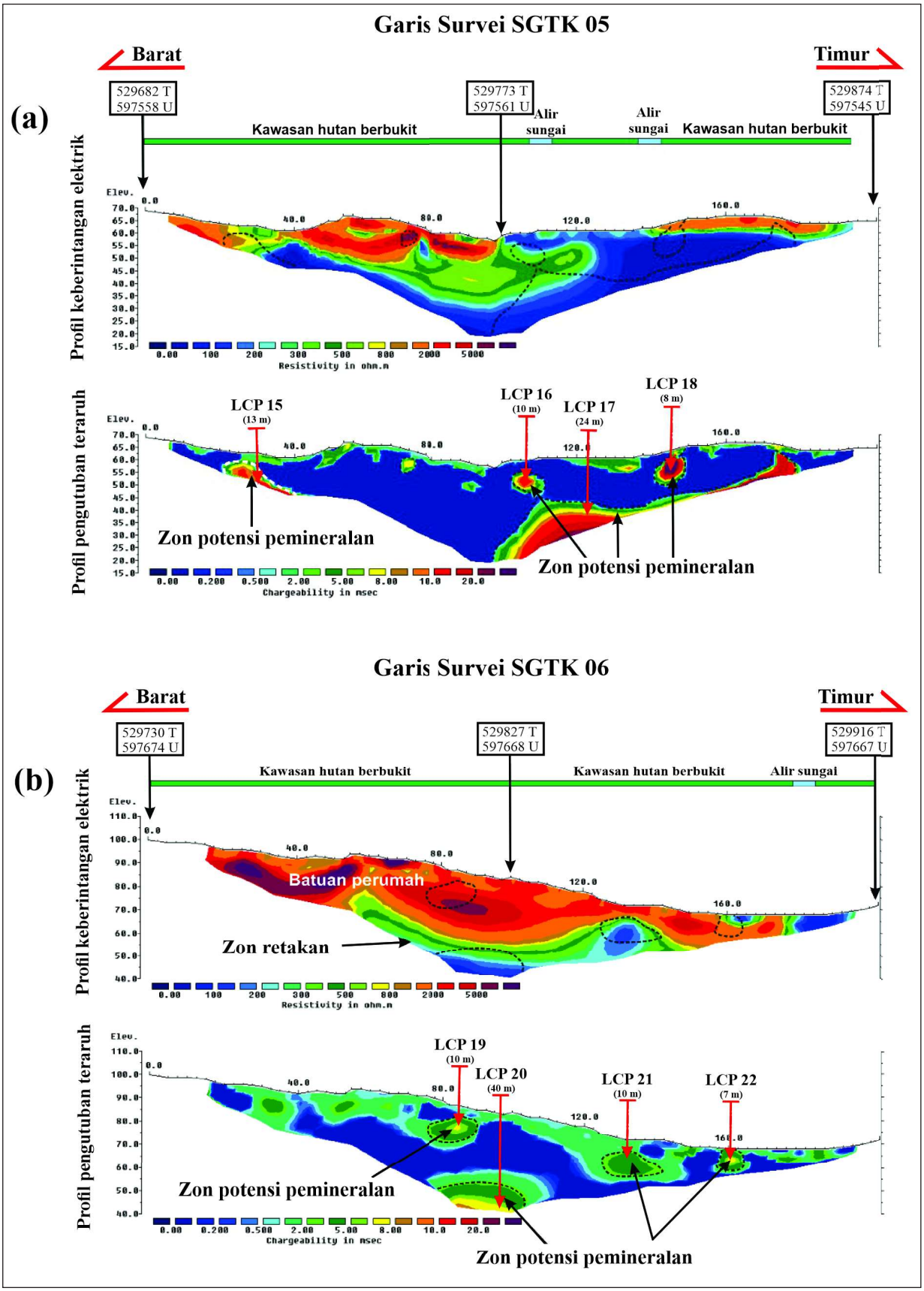
Integrasi data profil 2D, peta model permukaan topografi terpampas dan model hirisan kedalaman blok membolehkan pembentukan model pemineralan konseptual dibahagikan kepada dua sasaran utama berasaskan mekanisme migrasi cecair hidrotermal purba. Model konseptual ini mencadangkan bahawa pola rekahan berarah Timur Laut–Barat Daya yang dikesan pada bahagian atas profil berfungsi secara fizikal sebagai saluran utama bagi migrasi cecair purba yang kaya dengan sulfur dan logam kompleks, yang mana pola ini mengawal kewujudan deposit emas (Yusoff et al. 2015). Corak penurunan nilai keberintangan elektrik bawah tanah yang semakin meluas pada kedalaman melebihi 15 m hingga 25 m pada model hirisan kedalaman blok (Rajah 11) memberi gambaran bahawa koridor perumah batuan tegar yang



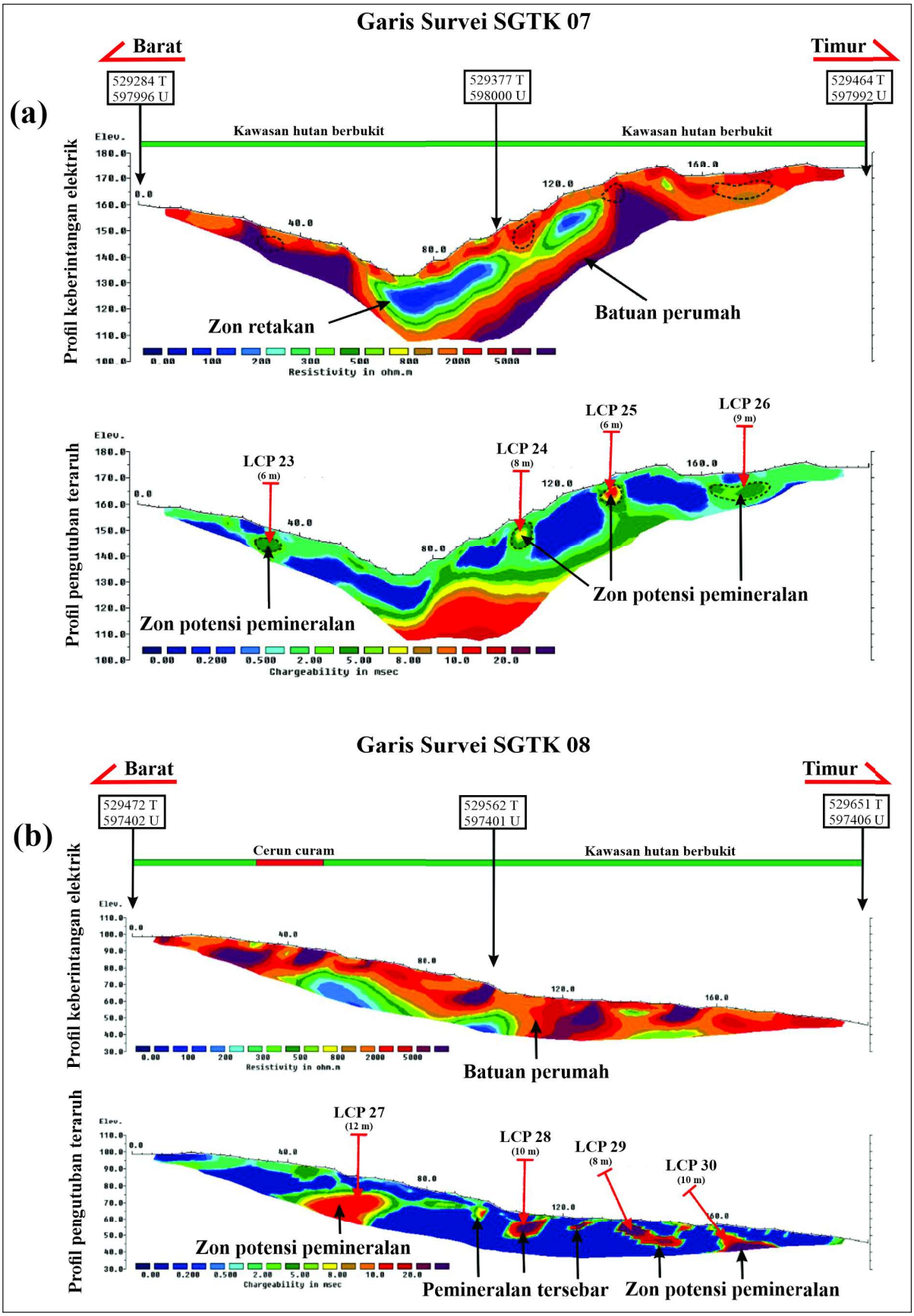
RAJAH 4. Profil keberintangan geoelektrik dan pengutuban teraruh garis survei (a) STGK 01, dan (b) STGK 02



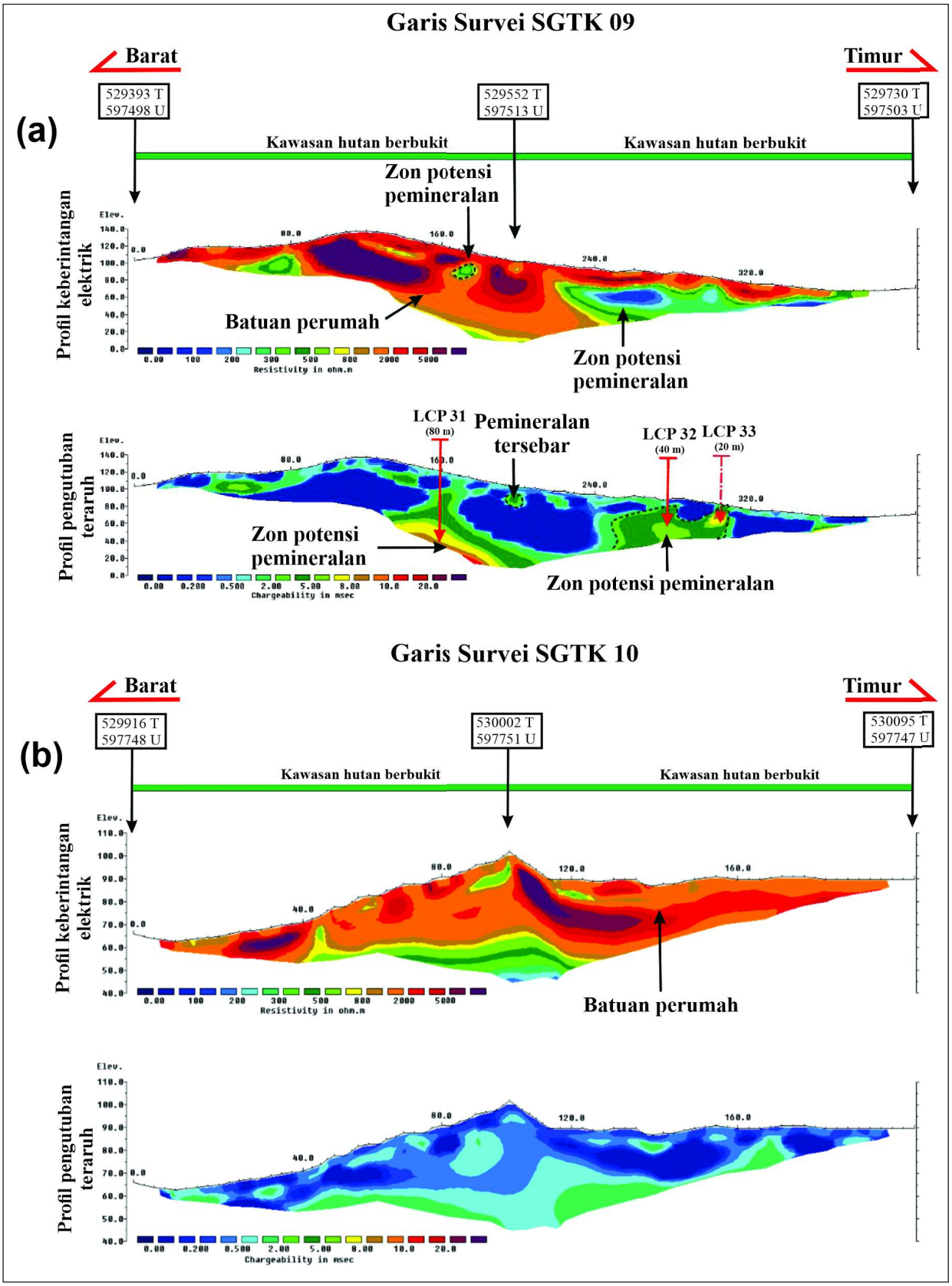
RAJAH 5. Profil keberintangan geoelektrik dan pengutuban teraruh garis survei (a) STGK 03 dan (b) STGK 04



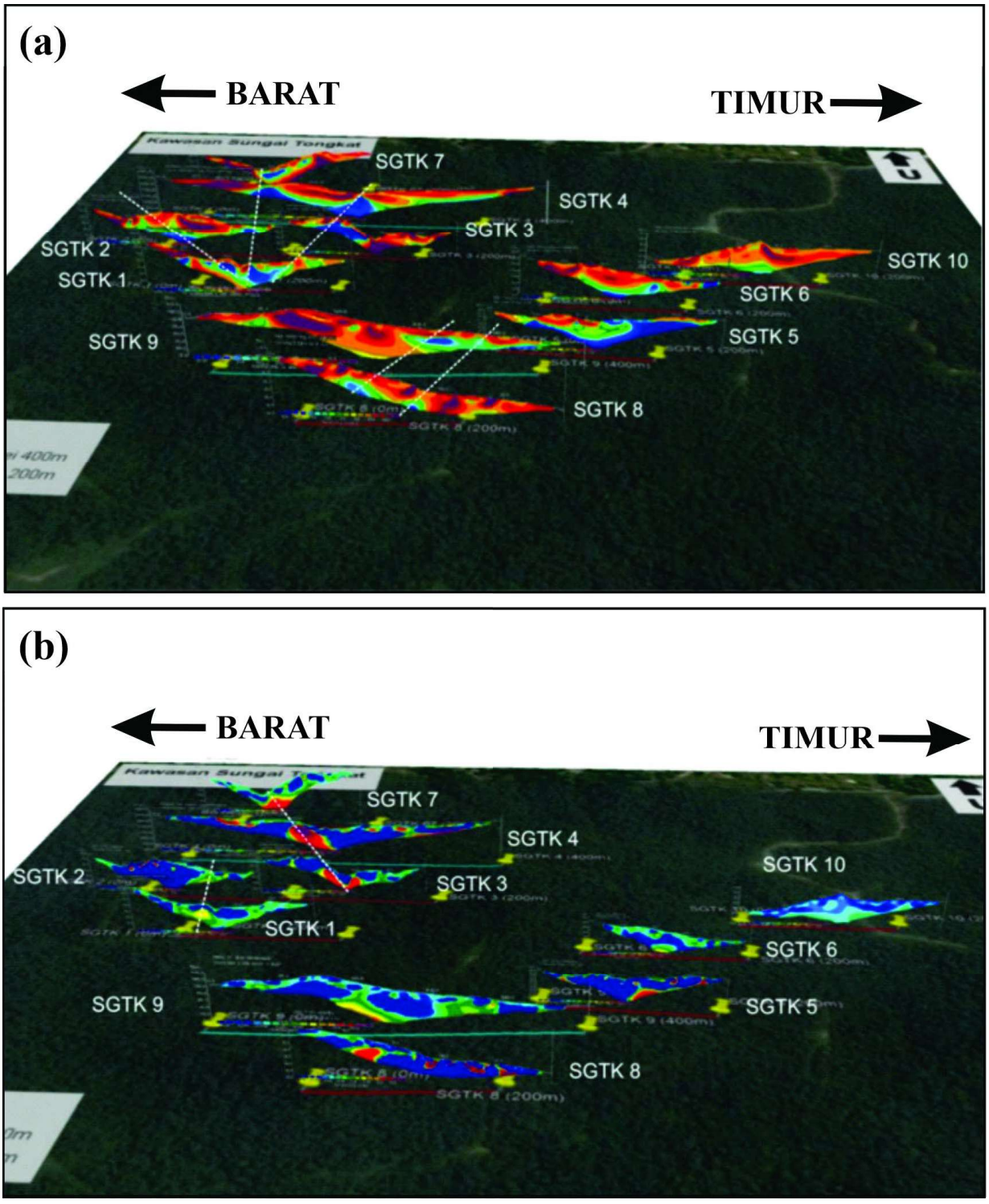
RAJAH 6. Profil keberintangan geoelektrik dan pengutuban teraruh garis survei (a) STGK 05 dan (b) STGK 06



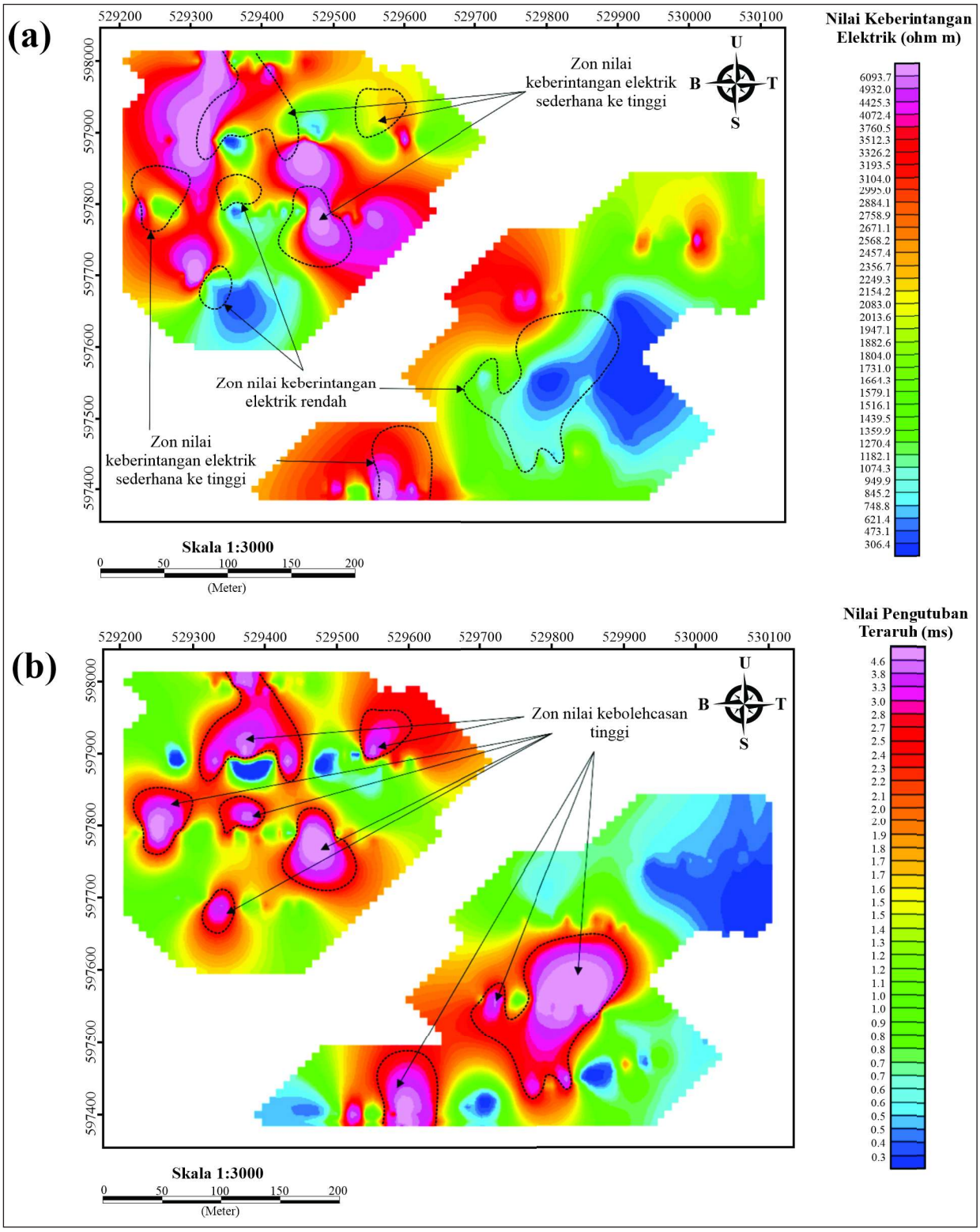
RAJAH 7. Profil keberintangan geoelektrik dan pengutuban teraruh garis survei (a) STGK 07 dan (b) STGK 08



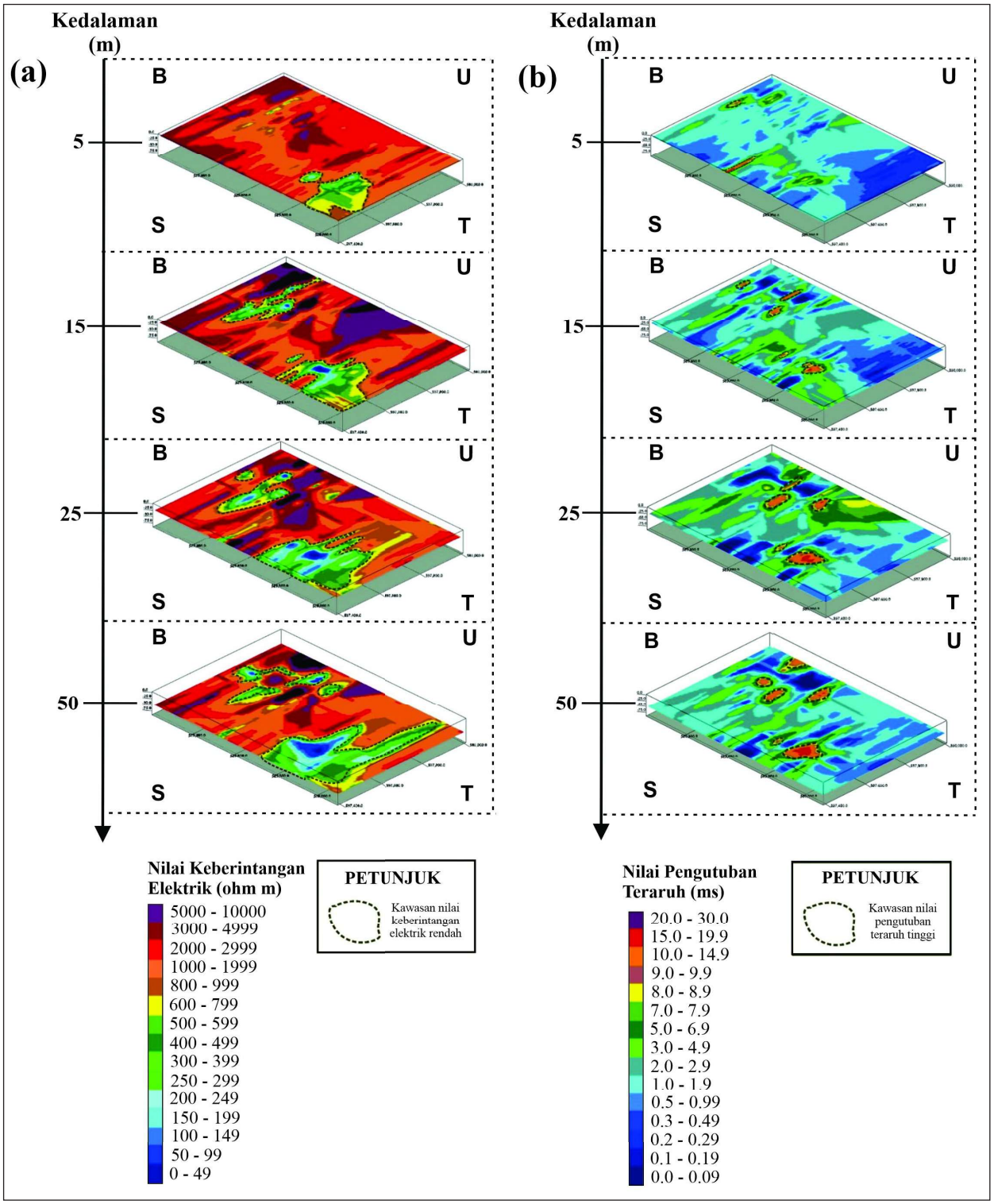
RAJAH 8. Profil keberintangan geoelektrik dan pengutuban teraruh garis survei (a) STGK 09 dan (b) STGK 10



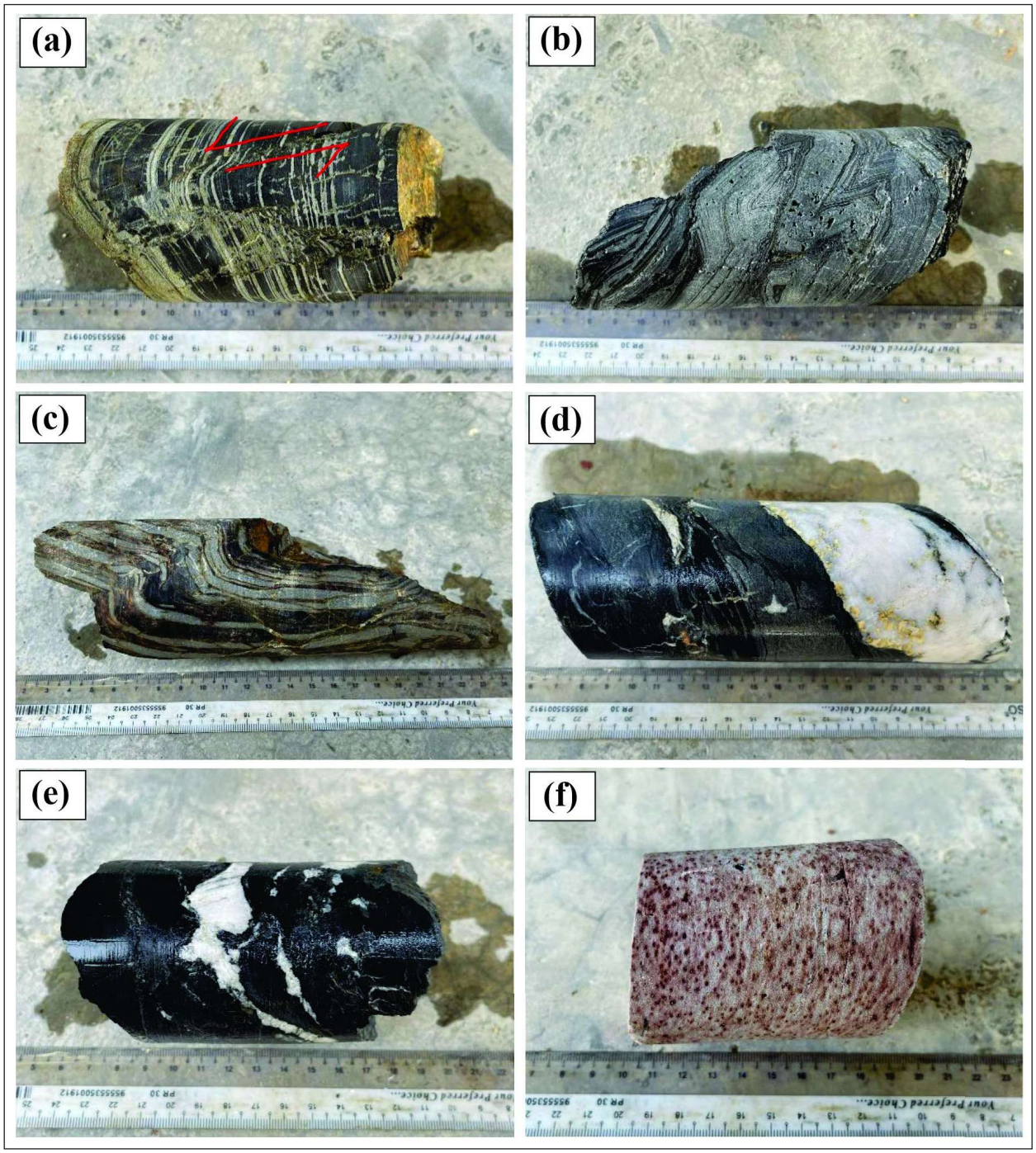
RAJAH 9. Rajah berpagar profil garis survei SGTK 01 hingga SGTK 10 (a) nilai keberintangan elektrik dan (b) nilai pengutuban teraruh



RAJAH 10. Peta model permukaan topografi terpampas (a) nilai keberintangan elektrik dan (b) nilai pengutuban teraruh



RAJAH 11. Model hirisan kedalaman blok bagi (a) nilai keberintangan elektrik dan (b) nilai pengutuban teraruh



Sumber Jabatan Mineral dan Geosains Terengganu (2021)

RAJAH 12. Sampel teras gerudi (a) Sesar songsang pada batuan filit, (b, c) struktur lipatan dan nendatan pada batuan filit, (d, e) Telerang kuarza dan struktur nendatan pada batuan sabak berkarbon dan (f) Perubahan struktur pori struktur pori pada batuan filit akibat sentuhan rejahan batuan igneus

dikawal oleh sistem struktur rekahan ini menjadi saluran migrasi litologi batuan yang lebih mudah ditembusi oleh cecair hidrotermal.

Apabila cecair hidrotermal tersebut naik menembusi subpermukaan, perubahan suhu dan tekanan mula mencetuskan pemendapan anomali mineral pembawa emas bermula pada kedalaman dangkal melebihi 5 m. Di koridor barat laut yang dikelaskan sebagai sasaran utama, cecair hidrotermal merembes ke dalam batuan metasedimen membentuk koridor mineral sulfida masif yang berpotensi menjadi jalur pemineralan emas dalam koridor tektonik, selari dengan kajian Zaid et al. (2023).

Sementara itu, di kawasan tenggara yang dikelaskan sebagai sasaran sekunder, mekanisme pemendapan menghasilkan pemineralan yang lebih tersebar atau berpusat di dalam rangkaian struktur telerang kuarza, yang mana zon keberintangan berhubung dengan rekahan dapat menunjukkan koridor pemineralan yang lebih luas dalam telerang kuarza (Tripp & Vearncombe 2004). Kesinambungan hasil konseptual ini disokong kajian terdahulu yang menunjukkan bahawa zon keberintangan rendah hingga sederhana tinggi dan pengutuban teraruh tinggi cenderung menandakan saluran hidrotermal melalui jalur telerang-kuarza yang menghubungkan rekahan-struktur dengan takungan sulfida (Heng, Hoe & Hassan 2006; Yusoff et al. 2015).

KETAKPASTIAN DAN PENJELASAN ALTERNATIF

Tafsiran sifat elektrik subpermukaan ini terdedah kepada ketaksaan sifat fizikal bawah tanah yang memerlukan penilaian penjelasan alternatif bagi mengelakkan kepincangan interpretasi tunggal. Faktor ketakpastian utama dalam kajian ini ialah kesan pengutuban lempung, memandangkan batuan yang mengandungi mineral lempung seperti sedimen turut memberi kesan dalam pengutuban teraruh walaupun tanpa mineral logam di dalam batuan tersebut. Selain itu, kehadiran mineral lempung di dalam batuan perumah boleh mencetuskan kesan pengutuban membran apabila dikenakan arus elektrik. Keadaan ini menghasilkan respons pengutuban teraruh tinggi (8-20 ms) yang menyerupai isyarat sulfida logam walaupun tanpa kehadiran mineral logam tulen.

Walau bagaimanapun, kehadiran telerang kuarza yang menunjukkan kepsingan mika pada batuan filit (Rajah 2(d)) mengesahkan pengubahan hidrotermal fizikal. Mineral mika bertindak mengurangkan ketaksaan isyarat lempung biasa kerana ia membuktikan aliran hidrotermal yang kaya silika-serikit telah melalui zon rekahan ricih tersebut. Selain itu, julat keberintangan tinggi (800-5000 Ωm) di zon tenggara juga mempunyai penjelasan alternatif geologi. Respons resistif tersebut berkemungkinan disebabkan oleh kehadiran batuan dasar filit yang sangat padat dan kering yang tidak ditembusi oleh cecair dan bukannya diakibatkan oleh kewujudan struktur telerang kuarza semata-mata. Ketakpastian model juga disumbangkan oleh ralat interpolasi reruang pada peta permukaan (Rajah 10) dan model hirisan blok (Rajah 11). Ketiadaan data fizikal pada jarak antara garis survei sejauh 50-100 m boleh menghasilkan ralat pemodelan yang kelihatan seperti zon anomali kecil.

IMPLIKASI EKSPLORASI PENGGERUDIAN

Walaupun terikat kepada ketakpastian parameter elektrik, integrasi data ERT dan IP 2D ini dapat menyumbang kepada implikasi eksplorasi yang signifikan untuk merancang program pembuktian bawah tanah di Jalur Timur. Bagi meminimumkan risiko kegagalan program penggerudian bawah tanah, penentuan tahap keutamaan dan cadangan minimum kedalaman gerudi bagi setiap Lokasi Cadangan Penggerudian (LCP) diteliti bersandarkan kepada perbandingan kriteria kualitatif isyarat geofizik dan had resolusi kedalaman subpermukaan (Jadual 2). Penilaian reruang mengecilkan kawasan sasaran eksplorasi di zon Sungai Tongkat yang dilitupi tumbuhan tebal.

Kawasan Sasaran Keutamaan 1 menunjukkan tahap kepercayaan tinggi yang tertumpu di koridor barat laut merangkumi lokasi seperti LCP 1, LCP 8, LCP 9, LCP 10 dan LCP 20. Peringkat keutamaan ini ditentukan berdasarkan kriteria tindihan nilai kebolehcasan puncak yang tinggi (8-20 ms) berserta isyarat keberintangan elektrik rendah hingga sederhana tinggi pada zon kedalaman dangkal iaitu kurang daripada 40 m. Penetapan had kedalaman dangkal ini adalah kritikal bagi memastikan isyarat sasaran berada sepenuhnya di dalam zon resolusi tinggi had kedalaman penyelidikan yang bersilang dengan lineamen rekahan struktur, selain bukti geologi singkapan telerang kuarza-mika di permukaan.

Sebaliknya, kawasan Sasaran Keutamaan 2 yang menunjukkan tahap kepercayaan sederhana merangkumi lokasi seperti LCP 2, LCP 11 dan LCP 31. Pengelasan sasaran ini berdasarkan kepada respons parameter geofizik yang baik, yang mana anomalinya dikesan pada zon kedalaman yang lebih dalam iaitu melebihi 40 m yang menghampiri had resolusi DOI boleh dipercayai bagi garis survei 200 m. Di samping itu, beberapa anomali dalam kategori ini juga dikenal pasti sebagai zon pemineralan sulfida tersebar berskala kecil yang mempunyai julat ketakpastian isyarat yang lebih besar berikutan risiko herotan akibat kesan pengutuban lempung daripada batuan perumah filit. Unjuran kedalaman profil 50 m pada model hirisan blok juga terhad kepada interpretasi data LCP Keutamaan 2 daripada garis survei 400 m (seperti LCP 31) yang mempunyai indeks DOI yang sah pada kedalaman tersebut.

JADUAL 2. Senarai koordinat Lokasi Cadangan Penggerudian (LCP) di kawasan kajian yang dikelaskan mengikut tahap keutamaan dan kriteria kualitatif isyarat geofizik subpermukaan

Tahap keutamaan / Penerangan	Kod LCP	Minimum kedalaman (m)	Jarak dari 0 m garis survei (m)	Koordinat Timur (m)	Koordinat Utara (m)
1[a]	LCP 1	15	77.5	529342	597690
	LCP 8	13	85	529465	597787
	LCP 9	12	105	529355	597890
	LCP 10	38	200	529463	597883
	LCP 14	22	345	529587	597888
	LCP 15	13	30	529711	597559
	LCP 16	10	107.5	529784	597556
	LCP 17	24	123	529798	597553
	LCP 18	8	145	529822	597554
	LCP 20	40	100	529827	597668
	LCP 27	12	60	529523	597400
2[b]	LCP 2	10	55	529245	597796
	LCP 3	10	70	529258	597795
	LCP 4	6	82.5	529278	597797
	LCP 5	10	100	529285	597784
	LCP 6	7	165	529356	597794
	LCP 7	13	45	529424	597791
	LCP 11	10	230	529489	597892
	LCP 12	12	260	529512	597898
	LCP 13	12	290	529542	597900
	LCP 19	10	85	529819	597669
	LCP 21	10	132	529856	597665
	LCP 22	7	165	529882	597661
	LCP 23	6	47	529340	597998
	LCP 24	8	107	529378	597994
	LCP 25	6	135	529402	597989
	LCP 26	9	170	529437	597993
	LCP 28	10	110	529569	597397
	LCP 29	8	135	529584	597404
	LCP 30	10	160	529617	597403
	LCP 31	80	160	529533	597505
	LCP 32	40	280	529622	597504
	LCP 33	20	315	529659	597510

[a]Tindihan nilai kebolehcasan puncak yang tinggi (8–20 ms), nilai keberintangan elektrik rendah hingga sederhana tinggi pada zon kedalaman dangkal (<40 m). Isyarat dikesan bersilang dengan kelurusan struktur, berada di dalam zon resolusi DOI dan disokong bukti geologi singkapan telerang kuarza mika di permukaan.

[b]Respons parameter geofizik yang baik, namun dikelaskan sebagai zon pemineralan sulfida tersebar berskala kecil. Zon sasaran kedalaman dikesan pada julat yang lebih dalam (>40 m) menghampiri had sempadan resolusi DOI. Isyarat subpermukaan ini mempunyai darjah ketakpastian yang lebih besar disebabkan risiko pengaruh kesan pengutuban lempung daripada batuan perumah filit

KESIMPULAN

Kajian eksplorasi geofizik menggunakan teknik ERT dan IP 2D di Sungai Tongkat, Setiu, Terengganu telah berjaya memetakan variasi sifat elektrik subpermukaan secara sistematik. Sebagai sebahagian daripada anomali geofizik yang dicerap, dua respons parameter utama telah dikenal pasti iaitu: (1) zon kebolehcasan tinggi (8-20 ms) berserta keberintangan elektrik rendah hingga sederhana tinggi (1-800 Ωm) di barat laut dan (2) zon keberintangan elektriktinggi (800-5000 Ωm) dengan kebolehcasan tinggi di tenggara. Dari sudut tafsiran geologi, respons pertama menggambarkan kehadiran zon batuan metasedimen perumah filit terubah kuat yang kaya mineral sulfida, manakala respons kedua berkait rapat dengan struktur telerang kuarza masif yang mengandungi sulfida tersebar halus di sepanjang dinding telerang. Melalui hipotesis eksplorasi, jaringan struktur rekahan berarah Timur Laut–Barat Daya bertindak secara fizikal sebagai saluran paleo-migrasi utama bagi perembesan cecair hidrotermal purba yang mengawal taburan anomali tersebut. Walau bagaimanapun, pengesahan mutlak mengenai kewujudan logam emas bawah permukaan memerlukan kajian lanjutan sebagai pembuktian. Antaranya adalah seperti penggerudian teras, analisis geokimia tanah dan batuan serta kajian petrografi bagi menentusahkan gred serta fasa pemineralan emas. Memandangkan penilaian LCP dalam kajian ini adalah berasaskan analisis perbandingan kualitatif berpandukan model permukaan, satu model matriks pemeringkatan sasaran gerudi perlu dibangunkan bagi mengoptimumkan kos serta ketepatan lokasi lubang gerudi eksplorasi di Jalur Timur Semenanjung Malaysia.

PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi penghargaan dan ucapan terima kasih ditujukan kepada pihak Jabatan Mineral dan Geosains Terengganu atas kerjasama dan sumbangan rujukan data sekunder sampel teras gerudi bagi membantu fasa penentusahan geologi subpermukaan. Penghargaan turut dipanjangkan kepada pihak Geo Technology Resources Sdn Bhd dan pihak Geosoil Engineering Sdn Bhd atas segala kemudahan, sokongan teknikal dan kerjasama yang telah diberikan dalam menjayakan keseluruhan fasa penyelidikan lapangan ini.

RUJUKAN

Abdullah, I. 2006. On the presence of pre-Carboniferous metasediments in the Eastern Belt: A structural view. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia* 49: 79-84.

Abdullah, I. 2001. Gaya struktur kawasan Chendering Rhu Rendang, Marang, Terengganu: satu cadangan kehadiran batuan pra-karbon di Jalur Timur Semenanjung Malaysia. *Proceedings of Geological Society of Malaysia Annual Geological Conference*. hlm. 79-83.

Abdullah, I. & Setiawan, J. 2003. The kinematics of deformation of the Kenerong Leucogranite and its enclaves at Renyok Waterfall, Jeli, Kelantan. *Bulletin of Geological Society of Malaysia* 46: 307-312.

Ali, M.A.H., Mewafy, F.M., Qian, W., Alshehri, F., Ahmed, M.S. & Saleem, H.A. 2023. Integration of electrical resistivity tomography and induced polarization for characterization and mapping of (Pb-Zn-Ag) sulfide deposits. *Minerals* 13(7): 986.

Ariffin, K.S. 2012. Mesothermal lode gold deposit central belt Peninsular Malaysia. Dlm. *Earth Sciences*, disunting oleh Dar, I.A. Croatia: InTech. hlm. 313-342.

Arifin, M.H., Shah, A.S.N., Zaid, H.A.H., Nazer, N.S.M., Kiang, S.H., Sulaiman, M.A.A., Ismail, M.K.I., Salehudin, Z.F., Mansor, M.H., Zakaria, M.T. & Basori, M.B.I. 2026. Geophysical prospection of tin (Sn) mineralization in the Eastern Belt, Peninsular Malaysia. *Minerals* 16(2): 211.

Arifin, M.H., Shah, A.S.N., Malek, M.A., Haikal, W.N., Aros, M.A., Mohamed, T.R.T., Zakaria, N.A.C., Nazer, N.S.M. & Roslan, N. 2025. Penentuan potensi air bawah tanah menggunakan kaedah keberintangan geoelektrik dan pengutuban teraruh di kawasan terpilih sekitar lembangan Sungai Klang. *Sains Malaysiana* 54(12): 2809-2824.

Chu, L.H. & Singh, D.S. 1986. The nature and potential of gold mineralization in Kelantan, Peninsular Malaysia. *GEOSEA V. Proceedings, Geological Society of Malaysia*. hlm. 431-440.

Dusabemariya, C., Qian, W., Bagaragaza, R., Faruwa, A.R. & Ali, M. 2020. Some experiences of resistivity and induced polarization methods on the exploration of sulfide: A review. *Journal of Geoscience and Environment Protection* 8(11): 104088.

Fateh, C. 1978. *The Geology and Mineral Resources of the Ulu Paka area, Terengganu*. Kuala Lumpur: Geological Survey Headquarters.

Goldfarb, R.J. & Groves, D.I. 2015. Orogenic gold: Common or evolving fluid and metal sources through time. *Lithos* 233: 2-26.

Heng, G.S., Hoe, T.G. & Hassan, W.F.W. 2006. Gold mineralization and zonation in the State of Kelantan. *Bulletin of Geological Society of Malaysia* 52: 129-135.

Idris, M.B. & Zaki, S.M. 1986. A Carboniferous shallow marine fauna from Bukit Bucu, Batu Rakit, Terengganu. *Geological Society of Malaysia Warta Geologi* 12: 215-219.

Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia Terengganu. 2021. *Perkhidmatan Penggerudian Empat Lubang Dalam (Teras dan Aluvium) Beserta dengan Persampelan dan Pemprosesan Sampel Penyimpanan Sampel Gerudi serta Laporan Penggerudian bagi Projek SGA ECER Susulan di Kawasan Sungai Tongkat, Setiu, Terengganu*. Laporan Teknikal (Tidak diterbitkan).

Kayode, J.S., Arifin, M.H., Basori, M.B.I. & Nawawi, M.N.M. 2022. Gold prospecting mapping in the Peninsular Malaysia gold belts. *Pure and Applied Geophysics* 179(1): 3295-3328.

Lee, C.P. 2009. Paleozoic Stratigraphy. Dlm *Geology of Peninsular Malaysia*, disunting oleh Hutchinson, C.S. & Tan, D.N.K. Kuala Lumpur: University of Malaya & Geological Society of Malaysia.

Li, B., Jiang, S-Y., Zou, H-Y., Yang, M. & Lai, J-Q. 2015. Geology and fluid characteristics of the Ulu Sokor gold deposit, Kelantan, Malaysia: Implications for ore genesis and classification of the deposit. *Ore Geology Reviews* 64: 400-424.

Liu, S. & Lan, Q. 2025. Long-term gold price prediction using the CNN-BiGRU model enhanced with an attention mechanism. *Kertas Kerja 8th International Conference on Advanced Algorithms and Control Engineering (ICAACE)*. Anjuran Nanjing Tech University. Shanghai, China. 21-23 Mac.

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.

Makoundi, C., Zaw, K. & Endut, Z. 2020. Fluid inclusion study of the Penjom, Tersang, and Selinsing orogenic gold deposits, Peninsular Malaysia. *Minerals* 10(2): 111.

Makoundi, C., Zaw, K., Large, R.R., Meffre, S., Lai, C.K. & Hoe, T.G. 2014. Geology, geochemistry and metallogenesis of the Selinsing gold deposit, Central Malaysia. *Gondwana Research* 26: 241-261.

Nguyen, F., Garambois, S., Jongmans, D., Pirard, E. & Loke, M.H. 2005. Image processing of 2D resistivity data for imaging faults. *Journal of Applied Geophysics* 57(4): 260-277.

Purwanto, H.S. 2001. Structural control of gold mineralization in Lubok Mandi area, Peninsular Malaysia. *Warta Geologi* 28(1): 11.

Rajah, S.S., Chand, F. & Singh, D.S. 1977. The granitoid and mineralization of the Eastern Belt of Peninsular Malaysia. *Geological Society of Malaysia* 9: 209-232.

Sun, C., Yang, X., Du, G. & Aziz, J.H.A. 2019. Genesis of the Selinsing gold deposit, Peninsular Malaysia: Constraints from mineralogy, geochemistry and *in situ* sulfur isotope compositions of sulfides. *Ore Geology Reviews* 113: 103111.

Tripp, G.I. & Vearncombe, J.R. 2004. Fault/fracture density and mineralization: A contouring method for targeting in gold exploration. *Journal of Structural Geology* 26(6): 1087-1108.

Yeap, E.B. 1993. Tin and gold mineralizations in Peninsular Malaysia and their relationships to the tectonic development. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences* 8(1-4): 329-348.

Yusoff, A.F., Aziz, J.H.A. & Roselee, M.H. 2022. Mineralogy and geochemistry of gold mineralization at southern part of Ulu Sokor Gold Deposit, Kelantan, Malaysia. *Sains Malaysiana* 5(12): 3865-3877.

Yusoff, S., Pradhan, B., Manap, M.A. & Shafri, H.Z.M. 2015. Regional gold potential mapping in Kelantan (Malaysia) using probabilistic based models and GIS. *Open Geosciences* 2015(7): 149-161.

Zaid, H.A.H., Arifin, M.H., Kayode, J.S., Basori, M.B.I., Umor, M.R. & Hazim, S.H. 2023. Application of 2-D electrical resistivity imaging, and induced polarization methods for delineating gold mineralization at Felda Chiku 3, Kelantan, Malaysia. *Sains Malaysiana* 52(1): 305-320.