

## Penentuan Jenis Akuifer di Kota Belud, Sabah menggunakan Kaedah Seismik Pantulan

(Determination of Aquifer Type at Kota Belud, Sabah using Seismic Reflection Method)

FATIN NABILAHUDA ISMAIL<sup>1</sup>, NORSYAFINA ROSLAN<sup>1\*</sup>, JAINEH LINGI<sup>2</sup>, UMAR HAMZAH<sup>1</sup> & NORASIAH SULAIMAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Jabatan Sains Bumi dan Alam Sekitar, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

<sup>2</sup>*Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia, 88999 Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia*

*Diserahkan: 13 Mac 2022/Diterima: 29 April 2022*

### ABSTRAK

Punca air amat penting bagi kegunaan harian dan kegiatan ekonomi pertanian. Bekalan air bersih di kawasan Pantai Barat Kota Belud, Sabah terhad terutamanya sewaktu musim kemarau. Oleh itu, air bawah tanah boleh dijadikan sebagai punca bekalan air alternatif. Satu kajian telah dijalankan bagi menentukan jenis akuifer di Pantai Barat Kota Belud untuk tujuan ini. Berdasarkan cerapan lapangan pada singkapan yang dijumpai di Kampung Piasau dan analisis log lubang gerudi di Kampung Ratau, kawasan kajian terdiri daripada selang lapis batu pasir dan syal. Gabungan kaedah pemetaan profil luluh hawa dan seismik pantulan menggunakan teknik pemprofilan titik tengah sepunya (CMP) menunjukkan akuifer di kawasan kajian adalah jenis akuifer batu pasir teretak yang boleh mencecah ketebalan sehingga 300 m. Kehadiran kekar pada singkapan batu pasir yang mempunyai gred luluh hawa II hingga IV dan struktur sesar normal dan sesar sungkup di bahagian subpermukaan (melalui pentafsiran data seismik pantulan di Kampung Piasau dan Kampung Kalibungan) telah meningkatkan keliangan dan ketertelapan batu pasir sebagai akuifer.

Kata kunci: Akuifer teretak; batu pasir; Kota Belud

### ABSTRACT

Water resources are very important for daily use and agricultural economic activities. Clean water supply in the West Coast of Kota Belud, Sabah is limited especially during the drought season. Therefore, groundwater is proposed to be used as an alternative source of water supply. A study has been carried out to determine the type of aquifer on the West Coast of Kota Belud area for this purpose. Based on the field observation on the outcrop of Kampung Piasau and analysis of boreholes in Kampung Ratau, the study area comprises of interbedded sandstone and shale layers. The combination of weathering profile mapping and seismic reflection method using Common Midpoint Profiling (CMP) technique showed that the aquifer of the study area is classified as fractured sandstone aquifer (up to 300 m thick). The presence of joints in the grade II to IV weathered sandstone outcrops, and the normal and reverse faults structures (derived from seismic reflection that showed in the subsurface data in Kampung Piasau and Kampung Kalibungan), have increased the porosity and permeability in sandstones as an aquifer.

Keywords: Fractured aquifer; Kota Belud; sandstone

### PENDAHULUAN

Punca air bersih merupakan hak bagi setiap manusia dan juga ekosistem. Air diperlukan untuk kegunaan harian seperti makan, minum dan membersihkan diri. Air bawah tanah merupakan punca air alternatif yang boleh dijumpai di bawah permukaan tanah dan terletak pada retakan atau pada zon pelarutan (Norhayati et al. 2020) serta di dalam

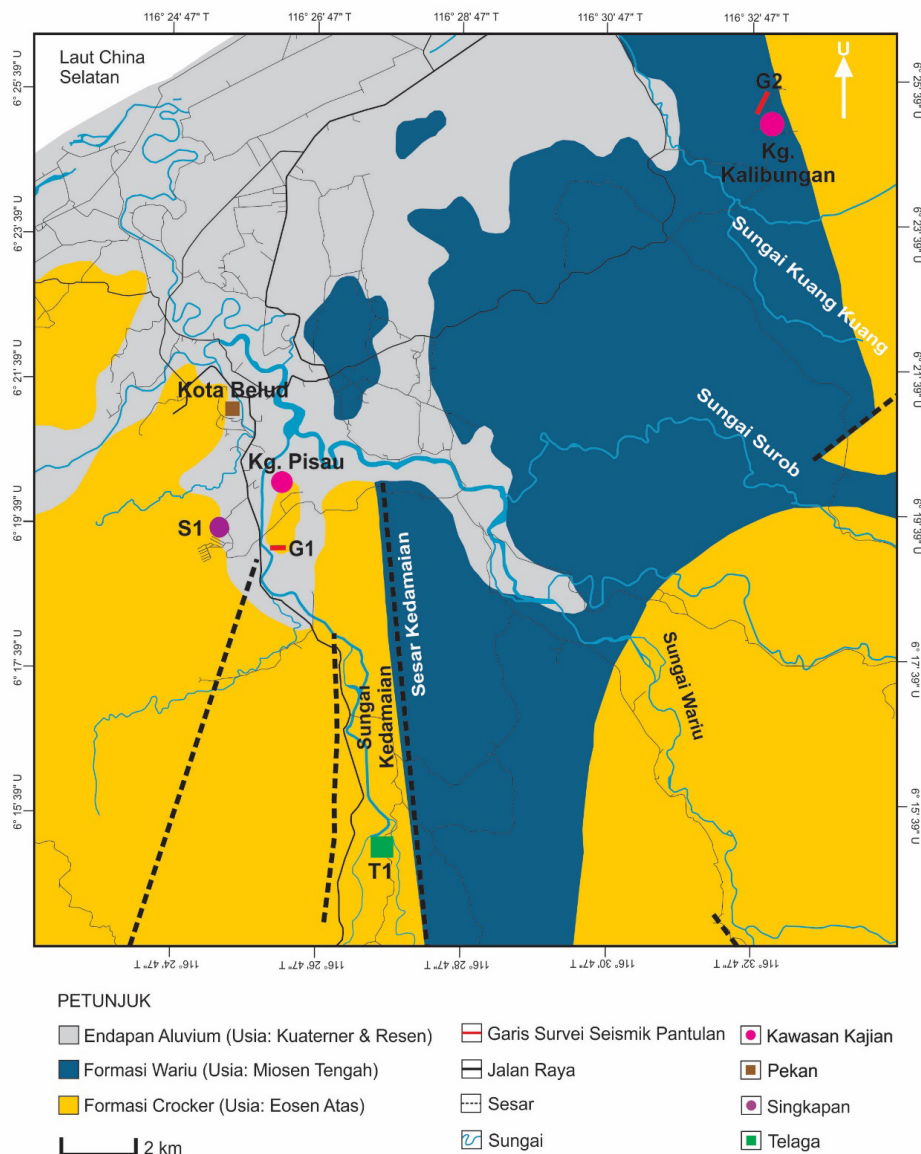
rongga-rongga antara butiran batuan sedimen (Kirsch 2006). Akuifer didefinisikan sebagai unit geologi yang tepu dan berketertelapan tinggi yang mampu memberikan kuantiti air yang secukupnya untuk kegunaan ekonomi (Kruseman & de Ridder 2000). Aluvium Kuaterner dan batu pasir Formasi Crocker merupakan reservoir air bawah tanah yang utama dalam Formasi Crocker dan retakan yang terhasil pada zon sesar telah meningkatkan

nilai ketertelapan batuan menjadi sebuah akuifer yang baik (Majeed et al. 1995). Keratan rentas seismik masa bertimbun menunjukkan bentuk akuifer pada kedalaman melebihi 30 m serta perkaitan data seismik pantulan cetek dan data lubang gerudi membantu pemetaan fitur-fitur geologi cetek bagi pengenalpastian lapisan akuifer (Umar et al. 1996). Satu kajian telah dijalankan bagi mencirikan profil lapisan permukaan bawah tanah dan menentukan jenis akuifer di sekitar Pantai Barat Kota Belud melibatkan Kampung Piasau, Kampung Kalibungan serta Kampung Ratau yang didasari oleh Formasi Crocker, Formasi Wariu dan aluvium. Kegiatan ekonomi yang dijalankan di kawasan Pantai Barat Kota Belud ialah aktiviti pertanian iaitu penanaman padi. Oleh itu, bekalan air alternatif amat diperlukan untuk mengairi tanaman penduduk tempatan sewaktu kekurangan punca air di kawasan pertanian ini.

BAHAN DAN KAEDAH

GEOLOGI AM

Kaedah yang digunakan dalam kajian ini meliputi pengumpulan data geologi am dan seismik pantulan di kawasan kajian. Data geologi am diperoleh berdasarkan dua jenis punca iaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui kaedah cerapan lapangan yang meliputi pengumpulan maklumat litologi dan pemetaan profil luluh hawa. Cerapan lapangan telah dilakukan di sekitar Pantai Barat Kota Belud bagi mencari maklumat berkaitan geologi di kawasan kajian. Satu singkapan batuan telah dijumpai semasa kerja lapangan dijalankan yang terletak pada koordinat 6° 19' 20.5" U 116° 25' 31.0" T (Rajah 1).



RAJAH 1. Peta geologi yang menunjukkan lokasi singkapan, dua garis survei seismik pantulan dan telaga di Kota Belud, Sabah

### PROFIL LULUH HAWA

Gred luluh hawa dikenal pasti berdasarkan pengelasan dan penjelasan gred luluh hawa batuan metasedimen yang diperkenalkan oleh Ibrahim dan Mogana (1988) dalam Jadual 1. Setelah pencerapan dijalankan, gambar cerun

yang dikaji diambil bagi tujuan pemetaan profil luluh hawa. Maklumat berkaitan gred luluh hawa digunakan untuk membuat perbandingan litologi dengan analisis log teras gerudi dan seterusnya dikaitkan dengan pencirian akuifer dalam lapisan terluluh hawa di kawasan kajian.

JADUAL 1. Pengelasan dan penjelasan gred luluh hawa batuan metasedimen menurut Ibrahim dan Mogana (1988)

Pengelasan	Gred	Huraian
Tanah baki	VI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keseluruhan batuan terubah warna dan homogen</li> <li>- Tekstur asal musnah sama sekali</li> <li>- Mudah dihancurkan dengan tangan atau di dalam air</li> </ul>
Terluluh hawa lengkap	V	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keseluruhan batuan terubah warna tetapi tidak homogen</li> <li>- Sebahagian tekstur asal masih kekal</li> <li>- Boleh dihancurkan dengan tangan atau direndam di dalam air</li> </ul>
Terluluh hawa tinggi	IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengalami sedikit perubahan warna</li> <li>- Keseluruhan tekstur asal masih kekal</li> <li>- Tidak pecah jika direndam</li> <li>- Penjuru serpihan batuan boleh dipatahkan dengan tangan</li> </ul>
Terluluh hawa sederhana	III	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengalami sedikit perubahan warna</li> <li>- Keseluruhan tekstur asal masih kekal</li> <li>- Tidak pecah jika direndam</li> <li>- Penjuru serpihan batuan boleh dipatahkan dengan tangan</li> </ul>
Terluluh hawa sedikit	II	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiada perubahan warna</li> <li>- Tekstur batuan asal masih kekal</li> <li>- Tidak pecah jika direndam</li> <li>- Penjuru serpihan batuan tidak boleh dipatahkan dengan tangan</li> </ul>
Batuan segar	I	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiada perubahan warna</li> <li>- Tekstur batuan asal masih kekal</li> <li>- Tidak pecah jika direndam</li> <li>- Penjuru serpihan batuan tidak boleh dipatahkan dengan tangan</li> </ul>

### TERAS GERUDI

Kaedah yang melibatkan punca data sekunder pula ialah analisis data log teras gerudi yang diperolehi daripada Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia, Sabah (JMG). Analisis data log teras gerudi memberikan maklumat berkaitan bahan geologi yang berada pada subpermukaan.

Data yang digunakan ialah data log teras gerudi yang terletak di Kampung Ratau, Kota Belud. Lapisan unit batuan yang terdapat dalam data log gerudi boleh memberikan maklumat berkaitan bahan yang membentuk akuifer di kawasan kajian. Maklumat sedia ada digunakan untuk mengukuhkan tafsiran data seismic.

## SEISMIK PANTULAN

Selain itu, data seismik pantulan diperoleh daripada dua lokaliti berbeza iaitu Kampung Piasau dan Kampung Kalibungan (Rajah 1). Satu garis survei dilakukan di setiap lokaliti dengan jumlah jarak 290 m di Kampung Piasau dan 545 m di Kampung Kalibungan menggunakan jarak ofset 40 m. Dalam kajian ini, ABEM *Terraloc Mark 6* dan bateri 12 V digunakan bagi pengumpulan data seismik pantulan. Aturan yang digunakan di lapangan ialah teknik pemprofilan titik tengah sepunya atau dikenali sebagai *Common Midpoint Profile (CMP)*. Punca tenaga yang dipilih bagi menghasilkan gelombang seismik ialah tukul besi seberat 5 kg yang diketuk pada plat getah sebanyak tiga kali bagi setiap stesen. Alatan tambahan lain yang diperlukan ialah 24 geofon yang mempunyai frekuensi 100Hz dengan jarak 5 m setiap satunya, dua kabel geofon bersoket, gegelung wayar dan pita pengukur. Kedudukan garis survei seismik ini dipilih berdekatan dengan sungai dan berjauhan dengan kawasan pembangunan agar tidak mengganggu kelancaran operasi dan kajian. Selepas data seismik pantulan diperoleh di lapangan, data tersebut dihantar ke makmal untuk

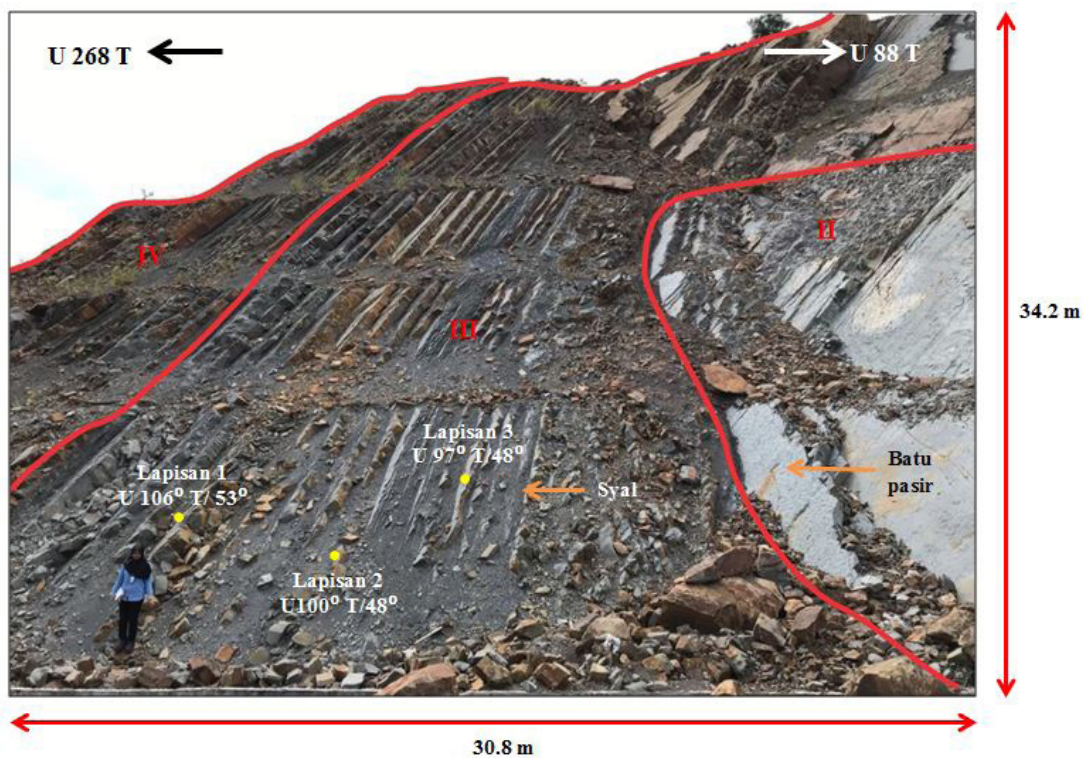
diproses menggunakan perisian *Seismic Processing Workshop (SPW)*.

## HASIL DAN PERBINCANGAN

## PENCIRIAN GEOLOGI AM

Pencirian geologi dilakukan semasa kerja lapangan dijalankan. Pemilihan singkapan sukar dilakukan kerana kawasan ini mengalami luluh hawa yang teruk dan aktiviti utama penduduk di kawasan kajian ialah pertanian. Singkapan yang dipilih merupakan cerun yang telah dipotong bagi tujuan pembinaan kawasan perumahan di kawasan Kampung Piasau.

Batuan yang tersingkap pada cerun ini terdiri daripada selang lapis batu pasir dan syal. Batu pasir berwarna kelabu cerah dan batuan syal berwarna kelabu gelap. Secara umum, semua lapisan batuan yang terdapat pada singkapan telah mengalami canggaan yang menyebabkan lapisan termiring dengan sudut lebih kurang  $45^\circ$ . Tiga nilai jurus dan kemiringan lapisan batuan adalah 106/53, 100/48 dan 97/48 (Rajah 2).



RAJAH 2. Pencirian geologi dan profil luluh hawa singkapan batuan sedimen di Kampung Piasau, Kota Belud

PEMETAAN PROFIL LULUH HAWA

Pemetaan profil luluh hawa untuk pengelasan gred luluh hawa hanya tertumpu pada batuan sedimen yang ditentukan mengikut pencirian fizikal terhadap batu pasir dan syal yang terdapat pada singkapan seperti warna, kekerasan, keperoian, struktur dan lapisan kaya besi.

Ketinggian cerun adalah 34.2 m dan mempunyai kelebaran 30.8 m. Kebanyakan serpihan batuan yang terdapat pada singkapan merupakan hasil pemotongan

cerun dan bukan disebabkan oleh proses luluh hawa semula jadi. Batuan yang tersingkap di bahagian bawah juga sukar dilihat kerana serpihan batuan dari bahagian atas telah terkumpul dan menimbus singkapan batuan di bahagian bawah. Batuan yang terdedah pada singkapan ini menunjukkan luluh hawa bergred II hingga IV (Rajah 2). Jadual 2 menunjukkan pengelasan gred luluh hawa berdasarkan pencirian fizikal yang diulas secara terperinci.

JADUAL 2. Pengelasan dan penerangan gred luluh hawa batuan sedimen di Kampung Piasau, Kota Belud berdasarkan pencirian fizikal

Luluh hawa		Pencirian fizikal					
Jenis	Zon	Bahan			Jasad		
		Warna	Tekstur	Keperoian (menggunakan tangan)	Kekerasan struktur	Perubahan struktur	Lapisan kaya besi
Terluluh hawa tinggi	IV	Perubahan warna coklat keperangan secara menyeluruh pada permukaan batuan	Separa kekal	Spesimen boleh dihancurkan dengan tangan, dengan daya atau dikikis dengan pisau	Keras	75% struktur kekal	Tiada
Terluluh hawa sederhana	III	Berwarna kelabu cerah dan terdapat warna coklat keperangan pada permukaan batuan	Kekal	Penjuru serpihan boleh dipatahkan	Keras	80% struktur kekal	Tiada
Terluluh hawa sedikit	II	Berwarna kelabu cerah dan terdapat tompokan coklat keperangan	Kekal	Penjuru serpihan tidak boleh dipatahkan	Sangat keras	100% struktur kekal	Tiada

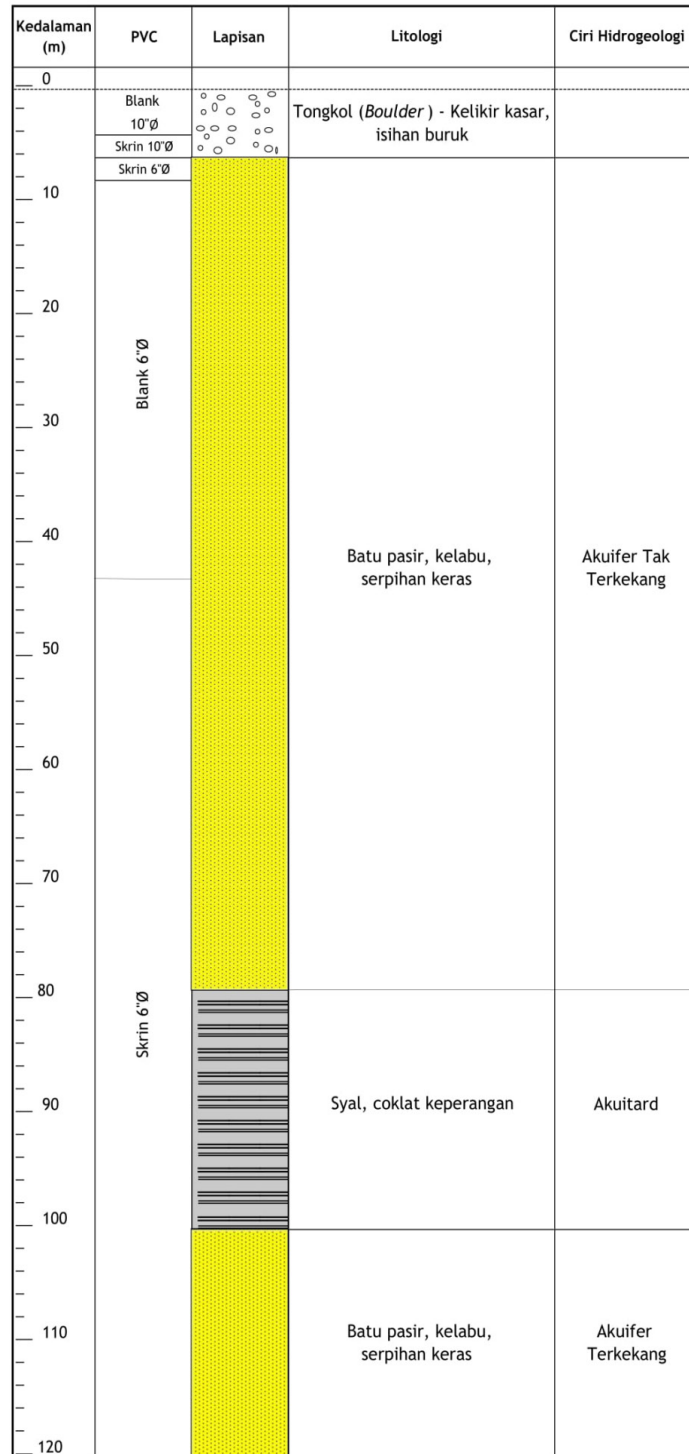
ANALISIS DATA LOG TERAS GERUDI

Kampung Ratau terdiri daripada selang lapis batu pasir dan syal serta serpihan batuan sama seperti Kampung Piasau. Jarak antara Kampung Ratau dan Kampung Piasau ialah sejauh 11.4 km. Telaga yang dibina di

kampung ini adalah berkedalaman 120 m dari permukaan. Analisis log teras gerudi menunjukkan terdapat tiga lapisan penting bagi pencirian hidrogeologi (Rajah 3). Lapisan paling atas terdiri daripada 6 m tebal lapisan sedimen berusia Resen yang terdiri daripada tongkol

(*boulder*) dan kelikir kasar berisihan buruk. Lapisan kedua (pada kedalaman 6 m hingga 79 m) adalah terdiri daripada lapisan batu pasir berwarna kelabu berserpihan keras setebal 73 m dan dicirikan sebagai akuifer tak terkekang. Lapisan ketiga ialah lapisan syal berwarna coklat keperangan setebal 21 m yang berada pada kedalaman 79 m hingga 100 m. Syal merupakan

contoh terbaik bagi akuitard kerana sifatnya yang boleh menyimpan air tetapi mempunyai nilai ketertelapan yang rendah. Lapisan syal menindih lapisan paling bawah (pada kedalaman 100 m hingga 120 m) yang terdiri daripada 20 m tebal batu pasir berwarna kelabu dan berserpihan keras sama seperti lapisan kedua. Lapisan ini dicirikan sebagai akuifer terkekang.

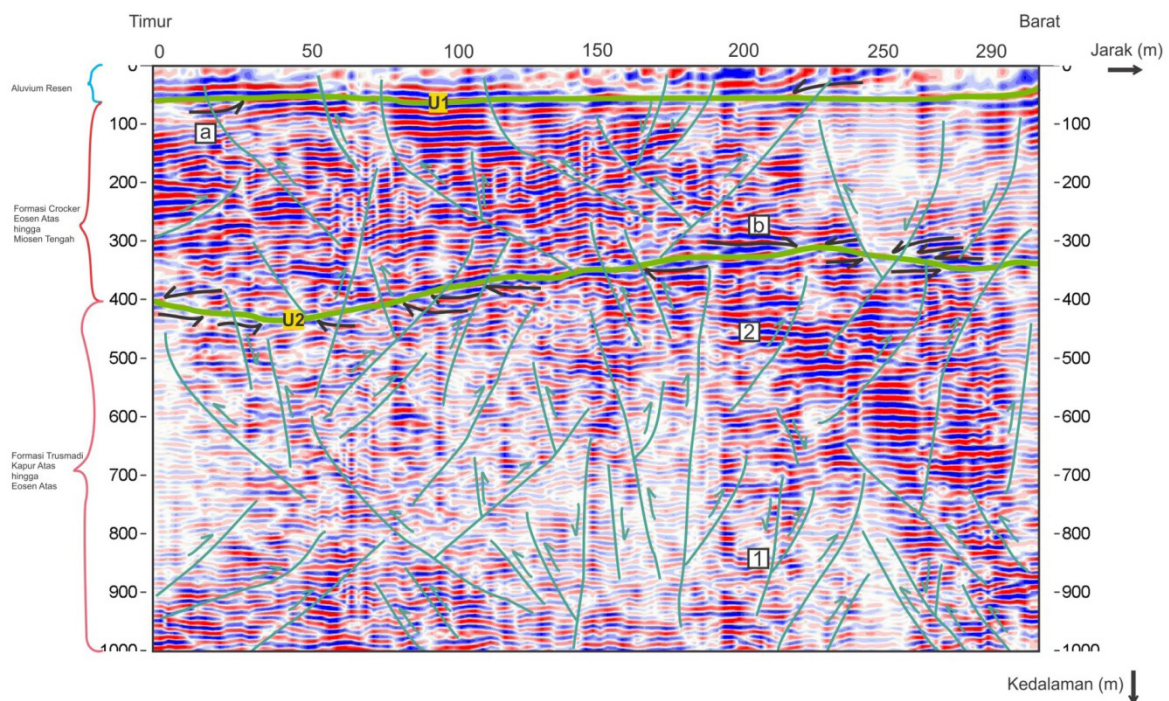


RAJAH 3. Penerangan log teras gerudi di Kampung Ratau, Kota Belud yang terdiri daripada selang lapis batu pasir dan syal Formasi Crocker

#### ANALISIS SEISMIK PANTULAN

Hasil pemrosesan data mentah sepanjang 290 m di Kampung Piasau menghasilkan kedalaman maksimum data seismik pantulan sedalam 1000 m (Rajah 4). Hasil tafsiran menunjukkan terdapat dua ketakselarasan yang ditemukan dan ditandakan dengan U1 dan U2. Ketakselarasan terhasil apabila tiada pengendapan berlaku dan bahagian atas lapisan terhakis. Bahagian yang terhakis ini kemudiannya ditindih oleh satu lagi episod pengendapan yang baru. Menurut Sanudin dan Baba (2007), stratigrafi batuan sedimen di bahagian utara Sabah didasari oleh Formasi Trusmadi sebagai formasi batuan sedimen tertua, diikuti oleh Formasi Crocker dan

Formasi Wariu. Oleh itu, penafsiran di kawasan kajian menunjukkan terdapat Formasi Trusmadi yang berusia Kapur Atas hingga Eosen Bawah (Sanudin & Baba 2007) yang termiring dengan ketebalan 600 m hingga 660 m dari Timur ke Barat. Formasi ini kemudiannya ditindih oleh Formasi Crocker yang berusia Eosen Atas hingga Miosen Tengah (Sanudin & Baba 2007) setebal 310 m (Barat) hingga 350 m (Timur). Kedua-dua lapisan formasi ini dipisahkan dengan ketakselarasan U2. Lapisan paling atas yang diwakili oleh permukaan bumi hingga pemantul pertama menunjukkan kawasan ini didasari oleh aluvium berusia Kuaterner dan Resen (Jaineh et al. 2019) setebal 30 m hingga 50 m yang menindih ketakselarasan U1.



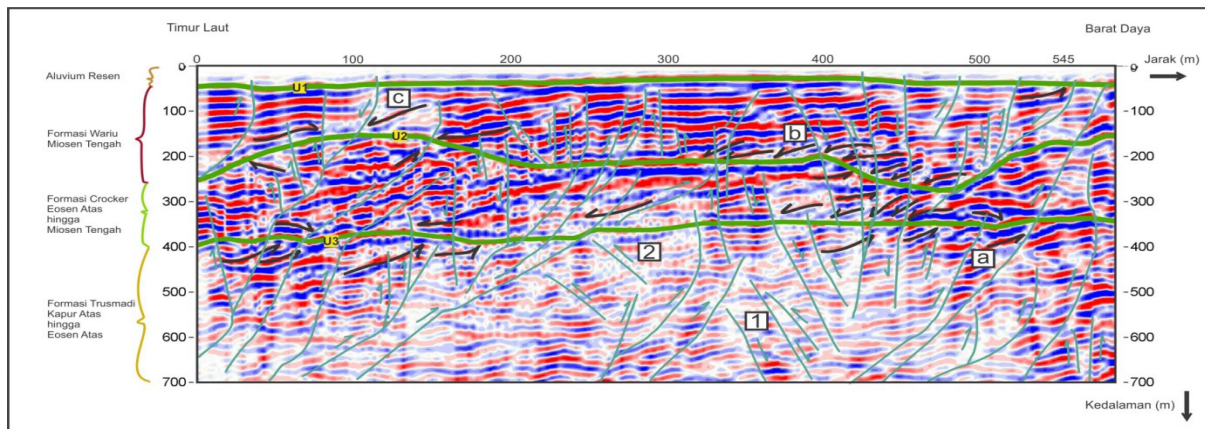
RAJAH 4. Penafsiran keratan rentas subpermukaan seismik pantulan di Kampung Piasau, Kota Belud

Data seismik pantulan di Kampung Kalibungan sepanjang 545 m mencapai kedalaman maksimum 700 m (Rajah 5). Berdasarkan surihan hasil data yang telah diproses, dapat ditafsirkan terdapat ketakselarasan yang ketara ditandakan sebagai U1, U2 dan U3. Lapisan paling tua yang berusia Kapur Atas hingga Eosen Bawah (Sanudin & Baba 2007) di subpermukaan kawasan Kampung Kalibungan ditafsir sebagai Formasi Trusmadi yang mempunyai ketebalan miring 300 m

di sebelah Timur Laut hingga 350 m di sebelah Barat Daya. Seterusnya, lapisan Formasi Crocker dengan ketebalan maksimum 240 m (Timur Laut) dan ketebalan minimum 80 m (Barat Daya) berusia Eosen Atas hingga Miosen Tengah (Sanudin & Baba 2007) menindih lapisan Formasi Trusmadi dengan bersempadankan ketakselarasan U3. Pada bahagian atas Formasi Crocker terdapat ketakselarasan U2 yang ditindih oleh Formasi Wariu berusia Miosen Tengah (Sanudin et al. 2017)

setebal 100 m (Barat Daya) hingga 200 m (Timur Laut) dengan ketebalan maksimum 225 m. Ketakselarasan U1

merupakan sempadan yang memisahkan lapisan aluvium Kuaterner dan Resen (Jaineh et al. 2019) setebal lebih kurang 50 m dengan Formasi Wariu.



RAJAH 5. Penafsiran keratan rentas subpermukaan seismik pantulan di Kampung Kalibungan, Kota Belud

Semua ketakselarasan dalam data seismik pantulan ditafsirkan berdasarkan sempadan jujukan seismik pada garisan yang jelas. Sempadan ini terdiri daripada sempadan atas dan sempadan bawah. Bagi keratan rentas seismik pantulan di Kampung Piasau, sempadan atas dikenal pasti berdasarkan kehadiran sempadan tindih atas atau dikenali sebagai *toplap* (ditanda dengan 'a') dan sempadan bawah yang dikenal pasti dengan kehadiran sempadan lapik mara atau lebih dikenali sebagai *onlap* (ditandakan dengan 'b') pada U1 dan U2 dalam Rajah 4. Selain itu, Rajah 5 menunjukkan tiga jenis sempadan jujukan yang terdapat pada keratan rentas seismik pantulan di Kampung Kalibungan. Sempadan atas tindih atas (*toplap*) yang dikenal pasti dengan garis anak panah hitam bertanda 'a' boleh ditemukan pada ketiga-tiga ketakselarasan U1, U2 dan U3 manakala sempadan bawah lapik mara (*onlap*) yang ditanda dengan 'b' dan sempadan bawah tindih bawah (*downlap*) yang ditanda dengan 'c' hanya boleh dilihat pada ketakselarasan U2 dan U3.

Struktur yang dapat dikenal pasti daripada surihan hasil pemprosesan data seismik pantulan ialah sesar normal (ditanda dengan '1') dan sesar sungkup (ditanda dengan '2'). Berdasarkan peta geologi, kawasan kajian terletak berhampiran zon Sesar Kedamaian. Antara unit batuan yang terdapat dalam ketiga-tiga formasi ini ialah batu pasir. Kehadiran sesar dalam batu pasir menyebabkan batuan yang berada di zon sesar menjadi

retak dan hancur serta meningkatkan keliangan dan ketertelapan batu pasir tersebut.

#### PENENTUAN JENIS AKUIFER

Singkapan batuan di lapangan menunjukkan batuan Formasi Crocker yang tersingkap di permukaan adalah sama dengan unit batuan di subpermukaan yang ditafsirkan daripada data teras gerudi di Kampung Ratau iaitu selang lapis batu pasir, syal dan serpihan batuan. Kehadiran batuan ini membuktikan kawasan Kampung Piasau didasari oleh Formasi Crocker.

Batu pasir Formasi Crocker yang ditemui pada singkapan telah mengalami luluh hawa kimia dengan menunjukkan kehadiran warna merah atau perang pada permukaan batuan disebabkan kehadiran besi oksida (Noran 2017) hasil proses pengoksidaan. Proses ini menyebabkan mineral dalam batuan terurai. Proses luluh hawa terhadap mineral feldspar kepada kaolinit menyebabkan kekuatan ikatan antara mineral menjadi lemah serta berlaku pembentukan liang di antara zarah mineral (Roslee et al. 2008). Berdasarkan cerapan singkapan batuan di lapangan, batu pasir yang ditemukan mempunyai retakan yang banyak hasil daripada proses canggaan batuan. Maklumat ini disokong oleh penafsiran data seismik pantulan (Rajah 4 dan 5). Menurut Teoh (2007), batu pasir Formasi Crocker mempunyai halaju tinggi (4500-7500 m/s), nilai ketumpatan tinggi (2.3-2.8g/cm<sup>3</sup>) dan nilai



keliangan dan ketertelapan yang rendah ( $n < 10\%$ ;  $K < 1\text{m/d}$ ) disebabkan oleh batu pasir ini telah mengalami proses pemadatan dan penyimenan tahap tinggi. Proses tersebut telah mengurangkan keliangan dan ketertelapan primer sedia ada dalam batuan ini. Namun begitu, nilai ketertelapan dan keliangan batuan ditingkatkan dengan kehadiran struktur geologi seperti retakan seterusnya menjadikan batu pasir Formasi Crocker sebagai batuan pengandung minyak atau reservoir (Mazlan et al. 2020). Berdasarkan penemuan ini, kehadiran retakan yang berpunca daripada struktur sesar ditafsirkan berupaya meningkatkan keliangan dan ketertelapan sekunder batu pasir di kawasan kajian seterusnya meningkatkan keupayaannya sebagai akuifer.

Terdapat dua jenis akuifer di kawasan kajian iaitu akuifer tidak terkekang dan akuifer terkekang. Tebal akuifer di kawasan kajian (berdasarkan analisis seismik) boleh mencecah sehingga 300 m.

#### KESIMPULAN

Lapisan unit batuan sedimen yang terdapat dalam Formasi Crocker adalah terdiri daripada lapisan batu pasir bahagian atas sebagai akuifer tak terkekang, diikuti lapisan syal sebagai akuitard yang menindih lapisan batu pasir. Akuifer batu pasir ini dikategorikan sebagai akuifer teretak berdasarkan bukti kekar yang dicerap pada singkapan batuan di kawasan kajian. Penafsiran seismik pantulan menunjukkan struktur sesar normal dan sesar sungkup yang berada di subpermukaan meningkatkan keliangan sekunder dan ketertelapan batu pasir tersebut yang menjadikannya sebagai sebuah akuifer yang baik. Bagi kajian yang akan datang, dicadangkan supaya penilaian kualiti air tanah dalam akuifer di kawasan kajian dapat dilakukan. Kualiti air amat penting bagi menentukan tahap kebersihan dan keselamatan air untuk kegunaan masyarakat setempat. Antara analisis yang perlu dijalankan ialah analisis parameter fizikal seperti pH dan nilai kekonduksian elektrik dan parameter kimia seperti kandungan anion dan kation utama, kehadiran logam berat dan *E. coli*.

#### PENGHARGAAN

Terima kasih diucapkan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia terutamanya kakitangan Program Geologi, Fakulti Sains dan Teknologi serta Jabatan Mineral dan Geosains, Malaysia kerana banyak membantu bagi menjayakan penyelidikan ini. Penyelidikan berkenaan penentuan jenis akuifer ini telah dibiayai oleh projek penyelidikan Penilaian Rezab Air Tanah Negara (ST-2017-024).

#### RUJUKAN

- Ibrahim Komoo & Mogana, S.N. 1988. Physical characterization of weathering profile of classic metasedimen in Peninsular Malaysia. *Proceeding of the 2nd International Conference Geomech in Tropical Soil* 1: 37-42.
- Jaineh Linggi, Zulherry Isnain & Baba Musta. 2019. Effect of rainfalls and air temperature on groundwater levels in Kedamaian Basin, Kota Belud, Sabah. *Warta Geologi* 45(3): 271-275.
- Kirsch, R. 2006. Aquifer structures-pore aquifers. Dlm. *Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology*, disunting oleh Kirsch, R. Berlin, Heidelberg, New York: Springer. hlm. 23-83.
- Kruseman, G.P. & de Ridder, N.A. 2000. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. Edisi ke-2. The Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement.
- Majeed Faisal, S. Abd. Kadir S. Omang & Sanudin Tahir. 1995. Geology of Kota Kinabalu and its implications to groundwater potential. *Geological Society of Malaysia* 38: 11-20.
- Mazlan Madon, Kessler, F.L., Jong, J. & Mohd Khairul Azrafy Amin. 2020. "Fractured basement" play in the Sabah Basin? - the Crocker and Kudat Formations as hydrocarbon reservoirs and their risk factors. *Geological Society of Malaysia* 69: 157-171.
- Noran Nabilla Nor Azlan, Simon, N., Azimah Hussin, Roslee, R. & Lee, K.E. 2017. Pencirian sifat kimia bahan tanah pada cerun gagal di sepanjang Jalan Ranau-Tambunan, Sabah, Malaysia. *Sains Malaysiana* 46(6): 867-877.
- Norhayati Mohd Rawi, Nursabrina Syahirah Hairudin, Simon, N., Lee, K.E. & Norsyafina Roslan. 2020. Hidrogeologi dan geokimia air bawah tanah di Daerah Tampin, Negeri Sembilan, Malaysia. *Sains Malaysiana* 49(3): 493-502.
- Roslee, R., Sanudin Tahir, Nor Samihah Abdullah Zawawi, Hafzan Eva Mansor & S. Abd. Kadir S. Omang. 2008. Engineering geological assessment on slope design in the mountainous area of Sabah Western, Malaysia: A Case Study from the Ranau-Tambunan, Penampang-Tambunan and Kimanis-Keningau Road. *An International Conference on Recent Advances in Engineering Geology*. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Sanudin Tahir & Baba Musta. 2007. *Pengenalan kepada Stratigrafi*. Kota Kinabalu: Penerbit Universiti Malaysia Sabah.
- Sanudin Tahir, Kong Vui, Baba Musta & Junaidi Asis. 2017. Facies and sandstone characteristics of the Kudat Formation, Sabah, Malaysia. *Geological Behavior* 1(2): 20-25.
- Teoh, Y.J. 2007. Characteristics of sedimentary facies and reservoir properties of some tertiary sandstones in Sabah and Sarawak, East Malaysia. Tesis Sarjana Sains, Universiti Teknologi Petronas (Tidak Diterbitkan).
- Umar Hamzah, Abd. Rahim Samsudin, Abd. Ghani Rafek & Haryono. 1996. Application of shallow seismic reflection in delineating Bacok groundwater aquifers. *Warta Geologi* 22(3): 167-172.

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