

Identifikasi Potensi Likuifaksi di Kecamatan Sungai Limau Kabupaten Padang Pariaman dengan Metode Geolistrik 2D Tahanan Jenis

Fadilla Monica^{1,*}, Dwi Pujiastuti¹, Afdal¹, Ulung Jantama Wisna²

¹Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

²Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, Kementerian Kelautan dan Perikanan
Jl. Raya Padang Painan Km. 16 Bungus, Padang, 25245, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 2 September 2020

Direvisi: 22 September 2020

Diterima: 25 September 2020

Kata kunci:

geolistrik
intrusi air laut
likuifaksi
muka air tanah
Sungai Limau

Keywords:

geoelectric
sea water intrusion
liquefaction
groundwater level
Sungai Limau

Penulis Korespondensi:

Fadilla Monica

Email: fadillamonica27@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui potensi likuifaksi di Kecamatan Sungai Limau, Kabupaten Padang Pariaman, Sumatera Barat. Data yang digunakan yaitu data sekunder dari Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir (LRSDKP) Kota Padang pada tahun 2019. Penelitian ini menggunakan metode geolistrik tahanan jenis 2D konfigurasi Wenner. Pengambilan data dilakukan pada dua lintasan sejajar pantai (L1&L3) dan satu lintasan tegak lurus (L2) pantai dengan panjang lintasan masing-masing 540 m, jumlah titik *sounding* 54 dan jarak elektroda 10 m. Pengolahan data dilakukan menggunakan *software AGI EarthImager 2D*. Hasil penelitian menunjukkan lapisan bawah permukaan terdiri dari endapan aluvial berupa pasir dan kerikil yang jenuh air, kedalaman muka air tanah cukup dangkal sekitar 1 – 18 m sehingga berpotensi terjadi likuifaksi. Daerah penelitian juga telah mengalami intrusi air laut sampai sejauh 350 m dari pantai. Intrusi air laut ini membuat sedimen penyusun wilayah semakin jenuh air sehingga potensi likuifaksi lebih tinggi. L1 (lebih dekat ke pantai) memiliki potensi likuifaksi yang relatif tinggi dibandingkan dengan L3 karena kedalaman muka air tanahnya lebih dangkal dan intrusi air laut lebih luas.

Research to determine liquefaction potential in Sungai Limau Region, Padang Pariaman Regency, West Sumatra, had been conducted. The data used are resistivity data surveyed by the Research Institute for Coastal Resources and Vulnerability (RICRV) of Padang in 2019. This study applied the Wenner 2D configuration of the resistivity geoelectric method. Data collection was carried out on two main lines, parallel to the coastline (L1 & L3) and one perpendicular to the coastline (L2) with 540 m length, 54 sounding points, and 10 m electrode distance. Data processing was performed using AGI EarthImager 2D software. The results show that the subsurface layer consists of alluvial deposits in water-saturated sand and gravel. The groundwater level's depth is relatively shallow, around 1 - 18 m indicating a liquefaction potential. The study area also undergoes seawater intrusion up to 350 m from the coastline. Seawater intrusion triggers the existence of water-saturated sediment resulting in enhanced liquefaction potential. L1 (near the coast) showed a relatively higher liquefaction potential than line L3 because of its shallow groundwater-surface, triggering the more expansive seawater intrusion.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Provinsi Sumatra Barat merupakan daerah dengan tingkat kejadian gempabumi yang cukup tinggi. Kejadian gempabumi sering menimbulkan kerusakan pada bangunan dan infrastruktur. Peristiwa gempabumi dahsyat pada 30 September 2009 dengan kekuatan 7,6 SR yang mengakibatkan banyak bangunan runtuh di beberapa daerah seperti Kabupaten Padang Pariaman, Kota Padang, Pesisir Selatan, Kabupaten Pasaman dan Kabupaten Agam (Setyonegoro, 2013). Bahaya sekunder gempabumi menjadi ancaman yang mengerikan bagi masyarakat selain bahaya langsung yang ditimbulkan. Fenomena likuifaksi merupakan salah satu bahaya sekunder dari gempabumi. Peristiwa gempabumi dengan magnitudo 7,5 SR yang mengguncang 26 km utara Donggala Sulawesi Tengah pada 29 September 2018 pada kedalaman 11 km menyebabkan likuifaksi atau aliran tanah yang berdampak tertimbunnya beberapa pemukiman warga. Peristiwa likuifaksi dahsyat yang terjadi di Palu Sulawesi Tengah, dianggap cukup parah karena belum pernah terjadi di daerah manapun di Indonesia (Sassa dan Takagawa, 2019). Akibat dari peristiwa dahsyat di Palu tersebut istilah likuifaksi menjadi lebih dikenal masyarakat.

Likuifaksi adalah peristiwa berubahnya sifat tanah dari padat menjadi cair pada saat terjadi gempabumi. Menurut Muntohar (2012) syarat terjadinya peristiwa likuifaksi pada sebuah wilayah dapat memenuhi kriteria sebagai berikut yaitu, tanahnya berupa pasir (non kohesif), lapisan tanahnya jenuh air dan bersifat terurai atau gembur (tidak padat), muka air tanah dangkal, serta terjadi gempabumi kuat dan lama. Hardy dkk. (2015) menyatakan bahwa secara visual fenomena likuifaksi ini ditandai dengan munculnya semburan pasir, rembesan air melalui rekahan tanah, tenggelamnya struktur bangunan di atas permukaan, atau penurunan muka tanah dan perpindahan lateral.

Potensi likuifaksi dapat diketahui dengan beberapa metode seperti yang dilakukan oleh Warman dan Jumas (2013) pada studi kasus Air pacah, Siteba dan Purus di Kota Padang. Metode uji sondir digunakan di lapangan untuk penyelidikan tanah menggunakan alat Bor Tangan (*Hand Bor*) dan CPT (*Cone Penetration Test*), dan uji saringan di laboratorium untuk melihat susunan butiran tanah pada kedalaman tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah tersebut memiliki nilai faktor keamanan sangat kecil ($<0,5$), dibandingkan dengan faktor keamanan yang ditetapkan (1,5). Tohari dkk. (2013) melakukan survei dengan metode mikrotremor untuk mengetahui karakteristik dinamik lapisan tanah yang mengalami likuifaksi di Kota Padang. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa lapisan pasir yang mengalami likuifaksi mempunyai periode dominan tanah antara 1 dan 2 detik, dengan faktor amplifikasi berkisar antar 3 dan 9. Daerah Kota Padang bagian pesisir lebih rentan terhadap potensi likuifaksi karena mempunyai periode dominan dan faktor amplifikasi yang lebih besar dibandingkan dengan daerah perbukitan.

Potensi likuifaksi juga dapat diketahui dengan salah satu metode geofisika yaitu metode geolistrik tahanan jenis. Pryambodo dan Sudirman (2019) telah melakukan penelitian likuifaksi dengan metode Geolistrik 2D menggunakan konfigurasi *Wenner*. Hasil dari penelitian ini mengungkapkan lapisan bawah permukaan di daerah pesisir Kota Padang terdiri dari endapan aluvial yang jenuh air sehingga berpotensi likuifaksi selama terjadinya gempabumi. Metode ini paling sering digunakan dalam bidang *engineering geology* seperti penentuan kedalaman batuan dasar, pencarian reservoir air, eksplorasi geotermal, dan untuk geofisika lingkungan, karena metode ini lebih efektif digunakan untuk eksplorasi yang sifatnya dangkal.

Penelitian untuk menentukan potensi likuifaksi dilanjutkan di daerah pesisir Sumatra Barat lainnya yaitu, Kabupaten Padang Pariaman tepatnya di Kecamatan Sungai Limau. Daerah Kabupaten Padang Pariaman dipilih menjadi daerah penelitian karena dalam Pryambodo dan Sudirman (2019), Kastowo dkk. (1994) menyatakan bahwa geologi daerah pesisir hingga perbukitan Sumatra Barat secara umum terbentuk oleh endapan sedimen berumur kuartar dengan susunan lapisan pasir kerikil-lempung, lanau, pasir yang dapat mencapai ketebalan 5 m sampai 200 m. Daerah yang berada di pesisir Sumatra Barat ini merupakan daerah yang memiliki tingkat bahaya gempabumi yang tinggi karena berada dekat dengan zona subduksi, Sesar Mentawai dan Sesar Sumatra. Banyaknya objek wisata di pesisir pantai Padang Pariaman membuat daerah ini menjadi semakin berkembang dengan pemukiman yang semakin padat. Oleh karena itu daerah ini rawan akan bencana geologi, termasuk likuifaksi.

II. METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Andalas untuk pengolahan data geolistrik yang diperoleh dari Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir (LRSDKP) Kota Padang. Pengambilan data menggunakan metode geolistrik tahanan jenis dengan konfigurasi *Wenner 2D*. Survei dilakukan menggunakan satu set alat survei *Resistivitymeter (AGI) Sting/SuperSting R8*. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 18 Juni 2019 pada 3 lintasan yaitu 2 lintasan sejajar pantai dan 1 lintasan tegak lurus pantai yang dapat dilihat pada Gambar 1. Panjang lintasan masing-masing 540 m, jumlah titik *sounding* 54 dan jarak elektroda 10 m.



Gambar 1 Peta lokasi lintasan

Lintasan 1 yaitu lintasan sejajar pantai yang berada kurang lebih 200 m dari garis pantai. Titik A yang merupakan titik 0 terletak pada koordinat $0^{\circ}33'20''\text{LS}$ dan $100^{\circ}05'14''\text{BT}$, sedangkan titik A' yang merupakan titik 540 m terletak pada koordinat $0^{\circ}33'35''\text{LS}$ dan $100^{\circ}05'23''\text{BT}$. Sedangkan lintasan 2 yaitu lintasan tegak lurus pantai yang berpotongan dengan lintasan 1 dan lintasan 3 dapat dilihat pada Gambar 1. Titik B yang merupakan titik 0 berjarak kurang lebih 160 m dari bibir pantai terletak pada koordinat $0^{\circ}33'28''\text{LS}$ dan $100^{\circ}05'17''\text{BT}$, sedangkan titik B' yang merupakan titik 540 m terletak pada koordinat $0^{\circ}33'19''\text{LS}$ dan $100^{\circ}05'32''\text{BT}$. Lintasan 3 yaitu lintasan sejajar pantai yang tepat berada di sepanjang Jalan Pasir Baru dengan jarak kurang lebih 300 m dari bibir pantai. Titik C yang merupakan titik 0 terletak pada koordinat $0^{\circ}33'21''\text{LS}$ dan $100^{\circ}05'19''\text{BT}$, sedangkan titik C' yang merupakan titik 540 m terletak pada koordinat $0^{\circ}33'37''\text{LS}$ dan $100^{\circ}05'27''\text{BT}$.

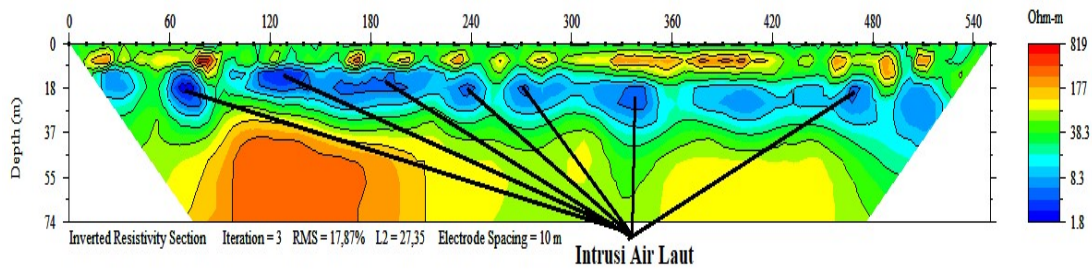
Pengolahan data dilakukan dengan cara menginversi nilai resistivitas menggunakan *software EarthImager 2D*. Proses inversi dilakukan dengan metode *Smooth Model Inversion*. Metode *Smooth Model Inversion* bertujuan untuk meminimalkan ketidakcocokan data dengan beberapa kali iterasi sampai mendapatkan nilai *Error* yang terkecil. Iterasi dilakukan agar diperoleh penampang bawah permukaan yang paling mendekati aslinya.

Analisis potensi likuifaksi dilakukan dengan mempertimbangkan jenis batuan dan kedalaman muka air tanah dari data yang disajikan. Data yang disajikan yaitu berupa penampang geolistrik bawah permukaan berdasarkan nilai tahanan jenis batuan baik secara vertikal maupun secara horizontal. Analisis potensi likuifaksi juga dapat dilakukan dengan mempertimbangkan potensi gempabumi yang mungkin akan terjadi.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Lintasan 1

Kedalaman struktur bawah permukaan yang diperoleh pada lintasan 1 adalah 74 m seperti pada Gambar 2. Hasil tersebut didapatkan setelah melakukan 3 kali iterasi dengan *RMS Error* sebesar 17,87%. Nilai *RMS Error* dapat diterima karena kecil dari 30% (Pujiastuti dkk., 2009). Hasil interpretasi litologi bawah permukaan pada lintasan 1 dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2 Penampang hasil inversi lintasan 1

Tabel 1 Hasil interpretasi litologi pada lintasan 1

Skala Warna	Nilai resistivitas (Ωm)	Jenis batuan/material
Blue - Blue	1,8 – 4,8	Pasir dan kerikil yang mengandung air asin
Light Blue - Cyan	10 – 20	Air dalam lapisan alluvial
Cyan - Green	23,3 – 38,3	Alluvium: lempung dan lanau
Green - Yellow	58 – 107,5	Alluvium: lanau, pasir, kerikil
Yellow - Orange	150 – 819	Kelompok Andesit

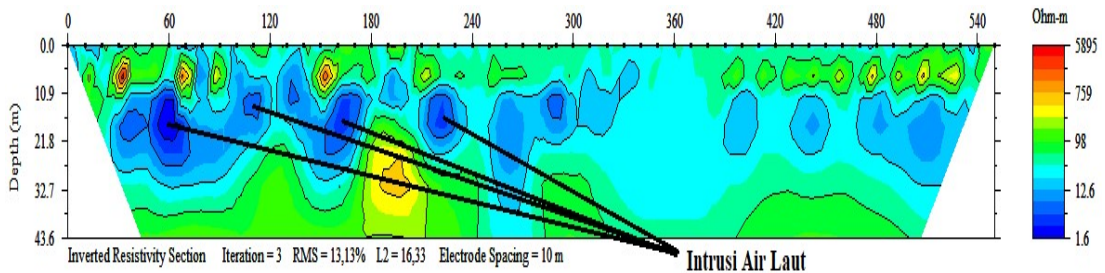
Berdasarkan peta geologi hasil penelitian Solihuddin (2011), endapan aluvium tersebar luas hampir di seluruh pesisir Kabupaten Padang Pariaman. Terlihat pada Gambar 2 interpretasi lintasan 1 didominasi oleh batuan alluvium berupa kerikil, pasir dan lanau dengan nilai resistivitas $23 \Omega\text{m} - 107,5 \Omega\text{m}$, namun pada kedalaman 40 m – 74 m terdapat kelompok andesit dengan resistivitas $150 \Omega\text{m} - 819 \Omega\text{m}$.

Menurut Soebowo dkk. (2009) likuifaksi hanya terjadi pada tanah jenuh, sehingga kedalaman muka air tanah akan mempengaruhi potensi terjadinya likuifaksi. Air yang tersimpan pada zona jenuh ini adalah air tanah yang telah tercampur batuan pasir dan kerikil dengan resistivitas $10 \Omega\text{m} - 20 \Omega\text{m}$ pada kedalaman mulai dari 5 m sampai 37 m. Zona jenuh air yang paling atas disebut dengan muka air tanah (*water table*) dengan kedalaman muka air tanah pada lokasi ini berkisar antara 1 m sampai 16,5 m, menandakan bahwa lintasan ini berpotensi likuifaksi. Kondisi ini diperparah dengan dugaan telah terjadi intrusi air laut yang ditandai dengan nilai resistivitas $<5 \Omega\text{m}$ seperti yang terlihat pada Gambar 2. Intrusi diduga terjadi karena lintasan 1 berada dekat dengan pantai sehingga membuat daerah ini terkontaminasi oleh air asin pada kedalaman 10 m sampai 25 m. Sehingga apabila terjadi gempa bumi besar dengan durasi lama bisa mengakibatkan bencana likuifaksi. Mengingat daerah yang berada di pesisir Sumatra Barat ini merupakan daerah yang memiliki tingkat bahaya gempa bumi tinggi, karena berada dekat dengan zona subduksi, Sesar Mentawai dan Sesar Sumatra.

Pryamboda dan Sudirman (2019) membuktikan pada penelitian di pesisir Kota Padang telah terjadi likuifaksi yang disebabkan lapisan tanah jenuh air dan kedalaman muka air tanah $<10 \text{ m}$ serta diperparah dengan terjadinya intrusi air laut sepanjang daerah penelitian pada kedalaman $<20 \text{ m}$. Peristiwa likuifaksi tersebut terlihat dari beberapa bangunan yang amblas setelah gempa bumi 2009 di Kota Padang.

3.2 Lintasan 2

Kedalaman struktur bawah permukaan yang diperoleh pada lintasan 2 adalah 43,6 m. Hasil tersebut didapatkan setelah melakukan iterasi sebanyak 3 kali dengan kesalahan sebesar 13,13%. Nilai *RMS Error* ini dapat diterima karena kecil dari 30% (Pujiastuti dkk, 2009). Hasil interpretasi litologi bawah permukaan pada lintasan 2 dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan peta geologi hasil penelitian Solihuddin (2011), endapan aluvium tersebar luas hampir di seluruh pesisir Kabupaten Padang Pariaman. Lintasan 2 didominasi oleh batuan Alluvium berupa kerikil, pasir dan lanau dengan nilai resistivitas $23 \Omega\text{m} - 163 \Omega\text{m}$, namun juga terdapat kelompok andesit dengan nilai resistivitas $272 \Omega\text{m} - 454,5 \Omega\text{m}$ pada kedalaman 30 m – 43 m yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Penampang hasil inversi lintasan 2

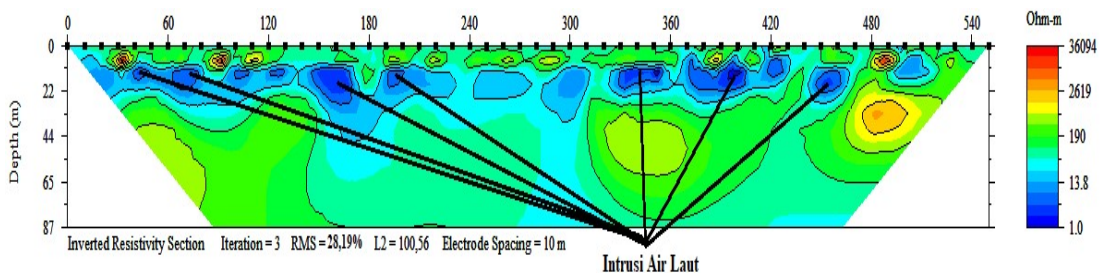
Tabel 2 Hasil interpretasi litologi pada lintasan 2

Skala Warna	Nilai resistivitas (Ωm)	Jenis batuan/material
	1,6 – 5,5	Pasir dan kerikil yang mengandung air asin
	10,6 – 21	Air dalam lapisan alluvial
	35 – 58,5	Alluvium: lanau, pasir dan kerikil
	97,6 – 163	Alluvium: Lapisan pasir
	272 – 454,5	Kelompok Andesit
	758,7 – 5000	Pasir dan kerikil kering

Soebowo dkk. (2009) menyatakan likuifaksi hanya terjadi pada tanah jenuh, sehingga kedalaman muka air tanah akan mempengaruhi potensi terjadinya likuifaksi. Zona jenuh pada lintasan ini berada di kedalaman mulai dari 2 m sampai 40 m dengan nilai resistivitas 10,6 Ωm - 21 Ωm . Kedalaman muka air tanah pada lokasi ini berkisar antara 1,5 m – 18 m yang menandakan bahwa lintasan ini berpotensi likuifaksi. Kondisi ini diperparah dengan adanya dugaan terjadi intrusi air laut yang ditandai dengan nilai resistivitas <5 Ωm . Namun intrusi air laut hanya terjadi sampai jarak kurang lebih 350 m dari pantai, karena lintasan ini merupakan lintasan tegak lurus pantai oleh karena itu intrusi air laut hanya terjadi pada daerah yang dekat pantai dengan kata lain semakin jauh dari pantai intrusi air laut akan semakin berkurang.






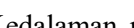
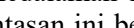


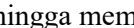
3.3 Lintasan 3

Hasil interpretasi litologi bawah permukaan pada lintasan 3 dapat dilihat seperti pada Tabel 3. Kedalaman struktur bawah permukaan yang diperoleh pada lintasan 3 adalah 87 m seperti pada Gambar 4 dengan nilai *RMS Error* sebesar 28,19%. Struktur di bawah lintasan 3 sama dengan interpretasi lintasan 1 dan 2 yang didominasi oleh batuan alluvium berupa kerikil, pasir dan lanau dengan nilai resistivitas 50 Ωm - 98,6 Ωm , namun juga terdapat kelompok andesit yang berada pada kedalaman 30 m dengan nilai resistivitas 190 – 366 Ωm . Pada kedalaman 5m - 40 m yang diduga merupakan zona jenuh air tersusun dari air tanah dalam lapisan alluvial dengan nilai resistivitas 13,8 Ωm - 26,5 Ωm . Zona jenuh air ini dapat dilihat pada Gambar 4 dengan bagian yang paling atas disebut dengan muka air tanah (*water table*).



Gambar 4 Penampang hasil inversi lintasan 3

Tabel 3 Hasil interpretasi litologi pada lintasan 3

Skala Warna	Nilai resistivitas (Ωm)	Jenis batuan/material
 - 	1 – 4,4	Pasir dan kerikil yang mengandung air asin
 - 	13,8 – 26,5	Air dalam lapisan alluvial
 - 	51 – 98,6	Alluvium: lempung dan lanau
 - 	190 – 366	Kelompok Andesit
 - 	705 – 5045	Pasir dan kerikil kering

Kedalaman muka air tanah pada lokasi ini berkisar antara 2 m sampai 17 m, menandakan bahwa lintasan ini berpotensi likuifaksi. Sama dengan lintasan 1 dan lintasan 2 kondisi pada lintasan ini juga diperparah dengan dugaan terjadinya intrusi air laut yang ditandai dengan nilai resistivitas $<5 \Omega m$ seperti terlihat pada Gambar 4. Intrusi diduga terjadi karena lintasan 3 berada dekat dengan pantai sehingga membuat daerah ini terkontaminasi oleh air asin. Sehingga apabila terjadi gempa bumi besar dengan durasi lama bisa mengakibatkan bencana likuifaksi. Mengingat daerah yang berada di pesisir Sumatra Barat ini merupakan daerah yang memiliki tingkat bahaya gempa bumi tinggi, karena berada dekat dengan zona subduksi, Sesar Mentawai dan Sesar Sumatra.

Lintasan 1 memiliki potensi likuifaksi yang relatif tinggi dibandingkan dengan lintasan 3. Terbukti dari hasil yang didapatkan pada lintasan 2 bahwa wilayah yang paling dekat dengan pantai memiliki potensi likuifaksi relatif tinggi karena kedalaman muka air tanah semakin dangkal dan intrusi air laut semakin besar.

IV. KESIMPULAN

Lapisan tanah di daerah Kecamatan Sungai Limau Kabupaten Padang Pariaman didominasi oleh aluvial berupa pasir dan kerikil yang jenuh air dengan nilai resistivitas $10 \Omega m - 26,5 \Omega m$. Muka air tanah di daerah ini berada pada kedalaman 1 m sampai 18 m. Terjadi intrusi air laut di daerah penelitian pada kedalaman 10 m - 30 m sejauh 350 m dari pantai. Lintasan 1 memiliki potensi likuifaksi yang relatif tinggi dibandingkan dengan lintasan 3 karena kedalaman muka air tanahnya lebih dangkal dan intrusi air laut yang terjadi lebih luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir (LRSDKP), Kementerian Kelautan dan Perikanan, Bungus Kota Padang atas pemberian data geolistrik daerah Kabupaten Padang Pariaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Hardy, T., Nurdianto, B., Ngadmanto, D., dan Susilanto, P., Karakteristik Lapisan Tanah Berpotensi Likuifaksi Berdasarkan Resistivitas Batuan di Daerah Cilacap, *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, **16**, 47-56 (2015).
- Muntohar, A.S., *Studi Parametrik Potensi Likuifaksi dan Penurunan Permukaan Tanah Berdasarkan Uji Sondir*, (Proceedings 16th Annual Scientific Meeting, Jakarta, 2012), hal.139-144.
- Pryambodo, D.G. dan Sudirman, N., Identifikasi Likuifaksi di Kawasan Pesisir Kota Padang Dengan Metode Geolistrik 2D, *Jurnal Segara*, **15**, 159-168 (2019).
- Pujiastuti, D., Indrawati, Edwiza, D., dan Mustafa, B., *Penentuan Bidang Gelincir Daerah Rawan Gerakan Tanah dengan Metode Tahanan Jenis (Studi Kasus Dua Titik Pengamatan di Kampus Unand Limau Manis Padang)*, (Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Andalas (SNFUA), 2009), hal.42-45.
- Sassa, S. dan Takagawa, T., Liquefied Gravity Flow-Induced Tsunami: First Evidence and Comparison from the 2018 Indonesia Sulawesi Earthquake and Tsunami Disasters, *Landslide*, **16**, 195-200 (2019).

- Setyonegoro, W., Gempabumi Padang 30 September 2009 dan Potensi Tsunaminya, *Buletin Meterorologi Klimatologi dan Geofisika*, **7**, 163-171 (2013).
- Soebowo, E., Sarah, D., Kumoro, Y. dan Satriyo, N.A., Identifikasi Zona Penurunan Tanah Akibat Likuifaksi di Daerah Serangan-Tanjunggenda, Bali Selatan, (*Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi-LIPI, Bandung, 2011*), hal.193-198.
- Solihuddin, T., Karakteristik Pantai dan Proses Abrasi di Pesisir Padang Pariaman, Sumatra Barat, *Majalah Ilmiah Globe* **13**, 112-120 (2011).
- Tohari, A., Syahbana, A.J., Satrio, N.A. dan Soebowo, E., *Karakteristik Likuifaksi Tanah Pasiran di Kota Padang Berdasarkan Metode Microtremor*, (Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknik-LIPI, Bandung, 2013), hal.95-105.
- Warman, H. dan Jumas, D.Y., Kajian Potensi Likuifaksi Pasca Gempa Dalam Rangka Mitigasi Bencana di Padang, *Jurnal Rekayasa Sipil*, **9**, (2013).