

Pencirian air panas Lojing, Gua Musang, Kelantan dari aspek geosains

(Characterization of Lojing hot springs, Gua Musang, Kelantan
from geosciences aspects)

NUR SYAZWANI IZZATI ABDUL RAHIM¹, MOHD HARIRI ARIFIN^{1,*}, MUHAMMAD HASIIB
MANSOR¹, MOHAMMAD NOOR AKMAL ANUAR¹, NORDIANA MOHD MUZTAZA²

¹ Program Geologi, Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi,
Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), Bangi, 43600 Selangor, Malaysia

² School of Physics, Universiti Sains Malaysia, 11800 USM, Penang, Malaysia

*Corresponding author email address: hariri@ukm.edu.my

Abstrak: Kajian dijalankan bagi mengenal pasti dan menentukan hubungan antara geologi, geofizik dan geokimia kawasan kajian. Survei geofizik dijalankan bagi mendapatkan profil lapisan bawah tanah untuk dikaitkan dengan analisis lineamen. Hasil kaedah graviti menunjukkan kawasan batuan dasar granit yang hampir dengan permukaan mempunyai nilai anomali graviti yang tinggi manakala kawasan batuan berketumpatan rendah beserta dengan kehadiran lineamen mempunyai nilai anomali graviti rendah. Hasil survei keberintangan elektrik dan pengkutuban teraruh menunjukkan kawasan kajian didasari dengan batuan granit, membuktikan bahawa air panas ini adalah asalan bukan vulkanik di mana tiada aktiviti atau batuan vulkanik yang dijumpai di sekitar kawasan kajian. Nilai keberintangan yang dicatatkan bagi batuan dasar granit melebihi 900 Ωm . Berdasarkan profil keberintangan dapat ditentukan zon takungan air atau zon retakan yang menunjukkan nilai keberintangan antara 0 Ωm hingga 250 Ωm . Hasil analisis lineamen menunjukkan arah linemaen yang selari seperti yang ditunjukkan pada profil survei keberintangan dan survei graviti iaitu berarah Timur Laut-Barat Daya, Barat Laut-Tenggara dan Utara-Selatan. Melalui data log lubang gerudi juga menunjukkan kawasan kajian didasari dengan batuan granit dan sumber air panas di kawasan ini berpunca dari akuifer terkekang. Hasil analisis geokimia pula menunjukkan purata kepekatan unsur adalah seperti berikut; silika 277 ppm, kalsium 2.00 ppm, magnesium 0.14 ppm, kalium 2.3 ppm, sodium 29 ppm, ferum 0.12 ppm, bikarbonat 41 ppm, sulfat 18 ppm, klorida 1.5 ppm dan fluorida 2.9 ppm. Hasil pengiraan geotermometri kuarza menunjukkan purata suhu 203°C, manakala geotermometri kalsedoni menunjukkan purata suhu 177°C. Entalpi untuk memanaskan air yang dikira dari geotermometri kuarza menggunakan *Steam Table* pula menunjukkan purata 864 kJ/kg yang boleh ditafsirkan sebagai entalpi tahap pertengahan. Keadaan geologi kawasan air panas yang ditunjukkan di dalam peta geologi dan peta analisis lineamen membuktikan perkaitan dengan hasil survei geofizik melalui kaedah keberintangan elektrik serta kaedah graviti dan data log lubang gerudi.

Kata kunci: Lojing, keberintangan, graviti, air panas

Abstract: The study was conducted to identify and determine the relationship between geology, geophysics and geochemistry of the study area. Geophysical surveys were conducted to obtain the sub-surface profile and to relate it with lineament analysis. Based on gravity method analysis, it is interpreted that the study area consists of granite bedrock close to the surface which exhibits high gravity anomalies whereas low density rock areas with high fractures and lineaments exhibit low gravity anomaly values. The electrical resistivity survey shows that the study area is underlain by granite bedrocks which also proves that the origin of the hot springs are non-volcanic as no volcanic activity or rocks can be found around the study area. Resistivity values recorded for granite bedrock exceeded 900 Ωm . Based on the resistivity profile, it is also possible to determine the reservoir zone and fractured zone which shows the resistivity values between 0 Ωm to 250 Ωm . The direction of the lineaments on the resistivity profile together with gravity survey are parallel to the lineament analysis, which is Northeast-Southwest, Northwest-Southeast and North-South. The borehole log data also shows that the study area is underlain by granite bedrock and the hot water source in this area is from confined aquifer. Geochemical and geothermometry analysis were performed on 14 hot water samples. The results of geochemical analysis show that the average elements concentration is as follows; silica 277 ppm, calcium 2.00 ppm, magnesium 0.14 ppm, potassium 2.3 ppm, sodium 29 ppm, iron 0.12 ppm, bicarbonate 41 ppm, sulphate 18 ppm, chloride 1.5 ppm and fluoride 2.9 ppm. The calculation results of quartz geothermometry shows an average temperature of 203°C, while chalcedony geothermometry shows an average temperature of 177°C. The enthalpy for heating water calculated from quartz geothermometry using the *Steam Table* shows an average of 864 kJ/kg which can be interpreted as a mid-level enthalpy. The geology of the hot springs area shown in the geological map and lineament analysis map proves the relationship with the geophysical survey and borehole log data.

Keywords: Lojing, resistivity, gravity, hot spring

PENGENALAN

Mata air panas adalah satu fitur geologi yang wujud secara semulajadi di permukaan bumi. Di Semenanjung Malaysia terdapat lebih daripada 60 mata air panas yang ditemui dan 75% daripadanya mudah untuk diakses (Chow *et al.*, 2010). Menurut Baioumy *et al.* (2014), air panas boleh didefinisikan sebagai asalan air bawah tanah yang mana suhunya lebih tinggi dari suhu sekeliling. Mata air panas dipercayai terbentuk hasil dari dua keadaan iaitu asalan volkano dan bukan volkano. Asalan volkano bermaksud mata air panas terbentuk di sekitar kawasan gunung berapi dimana sumber haba airnya adalah daripada gunung berapi itu sendiri. Bagi air panas asalan bukan volkanik, ia terbentuk melalui proses kecerunan geoterma di mana air bawah tanah menjadi panas pada kedalaman beberapa ratus meter sehingga kilometer dari kerak bumi yang mana suhu batuan dan haba pada kedalaman tersebut adalah lebih panas dari kerak bumi (Arifin, 2017). Air juga dipanaskan dengan sisa haba daripada batuan granit (Ho, 1979; Samsudin *et al.*, 1997) yang mempunyai sedikit unsur radioaktif serta rejahan granit yang juga mampu meningkatkan suhu. Kebanyakan air panas di Malaysia merupakan air panas asalan bukan volkanik.

Kawasan air panas di Malaysia kerap dimajukan sebagai tapak rekreasi. Oleh itu, penting untuk mengetahui kesesuaian dan cirian sesuatu kawasan air panas tersebut bagi mengoptimalkan kegunaannya samada dimajukan sebagai tapak rekreasi atau untuk kegunaan lain seperti tapak jana kuasa geoterma, berkebun, pembiakan ikan dan sebagainya. Cirian ini penting bagi memudahkan kerja-kerja kemajuan tapak mata air panas pada masa akan datang. Kawasan kajian melibatkan kawasan Komplek Air Panas Lojing di mana terdapat 11 mata air panas yang telah ditemui.

BAHAN DAN KAEDAH

Kaedah kajian melibatkan empat sumber data iaitu data dari analisis lineamen, data survei geofizik, data log lubang gerudi dan juga data analisis geokimia serta geotermometri. Data analisis lineamen diperolehi dengan membuat surihan lineamen jenis negatif seperti sungai dan lembah ke atas peta topografi melalui *Google Earth* (SRTM). Lineamen yang disurih memberi gambaran struktur lineamen rantau di kawasan kajian. Darjah arah jurus setiap garis lineamen direkodkan dan arah utamanya ditentukan menggunakan gambarajah mawar. Hasil analisis lineamen ini kemudiannya dikolerasikan dengan cerapan struktur di lapangan, hasil analisis data keberintangan elektrik serta hasil daripada analisis survei graviti.

Data dari survei geofizik melibatkan dua kaedah iaitu kaedah graviti dan kaedah keberintangan geoelektrik dan pengkutuban teraruh. Survei graviti dijalankan secara rantau di sekitar kawasan kajian melibatkan 100 stesen survei graviti. Bagi kaedah keberintangan geoelektrik dan pengkutuban teraruh pula, sebanyak 9 garis survei telah dijalankan melibatkan dua kawasan utama iaitu 4 garis

survei di sekitar kawasan air panas Sungai Ber dan 5 garis survei di sekitar kawasan air panas Sungai Mering.

Data log lubang gerudi diperolehi daripada hasil pengerudian dua buah telaga di kawasan Sungai Ber yang diberi singkatan BH 1 dan BH 2. Mata gerudi *Drag Bit* bersaiz 11"Φ diameter telah digunakan untuk menggerudi bahagian atas lapisan lembut (*topsoil*) dengan formasi pasir, lempung, dan kerikil sehingga kedalaman 14 m untuk BH 1 dan 6 m untuk BH 2. Seterusnya, *Down Hole Hammer* (DTH) bersaiz 8"Φ dan 6"Φ diameter telah digunakan untuk menggerudi bahagian yang lebih keras dengan formasi batuan syis, sabak, granit dan batu kapur. DTH bersaiz 8"Φ telah digunakan sehingga kedalaman 30 m untuk BH 1 dan 50 m untuk BH 2. Seterusnya DTH bersaiz 6"Φ telah digunakan sehingga kedalaman 100 m untuk BH 1 dan 140 m untuk BH 2.

Data analisis geokimia dan geotermometri pula diperolehi dengan menjalankan analisis kimia makmal bagi 14 sampel air yang diambil di lapangan. Analisis kimia ini dibuat bagi mendapatkan komposisi unsur-unsur SiO₂, Ca, Mg, Na, K, Fe, SO₄, HCO₃, Cl dan F. Manakala pengukuran pH *in-situ* juga dijalankan di lapangan menggunakan alat multi parameter model YSI 556 MPS. Pengiraan geotermometri juga dibuat menggunakan komposisi unsur SiO₂ menggunakan formula seperti berikut :-

$$T = \frac{1309}{5.19 - \log[\text{SiO}_2]} - 273.15 \quad (\text{Kuarza}) \quad \text{Fournier (1973)}$$

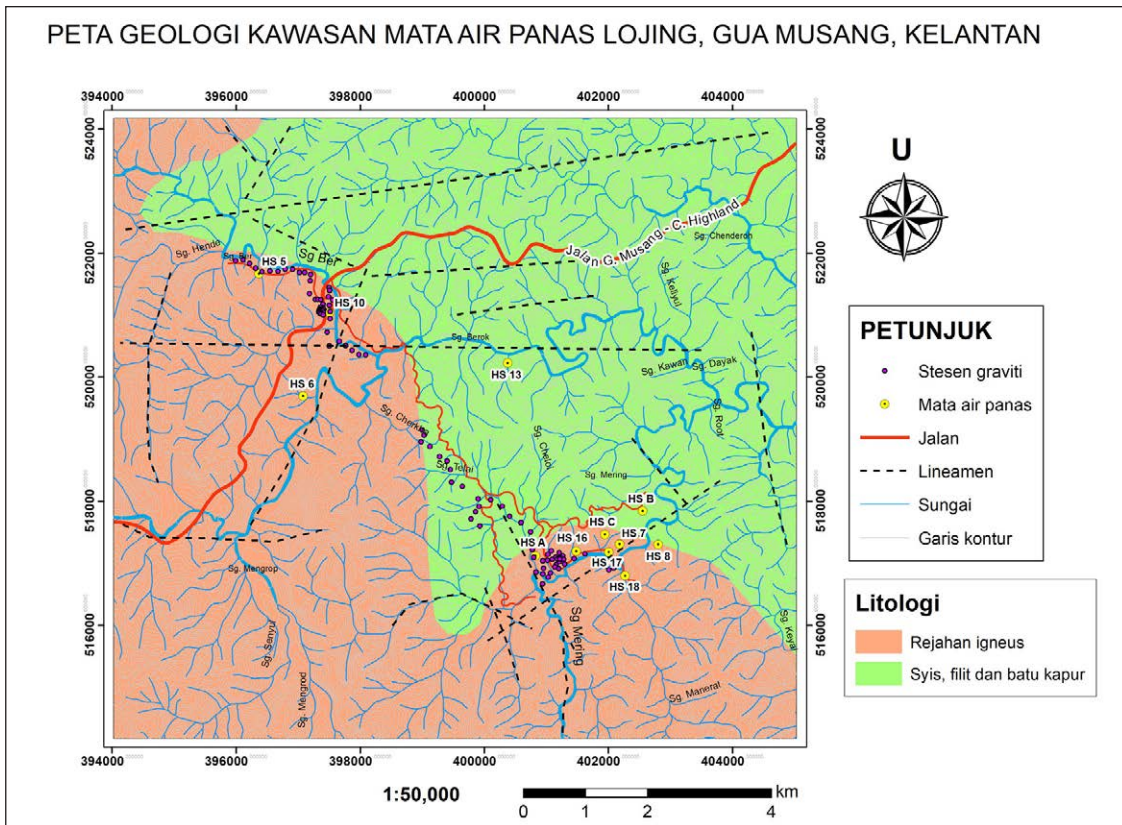
$$T = \frac{1112}{4.91 - \log[\text{SiO}_2]} - 273.15 \quad (\text{Kalsedoni}) \quad \text{Arnorsson et al. (1983)}$$

Pengiraan ini dibuat bagi mendapatkan anggaran suhu takungan air di bawah permukaan.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Geologi kawasan kajian

Batuan granit di Semenanjung Malaysia terdiri daripada tiga jalur utama iaitu jalur timur, jalur barat dan jalur tengah (Umor, 2009). Rajah 1 menunjukkan peta geologi kawasan kajian. Kawasan kajian secara umumnya terdiri daripada dua jenis batuan iaitu batuan granit dan batuan metasedimen. Bahagian barat peta terdiri daripada batuan granit yang dikategorikan sebagai sebahagian daripada granit jalur utama Asia Tenggara (*The Main Range Granite*) atau juga dikenali sebagai granit jalur barat Semenanjung Malaysia yang berusia akhir Trias. Di sebelah timur terdiri daripada batuan metasedimen yang tergolong di dalam Kumpulan Bentong. Kumpulan Bentong merupakan sebahagian daripada kawasan zon sutur Bentong-Raub yang mana merupakan tempat berlakunya pertemuan dua kepingan tektonik hasil daripada subduksi dari arah utara Laut kuno Palaeo-tethys yang berada di bawah Indochina pada akhir Paleozoik dan hasil pelanggaran plat Sibumasu pada usia



Rajah 1: Peta Geologi kawasan air panas Lojing, Gua Musang.

Trias (Hutchison, 1973). Kumpulan Bentong tersebar luas daripada sempadan Thailand hingga ke Muar, Johor. Batuan yang membentuk jalur ini telah dikelaskan kepada empat jenis iaitu seperti, syis kuarza-mika, batu kapur dan klastik-rijang (Tjia, 1987).

Kawasan air panas Lojing merupakan kawasan air panas yang kompleks. Terdapat 11 mata air panas di sekitar kawasan Lojing, Gua Musang. Taburan mata air panas ini adalah di sekitar Sungai Berok, Sungai Mering dan Sungai Ber. Namun untuk kajian ini, pengkaji memfokuskan pada kawasan Sungai Ber dan Sungai Mering.

Lokasi Sungai Ber terletak di kedudukan U 04°42'49" dan T 101°34'05". Suhu air panas yang dicatatkan pada sumber mata air utama ialah 72.31°C. Suhu pada kolam 1, kolam 2, kolam 3 dan kolam 4 pula masing-masing mencatatkan suhu 60.16°C, 41.19°C, 38.60°C dan 32.23°C.

Lokasi Sungai Mering pula terletak agak jauh dari jalan utama iaitu di kedudukan U 4°38'53.63" dan T 101°36'11.29". Suhu air panas yang dicatatkan di Sungai Mering ialah sekitar 50°C - 60°C.

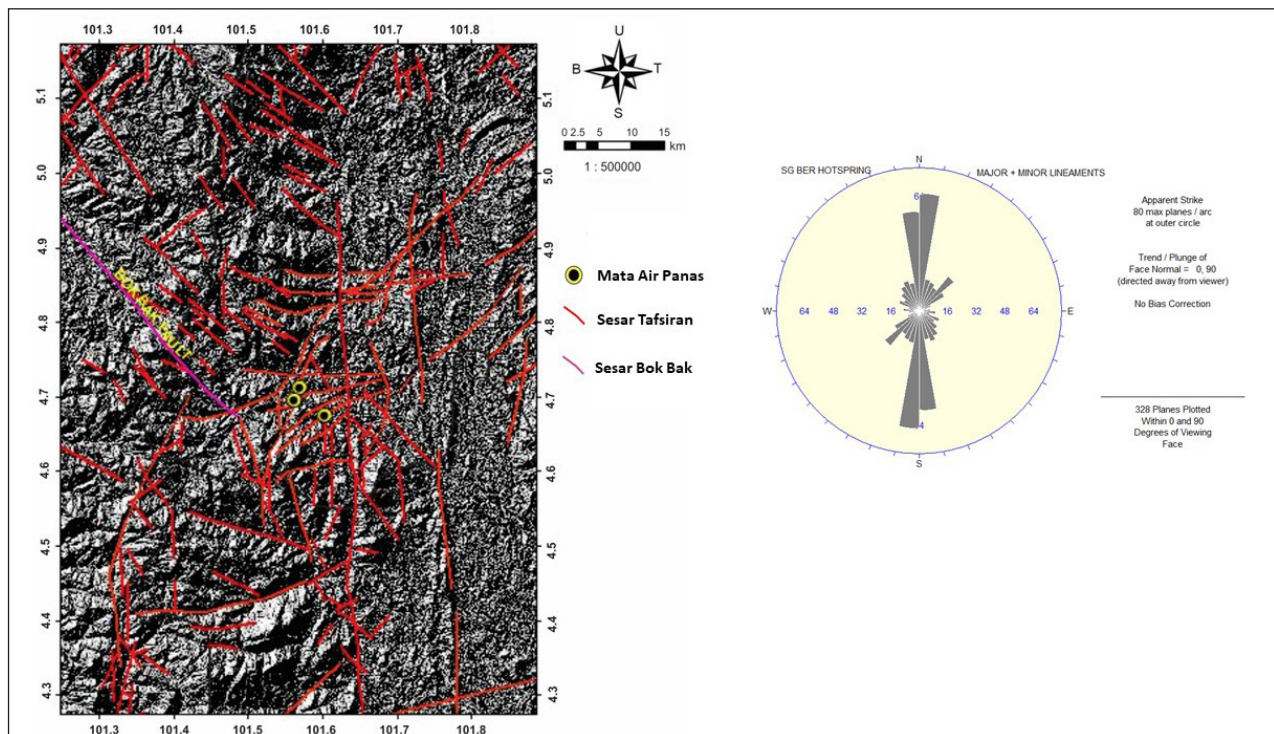
Analisis lineamen

Lineamen umumnya dicirikan oleh fitur linear negatif di permukaan semula jadi. Kehadiran lineamen ini sering dikaitkan dengan lembah berbentuk 'V' yang relatif lurus,

cerun yang ketara atau pesongan aliran sungai secara tiba-tiba. Lineamen negatif boleh dikira untuk mewakili sesar, zon ricih atau kekar utama pada batuan dasar. Walau bagaimanapun analisis ini tidak sentiasa tepat kerana penglihatan yang buruk disebabkan oleh kanopi tumbuhan yang lebat. Namun beberapa kajian menunjukkan bahawa rata-rata antara 75% - 85% daripada lineamen yang disurih dapat dikesan pada batuan dasar.

Rajah 2 menunjukkan surihan lineamen di atas peta topografi berserta rajah mawar. Lineamen ini diinterpretasi untuk menggambarkan ketakselajaran pada batuan dasar. Orentasi lineamen ini kemudiannya diukur dan diplotkan di dalam rajah mawar bagi mendapatkan arah utama lineamen-lineamen ini. Lineamen di kawasan kajian ini menganjur hampir ke semua arah. Namun, tiga arah utama yang dapat dikenalpasti adalah Utara-Selatan, Barat Laut-Tenggara dan Timur Laut-Barat Daya.

Lineamen arah Utara-Selatan yang paling menonjol terutamanya di bahagian timur dan tengah peta. Lineamen-lineamen berarah Utara-Selatan ini dipercayai berkait dengan Sutar Bentong-Raub yang merupakan ketakselajaran utama. Lineamen yang berarah Barat Laut-Tenggara selari dengan struktur rantau yang dikenali sebagai Sesar Bok-Bak. Beberapa arah lineamen yang lain juga dapat dilihat, namun lineamen yang berarah ini relatifnya adalah rendah.



Rajah 2: Surihan lineamen di atas peta topografi berserta rajah mawar.

Analisis data survei geofizik (survei graviti)

Survei graviti di kawasan air panas Lojing telah dibahagikan kepada dua kawasan iaitu di sekitar air panas Sungai Ber dan di sekitar air panas Sungai Mering. Terdapat 48 stesen survei graviti di sekitar air panas Sungai Ber manakala terdapat 52 stesen survei graviti di sekitar air panas Sungai Mering. Survei graviti di kawasan air panas ini telah dijalankan secara rantau bagi mendapatkan gambaran keadaan geologi sub-permukaan di kawasan kajian.

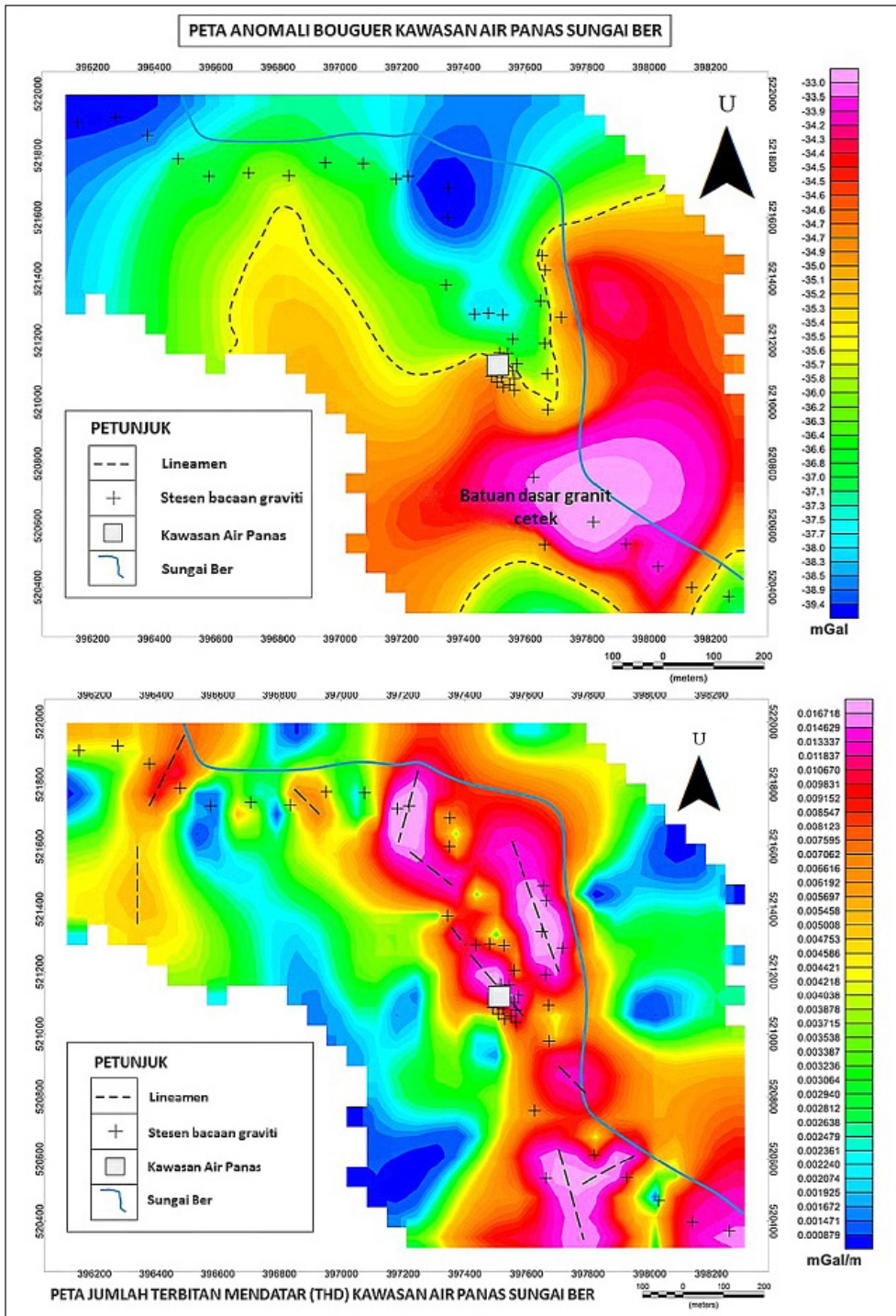
Rajah 3 menunjukkan Peta Anomali Bouguer dan Peta Jumlah Terbitan Mendatar (THD) kawasan air panas Sungai Ber. Bacaan graviti yang ditunjukkan adalah antara -39.4 hingga -33.0 mGal. Peningkatan nilai bacaan graviti secara beransur-ansur boleh diperhatikan ke arah Tenggara kawasan kajian. Ini menunjukkan kehadiran batuan yang lebih tumpat (granit) ke arah tersebut dengan kedalaman batuan dasar yang lebih cetek. Kontur graviti secara signifikan menunjukkan kehadiran struktur geologi utama yang ditafsirkan sebagai zon retakan atau zon sesar. Lineamen yang ditafsirkan secara dominan muncul pada arah Barat Laut-Tenggara yang dipercayai selari dengan arah Sungai Ber.

Rajah 4 menunjukkan Peta Anomali Bouguer dan Peta Jumlah Terbitan Mendatar (THD) kawasan air panas Sungai Mering dengan bacaan graviti antara -39.6 hingga -29.5 mGal. Peningkatan nilai graviti secara beransur-ansur boleh diperhatikan ke arah Tenggara kawasan kajian. Ini menunjukkan kehadiran batuan yang lebih tumpat ke arah tersebut dengan kedalaman batuan dasar yang lebih cetek. Merujuk kepada peta geologi kawasan kajian, kawasan

tenggara peta merupakan kawasan batuan granit manakala tengah peta merupakan kawasan batuan metamorf. Kontur graviti secara signifikan menunjukkan kehadiran zon retakan atau zon sesar. Lineamen yang ditafsirkan secara dominan muncul pada arah Barat Laut-Tenggara dan juga Timur Laut-Barat Daya. Garis lineamen yang ditafsir berdekatan dengan Sungai Mering menunjukkan arah yang selari dengan arah sungai iaitu Timur Laut-Barat Daya.

Analisis data survei geofizik (survei keberintangan geoelektrik dan pengkutuban teraruh)

Singkatan HSB telah digunakan untuk mewakili garis survei di air panas Sungai Ber. Sebanyak empat garis survei sepanjang 400 meter dengan jarak elektrod 10 meter telah dijalankan dengan menggunakan aturan kutub-dwikutub. Rajah 5 menunjukkan gambarajah pagar bagi keempat-empat garis survei di kawasan air panas Sungai Ber. Gambarajah pagar ini dibina bagi mendapatkan korelasi zon retakan yang juga dipercayai bertindak sebagai zon laluan air panas di kawasan kajian ini. Zon takungan air panas bagi kawasan kajian ini mempunyai kelebaran sekitar 80 sehingga 130 meter dan lebih melebar ke arah garis survei HSB 5. Arah retakan yang mengawal pergerakan keluar air panas ke permukaan dipercayai berarah Barat Laut-Tenggara. Bagi pencirian nilai keberintangan, kesemua hasil garis survei boleh dibahagikan kepada dua bahagian iaitu bahagian pertama anomali nilai keberintangan tinggi melebihi 900 Ωm yang dipercayai berkait rapat dengan batuan dasar granit yang memiliki kedalaman melebihi 20 meter. Seterusnya,

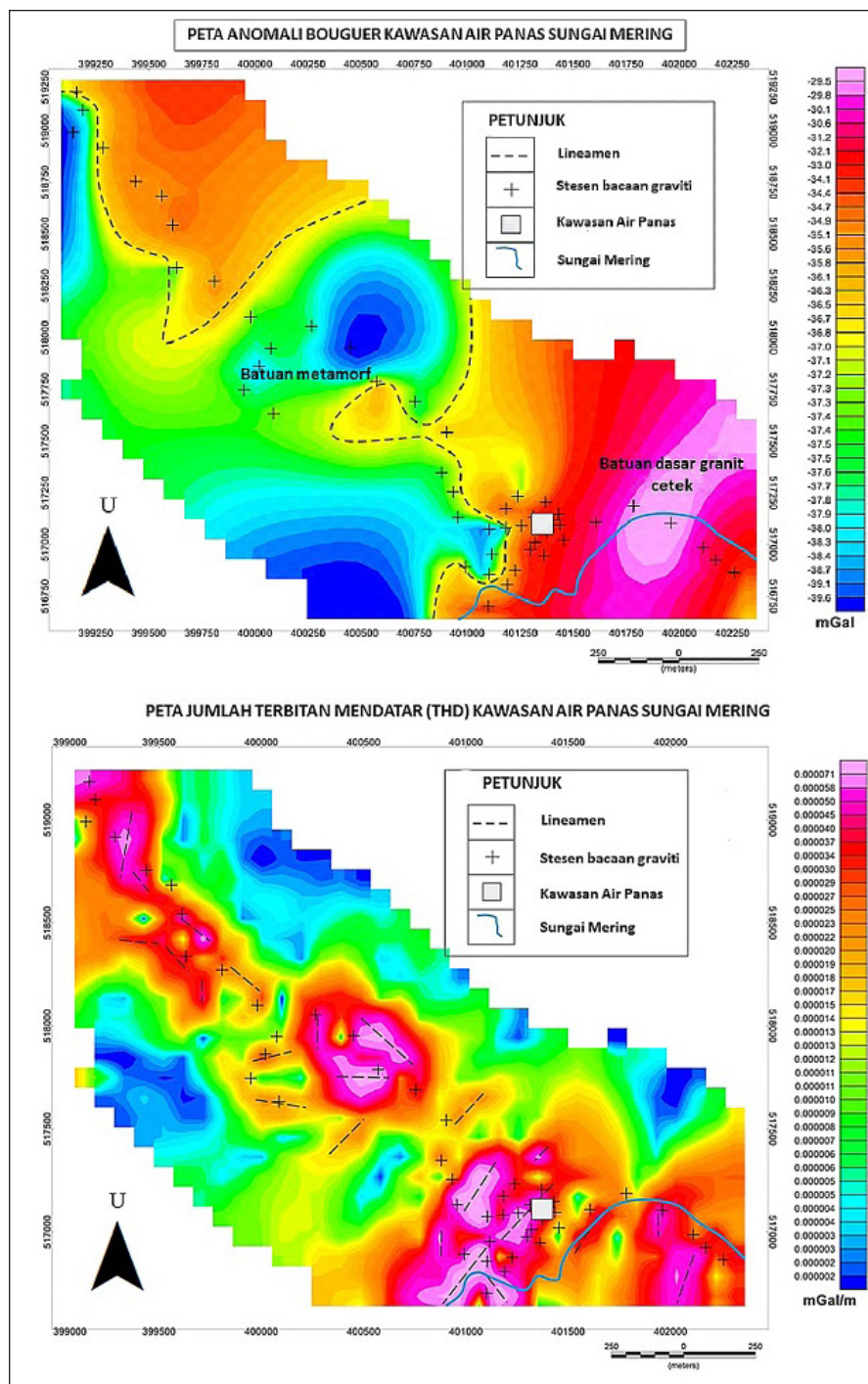


Rajah 3: Peta Anomali Bouguer dan peta Jumlah Terbitan Mendatar (THD) kawasan air panas Sungai Ber.

bagian anomali nilai keberintangan rendah iaitu kurang daripada 250 Ω m. Ini berkemungkinan disebabkan kehadiran bahan berkonduktif tinggi yang boleh ditafsirkan sebagai zon tepu air yang berasosiasi dengan zon retakan seperti sesar dan kekar. Nilai keberintangan rendah juga dapat dilihat pada bahagian permukaan yang boleh ditafsirkan sebagai tanah longgar yang disusupi air. Bagi nilai kebolehcasan yang diperoleh dari survei pengkutuban teraruh, boleh ditafsirkan semakin tinggi nilai kebolehcasan (> 2.00 ms) semakin tinggi

kebarangkalian zon tersebut merupakan zon tepu air. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah nilai kebolehcasan (< 1.00 ms), semakin segar keadaan batuan dasar yang mana boleh dilihat pada kedalaman yang lebih dalam.

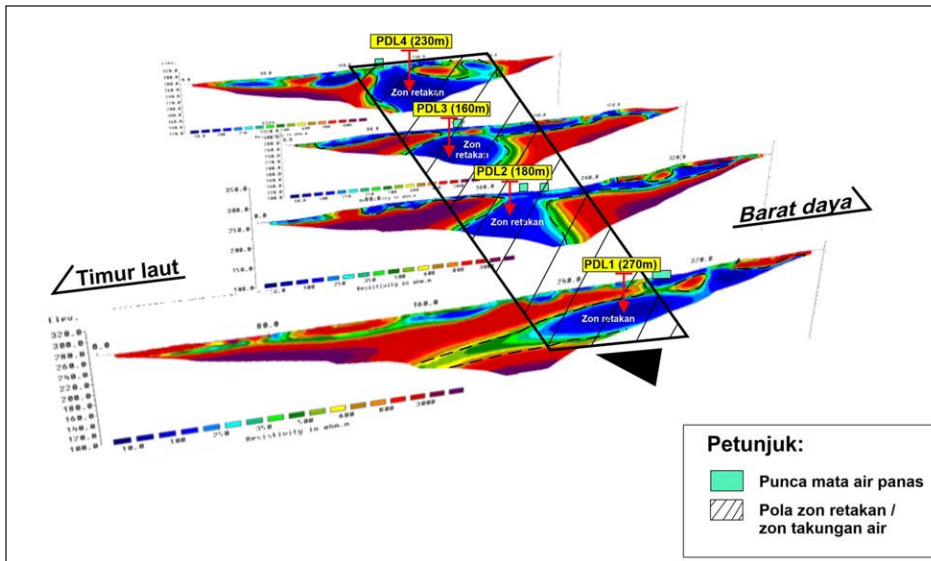
Singkatan SM pula digunakan untuk mewakili garis survei di kawasan air panas Sungai Mering. Sebanyak lima garis survei sepanjang 800 meter dengan jarak elektrod 10 meter telah dijalankan di kawasan kajian dengan menggunakan aturan yang sama seperti di HSB. Rajah 6 menunjukkan



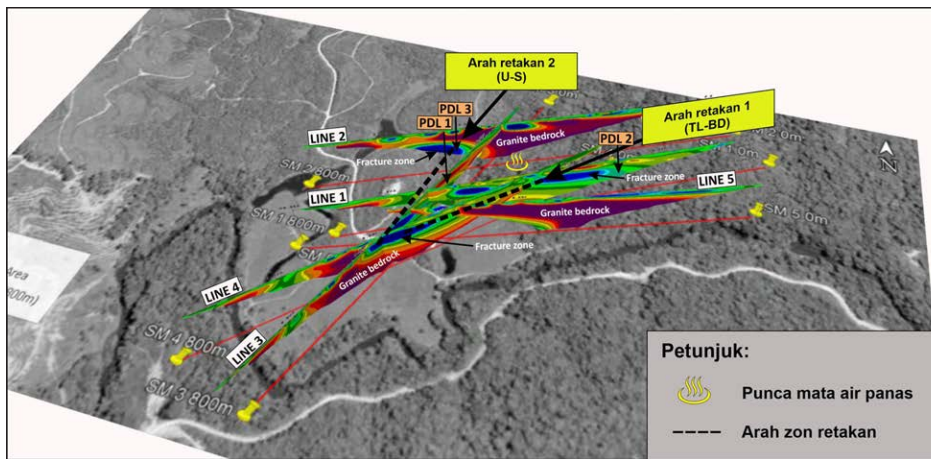
Rajah 4: Peta Anomali Bouguer dan Peta Jumlah Terbitan Mendatar (THD) kawasan air panas Sungai Mering.

gambarajah pagar bagi kelima-lima garis survei di kawasan air panas Sungai Mering. Bagi garis survei SM 1 zon takungan air panas terlihat berada dalam zon retakan utama, bagaimanapun zon retakan pada garis survei SM 2 adalah 50 meter dari takungan air panas utama. Dari gambarajah pagar ini juga dapat dilihat korelasi baik antara garis survei SM 3 dan SM 4, di mana zon retakan berada pada 320 meter hingga 480 meter dari permulaan garis survei SM 3 dan SM 4. Bagi korelasi struktur untuk kesemua garis survei, zon retakan dipercayai

selari dengan arah Utara - Selatan dan juga Timur Laut - Barat Daya. Seterusnya bagi pencirian nilai keberintangan, bahagian anomali keberintangan rendah iaitu kurang dari 400 Ω m ditafsirkan sebagai zon retakan. Bahagian anomali keberintangan tinggi melebihi 900 Ω m ditafsirkan sebagai batuan dasar granit. Bagi nilai kebolehsasan yang diperolehi dari survei pengkutuban teraruh pula boleh ditafsirkan semakin tinggi nilai kebolehsasan (>10.00 ms) semakin tinggi kebarangkalian zon tersebut merupakan zon tepu air. Begitu



Rajah 5: Gambarajah Pagar bagi kesemua garis survei di kawasan air panas Sungai Ber.



Rajah 6: Gambarajah Pagar bagi kesemua garis survei di kawasan air panas Sungai Mering.

juga sebaliknya, semakin rendah nilai kebolehcasan (<5.00 ms), semakin segar keadaan batuan dasar yang mana boleh dilihat pada kedalaman yang lebih dalam.

Nilai keberintangan dan nilai kebolehcasan menunjukkan perhubungan yang signifikan di mana kedua-dua nilai ini boleh dirujuk bagi membezakan kehadiran air dan lempung. Walaupun survei ini dijalankan di kawasan batuan granit namun masih boleh terdapat kehadiran lempung dari proses luluhawa batuan granit. Mengikut teori batuan granit segar akan menunjukkan nilai kebolehcasan yang rendah (<1.00 ms) dan nilai kebolehcasan bagi zon air lebih tinggi (>10.00 ms). Namun begitu, nilai teori ini hanya sebagai rujukan tidak boleh dijadikan tafsiran sebenar kerana keadaan geologi yang berbeza-beza di setiap kawasan kajian.

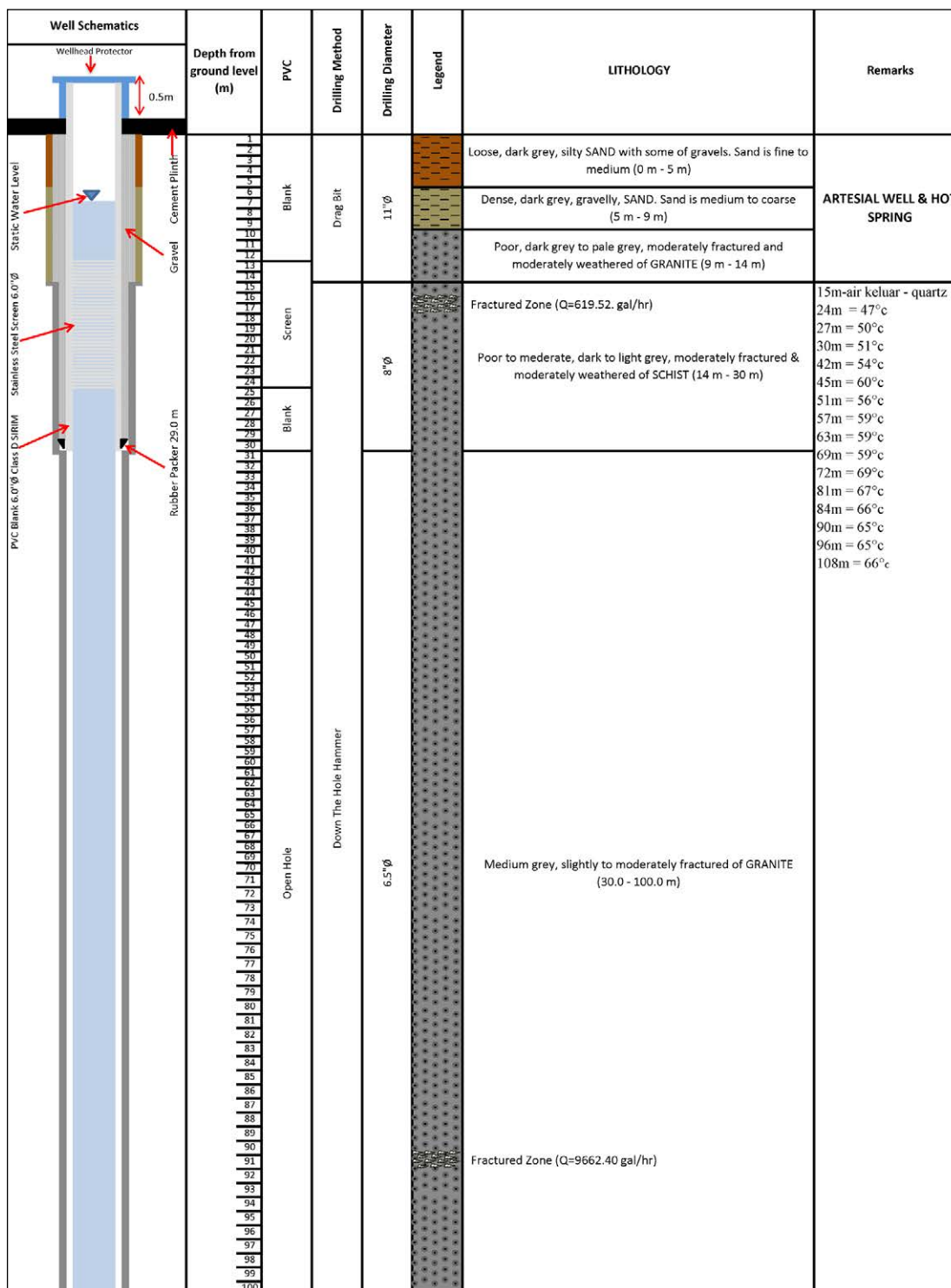
Data log lubang gerudi

Sebanyak dua buah telaga lubang gerudi BH 1 dan BH 2 dengan jarak 10 m telah dibina di kawasan Sungai Ber. Hasil daripada log lubang gerudi BH 1 (Rajah 7), geologi batuan terdiri daripada sedimen tidak konsolidat iaitu pasir,

lempung dan lodak sehingga kedalaman 14 m. Seterusnya, diikuti batuan dasar granit sehingga kedalaman 100 m. Kemunculan air dicatatkan pada bahagian lapisan batu dengan kelajuan 9662.40 gal/jam. Hasil ujian kadar potensi penghasilan air sewaktu proses pengerudian dijalankan di telaga BH 1 ialah sekitar 43.92 m³/jam.

Hasil log lubang gerudi BH 2 (Rajah 8) pula menunjukkan geologi batuan sedimen tidak konsolidat iaitu pasir, lempung dan lempung berlodak sehingga kedalaman 6 m. Seterusnya, diikuti batuan dasar granit sehingga kedalaman 140 m. Kemunculan air dicatatkan pada bahagian lapisan batu dengan kelajuan 15241.82 gal/jam. Hasil ujian kadar potensi penghasilan air sewaktu proses pengerudian dijalankan di telaga BH 2 ialah sekitar 69.281 m³/jam.

Zon potensi air tidak bergantung sepenuhnya kepada kedalaman pengerudian sebaliknya bergantung kepada jenis batuan, lapisan aluvium atau kehadiran batuan retakan tinggi. Akuifer di kawasan ini dikategorikan sebagai akuifer terkekang yang mana baik untuk mengawal kualiti air bawah tanah dari tercemar. Namun, pencemaran air bawah tanah

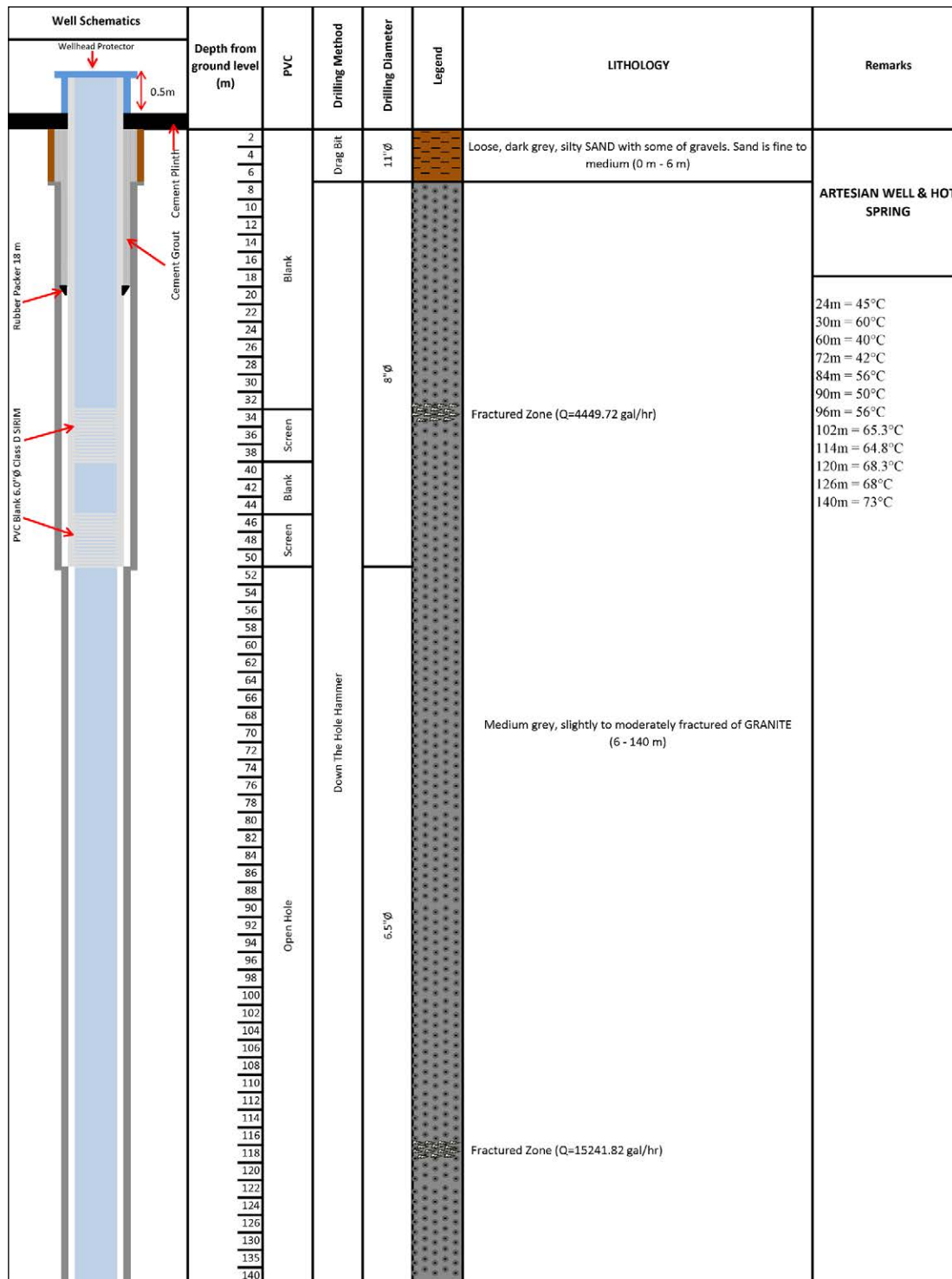


Rajah 7: Log lubang gerudi BH 1.

tetap boleh berlaku disebabkan oleh luluhawa batuan dan kawasan imbuhan (*recharge area*). Kedua-dua telaga di kawasan ini juga boleh dikategorikan sebagai telaga artisan di mana telaga ini menembusi akuifer terkekang dengan permukaan potentiometri lebih tinggi dari permukaan tanah. Aliran air telaga artisan mengalir secara semula jadi ke

permukaan hasil dari tekanan di dalam akuifer di mana kawasan imbuhan lebih tinggi dari titik imbuhan terhasil.

Dari data log lubang gerudi kedua-dua telaga, boleh disimpulkan batuan dasar berasosiasi dengan zon retakan yang menyumbang kepada jumlah pengeluaran air yang tinggi. Namun, jumlah pengeluaran air di BH 2 lebih tinggi



Rajah 8: Log lubang gerudi BH 2.

berbanding BH 1 kerana kedalaman telaga yang berbeza. Lebih dalam kedalaman sesuatu telaga, lebih tinggi jumlah pengeluaran air. Suhu yang direkodkan di BH 2 juga lebih tinggi iaitu sekitar 73°C berbanding BH 1 sekitar 66°C. Aspek geologi yang penting telah tercapai dengan pembinaan telaga ini di mana air panas masih boleh dijumpai pada telaga artisan.

Analisis geokimia dan geotermometri

Berdasarkan bacaan nilai pH 8.4 - 8.8 bagi sampel air di kawasan kajian ini menunjukkan ciri alkali lemah menurut Subtawung *et al.* (2005). Sampel air yang berciri alkali lemah ini berkemungkinan disebabkan oleh kandungan kalium, kalsium, magnesium dan natrium di dalam air.

Jadual 1: pH dan komposisi kation dan anion bagi sampel di kawasan air panas Lojing.

Sampel	pH	SiO ₂	Ca	Mg	K	Na	Fe	HCO ₃	SO ₄	Cl	F
W1	8.7	183	1.51	0.06	1.35	29.7	0.083	40	15	0.7	1.9
W2	8.8	241	2.48	0.15	1.87	30.7	0.127	48	12	1.2	1.6
W3	8.8	248	2.45	0.14	1.73	26.7	0.101	40	12	0.6	1.7
W4	8.8	205	1.85	0.10	1.57	24.8	0.089	38	12	0.6	1.5
W5	8.8	269	2.20	0.11	2.04	28.5	0.115	39	11	2.1	1.3
W6	8.5	218	2.49	0.19	1.86	23.8	0.117	43	13	1.6	1.6
W7	8.8	340	1.79	0.12	2.82	30.4	0.102	41	25	1.3	4.1
W8	8.8	308	1.91	0.13	2.94	30.2	0.11	45	23	1.2	3.8
W9	8.8	336	1.92	0.12	2.79	33.4	0.097	42	23	3.4	4.5
W10	8.7	394	1.92	0.14	3.27	33.8	0.098	41	27	1.3	4.4
W11	8.8	366	1.97	0.14	2.75	34.5	<0.001	36	19	4.6	4.6
W12	8.4	251	1.90	0.23	2.41	25.6	<0.001	46	23	1.2	3.8
W13	8.7	252	2.02	0.13	3.05	35.5	<0.001	43	26	1.2	3.8
W14	8.8	263	2.39	0.18	1.56	25.6	0.244	35	14	0.6	2.2
Purata	8.7	276.7	2.06	0.14	2.29	29.5	0.12	41.2	18.2	1.5	2.9

Jadual 1 menunjukkan hasil analisis geokimia sampel air kawasan kajian.

Secara keseluruhannya, purata kepekatan kation adalah dalam turutan berikut iaitu silika > natrium > kalium > kalsium manakala turutan bagi anion adalah bikarbonat > sulfat > fluorida > klorida. Kandungan kation yang diperoleh dari sampel air yang dianalisis menunjukkan bahawa kandungan SiO₂ berada di antara 183 ppm hingga 394 ppm dengan purata 277 ppm. Kandungan SiO₂ yang tinggi di dalam sampel air di kawasan kajian ini dipercayai disebabkan oleh batuan granit jenis-S yang menjadi batuan dasar kawasan kajian. Kandungan kation Na pula adalah 23 ppm sehingga 35 ppm dengan purata 29 ppm. Komposisi kation yang lain seperti Ca, K dan Fe hadir dalam purata yang lebih rendah iaitu masing-masing mencatatkan nilai purata 2, 2.3 dan 0.12 ppm. Kehadiran unsur ferum dipercayai berkait dengan kehadiran mineral biotit pada batuan granit.

Seterusnya, bagi kandungan anion pula, HCO₃ mencatatkan kandungan tertinggi iaitu dengan purata 41 ppm diikuti dengan komposisi SO₄ dengan purata 18 ppm. Cl dan F hadir dalam kepekatan yang rendah iaitu masing-masing mencatatkan purata 1.5 dan 2.9 ppm.

Kandungan bagi unsur-unsur major kation dan anion diplotkan di dalam rajah segitiga bagi mendapatkan jenis air bagi sampel-sampel air panas yang dikaji. Rajah 9 menunjukkan air panas yang dikaji adalah air yang kaya dengan K-Na-bikarbonat. Dari rajah 9 (A), kesemua sampel tergolong di dalam air jenis bikarbonat. Dari rajah 9 (B) pula menunjukkan ke semua sampel air panas diplotkan hampir dengan paksi Na+K. Seterusnya, rajah 9 (C) mengesahkan

sampel air panas yang dikaji di kawasan ini semuanya jenis Na.

Jadual 2 menunjukkan hasil pengiraan bagi setiap sampel air panas. Nilai bagi geotermometri kuarza adalah di antara 174°C hingga 231°C dengan purata suhu 203°C. Bagi nilai geotermometri kalsedon pula adalah di antara 147°C hingga 207°C dengan purata suhu 177°C. Entalpi untuk memanaskan air yang dikira dari geotermometri kuarza menggunakan Steam Table (Keenan *et al.*, 1969; Henley *et al.*, 1984) menunjukkan bacaan antara 737 hingga 992 kJ/kg yang dapat ditafsirkan sebagai entalpi tahap pertengahan.

KESIMPULAN

Secara kesimpulannya, keadaan geologi yang ditunjukkan di dalam peta geologi dan peta analisis lineamen membuktikan perkaitan dengan hasil survei geofizik melalui kaedah keberintangan elektrik serta kaedah graviti dan data log lubang gerudi. Hasil daripada pemetaan geologi menunjukkan kawasan kajian merupakan kawasan yang mempunyai batuan dasar batuan granit. Bagi analisis corak lineamen, kawasan kajian menunjukkan dominan arah Utara-Selatan, Barat Laut-Tenggara dan Timur Laut-Barat Daya. Hasil daripada survei graviti dapat ditafsirkan kehadiran lineamen dan keadaan batuan dasar kawasan kajian. Kawasan batuan dasar granit cetek hampir dengan permukaan dapat ditentukan melalui bacaan nilai anomali graviti. Kedalaman atau kedudukan yang tepat dapat ditentukan melalui data kaedah keberintangan elektrik. Secara umumnya, kesemua garis survei menunjukkan kehadiran batuan dasar granit yang mana terdapat zon takungan air panas yang menunjukkan nilai keberintangan

Jadual 2: Suhu takungan air panas yang dikira dari unsur SiO₂ (kuarza dan kalsedon) dan entalpi yang dikira dari geotermometer kuarza bagi air panas Lojing.

Sampel	Suhu °C (Kuarza)	Suhu °C (Kalsedon)	Entalpi (kJ/kg)
W1	174	147	737
W2	193	167	821
W3	195	169	830
W4	182	155	772
W5	201	175	855
W6	186	159	789
W7	219	194	936
W8	211	186	900
W9	218	193	932
W10	231	207	992
W11	225	201	964
W12	196	170	833
W13	196	170	833
W14	199	173	848
Purata	203	177	864

rendah, zon batuan granit yang telah terluluhawa yang menunjukkan nilai keberintangan sederhana dan juga zon granit yang masih segar (tiada retakan) dengan merujuk kepada nilai keberintangan yang tinggi. Hal ini juga dapat dilihat pada hasil data log lubang gerudi yang menunjukkan kehadiran batuan granit pada kedalaman yang lebih dalam dan batuan yang terluluhawa seperti pasir dan lempung pada kedalaman yang hampir dengan permukaan. Arah lineamen yang ditunjukkan pada profil garis survei juga selari dengan arah lineamen yang direkodkan di lapangan dan analisis lineamen iaitu arah Barat Laut-Tenggara bagi air panas Sungai Ber dan arah Utara - Selatan juga Timur Laut - Barat Daya bagi air panas Sungai Mering. Arah lineamen ini yang dipercayai mengawal pembentukan air panas di kawasan kajian.

PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih kepada Program Geologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, Geo Technology Resources Sdn. Bhd. dan Daun Lebar Holding yang telah membekalkan kemudahan makmal serta peralatan-peralatan geofizik untuk survei kerjalapangan dan dana penyelidikan (ST-2018-011). Penghargaan juga ditujukan kepada pegawai Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia iaitu En. Noor Akhmar Kamaruddin, En. Amir Mizwan Mohd Akhir dan En. Mohd Shahrizal Mohamed Sharifodin. Terima kasih kepada pewasit yang telah sudi menyemak dalam menambahbaik manuskrip ini.

SUMBANGAN PENGARANG

Manuskrip ini disediakan hasil sebahagian daripada penyiasatan kajian peringkat sarjana NSIAR. MHA

menyediakan maklumat asas dan mengetuai proses pengambilan data bersama MHM dan MNAA. Manuskrip ini disemak dan dimurnikan lagi oleh NMM.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para pengarang tidak mempunyai konflik kepentingan yang berkaitan dengan kandungan artikel ini untuk diisytiharkan.

RUJUKAN / REFERENCES

- Arifin, M.H., 2017. Hot springs characterisation and geothermal potential study in Peninsula Malaysia from geosciences perspectives. Penerbit Universiti Sains Malaysia, Pulau Pinang. 208 ms.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E. & Svavarsson, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland-II. Mineral Equilibria and Independent Variables Controlling Water Compositions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 547-566.
- Baioumy, H.M., Mohd Nawawi, Wagner, K. & Mohd Hariri Arifin, 2014. Geological setting and origin of non-volcanic hot springs in West Malaysia. 3rd Annual International Conference on Geological & Earth Sciences (GEOS 2014), 14-18.
- Chow, W.S., Irawan, S. & Muhammad Taufiq Fathaddin, 2010. Hot springs in Malay Peninsula. *Proceeding World Geothermal Congress 2010*, 25-29 April. Bali, Indonesia.
- Fournier, R.O., 1973. Silica in thermal water: Laboratory and field investigations. *Proceedings of the International Symposium on Hydrogeochemistry and Biochemistry, Japan 1970*, Vol. 1. The Clark Company, Washington DC, 122-139.
- Henley, R.W., Truesdell, A.H. & Barton, P.B., 1984. Fluid-mineral equilibria in hydrothermal systems. *Society of Economic Geologists*, 268. DOI: <https://doi.org/10.5382/Rev.01>.
- Ho, C.S., 1979. Geothermal survey: Geothermometric measurements

- of hot springs in Perak and Kedah. Geological Survey of Malaysia, Annual Report, 282-288.
- Hutchison, C.S., 1973. Plutonic activity geology of the Malay Peninsula. Wiley Interscience, New York, 215-252.
- Keenan, J.H., Keyes, F.G., Hill, P.G. & Moore, J.G., 1969. Steam Tables: Thermodynamic properties of water including vapor, liquid and solid phases. Wiley, 176 p.
- Samsudin, A.R., Umar Hamzah, Rakmi Abd Rahman, Chamhuri Siwar, Mohd Fauzi Mohd. Jani & Redzuan Othman, 1997. Thermal springs of Malaysia and their potential development. Journal of Asian Earth Sciences, 15, 275-284.
- Subtavewung, P.H., Raksaskulwong, M. & Tulyatid, J., 2005. The characteristic and classification of hot springs in Thailand. Proceedings World Geothermal Congress. Antalya, Turkey, 24-29 April.
- Tjia, H.D., 1987. Olistostrome in the Bentong area, Pahang. Warta Geologi, 13, 105-111.
- Umor, M.R., 2009. Petrogenesis dan geokimia batuan igneus Jalur Tengah Semenanjung Malaysia. Universiti Malaya, Kuala Lumpur. 268 ms.

*Manuscript received 15 June 2022;
Received in revised form 31 July 2022;
Accepted 15 August 2022
Available online 30 November 2022*