

Studi Literatur: Kajian Geoteknik Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Pendekatan Metode Geofisika

Achmad Fajar Narotama Sarjan^{1*}, Ismail Hoesain Muchtaranda¹

¹⁾Jurusan Teknik Sipil, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceedu.v4i1.217>

Article Info

Received: 08 Juni 2023

Revised: 13 Juni 2023

Accepted: 16 Juni 2023

Correspondence:

Phone: -

Abstrak: Geofisika merupakan studi yang mengkaji kondisi bawah permukaan Bumi berdasarkan parameter fisisnya. Komponen penyusun Bumi masing-masing memiliki ciri fisis yang unik misalnya: kerapatan, kecepatan rambat, konduktivitas listrik, suseptibilitas magnetik, dan konstanta dielektrik dari tiap jenis batuan akan berbeda. Penggunaan metode geofisika telah meningkat secara drastis dalam 50 tahun ini untuk digunakan dalam eksplorasi sumber daya mineral dan alam. Selain itu, studi geofisika juga dapat berguna dalam membuat evaluasi untuk penilaian stabilitas, perencanaan dan pemantauan infrastruktur yang terdapat dalam bidang Teknik Sipil. Berbagai pendekatan geofisika dapat memberikan informasi penting di lapangan, seperti sifat massa batuan beserta anomali strukturnya. Keunggulan dari metode geofisika adalah memungkinkan pengumpulan data di area luas yang tidak dapat dieksplorasi secara langsung karena keterbatasan alat maupun biaya, sedangkan kekurangannya adalah data yang dihasilkan memiliki ketidakunikan. Dengan demikian, interpretasi data geofisika harus dibatasi dan divalidasi menggunakan metode eksplorasi langsung maupun uji laboratorium untuk memperoleh hasil yang lebih akurat. Penggunaan geofisika dalam masalah rekayasa geoteknik dikenal sebagai geofisika geoteknik, dimana investigasi ini biasanya mencakup kedalaman total kurang dari 100 m. Studi ini mengkaji penerapan metode geofisika yang dapat digunakan untuk membantu pekerjaan geoteknik khususnya dalam mencitrakan kondisi bawah permukaan.

Kata Kunci: Metode Geofisika, Pencitraan Bawah Permukaan, Geoteknik

Citation:

Sarjan, A. F. N., & Muctaranda, I. H. (2023). Kajian Geoteknik Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Pendekatan Metode Geofisika. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, dan Geofisika*, 4(1), 1-7. <https://doi.org/10.29303/goescienceedu.v4i1.217>

Pendahuluan

Geofisika merupakan studi yang mempelajari terkait Bumi berdasarkan dari parameter fisisnya. Komponen penyusun Bumi masing-masing memiliki ciri fisis yang unik dan beragam seperti kerapatan, kecepatan rambat, konduktivitas listrik, suseptibilitas magnetik, dan konstanta dielektrik (Anderson, 2006).

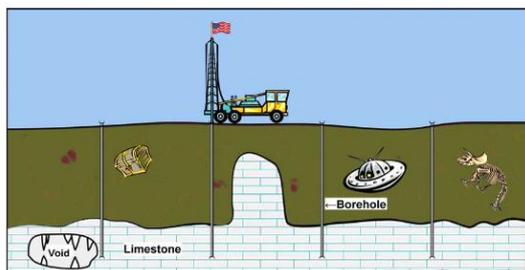
Investigasi dengan metode geofisika merupakan pendekatan tidak langsung karena pengukuran dilakukan diatas permukaan bumi untuk pencitraan dibawah tanah. Dalam menerjemahkan data geofisika

kedalam suatu model memerlukan beberapa pengetahuan sebelumnya terkait struktur geologi yang mendasarinya. Sehingga untuk mendapatkan model yang optimum perlu digunakan data lainnya seperti lubang bor untuk memvalidasi model dari metode geofisika.

Keunggulan metode Geofisika dibanding metode konvensional seperti pengeboran adalah dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan dengan skala yang luas dan juga ramah lingkungan (*non destructive test*). Selain itu, penggunaan metode geofisika dapat mencakup area yang tidak bisa

Email: afana@unram.ac.id (*Corresponding Author)

dilakukan metode lain akibat adanya keterbatasan resolusi maupun biaya, dikarenakan pada metode konvensional anggaran yang dikeluarkan jauh lebih besar dibandingkan dengan metode geofisika (diilustrasikan pada Gambar 1). Kekurangan dari metode geofisika adalah model yang dihasilkan tidak unik, artinya kondisi bawah permukaan yang berbeda dapat menghasilkan respon yang sama pada saat pemodelan dilakukan.



Gambar 1. Puncak dari batugamping tidak dapat tergambarkan oleh metode pengeboran apabila tidak melakukan pengeboran tepat pada puncakan tersebut (dalam Anderson dan Neil, 2008).

Metode Geofisika secara garis besar terbagi kedalam dua kategori utama yaitu geofisika untuk eksplorasi dan juga geofisika global yang mempelajari lingkup yang lebih luas. Kajian mengenai geofisika telah berkembang secara pesat dalam kurun waktu 50 tahun terakhir dalam pemanfaatannya untuk pencarian sumber daya alam dan mineral maupun dalam studi geoteknik. Lebih jauh lagi, kajian dari metode geofisika juga dapat digunakan untuk evaluasi stabilitas infrastruktur dan monitoring, hidrologi dan studi kelayakan lingkungan.

Pada awal tahun 2000an, sebagian besar pekerjaan dalam bidang Teknik sipil khususnya geoteknik menggunakan metode konvensional dengan sedikit mempertimbangkan opsi untuk menggunakan metode alternatif lain dalam penyelesaiannya. Seiring perkembangan keilmuan terdapat beberapa opsi dari metode multidisiplin yang digunakan untuk memvariasikan bidang penelitian dengan menggunakan metode selain pendekatan konvensional. Teknik alternatif yang digunakan bertujuan untuk menekan biaya pengeluaran, efisiensi waktu, dan juga kualitas penelitian.

Teknik sipil adalah bidang ilmu yang luas mencakup struktur, geoteknik, lingkungan, teknik transportasi, survei, teknik sumber daya air, teknik pesisir, dan konstruksi. Bidang-bidang ini memiliki kapasitas untuk memanfaatkan penggunaan metode alternatif seperti metode geofisika. Pada dasarnya,

terdapat beberapa kesamaan parameter objek yang diteliti dalam bidang Teknik sipil yang bisa diukur dengan metode geofisika seperti ketebalan dan kedalaman lapisan, perlapisan tanah, batuan, dan mineral (Abidin *et al*, 2011).

Selama beberapa tahun kebelakang, pendekatan geofisika telah digunakan untuk rekayasa geoteknik sebagai opsi yang menghasilkan wawasan yang berharga dan dengan meningkatkan efektivitas dari pekerjaan, terutama pada tahap desain dan konstruksi (Niederleithinger *et al*, 2015). Untuk struktur teknik masif seperti bendungan, jembatan, dan gedung, permukaan bawah tanah yang rumit sering diselidiki menggunakan metode geofisika dalam rekayasa geoteknik (Srinaiah *et al*, 2022). Metode geofisika digunakan untuk menentukan parameter fisika tertentu untuk mengukur variasi spasial dalam wilayah penelitian (Anderson, 2006).

Penggunaan geofisika dalam rekayasa geoteknik dikenal sebagai geofisika geoteknik; survei ini biasanya mencakup kedalaman total kurang dari beberapa ratus meter. Fokus dari penggunaan geofisika pada rekayasa geoteknik adalah untuk menyelidiki kompleks bawah permukaan sebagai dasar untuk struktur teknik seperti bendungan, jembatan, dan bangunan. Aplikasi geofisika umumnya juga dapat digunakan untuk karakterisasi tanah tercemar, misalnya distribusi dan migrasi polutan di tanah dan air tanah yang disebabkan oleh aktivitas manusia.

Pada studi ini akan dibahas mengenai pemanfaatan dari berbagai metode geofisika dalam aplikasi geoteknik seperti penerapannya, hasil dan keterbatasannya. Menurut Sirles (2006) ketika menggunakan area penelitian dengan cakupan yang luas, survei geofisika geoteknik seringkali merupakan cara yang paling efisien dan cepat untuk mengumpulkan data bawah permukaan.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang digunakan dalam studi ini adalah sebagai berikut :

- Seberapa jauh pendekatan dengan metode geofisika dapat diterapkan pada analisis masalah teknik sipil khususnya pada bidang geoteknik?
- Metode geofisika apa yang paling efektif dalam kajian geoteknik bawah permukaan?
- Apa kekurangan metode geofisika dalam penerapannya di pekerjaan geoteknik?

Prinsip Dasar Survei Geofisika

Geofisika pada dasarnya merupakan penerapan prinsip-prinsip fisika untuk mempelajari Bumi, meskipun beberapa metode telah diadaptasi untuk

menyelidiki struktur teknik. Pengukuran geofisika dilakukan di permukaan tanah, dalam lubang bor dan penggalian bawah permukaan, atau kombinasi keduanya (Haneberg, 2006). Agar metode geofisika yang digunakan hasilnya maksimal, perlu ada variasi yang signifikan dan sensitif pada sifat fisis metode yang digunakan. Tabel 1 menunjukkan beberapa metode geofisika beserta parameter yang diukur dan model yang dihasilkan. Salah satu contoh yang mengilustrasikan pentingnya kontras sifat fisis sesuai dengan target yang diinginkan adalah ketika melakukan survei magnetik diatas suatu lubang bawah permukaan yang diisi material dengan sifat non magnetik, maka tidak akan ada anomali magnetik yang akan teramati. Namun, jika pada lubang tersebut diisi dengan puing-puing besi akan ada anomali yang signifikan yang dapat diamati pada lintasan magnet, karena terdapat kontras antara nilai suseptibilitas magnetik lapisan tanah dengan material pengisi lubang.

Tabel 1. Metode Geofisika beserta parameter fisika yang terukur (Kearey *et al*, 2002).

Metode Geofisika	Parameter Terukur	Model dari sifat Fisiknya
Resistivitas	Beda potensial dari arus listrik	Model resistivitas berdasarkan kedalaman
Seismik	Waktu tempuh gelombang seismik	Densitas dan Modulus Elastisitas
Gravitasi	Variasi spasial dalam kuat medan gravitasi Bumi	Model densitas dalam variasi spasial
Geomagnetik	Variasi spasial dalam suseptibilitas magnetik	Model medan magnet dalam variasi spasial
Elektromagnetik	Respon dari radiasi elektromagnetik	Model konduktivitas elektrik
Ground Penetrating Radar (GPR)	Waktu tempuh dari sinyal radar yang terefleksi	Model Konstanta Dielektrik
Multichannel analyses of surface waves (MASW)	Waktu tempuh gelombang permukaan yang dihasilkan sumber	Model kecepatan gelombang geser

Faktor penting lainnya yang menentukan keberhasilan metode survei adalah kedalaman penetrasi, resolusi, dan rasio *signal-to-noise*. Faktor-faktor ini terkait erat dan sangat relevan di bidang geofisika. Hal ini bisa dikontrol dengan menggunakan sumber frekuensi yang lebih tinggi (memberikan panjang gelombang yang lebih pendek) untuk meningkatkan resolusi. Bahkan ketika penetrasi dan resolusi yang memadai dari struktur geologi telah tercapai, tidak mungkin untuk mengamati sinyal jika rasio *noise* di sekitar lingkungan tinggi (Haneberg, 2006). Rasio *signal-to-noise* adalah parameter penting dalam semua survei geofisika, karena merupakan ukuran sejauh mana sinyal yang diperlukan berbanding dengan *noise* dari lingkungan sekitar.

Dengan asumsi bahwa pengukuran di lapangan menggunakan peralatan dan prosedur yang sesuai maka metode geofisika dapat diandalkan.

Interpretasi Model Geofisika

Data geofisika dapat ditafsirkan dan disajikan dalam berbagai bentuk, tergantung pada metode yang digunakan dan tujuan survei, contohnya: (1) profil seismik untuk penentuan perlapisan dibawah permukaan, (2) model kedalaman resistivitas untuk penentuan kedalaman akuifer, dan (3) peta kontur dari medan magnet untuk penentuan struktur dangkal. Interpretasi kuantitatif dari metode geofisika dilakukan dengan mengembangkan model matematis yang merupakan representasi dari kondisi tanah yang diukur. Seorang geofisikawan memerlukan informasi awal mengenai kondisi lokal seperti kondisi geologis atau informasi lubang bor untuk memperoleh hasil pemodelan tidak ambigu dan akurat.

Keterbatasan Metode Geofisika

Keterbatasan paling signifikan dari metode geofisika adalah ketidakunikannya. Tidak unik yang dimaksud adalah tanpa adanya informasi tambahan dari data pendukung atau dengan tidak adanya model konseptual dasar, data lapangan pengukuran geofisika dapat diubah menjadi model keluaran yang secara teoretis benar dalam perhitungan matematis dengan jumlah yang tak terbatas (Anderson dan Croxton, 2008). Misalnya anomali magnetik tinggi yang dihasilkan pada saat pengukuran dilapangan dapat ditafsirkan sebagai adanya suatu material magnetik berukuran besar yang terdapat pada kedalaman yang dalam atau adanya material magnetik berukuran kecil tetapi didekat permukaan.

Keterbatasan signifikan lainnya terkait dengan sifat intrinsik dari parameter alat geofisika yang dirancang untuk diukur, resolusi spasial yang disediakan alat tersebut, dan rasio *noise* disekitar lokasi pengukuran.

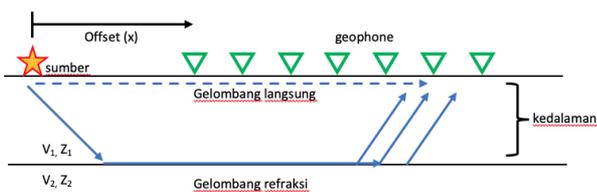
Penting untuk diingat bahwa beberapa target terlalu dalam atau terlalu kecil untuk dimodelkan dengan akurat menggunakan metode geofisika. Target lain juga tidak dapat dicitrakan karena kontras fisik dari target yang dicari tidak cukup berbeda dari medium disekitarnya.

Metode Geofisika Dalam Kajian Geoteknik

Metode geofisika geoteknik digunakan untuk mencitrakan kondisi bawah permukaan bumi dalam mendukung penyelidikan geoteknik terkait lapisan bawah permukaan untuk keperluan pondasi maupun penguatan tanah. Metode geofisika yang umum digunakan meliputi Refraksi Seismik, Resistivitas, *Ground Penetrating Radar* (GPR), Geomagnetik, *Multichannel analyses of surface waves* (MASW), dan Gravitasi.

Metode Seismik Refraksi

Dasar penyelidikan refraksi seismik adalah pengukuran waktu yang dibutuhkan gelombang untuk merambat dari satu lokasi ke lokasi lain. Perjalanan waktu adalah fungsi dari modulus elastisitas bahan yang dilalui gelombang. Metode ini menerapkan hukum Snellius dari sifat gelombang dan digunakan untuk mempelajari lapisan-lapisan di bawah permukaan bumi (Abidin *et al*, 2011). Gelombang yang merambat dalam suatu medium tanah atau batuan akan mengikuti sifat elastisnya ke segala arah dan menghasilkan pantulan dan pembiasan. Gerak partikel gelombang dicatat sebagai fungsi waktu sepanjang jalur perjalanan. Kemudian ditentukan jenis lapisan dan struktur di bawah permukaan. Gambar 2 mengilustrasikan gelombang seismik yang merambat dibawah permukaan.



Gambar 2. Ilustrasi penjalaran gelombang pada metode seismik refraksi.

Terdapat beberapa pemanfaatan metode seismik refraksi pada kajian geoteknik bawah permukaan yang ditunjukkan oleh tabel 2.

Tabel 2. Pemanfaatan metode seismik refraksi pada studi geoteknik.

No	Aplikasi Seismik refraksi pada kajian geoteknik bawah permukaan
1	Pemetaan lapisan keras bawah permukaan untuk pondasi
2	Pemetaan litologi dangkal (dibawah 50 m)
3	Mencitrakan batas dari struktur geologi dangkal
4	Mengidentifikasi zona lemah
5	Studi kelayakan Bendungan
6	Menentukan sifat dinamik batuan (<i>modulus Young</i> dan <i>Poisson Ratio</i>)
7	Mengidentifikasi letak batuan dasar
8	Mengidentifikasi rongga yang ada didekat permukaan

Cepat rambat gelombang pada suatu medium mengidentifikasikan jenis batuan yang dilewatinya. Tabel 3 menunjukkan beberapa jenis medium beserta cepat rambat gelombang seismiknya (V_p).

Tabel 3. Cepat Rambat Gelombang Seismik Pada Material (Telford, 1990)

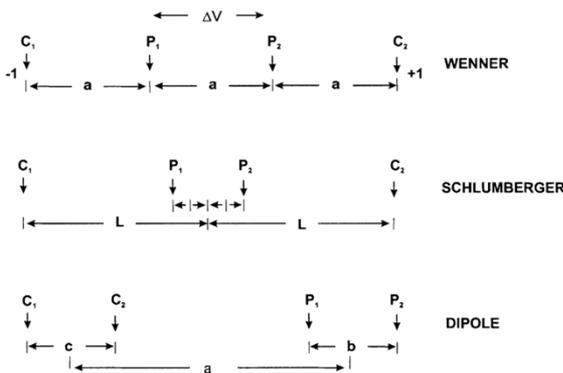
Jenis Material	Cepat Rambat (V_p) (m/s)
Pasir	200 - 2000
Lempung	1100 - 2500
Alluvial	500 - 2100
Napal	400 - 1700
Bongkah	
Granit	4600 - 6000
Basalt	5000 - 6700
Batupasir	1400 - 4500
Gamping	1700 - 4200
Marmer	5700 - 6400
Sabak	3600 - 4400

Metode Resistivitas

Metode resistivitas merupakan metode yang memanfaatkan aliran listrik di bawah permukaan bumi. Metode resistivitas atau yang dikenal juga dengan metode geolistrik mempelajari struktur bawah permukaan berdasarkan beda nilai resistivitas pada batuan terhadap kedalaman.

Dalam metode geolistrik arus listrik dialirkan ke tanah menggunakan sepasang elektroda arus dan beda potensial yang dihasilkan di dalam tanah dipetakan dengan menggunakan sepasang elektroda lain yang terhubung ke voltmeter sensitif. Beda potensial yang diperoleh digunakan untuk menghitung nilai dari resistivitas semu yang kemudian diinversi untuk memperoleh model resistivitas bawah permukaan bumi. Ketika pengukuran dilakukan pada permukaan

yang homogen, resistivitas semu bernilai sama dengan resistivitas sebenarnya dari tanah. Namun, ketika pengukuran resistivitas dilakukan pada struktur bawah permukaan yang rumit, resistivitas semu adalah rata-rata dari resistivitas berbagai batuan di bawah permukaan. Gambar 3 menunjukkan ilustrasi dari pengukuran metode resistivitas dari 3 konfigurasi elektroda yang berbeda.



Gambar 3. Ilustrasi pengukuran metode resistivitas dengan menggunakan 3 konfigurasi yang berbeda dimana arus dialirkan melalui elektroda C₁ dan C₂ sedangkan beda potensial diukur dari elektroda P₁ dan P₂ (Loke *et al* 2020).

Tahanan jenis tanah berhubungan dengan berbagai parameter geologi seperti kandungan mineral dan fluida, porositas dan derajat kejenuhan air di dalam batuan. Nilai resistivitas bergantung dari jenis batuan, misalnya batuan beku dan metamorf biasanya memiliki nilai resistivitas yang tinggi sedangkan untuk batuan sedimen memiliki nilai resistivitas yang cenderung lebih rendah. Tabel 4 menunjukkan nilai resistivitas batuan.

Tabel 4. Tabel Tahanan Jenis beberapa batuan, tanah dan air (Telford, 1990)

Jenis Batuan/Tanah/Air	Nilai Resistivitas (Ωm)
Lempung	1 - 100
Lanau	10 - 200
Kuarsa	10 - 2×10 ⁸
Batupasir	50 - 500
Gamping	100 - 500
Lava	100 - 5×10 ⁴
Air Tanah	0,5 - 300
Air Laut	0,2 - 10
Breksi	75 - 200
Andesit	100 - 200
Tufa Vulkanik	20 - 100

Konglomerat	2×10 ³ - 2×10 ⁴
-------------	---------------------------------------

Terdapat beberapa aplikasi metode resistivitas yang digunakan dalam geoteknik yang ditunjukkan oleh tabel 5.

Tabel 5. Pemanfaatan metode resistivitas di bidang geoteknik.

No	Aplikasi metode Resistivitas dalam bidang Geoteknik
1	Identifikasi lapisan akuifer bawah permukaan
2	Memetakan salinasi dan desalinasi lahan dari waktu ke waktu
3	Evaluasi daerah rawan longsor
4	Identifikasi sifat batuan (Saturasi, porositas, permeabilitas)
5	Identifikasi zona lemah (sesar dan patahan di kedalaman dibawah 100 m)
6	Menentukan batas geologi dan litologi bawah permukaan

Metode Ground Penetration Radar (GPR)

Ground penetrating radar (GPR) adalah metode geofisika yang menggunakan penetrasi dari gelombang elektromagnetik beresolusi tinggi di dalam tanah dengan frekuensi 10 MHz sampai 5000 MHz yang dirancang terutama untuk menyelidiki permukaan bumi yang dangkal, bahan bangunan, serta jalan dan jembatan (Lai *et al* 2018). Sinyal yang ditransmisikan oleh GPR merupakan gelombang elektromagnetik yang terdiri dari medan listrik dan magnet yang menjalar menembus ke dalam struktur material yang diukur.

Resolusi dari metode ini dapat ditingkatkan dengan menggunakan frekuensi yang lebih tinggi, akan tetapi sebagai konsekuensinya akan menghasilkan penetrasi sinyal yang dangkal. Frekuensi yang rendah dari 10 sampai 100 MHz dapat digunakan untuk mencitrakan kondisi bawah permukaan hingga 10-20 m untuk kegunaannya dalam mempelajari pondasi dalam. Frekuensi yang lebih tinggi dari 100 hingga 1000 MHz dapat digunakan untuk mempelajari area pada kedalaman dibawah 10 m yang dapat dimanfaatkan untuk pondasi dangkal, perkerasan jalan, dan infrastruktur yang terkubur. Frekuensi yang paling tinggi diatas 1000 MHz memiliki reolusi paling tinggi dengan kedalaman dengan skala dibawah 1 m yang dapat digunakan untuk mempelajari struktur bangunan dan lapisan terowongan.

Dalam beberapa tahun terakhir, metode GPR telah banyak diaplikasikan dalam kajian Teknik sipil yang beberapa diantaranya ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Aplikasi metode GPR dalam bidang Geoteknik (Pupatenko *et al*, 2017)

No	Aplikasi metode GPR dalam bidang Geoteknik
1	Menemukan utilitas bawah tanah seperti saluran pipa dan objek Feromagnetik lainnya
2	Borehole GPR untuk karakterisasi massa tanah dan rekahan
3	Deteksi rongga di bawah trotoar
4	Deteksi batuan dasar
5	Kajian terkait kelayakan pondasi
6	Kajian terkait bendungan
7	Evaluasi struktur tanah dan perlapisan di sekitar terowongan

Studi Kasus

Kajian Geofisika tidak dapat menggantikan pengujian langsung dari geoteknik seperti pengeboran dan uji laboratorium, akan tetapi dipergunakan untuk melengkapi pengujian geoteknik yang apabila direncanakan dengan baik akan efisien secara waktu dan biaya serta memberikan gambar bawah permukaan yang akurat pada titik pengukuran.

Metode geofisika dapat berperan penting dalam pekerjaan geoteknik karena memiliki parameter pengukuran yang sama, seperti: karakteristik dari tanah, batuan, dan air tanah. Pekerjaan geoteknik yang lebih mendetail memerlukan karakteristik mekanik dari tanah seperti *shear modulus*, *bulk density*, porositas, struktur dangkal dan kedalaman batuan dasar. Dalam hal ini, korelasi antara metode refraksi seismik dan metode eksplorasi lubang bor disajikan sebagai salah satu pendekatan yang paling signifikan karena dapat meningkatkan efektivitas informasi penyelidikan lokasi seperti ketebalan lapisan, jenis material dan kedalaman batuan dasar.

Keterbatasan yang dimiliki metode geofisika dalam kasus ini adalah tidak dapat menyediakan parameter yang dibutuhkan oleh pekerjaan geoteknik secara langsung karena pada pekerjaan geoteknik diperlukan nilai pasti dari kekuatan geser, permeabilitas, porositas dan lain-lain untuk digunakan dalam perhitungan standar pekerjaan. Sehingga untuk mendapatkan nilai yang akurat diperlukan adanya uji laboratorium.

Faktanya hanya satu parameter dalam standar geoteknik yang dapat langsung diberikan dengan metode geofisika yaitu nilai rata-rata kecepatan gelombang geser 30 m paling atas ($V_s 30$) yang merupakan parameter inti untuk penilaian risiko di daerah rawan gempa.

Kajian Geoteknik dengan metode geofisika pernah dilakukan di Sungai Kayahan oleh Alexander (2022). Studi tersebut bertujuan untuk memetakan sebaran rekahan yang terdapat di daerah penelitian ketika rekahan tersebut terisi air dan ketika kering untuk analisa lereng. Kedua jenis rekahan ini pada dasarnya akan memberikan kontras resistivitas yang berbeda. Pada saat musim hujan, zona yang memiliki nilai resistivitas rendah berkorelasi dengan rekahan tempat terkumpulnya air. Dari model resistivitas yang dibuat terdapat adanya bidang longoran yang diperkuat dengan adanya perbesaran stratifikasi tanah menuju sungai yang terbentuk akibat geometri dari tebing yang miring ke arah sungai. Untuk memvalidasi hasil tersebut dilakukan sampling tanah untuk dikaji menggunakan *Computer-Tomography Scan* (CT-Scan). Pada sampel tersebut terbukti bahwa sampel yang diambil pada daerah dengan nilai resistivitas rendah menunjukkan adanya banyak lubang yang menandakan daerah tersebut merupakan zona rekahan yang terisi oleh air.

Pemilihan Metode Geofisika Yang Tepat

Pemilihan metode geofisika yang tepat untuk investigasi geoteknik terdiri dari dua tahapan. Tahapan yang pertama adalah identifikasi masalah geoteknik yang ada berdasarkan parameter fisis yang bisa diukur. Tahapan kedua adalah pilihan metode berdasarkan kriteria dari lokasi target seperti kedalaman, resolusi yang diperlukan, aksesibilitas, efisiensi, dan juga biaya. Pada tahapan kedua ini hal yang harus dikerucutkan adalah sebagai berikut (Anderson, 2006):

1. Sifat fisis apa yang menjadi target.
2. Metode geofisika apa yang memiliki respon terbaik pada sifat fisis yang diinginkan.
3. Teknik pengambilan data apa yang dapat menyediakan resolusi target yang sesuai.

Kesimpulan

Terdapat beberapa metode dalam geofisika yang dapat digunakan untuk mempelajari bawah permukaan dan untuk mencitrakan kondisi bawah permukaan. Tiap metode geofisika dalam penggunaannya memiliki kelebihan dan keterbatasannya masing-masing. Sehingga metode geofisika dapat diintegrasikan dengan metode lainnya untuk memperoleh pengetahuan akan bawah permukaan yang lebih pasti misalnya dengan konfirmasi dari hasil uji pengeboran untuk melihat daerah yang menjadi anomali dalam metode geofisika.

Pekerjaan geoteknik masih memiliki keterbatasan yang bisa dimaksimalkan dengan kolaborasi dengan metode geofisika. Keterbatasan yang dimaksud misalnya pencitraan struktur kecil dibawah permukaan. Oleh karena itu dalam pekerjaan geoteknik pada tahapan awal diperlukan survei pendahuluan menggunakan metode geofisika sesuai dengan

identifikasi parameter fisik dari target yang dicari.

Keberhasilan metode geofisika dapat juga ditingkatkan dengan menggunakan dua metode geofisika secara terintegrasi untuk meningkatkan pemahaman terkait material yang diteliti dengan menambah karakter fisisnya yang merepresentasikan material tersebut. Dua metode terintegrasi dapat diadopsi dalam memecahkan masalah geoteknik yang kompleks.

Saran

Teori dan penerapan metode geofisika perlu digali secara mendalam karena dapat berkontribusi pada sebagian besar proyek teknik sipil dengan menghemat biaya, waktu dan ramah lingkungan.

Daftar Pustaka

- Abidin, Z., Hazreek, M., Rosli, S., Fauziah, A., Wijeyesekera, D., dan Faizal, M. (2011). Application of Geophysical Methods in Civil Engineering.
- Anderson, N.L., (2006). Selection of Appropriate Geophysical methods, 2006; A Generalized Protocol Based on Engineering objectives and Site characteristics. Proc., 2006 Highway Geophysical - NDE conference, 2006, pp 29-47.
- Anderson, N dan Croxton, N. (2008). Geophysical Methods Commonly Employed for Geotechnical Site Characterization.
- Alexsander, S. (2022). "Kombinasi Geoteknik dan Geofisika untuk Analisis Kelongsoran dengan Pendekatan Cracked Soil Jilid 2 Analisis". Deepublish. ISBN: 978-623-02-5653-0.
- Barker, R. D.,(1997) "Electrical imaging and its application in engineering investigations: Modern geophysics in engineering geology," Geological Society Engineering Geology Special Publication No. 12,.
- Clayton, C.R.I., Matthews, M.C., dan Simons, N. E., (1995). Site Investigations, 2nd Ed. UK, Blackwell Science Ltd.
- Daniels, D. J., (ed.), (2004). "Ground penetrating radar". 2nd ed. IEE radar, sonar, navigation, and avionics series 15. London: Institution of Electrical Engineers. ISBN: 978-0-86341-360-5.
- Haneberg, W. C. (2006). Geophysics in Engineering Investigations: (PW McDowell, RD Barker, AP Butcher, MG Culshaw, PD Jackson, DM McCann, BO Skipp, SL Matthews, and JCR Arthur). Environmental & Engineering Geoscience, 12(3), 291-291.
- Kearey, P., Brooks, M., dan Hill, I., (2002). An Intoduction to Geophysical Exploation. Third Edition. USA : Blackwell Science Ltd.
- Khan, Z., Sharma, T., Khan, N., dan Magray, A.A. (2021). Soil exploration using ground penetrating radar. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 889.
- Loke, M.H., Rucker, D.F., Chambers, J.E., Wilkinson, P.B., dan Kuras, O. (2020). Electrical Resistivity Surveys and Data Interpretation. In: Gupta, H. (eds) Encyclopedia of Solid Earth Geophysics. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Cham.
- Niederleithinger, E., Abraham, O., dan Mooney, M. (2015). Geophysical Methods in Civil Engineering: Overview and New Concepts. International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDTCE 2015), 15-17 Sep 2015, Berlin, Germany.
- Pasierb, Bernadetta G., Michal, dan Rafal G. (2019). Geophysical and geotechnical approach to a landslide stability assessment: a case study.
- Pupatenko, Y. A. Sukhobok, dan G. M. Stoyanovich (2017), "Lithological Profiling of Rocky Slopes using GeoReader Software Based on the Results of Ground Penetrating Radar Method," Procedia Eng., vol. 189, pp. 643-649.
- Reynolds, J.M., (2011); "An introduction to Applied and Environmental Geophysics" John Wiley & Sons, Ltd ISBN 978-0-471-48535.3
- Senthil P., Alex Varughese, Hari Dev, dan S.L.Gupta, (2021); Applications of Ground Penetrating Radar—A Comprehensive Case Study. In: Mehta Y.A., Carnacina I., Kumar D.N., Rao K.R., Kumari M. (eds) Advances in Water Resources and Transportation Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering, Vol 149. Springer, Singapore. Pg. 31-41.
- Sharma, (2012). Environmental and Engineering Geophysics, pp. 207 - 264. Publisher: Cambridge University Press
- Sharma, S., Thakur, S., dan Sharma, T. (2021). Applications of Geophysical Methods in Tunnel and Oil Exploration. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 889.
- Sirles, P. C. (2006). NCHRP Synthesis 357: Use of Geophysics for Transportation Projects, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.,.

- Srinaiah, J., Senthil, P., Sarwade, D.V., dan Hari, D. (2022). Applications of Geophysical Methods for Subsurface Geological and Geotechnical Assessment - An Overview. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 7(3), 805–811.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E. (1990) *Applied Geophysics*. 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 770.
- Wai-Lok Lai W., Dérobert X. dan Annan P. (2018) A review of Ground Penetrating Radar application in civil engineering: A 30-year journey from Locating and Testing to Imaging and Diagnosis *NDT E Int.* 96 58-78
- Whiteley, J. S., Chambers, J. E., Uhlemann, S., Wilkinson, P. B., dan Kendall, J. M. (2019). Geophysical monitoring of moisture-induced landslides: A review.