

*Artikel***Interpretasi Model Bawah Permukaan Berdasarkan Integrasi Data Seismik Refraksi Dan Geolistrik Daerah Sigli, Provinsi Aceh**Ridho Destawan^{1*}, Sarwo Sucitra Amin²¹Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Indonesia²Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Jambi, Indonesia

* Korespondensi : destawangfridho@eng.unila.ac.id

Abstrak : Pemahaman kondisi bawah permukaan tanah atau pun batuan sangat penting dalam perancangan struktur bangun yang stabil, aman dan efisien. Kajian data geolistrik dan seismik refraksi memberikan peran penting untuk dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan. Secara geologi daerah penelitian didominasi oleh batuan sedimen dengan struktur geologi yang kompleks. Gambaran bawah permukaan baik secara vertikal maupun horizontal menjadi panduan dalam perancangan dan perlakuan tahapan rekayasa geoteknik. Penelitian ini mengintegrasikan data geolistrik, seismik refraksi, geologi permukaan dan data lubang bor, sehingga diperoleh model geologi bawah permukaan yang lebih komprehensif. Secara umum, dari hasil kegiatan survei seismik refraksi dan geolistrik di daerah pekerjaan terdapat 2 dua litologi utama yaitu lanau pasiran (Lps) dan batupasir Anggota Padang Tiji (Bps). Perbedaan kompaksitas dan derajat pelapukan, hasil seismik refraksi menunjukkan adanya empat lapisan kecepatan batuan. Berdasarkan klasifikasi massa batuan, lapisan pertama yang berupa lanau pasiran (Lps) diklasifikasikan dalam kelas *very soft* (D). Lapisan kedua hingga keempat yang terdiri atas batupasir Anggota Padang Tiji (Bps), secara berurutan diklasifikasikan ke dalam kelas *very soft* (D), *soft* (CL), *medium hard* (CM), dan *acceptable hard* (CH).

Kata kunci: Geolistrik, seismik refraksi, dan data lubang bor

Abstract: A comprehensive understanding of subsurface soil and rock conditions is essential in the design of stable, safe, and efficient engineering structures. Geophysical methods, particularly geoelectrical and seismic refraction surveys, play a vital role in delineating subsurface profiles. Geologically, the study area is predominantly composed of sedimentary rocks with a complex structural framework. Subsurface imaging, both vertically and laterally, serves as a critical reference in the planning and execution of geotechnical engineering measures. This study integrates geoelectrical data, seismic refraction results, surface geological mapping, and borehole information to develop a more comprehensive subsurface geological model. The geophysical surveys conducted in the study area identified two principal lithologies: sandy silt (Lps) and sandstone of the Padang Tiji Member (Bps). Variations in compaction and degrees of weathering, as indicated by the seismic refraction data, revealed the presence of four distinct velocity layers. According to the rock mass classification proposed by Kikuchi et al. (1982), the first layer, consisting of sandy silt (Lps), is categorized as *very soft* (Class D). The subsequent three layers, composed of sandstone from the Padang Tiji Member (Bps), are classified sequentially as *very soft* (Class D), *soft* (Class CL), *medium hard* (Class CM), and *acceptable hard* (Class CH).

Keywords: Geoelectrical, refraction seismic and bore hole data**PENDAHULUAN**

Pemahaman kondisi bawah permukaan tanah atau pun batuan sangat penting dalam perancangan struktur bangun yang stabil, aman dan efisien. Hal tersebut berpengaruh terhadap efisiensi desain dan konstruksi yang akan dibangun sehingga mengurangi risiko kegagalan struktur bangunan dan optimalisasi biaya yang akan digunakan. Salah satu pendekatan secara tidak langsung untuk mendapatkan informasi bawah permukaan adalah melalui kajian geolistrik dan seismik refraksi. Geolistrik merupakan metode geofisika yang memberikan informasi kondisi bawah permukaan berdasarkan parameter resistivitas batuan, sedangkan seismik refraksi

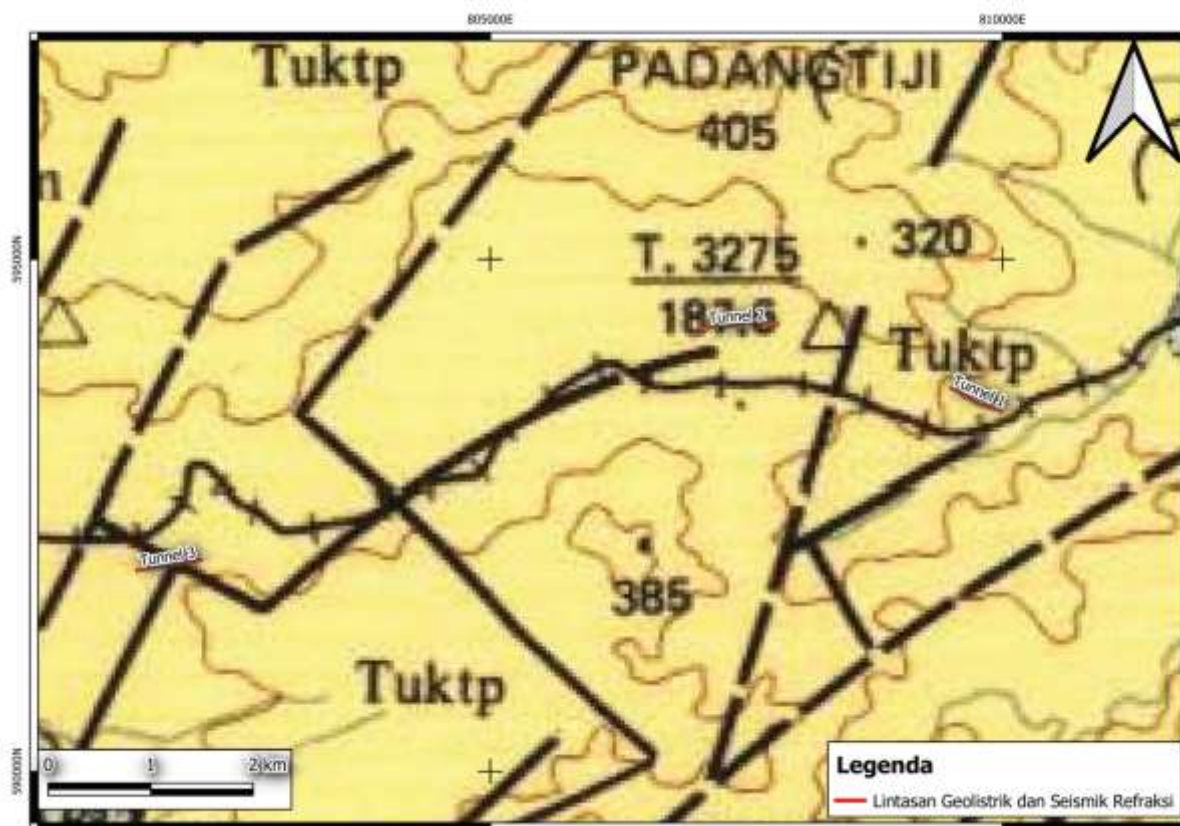
memberikan informasi kondisi bawah permukaan berdasarkan parameter kecepatan gelombang akustik. Metode geolistrik sensitif terhadap medium dengan resistivitas rendah yang biasanya berhubungan dengan zona lemah, namun tidak sensitif dalam mendefinisikan struktur lapisan batuan [1]. Penampang 2D seismik refraksi memungkinkan untuk menggambarkan variasi dengan kedalaman berbagai lapisan terkait dengan gelombang kompresi yang berbeda kecepatan [2]. Kajian geolistrik cukup baik dalam menyelidiki distribusi air tanah, struktur geologi dan profil tanah di wilayah yang luas dengan mengukur distribusi resistivitas listrik pada target endapan tanah atau ruang bawah tanah [3]. Kajian geolistrik dan seismik refraksi memberikan gambaran secara umum (2D) kondisi geologi bawah permukaan untuk melokalisasi zona – zona target sehingga informasi akan lebih komprehensif jika diintegrasikan dengan data bor. Kedua metode tersebut pengujiannya mudah, efektif dan sifatnya yang tidak merusak dapat membantu mencegah struktur dan material disekitarnya yang diselidiki kerusakan [4].

Pada prinsipnya keakuratan informasi bawah permukaan akan semakin tinggi ketika mampu mengintegrasikan data-data yang ada. Salah satunya yang dapat digunakan untuk verifikasi kajian geofisika adalah data bor. Data bor memberikan informasi langsung kondisi batuan atau tanah dibawah permukaan, sehingga dapat digunakan sebagai titik ikat dalam mendefinisikan lapisan batuan berdasarkan parameter fisika yang diperoleh dari kajian geolistrik dan seismik refraksi. Pemanfaatan kajian geofisika juga akan memberikan penghematan biaya karena informasi yang diperoleh dapat mengurangi jumlah titik pemboran. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran kondisi geologi bawah permukaan secara komprehensif sebagai salah satu data penunjang dalam perencanaan desain konstruksi.

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Secara fisiografis daerah penelitian sendiri termasuk dalam Zona Jajaran Bukit Barisan, tepatnya di sisi pantai timur wilayah Aceh yang didominasi oleh lapisan tersier yang luas dan berbukit-bukit serta tanah rendah aluvial. Berdasarkan Gambar 1, secara geologi daerah penelitian berada di Anggota Padang Tiji (Tuktp) yang merupakan bagian dari Formasi Kotabakti (Tukt). Anggota Padang Tiji (Tuktp) terdiri dari batupasir gampingan, konglomerat, batulanau, dan sisipan batugamping. Formasi Kotabakti (Tukt) ini disusun oleh batulumpur dan batulanau gampingan, sisipan batupasir, konglomerat, batugamping, dan tuf. Formasi ini memiliki umur Miosen Tengah hingga Pliosen. Sedangkan endapan termuda berupa Aluvial Muda (Qh) yang terdiri dari kerikil, pasir, dan lumpur dari sungai. Umur endapan ini adalah Holosen.

Secara struktural, daerah penelitian berada pada wilayah dengan patahan lokal yang cukup kompleks. Patahan ini terbentuk sebagai akibat dari adanya pengaruh tekanan tektonik secara global dan lahirnya kompleks subduksi sepanjang tepi barat Pulau Sumatera serta pengangkatan Pegunungan Bukit Barisan. Daerah-daerah yang berada di sepanjang patahan tersebut merupakan wilayah yang rawan gempa bumi dan tanah longsor, disebabkan oleh adanya aktivitas kegempaan dan kegunungapian yang tinggi. Sehingga berdasarkan informasi-informasi tersebut perlu dilakukan kajian bawah permukaan menggunakan survei geofisika.



Gambar 1. Peta geologi regional daerah penelitian [5]

METODOLOGI PENELITIAN

Akuisisi data seismik refraksi dan geolistrik dilaksanakan dalam satu lintasan. Data seismik refraksi dilaksanakan pada lintasan yang membentang sepanjang 700 m dengan arah timur-barat, dan spasi antar *geophone* 10 m. Sedangkan untuk akuisisi data geolistrik dilakukan sepanjang 600 m menggunakan konfigurasi wenner dengan spasi elektroda 10 m. Akuisisi data seismik refraksi dilaksanakan menggunakan instrument PASI, sedangkan untuk geolistrik menggunakan instrument Supersting.

Pengolahan data seismik refraksi dilakukan menggunakan *software* ZondST2D melalui tahapan berikut :

1. *Filter raw data* untuk mengurangi data *noise* hasil rekaman
2. *Picking travel time* untuk mendapatkan waktu tiba gelombang pertama kali direkam oleh *geophone*.
3. Pemodelan kebelakang (inversi data), data waktu penjalaran gelombang selanjutnya digunakan sebagai inputan untuk pemodelan inversi.
4. Interpretasi hasil model inversi untuk memberikan informasi bawah permukaan yang komprehensif.

Seismik refraksi memberikan informasi kecepatan khususnya gelombang primer (*P-wave*), sebagai salah satu parameter fisik penting dalam interpretasi data geofisika. Jenis material (litologi), kerapatan, porositas, kadar air, serta tingkat pelapukan dan kompaksi batuan menjadi berbagai faktor yang mempengaruhi nilai kecepatan (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai kecepatan seismik batuan dan mineral [6]

Material	Seismic Velocity (m/s)
Igneous/Metamorphic	
Granite	4580 - 5800
Weathered Granite	305 - 610
Basalt	5400 - 6400
Sediments	
Sandstone	1830 - 3970
Shale	2750 - 4270
Limestone	2140 - 6100
Unconsolidated Sediment	
Clay	915 - 2750
Alluvium	500 - 2000
Groundwater	
Fresh Water	1430 - 1680
Salt Water	1460 - 1530

Selain itu, melalui seismik refraksi parameter kecepatan yang diperoleh dapat digunakan dalam pengklasifikasian masa batuan untuk memberi gambaran tentang kualitas dan kekuatan massa batuan. Tabel 2 menjelaskan hubungan klasifikasi masa batuan terhadap kecepatan gelombang seismik [7,8].

Tabel 2. Hubungan Klasifikasi Massa Batuan Berdasarkan Kecepatan Gelombang Seismik

Kelas CRIEPI	Deskripsi Umum	Kecepatan Gelombang P (Vp)	Kelas Kikuchi et al. (1982)	Kondisi Massa Batuan
<i>Very Soft (D)</i>	Sangat lunak, terdekompaksi	< 500 m/s	<i>Class V</i>	Sangat buruk, tidak stabil
<i>Soft (CL)</i>	Lunak, terurai	500 – 1000 m/s	<i>Class IV</i>	Buruk, mudah berubah bentuk
<i>Medium Hard (CM)</i>	Sedang, sebagian lapuk	1000 – 2500 m/s	<i>Class III</i>	Cukup baik, perlu perhatian teknis
<i>Hard (CH) / Acceptable</i>	Keras, kompak, relatif stabil	> 2500 m/s	<i>Class I – II</i>	Baik – sangat baik, stabil

Pengolahan data geolistrik dilakukan menggunakan *software Res2dinve* melalui tahapan berikut:

1. Tahapan persiapan data, data hasil akuisisi di lapangan disusun mengikuti format input data di *Res2dinve* menggunakan *MS. Excel*.
2. Pengolahan data di *Res2dinve*, tahapan ini diawali dengan penentuan parameter inversi, selanjutnya dilakukan proses inversi untuk mendapatkan nilai resistivitas sesungguhnya. Pada prinsipnya adalah mendapatkan disitribusi resistivitas batuan bawah tanah dengan membandingkan data dengan model secara iteratif hingga diperoleh model yang konvergen dan interpretatif.
3. Interpretasi dengan mengintegrasikan data bor di sekitar lintasan pengukuran. Secara kuantitatif interpretasi mengacu pada tabel 3.

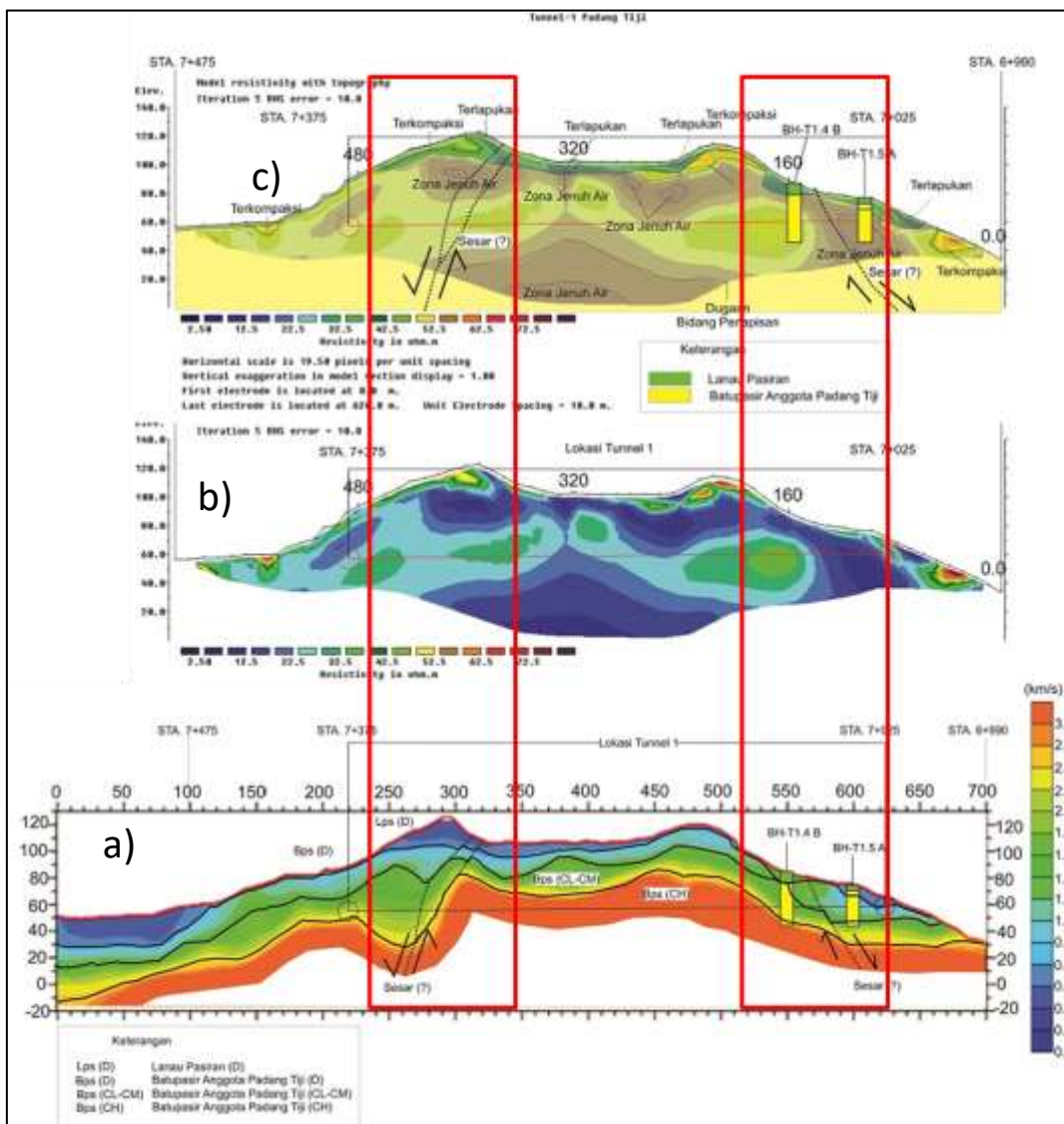
Tabel 3 memberikan gambaran nilai resistivitas batuan memiliki nilai kisaran yang digunakan untuk interpretasi. Setiap jenis batuan memiliki kisaran nilai resistivitas tertentu yang dipengaruhi oleh komposisi mineral, porositas, kadar air, dan tingkat pelapukan.

Tabel 3. Resistivitas batuan [9]

Rocks/materials	Resistivity (Ωm)
Alluvium	20 to 600
Sand, Sandy lateritic	60 to 1000
Clay, Lateritic Clay	1 to 150
Grounwater (Fresh)	10 to 100
Sand Stone	4 x 1000
Shale	2 x 1000
Limestone	4 x 1000
Granite	5000 to 100000

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengukuran seismik refraksi (**Error! Reference source not found.a**), terdapat tiga lapisan yang dideteksi. Lapisan pertama yaitu lapisan tanah yang memiliki rentang nilai kecepatan seismik gelombang P antara 0.2 – 1.3 km/s. Ketebalan dari lapisan ini sekitar 5 hingga 45 m. Lapisan pertama diinterpretasikan sebagai lanau pasiran dan batupasir anggota Padang Tiji. Berdasarkan Kikuchi *et al.* (1982), rentang nilai kecepatan lapisan pertama termasuk dalam kelas *very soft* (D). Lapisan kedua memiliki kecepatan V_p antara 1.3 – 2.2 km/s dan diinterpretasikan sebagai batupasir Anggota Padang Tiji. Berdasarkan rentang kecepatan tersebut lapisan kedua diklasifikasikan dalam kelas *soft* (CL) hingga *medium hard* (CM). Ketebalan lapisan kedua berkisar antara 10 – 60 m. Sedangkan pada lapisan ketiga, kecepatan gelombang P antara 2.3 – 3.2 km/s dan diinterpretasikan sebagai batupasir Anggota Padang Tiji. Lapisan ketiga tersebut diklasifikasikan dalam kelas *acceptable hard* (CH). Dari hasil seismik refraksi ditemukan bidang perlapisan yang hampir sejajar dengan lintasan pengukuran.



Gambar 2. Hasil interpretasi data geolistrik dan seismic refraksi

Berdasarkan hasil pengukuran geolistrik (**Error! Reference source not found.**b), terdapat dua lapisan yang dideteksi. Lapisan pertama yaitu lapisan lanau pasiran yang memiliki rentang nilai resistivitas 5 – 20 ohm.m. Ketebalan rata-rata dari lapisan ini sekitar 5 m. Keberadaan lapisan lanau pasiran yang paling tebal berada di bagian tekuk lereng. Sementara lapisan kedua yaitu lapisan batupasir Anggota Padang Tiji. Rentang nilai resistivitas dari lapisan ini adalah 5 – 75 ohm.m. Berdasarkan Loke (2020) rentang nilai ini termasuk ke dalam nilai resistivitas batupasir yang bersifat mendekati batulanau. Karakteristik batupasir dari Anggota Padang Tiji ini adalah bersifat kompak. Batupasir yang memiliki kandungan air tinggi (zona jenuh air) dicerminkan oleh persebaran nilai resistivitas rendah (sekitar 5 – 15 ohm.m), sementara batupasir yang memiliki kandungan air rendah memiliki nilai resistivitas sedang (sekitar 40 – 75 ohm.m). Ditemukan dugaan bidang perlapisan yang relatif sejajar terhadap arah penampang geolistrik. Terdapat indikasi adanya struktur sesar normal pada STA. 7+075 dan STA. 7+250 hingga 7+300, kondisi tersebut ditunjukkan dengan adanya diskontinuitas kecepatan seismic refraksi dan terdapat zona kontras resistivitas di sekitar penelitian.

KESIMPULAN

- Secara umum, dari hasil kegiatan survei seismik refraksi dan geolistrik di daerah pekerjaan terdapat 2 dua litologi utama yaitu lanau pasiran (Lps) dan batupasir Anggota Padang Tiji (Bps).
- Perbedaan kompakitas dan derajat pelapukan, hasil seismik refraksi menunjukkan adanya empat lapisan kecepatan batuan. Lapisan pertama berupa lanau pasiran (Lps) diklasifikasikan dalam kelas *very soft* (D), lapisan kedua hingga keempat berupa batupasir Anggota Padang Tiji (Bps) diklasifikasikan secara berurutan dalam *very soft* (D), kelas *soft* (CL) hingga *medium hard* (CM) dan kelas *acceptable hard* (CH).
- Keberadaan indikasi struktur sesar di daerah pekerjaan ditandai oleh adanya *offset* lapisan kecepatan seismik pada penampang seismik refraksi dan zona resistivitas rendah pada penampang geolistrik.
- Terdapat indikasi adanya struktur sesar normal pada STA. 7+075 dan STA. 7+250 hingga 7+300.

PUSTAKA

- [1] D.T. Kieu, N.D. Pham and H.P. Lai. Integration of geoelectrical and seismic refraction data by means of fuzzy clustering for landslide investigation. EAGE-GSM 2nd Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience and Engineering, Apr 2019, Volume 2019, p.1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201900373>
- [2] Rinaldi, Victor. (2024). Application of seismic refraction tomography for detecting a hidden potential fault. E3S Web of Conferences. 544. 10.1051/e3sconf/202454419001.
- [3] W. F. Lee, “Immediate Retrofit Work and Forensic Investigation of a Subway Tunnel Construction Failure,” in Proc. International Conference on Forensic Engineering: From Failure to Understanding, London, 2008, pp. 262
- [4] M. H. Arifin, A. R. Harun, S. N. Masrom, and A. R. Samsudin, “Survei Keberintangan Geoelektrik Mengesan Terowong di Bukit Tenggek, Setiu, Terengganu,” Proc. Seminar Geofizik Kejuruteraan dan Sekitaran, Bangi, 2010, pp. 121.
- [5] Bennett, J.D., Bridge, D. McC., Cameron, N.R., Djunuddin, A., Ghazali, S.A., Jeffery, D.H., Kartawa, W., Keats, W., Rock, N.M.S., Thomson, S.J., dan Whandoyo, R., 1981. Peta Geologi Lembar Banda Aceh, Sumatra, skala 1:250.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- [6] Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E. (1990). Applied Geophysics. Second Edi. United Kingdom: Cambridge University Press
- [7] Kikuchi, Y., Matsumoto, S., & Kawakami, Y. (1982). Classification of rock masses based on seismic velocity for tunnel construction. Tokyo: Japan Society of Civil Engineers.
- [8] Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI). (1995). Technical manual on seismic design of underground structures. Tokyo: CRIEPI Press.
- [9] Loke, M.H. (2020). Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies: A Partical Guide to 2D and 3D Surveys. England: Birmingham University