



Pemanfaatan Teknologi Georadar Dalam Mendukung Kegiatan Eksplorasi Mineral di Indonesia¹

Utilization of Georadar Technology for Supporting Mineral Exploration Activities in Indonesia

Yensy Ina Anggraini^{a,2}, Lilik Ismawati^b, Habib Nur Falani^c

^{a,b,c} Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

ABSTRAK

Tahap eksplorasi merupakan kegiatan awal yang dilakukan dalam menentukan jumlah sumberdaya atau cadangan yang diambil. Metode yang digunakan dalam tahap eksplorasi menggunakan salah satu alat yang dinamakan *Ground Penetrating Radar* (GPR). Penggunaan alat GPR bertujuan untuk memprediksi jumlah sumberdaya atau cadangan yang terpendam di bawah permukaan, namun dalam penggunaan GPR sendiri memiliki keterbatasan kedalaman dalam melakukan penelitian. Kedalaman penetrasi dibatasi oleh adanya mineralogi tanah liat atau pori-pori cairan dengan konduktivitas tinggi yang dapat menghambat pencapaian resolusi dan kedalaman penetrasi yang tinggi. Beberapa komponen yang terdapat dalam GPR seperti: unit kontrol, antena pengirim dan antena penerima. Tentunya pengaplikasian GPR sendiri digunakan dalam beberapa bidang seperti pertambangan, pemetaan struktur, konstruksi, *hidrogeologi*, arkeolog, dll. Adapun dalam pemetaan mineral menggunakan GPR dapat diterapkan pada nikel, emas, bauksit dan lain sebagainya.

Kata kunci: Eksplorasi, *Ground Penetrating Radar*, Penerapan

ABSTRACT

The exploration stage is the initial activity carried out in determining the amount of resources or reserves taken. The method used in the exploration stage uses a tool called Ground Penetrating Radar (GPR). The use of the GPR tool itself is intended to predict the amount of resources or reserves buried under the surface, but the use of GPR itself has limited depth in conducting research. The depth of penetration is limited by the presence of clay mineralogy or pores of liquids with high conductivity which may hinder the achievement of high resolution and depth of penetration. Some of the components contained in GPR such as: control unit, sending antenna and receiving antenna. Of course, the application of GPR itself is used in several fields such as mining, structural mapping, construction, hydrogeology, archaeology, etc. As for mineral mapping using GPR can be applied to nickel, gold, bauxite and so on, as well as in mineral mapping using GPR can be applied to nickel, gold, bauxite and another.

Keywords: Exploration, Ground Penetrating Radar, Application

PENDAHULUAN

Tahapan eksplorasi merupakan tahapan awal dalam penentuan sumberdaya dan cadangan, salah satu metode geofisika yang dapat dilakukan dalam tahapan eksplorasi ialah *Ground Penetrating Radar* (GPR). Metode GPR dapat digunakan untuk memprediksi dimensi dari objek terpendam. Metode ini tidak dapat dipisahkan dari kata radar, karena merupakan salah satu pengembangan lebih lanjut dari kegunaan radar. GPR adalah suatu metode fisika yang biasanya digunakan untuk keperluan pencitraan tanah maupun objek yang terkubur di

¹ Info Artikel: Received: 5 Desember 2022, Revised: 17 Juni 2023, Accepted: 20 Juni 2023, Published: 25 Juni 2023

² E-mail: yensyanggraini2@gmail.com

dalamnya, seperti batuan, tanah, es, air, jalan, dan bangunan. GPR juga dapat mendeteksi objek, perubahan pada suatu material, maupun celah dan retakan.

Metode GPR melibatkan antena pengirim dan penerima untuk keperluan deteksi. *Transmitter* akan meradiasikan pulsa pendek dari gelombang radio frekuensi tinggi ke tanah, yang kemudian dipantulkan oleh tanah maupun objek lain yang terkandung di dalamnya. dari berbagai macam sinyal pantulan yang diterima akan disimpan oleh penerima untuk kemudian diolah lebih lanjut. Artikel ini akan membahas mengenai pemanfaatan *Ground Penetrating Radar* (GPR) dalam mendukung kegiatan eksplorasi mineral di Indonesia, meliputi definisi GPR, Manfaat, kelebihan dan kekurangan, cara kerja dan contoh implementasinya.

GROUND PENETRATING RADAR (GPR)

GPR merupakan suatu metode geofisika untuk menggambarkan bawah permukaan (*subsurface*). GPR umumnya bekerja pada band frekuensi VHF (30 s/d 300 MHz) atau UHF (0.3 s/d 3 GHz). GPR menggunakan propagasi gelombang elektromagnetik dan pemantulan untuk menggambarkan, menunjukkan lokasi dan secara keatitatif mengidentifikasi perubahan properti listrik dan magnetik di medium ukur. Metode GPR melibatkan antena pengirim (*transmitter*) dan penerima (*receiver*) untuk keperluan deteksi. *Transmitter* akan meradiasikan pulsa pendek dari gelombang radio frekuensi tinggi ke tanah, yang kemudian akan dipantulkan oleh tanah maupun objek yang terkandung di dalamnya. Berbagai macam sinyal refleksi ini akan diterima dan disimpan oleh *receiver* untuk kemudian diolah lebih lanjut. Ada dua metode dalam GPR ini yakni metode *surface* dan *borehole* (Aryaguna, 2017).

Beberapa antena yang dapat dipergunakan dalam pengukuran dengan metode GPR adalah antena *monopole*, *dipol*, *horn*, kupu-kupu dan *mikrostrip*. Antena akan menunjukkan performa baik saat dilakukan pengukuran di suatu daerah, tidak dapat menunjukkan performa yang sama baiknya ketika dicobakan pada daerah lain dengan karakteristik tanah berbeda. beberapa hal yang sudah tentu menjadi pertimbangan adalah karakteristik internal antena. *Clutter* minimum dan derau merupakan faktor yang bergantung tidak hanya kepada jenis antena yang digunakan, tetapi juga kualitas pemancar dan penerima agar *match* dengan antena yang digunakan. Selain antena derau sistem juga menjadi bagian yang penting untuk digunakan. ada beberapa hal yang perlu diperhatikan pada antena GPR antara lain:

- a). Late time ringing
- b). Cross-coupling
- c). Jarak antena dengan tanah
- d). Orientasi antena (Aryaguna, 2017).

Alat

Peralatan yang digunakan pada pengukuran dengan metode gpr ini meliputi seperangkat komputer, *virtual network analyzer*, *steppingmotor* (penggerak alat ukur), antena GPR (Tx dan Rx), dan dua buah objek berupa benda pejal konduktor sempurna serta medium.



Gambar 1 Peralatan yang digunakan dalam pengukuran

(a) Dari kiri ke kanan: *network analyzer*, monitor, *steppingmotor*, desktop CPU: (b) *Transmitter* dan *Receiver* serta medium pasir pantai (www.minelab.co.id)



Gambar 2 *Ground Penetration Radar* (Ayik, 2009)

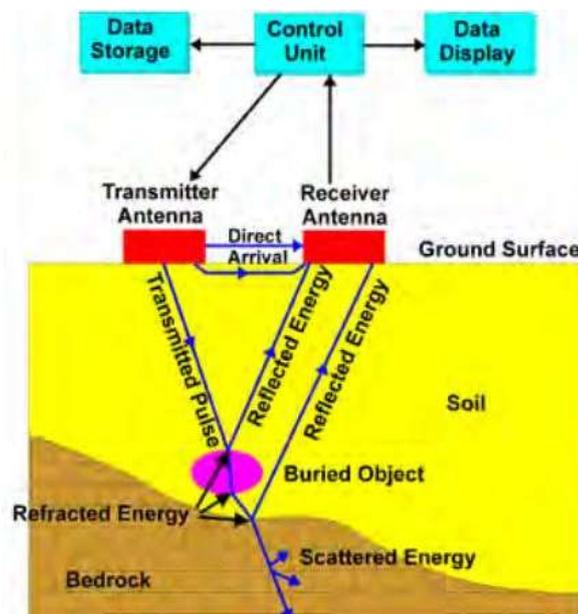
Sistem Komponen

Sistem GPR yang digunakan untuk mengukur keadaan di bawah permukaan tanah terdiri dari unit kontrol, antena pengirim dan antena penerima, penyimpanan data yang sesuai dan peralatan *display*. Unit kontrol radar menghasilkan pulsa *trigger* tersinkronasi ke pengirim dan penerima elektronik di antena. Pulsa ini mengendalikan pengirim dan penerima elektronik untuk menghasilkan sampel gelombang dari pulsa radar yang dipantulkan. Antena merupakan transduser yang mengkonversikan arus elektrik pada elemen elemen antena logam (biasanya antena *bowtie-dipole* sederhana) untuk mengirimkan gelombang elektromagnetik yang akan dipropagasikan ke dalam material. Antena memancarkan energi elektromagnetik ketika terjadi perubahan percepatan arus pada antena. Radiasi terjadi sepanjang garis, dan radiasi terjadi sepanjang waktu ketika terjadi perubahan arah arus (misalnya pada ujung elemen antena) (Aryaguna, 2017). Mengendalikan dan mengarahkan energi elektromagnetik dari antena merupakan tujuan dari perancangan antena. Antena juga mengubah gelombang elektromagnetik ke arus pada suatu elemen antena, bertindak sebagai suatu penerima energi elektromagnetik dengan cara menangkap bagian gelombang elektromagnetik. Frekuensi tengah antena yang disediakan untuk tujuan komersial berkisar antara 10 sampai 1000 MHz. Antena ini menghasilkan pulsa yang secara khas memiliki 2 atau 3 oktav bandwidth. Secara umum, antena dengan frekuensi rendah dapat menyediakan kedalaman penetrasi yang lebih

tinggi namun memiliki resolusi yang lebih rendah dibandingkan dengan antenna dengan frekuensi tinggi.

Sistem kerja Radar yang berasal dari GPR memancarkan gelombang yang kemudian ditangkap balik oleh sensor alat. Spektrum frekuensi yang digunakan disesuaikan kebutuhan pengukurannya. Gelombang yang dipancarkan adalah gelombang pendek (mikro) agar bisa terpenetrasi ke bawah permukaan bumi. Respon data yang diterima, diolah berdasarkan hukum pemantulan (refleksi) dan pembiasan (refraksi). Kelebihan dari metode ini, biaya operasional yang dikeluarkan relatif sedikit, prosedur pengerjaannya mudah, dan memiliki ketelitian yang relatif tinggi.

Sistem GPR dikendalikan secara digital, dan data selalu direkam secara digital untuk kebutuhan pemrosesan *survey* akhir dan *display*. Kendali digital dan *display* bagian dari sistem GPR secara umum terdiri dari sebuah mikroprosesor, memori, dan mass storage yaitu medium untuk menyimpan bidang pengukuran. Sebuah mikrokomputer yang kecil dan operating sistem *standard* kerap kali digunakan untuk mengendalikan proses pengukuran, menyimpan data, dan bertindak sebagai penghubung dengan pengguna. Data kemungkinan akan mengalami proses penyaringan pada bidang untuk menghilangkan *noise*, atau data kasar mungkin direkam terlebih dahulu dan pemrosesan data untuk menghilangkan *noise* dilakukan di kemudian waktu. Penyaringan medan untuk menghilangkan *noise* yang terdiri dari pemfilteran elektronik dan/atau pemfilteran digital dilakukan terlebih dahulu untuk merekam data pada medium penyimpanan data. Bidang pemfilteran secara normal harus diperkecil kecuali pada kasus-kasus tertentu ketika data harus ditafsirkan segera setelah direkam.

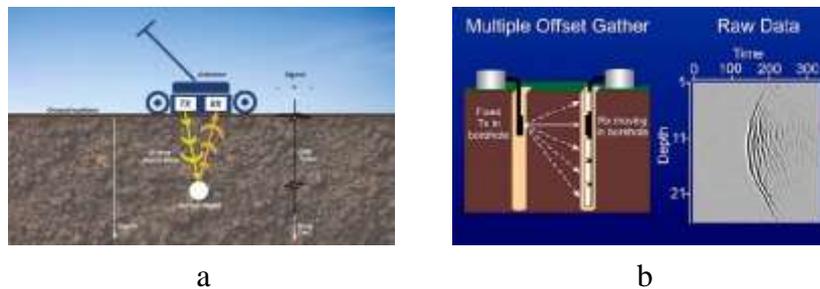


Gambar 3 Mekanisme Kerja GPR (Yudi Yulius, 2014)

METODE PENGAMBILAN DATA GPR

Secara umum pengambilan data GPR dibagi dalam dua kategori yakni *surface* dan *borhole*. *surface gpr* merupakan sebuah metode pengambilan data dimana alat ukur diletakkan diatas permukaan tanah. Alat ukur dapat menyentuh tanah atau dengan jarak tertentu diatas

permukaan tanah (tergantung kebutuhan). Metode ini bersifat *non-destructive* (tidak merusak dimana observasi dilakukan), metode ini relatif murah, cepat dan akurat (untuk kedalaman dangkal). Sedangkan untuk metode *borhole* GRP merupakan metode pengambilan data yang lain. Pada metode ini alat ukur ditempatkan diantara objek yang ingin di teliti. Umumnya metode ini digunakan pada objek yang tertanam dengan posisi yang sangat dalam sehingga tidak dapat digunakan dengan metode surface. Metode ini lebih mahal tapi resolusi gambar yang dihasilkan lebih baik dan akurat (Gambar 4).



Gambar 4 Dua jenis metode pengambilan data (a) *Surface* GPR (b) *Borhole* GPR
(www.Impulseradargpr.com)

Proses Scan GPR

Proses pengambilan data menggunakan metode surface gpr terdapat tiga buah proses scan yang terdiri dari A-scan, B-scan, dan C-scan.

a. a-scan

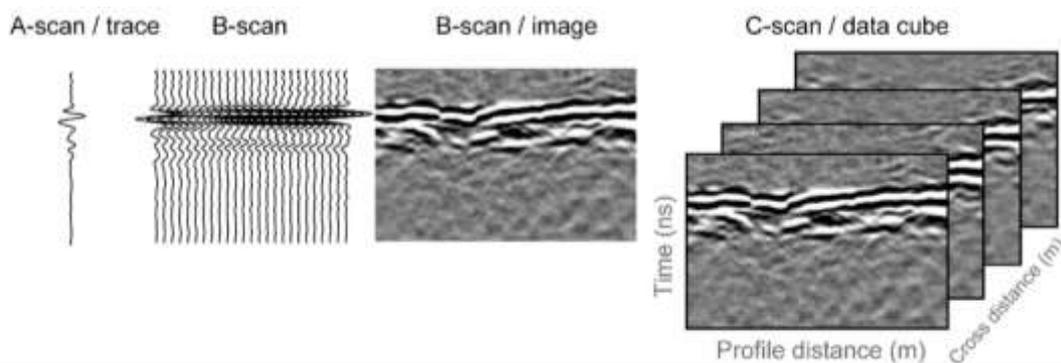
Proses pengambilan data yang paling sederhana. a-scan merupakan proses scanning dimana pengukuran dilakukan secara statis dengan cara menempatkan antena pada satu titik koordinat saja. Pada proses scan ini didapatkan informasi mengenai *delay* antara sinyal yang dipancarkan dan diterima. Hasil dari proses a-scan adalah sebuah data pengukuran yang dapat direpresentasikan menjadi sebuah kurva.

b. b-scan

Merupakan proses *scanning* lanjutan dari proses a-scan. a-scan yang dilakukan beberapa kali dengan beberapa titik koordinat sepanjang suatu garis lurus adalah proses b-scan. Semakin dekat jarak antar titik dan semakin banyak titik scan maka resolusi gambar yang dihasilkan dan akurasi akan semakin bagus. Hasil dari proses b-scan adalah sekumpulan data pengukuran yang dapat direpresentasikan dengan beberapa kurva ini nanti dapat diolah lebih lanjut membentuk suatu garis-garis lengkung (biasanya hiperbolik) yang menunjukkan struktur tanah maupun posisi suatu objek yang terkandung di dalamnya.

c. c-scan

Merupakan proses *scanning* yang lebih kompleks sebagai lanjutan dari b-scan. Proses c-scan merupakan proses b-scan yang dilakukan tidak sejajar sehingga membentuk suatu area berdimensi tertentu (persegi maupun persegi panjang). c-scan dilakukan bila pengukur ingin mengetahui representasi tiga dimensi dari proyek yang akan diukur. Jumlah titik dan jarak antar titik akan mempengaruhi resolusi dan akurasi dari c-scan.



Gambar 5 Proses Scan GPR a. a-scan b. b-scan c. c-scan (Remotesens, 2021)

Raw data yang didapat di dari hasil scan perlu diolah lebih lanjut untuk mendapatkan informasi lebih akurat terkait objek yang diteliti. Misalnya *zero offset removal, noise reduction, clutter reduction, time varying gain, frequency filtering, wavelet optimizing/deconvolution* (Aryaguna, 2017).

Aplikasi GPR

Aplikasi GPR dapat digunakan untuk survey benda-benda yang terpendam di tempat yang dangkal, tempat yang dalam, dan pemeriksaan beton. Survey GPR untuk benda-benda yang terpendam di tempat yang dangkal dapat dilakukan oleh satu orang dan antenna GPR dapat ditarik dengan menggunakan tangan atau ATV. GPR ini dapat digunakan untuk mencari lokasi pipa, *tank, drum*, pencitraan beton, studi arkeologi. Gambar 5 menunjukkan salah satu aplikasi GPR untuk mendeteksi keberadaan pipa. Untuk survey GPR pada kedalaman yang jauh menggunakan antenna GPR dengan frekuensi rendah. Survey GPR ini dapat digunakan untuk mendeteksi kemungkinan adanya sumber air dibawah tanah, mempelajari lapisan tanah, kedalaman batuan dasar dan melaksanakan penelitian arkeologis. GPR juga dapat digunakan untuk menentukan keberadaan pipa, kabel listrik, struktur beton pada dinding, lantai, terowongan, bendungan, jalan aspal dan permukaannya. Gambar 6 menunjukkan aplikasi GPR untuk menyelidiki struktur beton pada dinding.



Gambar 6 Aplikasi GPR untuk mendeteksi keberadaan pipa (www.testindo.co.id)



Gambar 7 Aplikasi GPR untuk menyelidiki struktur beton pada dinding (www.lipi.go.id)

Keunggulan Dan Keterbatasan

Keterbatasan utama GPR adalah lokasi capaiannya yang spesifik. Seringkali, kedalaman penetrasi dibatasi oleh adanya mineralogi tanah liat atau pori-pori cairan dengan konduktivitas tinggi yang dapat menghambat pencapaian resolusi dan kedalaman penetrasi yang tinggi. Selain itu kondisi material tanah yang berbeda-beda pada tiap lokasi menyebabkan resolusi dan kedalaman penetrasi menjadi berubah-ubah pula sehingga untuk mendapatkan resolusi dan kedalaman penetrasi yang konstan mau tidak mau harus mengubah frekuensi serta durasi pulsa. Oleh karena itu beberapa sistem GPR dilengkapi dengan pembangkit pulsa untuk transmisi impuls dengan berbagai durasi yang berbeda untuk kedalaman penetrasi yang berbeda. Antena GPR bagaimanapun secara umum dioptimasi hanya untuk durasi pulsa tertentu. Jadi apabila GPR bekerja dengan *impuls* yang berbeda memerlukan antena yang berbeda. Penggantian antena berulang-ulang adalah tidak efisien, proses yang merepotkan dan bahkan menjadi aktivitas yang mengganggu bagi pengguna khususnya bagi *survey* yang sering (Aryaguna, 2017).

Keunggulan

1. Biaya operasional yang lebih murah
2. Resolusi yang tinggi karena menggunakan frekuensi tinggi
3. Operasional yang cukup mudah
4. Merupakan metode non destruktif/tidak merusak sehingga aman digunakan

Keterbatasan

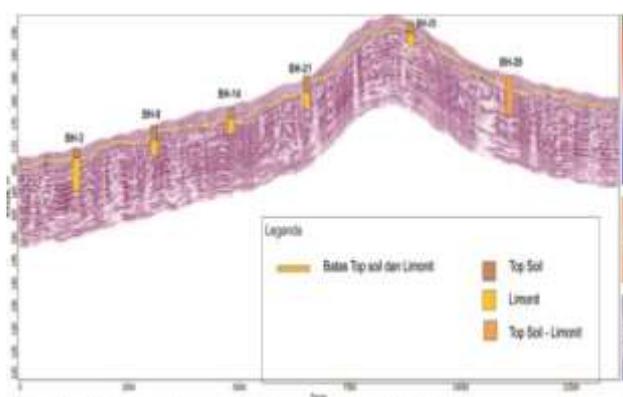
1. Tidak bisa melakukan penetrasi sedalam gelombang bunyi
2. Kemampuan radar hanya puluhan meter
3. Antena GPR hanya untuk durasi pulsa tertentu

CONTOH PEMANFAATAN GPR DALAM EKSPLORASI MINERAL

Nikel

Endapan nikel laterit terbentuk akibat pelapukan batuan ultramafik peridotit yang disebabkan oleh pengaruh perubahan cuaca (iklim). Cuaca merubah komposisi batuan dan melarutkan unsur-unsur yang mudah larut seperti Ni, CO, dan Fe. Air hujan yang mengandung CO₂ dari udara meresap ke bawah sampai ke permukaan air tanah sambil

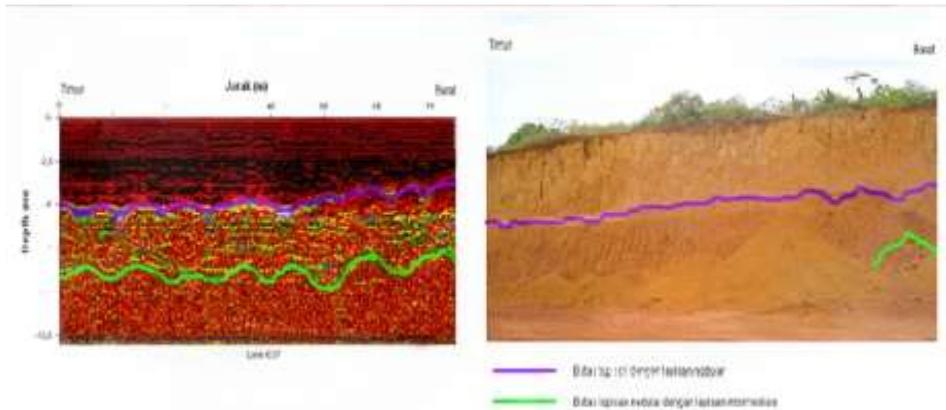
melindungi mineral primer yang tidak stabil seperti serpentin dan piroksen. Air tanah meresap secara perlahan sampai batas zona limonit dan saprolit. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Kalam Henry Sianturi, 2008) digunakan untuk mengetahui perbedaan konstanta dielektrik batuan pada masing-masing lapisan pada nikel laterit. Akan menyebabkan perbedaan kecepatan perambatan gelombang dan perbedaan amplitudo dari sinyal *refleksi*. Dari penelitian menggunakan GPR diketahui bahwa zona yang berhubungan dengan endapan nikel laterit yaitu *top soil*, lapisan limonit, lapisan saprolit dan *bedrock*. Hasil interpretasi dari data GPR dengan sumur bor di titik 75 m tidak sesuai antar lapisan yang terdapat pada batas peralihan. Hal ini terjadi saat mendekati *bedrock* adanya perbedaan antar hasil interpretasi data GPR dengan data sumur bor. Penelitian ini berhasil mendeteksi zona yang berhubungan dengan endapan nikel laterit. Berdasarkan hasil interpretasi kedalaman lapisan *top soil*, lapisan limonit, lapisan saprolit dan *bedrock* adalah bervariasi pada masing-masing *line*.



Gambar 8 Lapisan pada nikel laterit (digilib.unhas.ac.id)

Bauksit

Bauksit terbentuk dari batuan yang mengandung unsur Al. Batuan tersebut diantaranya: *nepheline*, *syenit*, *granit*, *andesit*, *dolerite*, *garbo*, *basal*, *hornfels*, *schist*, *slate*, *kaolinitic*, *shale*, *limestone* dan *phonolite* dengan kandungan *feldspar* tinggi. Bukan kandungan Aluminium yang tinggi di batuan asal untuk menjadi pembentuk bauksit namun lebih penting adalah intensitas dan lamanya proses laterisasi. Dari hasil interpretasi data GPR yang dilakukan diketahui zona-zona yang berhubungan dengan endapan bauksit laterit yaitu *top soil*, lapisan nodular dan lapisan *intermediet*. Hasil interpretasi juga menunjukkan kedalaman lapisan masing-masing bervariasi. Kedalaman yang didapat dari hasil interpretasi ini tidak bisa dikatakan sebagai kedalaman yang sebenarnya karena pengaruh beberapa faktor seperti keterbatasan interpretasi dan data pendukung. Hasil permodelan data GPR dengan penampakan fisik daerah pengukuran terbentuk penggambaran lapisan yang hampir sama. pada data GPR kedalaman *top soil* adalah 1-5 m, lapisan nodular 5-10 m, dan untuk lapisan *intermediet* menunjukkan kedalaman 7,5 m



Gambar 8 Lapisan pada endapan bauksit (www.lib.ui.ac.id)

Emas

Dari hasil GPR dan log bor diketahui endapan aluvial pembawa emas merupakan endapan dengan ukuran butir pasir-kerikil. Endapan aluvial pasir-kerikil tersebut terdapat pada 2 area yaitu bagian barat dan timur. Kedua endapan tersebut memiliki perbedaan baik secara genetik maupun karakteristik. Pada endapan aluvial pasir-kerikil bagian barat memiliki persebaran kadar dan ketebalan yang lebih rendah dari bagian timur. Hal itu dikarenakan kedua endapan memiliki batuan sumber yang berbeda dan ditransportasikan serta diendapkan melalui sungai yang berbeda pula. Dari hasil model yang dibangun didapatkan total sumberdaya emas pada daerah penelitian yaitu 6,03 ton emas (AU).

KESIMPULAN

GPR merupakan suatu metode geofisika untuk menggambarkan subsurface. GPR umumnya bekerja pada *band* frekuensi VHF (30 s/d 300 MHz) atau UHF (0.3 s/d 3GHz). Sistem GPR yang digunakan untuk mengukur keadaan di bawah permukaan tanah terdiri dari unit kontrol, antena pengirim dan antena penerima, penyimpanan data yang sesuai dan peralatan display. Aplikasi GPR dapat digunakan untuk *survey* benda-benda yang terpendam di tempat yang dangkal, tempat yang dalam, dan pemeriksaan beton. *Survey* GPR untuk benda-benda yang terpendam di tempat yang dangkal dapat dilakukan oleh satu orang dan antena GPR dapat ditarik dengan menggunakan tangan atau ATV. Keterbatasan utama GPR adalah lokasi capaiannya yang spesifik. Seringkali, kedalaman penetrasi dibatasi oleh adanya mineralogi tanah liat atau pori-pori cairan dengan konduktivitas tinggi yang dapat menghambat pencapaian resolusi dan kedalaman penetrasi yang tinggi. Kelebihan GPR diantaranya: Biaya operasional yang lebih murah, Resolusi yang tinggi karena menggunakan frekuensi tinggi, Operasional yang cukup mudah, dan Merupakan metode non destruktif/tidak merusak sehingga aman digunakan. Kekurangan penggunaan GPR diantaranya: Tidak bisa melakukan penetrasi sedalam gelombang bunyi, Kemampuan radar hanya puluhan meter, dan Antena GPR hanya untuk durasi pulsa tertentu. Pengaplikasian GPR dalam masing-masing bidang seperti: Pemetaan Struktur, Arkeologi / Deteksi Benda Cagar Budaya, Lingkungan, Militer, Mendeteksi Tubuh yang Terkubur di Bawah Tanah, Hidrogeologi, Pertambangan, dan Konstruksi. Pemanfaatan Ground Penetration Radar (GPR) Dalam Eksplorasi Mineral sebagai berikut: analisis endapan nikel, analisis endapan bauksit, dan analisis endapan emas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih banyak kepada bapak haeruddin yang sudah membimbing kami khususnya dalam penyelesaian tulisan ini. Teman-teman yang sudah membantu dan diskusi dalam penyelesaian jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- A. P. Annan. 2003. <https://www.ndt.net/article/ndtce03/papers/v089/v089.htm> (Selasa 20 Juni 2023).
- Annan, A.P. 2001. *Ground Penetrating Radar Workshop Notes*. Canada. pp. 118- 131.
- Aryaguna, Priambada. 2017. *Pemanfaatan Metode Ground Penetrating Radar untuk Deteksi Objek Terpendam*. Perpustakaan Digital ITB. halaman 4-11.
- Henry, Kalam. 2008. *Deteksi Keberadaan Endapan Nikel Laterit Dengan Pemanfaatan Gelombang Radar*. Peminatan Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam: Depok
<https://impulseradargpr.com/technology/> (Selasa 20 Juni 2023).
<https://minelab.co.id/blog/post/cara-kerja-detector-logam> (Rabu 21 Juni 2023)
<https://www.testindo.com/article/528/Home> (Rabu 21 Juni 2023)
- Iliyana D. Dobрева, Henry A. Ruiz-Guzman, dkk. 2021. <https://www.mdpi.com/2072-4292/13/10/1896> (Selasa 20 Juni 2023)
- Oktaviani, Folin. Sulistyaningsih, dkk. *Sistem Ground Penetrating Radar untuk Mendeteksi Benda-benda di Bawah Permukaan Tanah*. P2 Elektronika dan Telekomunikasi – LIPI.
- Pratiwi, Bela. Machrani, dkk. *Identifikasi Profil Nikel Laterit Menggunakan Metode Ground Penetration Radar*. Program Studi Geofisika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin Makassar. Makassar.
- PT. Antam Tbk Unit Geomin. 2009. *Bauksit Laterit*. Jakarta.
- Valeton, Ida. 1972. *Bauxites Developments in soil science 1*. New York
<http://bauxiteresources.com.au/download/vol1,Issue3.pdf> (Jum'at 23 Oktober 2009, 22:15)