

DELINEASI SUBSIDEN PADA ZONA ALTERASI DI LAPANGAN PANASBUMI ULUBELU BERDASARKAN INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE RADAR TIME SERIES

DELINEATION OF SUBSIDENCE IN THE ALTERATION ZONE IN ULUBELU GEOTHERMAL FIELD BASED ON INTERFEROMETRY SYNTHETIC APERTURE RADAR TIME SERIES

Ahmad Zaenudin^{1*}, Ilham Triputra Sofiadin², Rachmat Arief³

^{1,2}Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

³ Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, LAPAN

Received: 2020, June 12th

Accepted: 2020, June 21st

Keyword:

Ulubelu;
Subsidence;
InSAR.

Correspondent Email:

ahmad.zaenudin@eng.unila.ac.id

How to cite this article:

Zaenudin, A., Sofiadin, I.T., & Arief, R. (2020). Delineasi Subsiden Pada Zona Alterasi di Lapangan Panasbumi Ulubelu Berdasarkan Interferometry Synthetic Aperture Radar Time Series. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 06(03), 190-196.

© 2020 JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstrak. Ulubelu adalah kawasan panasbumi dengan Pertamina Geothermal Energi (PGE) sebagai pengelola yang ada di Gn. Kukusan, Sula, Kabawok, Kuripan, dan Rindingan. Pembelajaran tentang subsiden dibutuhkan dalam antisipasi bencana. Penelitian ini memakai data 33 SAR Sentinel1-A dikombinasikan untuk membuat APS kemudian dilakukan multi temporal analisis agar dapat memunculkan InSAR *time series* dari 2018 September hingga 2017 April. InSAR *time series* bisa mendeteksi gejala subsiden secara praktis dan cepat. Kecepatan subsiden tanah di Ulubelu memiliki nilai rata 3,3 mm/th. Subsiden pengaruh dari pemadatan batuan teralterasi. Disisi lain, geologi struktur (patahan) dan keberagaman litologi serta beban permukaan ikut serta mempengaruhi subsiden. Daerah subsiden terparah ada di Pekon Gn. Tiga, Karang Rejo, Muara Dua dan Pagar Alam. Perlu dilakukan mitigasi sejak dini untuk wilayah terdampak subsiden terparah di sekitar panas bumi Ulubelu.

Abstract. Ulubelu is a geothermal region managed by Pertamina Geothermal Energy (PGE) located in Mount Kukusan, Sula, Kabawok, Kuripan and Rindingan. The learning of subsidence is required for disaster mitigation. This research use 33 SAR data of Sentinel1-A which bundled for generate an APS and then using multi temporal analysis to generate InSAR *time series* from 2018 September to 2017 April. InSAR *time series* can detect indication of subsidence practically and quickly. Decrease velocity of subsidence in the Ulubelu geothermal region is an average of 3,3 mm/yr ($X=453.558$, $Y=9.412.437$, 48 S zone). This subsidence is domination by altered rocks compaction. In the other hand, the geological structure (faults) and lithology also surface loading affected the subsidence. Pekon Gn. Tiga, Karang Rejo, Muara Dua and Pagar Alam are the worst of subsidence area. Mitigation must to be clear early for areas that have the worst subsidence in Ulubelu geothermal field.

1. PENDAHULUAN

Ulubelu ialah daerah panas bumi yang berposisi di Kab. Tanggamus, Lampung. Panas bumi Ulubelu mencakup lima pekon yaitu Pagar Alam, Muara Dua, Ngarip, Karang Rejo, dan Datarajan berposisi pada Gn. Kukusan, Sula, Kabawok, Kuripan dan Rindingan. Sistem panas bumi di Ulubelu campuran dari Rendingan - Ulubelu - Way Panas (RUW) (Suharno, 2013).

Banyaknya aktivitas pada area panas bumi di Ulubelu dapat mempengaruhi tingkat kestabilan tanah maka perlu dilakukan *monitoring* seiring dengan berjalannya waktu agar tidak terjadi subsiden tanah.

Banyak metode untuk mengetahui subsiden. Sejalan perkembangan zaman, citra satelit digunakan karena mempunyai cakupan spasial luas dan akurasi tinggi serta dapat menjangkau *remote area* (Setyadi, 2013).

Dalam penelitian ini, analisis subsiden dilakukan menggunakan *radar* Sentinel-1A dengan metode APS dan dianalisis dengan *multi-temporal* serta dianalisis InSAR *time series* sehingga nampak daerah subsiden yang terjadi.

Adapun tujuan penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

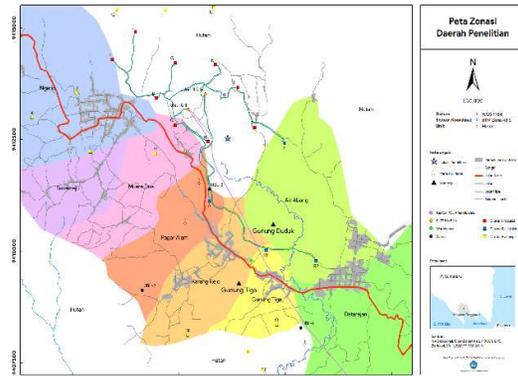
1. Mengetahui sebaran daerah indikasi subsiden di lapangan panas bumi Ulubelu.
2. Menganalisis hubungan potensi subsiden dengan aktivitas yang ada di daerah penelitian.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kecamatan Ulubelu terletak di Kab. Tanggamus, Prov. Lampung. Kec. Ulubelu terdapat 16 pekon dengan total luas keseluruhan Kec. Ulubelu mencapai 344,28 km². Total penduduk di Kec. Ulubelu mencapai 84.238 jiwa di tahun 2017 dengan percepatan pertumbuhan setiap tahunnya sebesar 85,06 dalam rentang 2016 sampai 2017 dan kepadatan penduduk 2.806 per km² (BPS, 2018).

Lapangan panas bumi Ulubelu termasuk dalam WKP Way Panas Lampung yang terletak

pada posisi 05°15'16"-05°31'29" LS 104°27'25"-104°43'31" BT dengan luas 92.064 ha. Panas bumi Ulubelu ada pada Pekon Ngarip, Karang Rejo, Muara Dua, Datarajan dan Pagar Alam. Lokasi daerah penelitian di zona 48 S titik X=453.558 m, Y=9.412.437 m (**Gambar 1**).



Gambar 1. Peta Zonasi Daerah Penelitian.

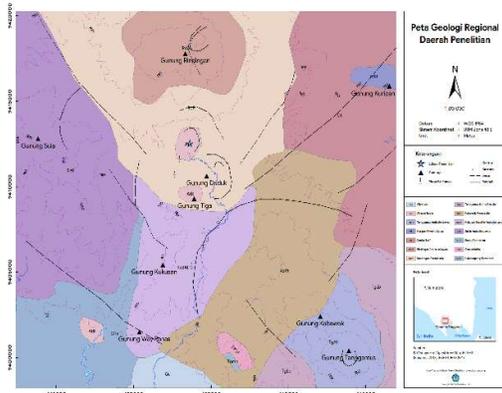
Topografi di daerah penelitian rata-rata curam dengan ketinggian 300-1.600 m. titik paling bawah di 300-400 m pada posisi dibagian selatan, untuk dataran paling luas di tengah dengan tinggi 700-800 m disekitari oleh Gn. Api Kukusan, Sula, Kabawok, Kuripan dan Rindingan (Sarkowi, 2010).

Panas bumi Ulubelu ada di bagian selatan daerah bukit barisan hasil dari pergerakan Patahan Semangko dengan pergerakan rata-rata 6-7 mm per tahun dan berdampak pada struktur regional. Geologi di Ulubelu terdapat vulkanik yang muda, daratan aluvial, bukit struktur tererosi, vulkanik tua tersesarkan (Husein dkk., 2015).

Kondisi geologi Ulubelu berumur pleistosen-holosen yang dominan batu vulkanik muda dengan batuan tufa, lava dan breksi. Batuan tertua yaitu pra-tercier berjenis metamorf (tingkat metamorf rendah-sedang) (Amin dkk., 1994; Suharno, 2013).

Batuan tersier vulkanik bermula dari Gn. Sula, Duduk dan Kukusan dengan batuan basal, lava dasitik, piroksen dan andesit basaltic sebagai komposisinya. Gn. tersebut berada di wilayah penelitian dengan batuan vulkanik ke arah barat daya dan barat (Suharno & Browne, 2000). Batuan kuarter vulkanik lahir dari

produk Gn. Rindingan dan Tanggamus yang terdiri lava riolit, tufa, breksi dan batuan lava andesit (**Gambar 2**).



Gambar 2. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian.

Batuan di panasbumi dapat mengalami perubahan zat karena panas dari fluida dengan ciri adanya mineral alterasi hidrotermal dan batuan alterasi. Lapangan panasbumi yang aktif dapat memberikan informasi mengenai proses interaksi antara batuan dengan fluida (Henneberger & Browne, 1988).

Jenis mineral atau batuan alterasi yang ada di sumur eksplorasi tersusun oleh kaolinit, illit, smektit (montmorilonit), klorit dan campuran dari mineral tersebut (Siahaan dkk., 2015). Hasil analisis pada ketiga sumur terindikasi terdapat zona alterasi tipe hidrotermal yang terdiri dari zona klorit-epidot, klorit, lapisan campuran lempung dan smektit (Suharno & Browne, 2000). Hasil perhitungan umur lewat metode carbon, batuan alterasi dapat terbentuk 2.000-3.000 tahun belakangan, batuan dike yang mengalami alterasi berumur 0,56-0,23 juta tahun lalu, indikasi ada sumber panas di Ulubelu (Mulyadi, 2000).

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Subsiden

Subsiden adalah proses penurunan muka tanah yang berpatokan pada datum tertentu dengan berbagai jenis variabel penyebabnya (Archenita dkk., 2015).

Dari hasil penelitian, asal amblesan tanah adalah pembebanan bangunan, timbunan

tanah, pemampatan aluvial secara, padatan sedimen, penambangan, padatan lempung akuifer dan turunnya air tanah bawah (Soedarsono & Arief, 2017) serta bisa juga terjadi karena beberapa alasan seperti penggunaan air tanah berlebih, pengaruh konstruksi atau infrastruktur di permukaan, padatan endapan aluvial alamiah dan aktifitas tektonik (Zaenudin dkk., 2017).

3.2. Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh (*remote sensing*) adalah ilmu memperoleh data permukaan bumi tanpa harus bersentuhan. Dilakukan dengan penginderaan dan pencatatan refleksi atau emisi energi dari objek yang diproses, dianalisis dan diterapkan informasinya (Bhatia, 2008).

3.3. Synthetic Aperture Radar (SAR)

Sensor *radar* sendiri sekarang ada RAR dan juga SAR. Sensor RAR membangkitkan pulsa *radar*, kemudian dengan antena dan membentuk berkas dengan arah yang cenderung tegak lurus pada jalur yang dilalui kemudian pulsa diterima *radar* menjadi sinyal elektrik. Sensor SAR adalah teknologi penggambaran *radar* dengan memanfaatkan teknik proses sinyal agar antena ukuran kecil dapat menghasilkan seperti antena yang berukuran panjang dengan menggerakkan antena.

Informasi pada citra SAR adalah amplitudo dan fase. Fase berupa interferometri dari dua citra SAR. Sedangkan amplitudo merupakan nilai dari pantulan *scattering*. Ada dua pantulan yakni volume *scattering* dan *surface scattering*.

Nilai pantulan dipengaruhi tingkat kekerasan permukaan objek. Permukaan halus akan menyebarkan banyak sinyal, sedangkan permukaan kasar akan memfokuskan sinyal balik ke sensor lebih. Semakin kasar permukaan maka nilai pantul akan tinggi, pada SAR akan berwarna putih.

3.4. Interferometri SAR (InSAR)

Interferometri SAR atau yang biasa disebut InSAR atau IFSAR merupakan teknik

penggabungan lebih dari satu citra SAR dalam liputan sama. Ketika diregistrasi akan dapat melihat informasi fase. Teknik InSAR ada tiga jenis dilihat dari jumlah antena pada liputan citra dan orientasinya yaitu *across track*, *along track* dan *repeat pass*.

Pasangan citra sering disebut *master* dan *slave*. *Master* adalah citra yang dipakai untuk acuan utama dalam melakukan interpolasi perhitungan untuk *slave*. *Slave* sendiri adalah citra dengan liputan sama yang memiliki waktu akuisisi berbeda. Dapat dipakai untuk perbandingan data dengan citra *master*.

Dua atau lebih gelombang berkolaborasi, akan ada interferensi gelombang. Pada pasangan SAR hasil interferometri disebut citra beda fase atau interferogram. Citra beda fase yang diperoleh dari InSAR memiliki informasi topografi wilayah karena interferogram menjadikan pola seperti kontur, pola geometrik berupa pola garis sistematis akibat perbedaan sensor posisi dan pola diferensial yang menggambarkan adanya perubahan jarak dua SAR karena perubahan muka tanah, refraksi atmosfer dan perubahan lahan. Perubahan topografi wilayah diketahui karena ada perbedaan waktu akuisisi yang berdampak perbedaan frekuensi yang diterima pada wahana. Teknik InSAR ini digunakan pada keperluan pemantauan naik turun permukaan bumi maupun pembuatan DEM.

3.5. Prosedur Penelitian

Penelitian ini memakai data SLC (Level 1 Sentinel-1A) dengan polarisasi VV (vertikal sejajar) dan *subswath* 2. Data *Precise Orbit Ephemerides* diperlukan untuk koreksi orbit satelit. *Dataset* yang digunakan adalah *Frame 1162 Path 171*. Data *master* yang dengan tanggal akuisisi 30-03-2018.

Ekstraksi *master* dan *slave* (19 *slave*) dari data SLC dilakukan untuk melakukan koregistrasi antar *dataset*. Perhitungan *reflectivity map* dan *amplitude stability index* dilakukan karena data SAR merupakan aktif sensor yang menggunakan gelombang mikro dan mengemisikan gelombang radio, refleksi

dari emisi gelombang radio ini yang sangat signifikan.

Struktur besi, aspal dan infrastruktur memiliki intensitas refleksi yang sangat tinggi. Intensitas refleksi juga dipengaruhi oleh frekuensi kanal gelombang dari sensor yang digunakan, semakin kecil frekuensi semakin besar reflektansi dan semakin besar frekuensi maka semakin tinggi rasio penetrasi.

Proses *mask for sparse points selection* dilakukan dengan *local maxima*. *Preliminary* analisis ini dilakukan dalam pre-prosesing data dalam membuat interferogram.

Pemilihan eksternal DEM SRTM dan penentuan *Ground Control Point* (GCP) serta perpaduan *synthetic amplitude* dan eksternal DEM bertujuan dalam proses konversi data SAR dari geometri *range azimuth* menjadi sistem koordinat kartografik karena dalam *terrain geocoding* memerlukan data DEM sedangkan untuk *ellipsoidal geocoding* tidak perlu tambahan data DEM. Selain itu, data DEM juga digunakan dalam pembentukan interferogram.

GCP sendiri berfungsi sebagai titik acuan dalam pengolahan data. GCP dalam penelitian ini ditentukan dari *auto* GCP dengan bantuan data DEM dan juga dari hasil *screening* secara visual pada titik yang tidak mengalami deformasi serta memiliki nilai koherensi yang tinggi, ini dilakukan pada tahap pemilihan *reference point* pada pengolahan InSAR.

Parameter *amp. stab. index* yang digunakan adalah nilai *threshold* 0,85. Estimasi APS yang digunakan adalah tipe *inverted* residual untuk melihat fase satu persatu. Nilai koherensi dapat di cek ketika sebelum dan setelah dilakukan *removing the estimated APS*. Jika nilai tetap tinggi maka APS *estimation* baik.

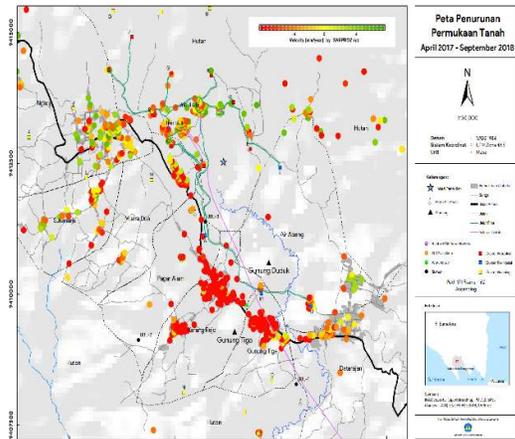
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Indikasi Subsiden

Dari hasil pengolahan data SAR pada *dataset frame 1162 path 171* (September 2018 - April 2017) dengan menggunakan metode InSAR *Time Series* diperoleh nilai subsiden di daerah

penelitian dengan rentang skala minimum -10 mm/tahun dan maksimum 10 mm/tahun yang direpresentasikan dalam bentuk titik (Titik Subsiden) (**Gambar 3**).

Dalam rentang kurun waktu September 2018 – April 2017 pada daerah penelitian mengalami indikasi subsiden dengan nilai rata-rata kecepatan -3,29748 mm/tahun dari 713 titik daerah penelitian.



Gambar 3. Peta Titik Subsiden September 2018 - April 2017.

4.2. Korelasi Data Pendukung

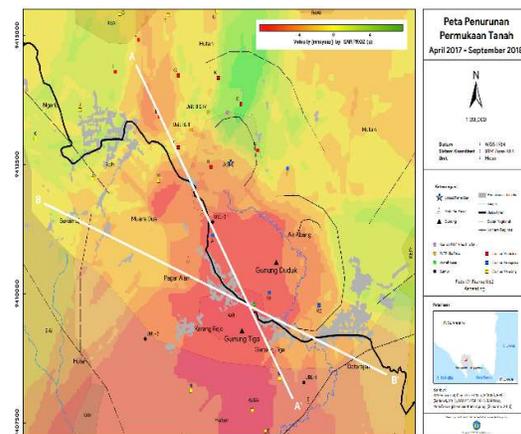
Dari data geologi regional terlihat adanya korelasi antara data perhitungan indikasi subsiden dengan sesar maupun kaldera. Batas dari indikasi subsiden terlihat jelas oleh sesar dengan arah barat laut ke tenggara yang ada di barat daya daerah penelitian. Selain itu juga, terdapat sesar di Pekon Datarajan dengan arah timur laut barat daya yang juga membatasi indikasi subsiden. Kedua hal ini juga didukung dengan perbedaan litologi antara formasi KkBAL (kukusan basaltik andesit lava) dengan Litologi RdPr (rindingan piroklastik).

Nilai indikasi subsiden yang terbesar dipengaruhi oleh dua buah kaldera yang berada ditengah titik daerah penelitian terlihat jelas terdapat graben dan disekitar Gn. Duduk bisa. Dilihat dari litologinya, terdapat perbedaan antara batuan AtR (batuan teralterasi) dengan litologi RdPr (rindingan piroklastik). Dari data geologi regional terbilang kompleks untuk wilayah ini. Formasi KkBAL berumur miosen

dengan litologi berupa tufa vulkaniklastik dan memiliki ketebalan 100-200 m. Batuan perubahan akibat ada suhu yang ekstrim. Litologi RdPr berasal dari intrusi bawah permukaan Gn. Rindingan yang berada di utara dari lokasi daerah penelitian. Umur Gn. Rindingan itu sendiri 1,4 juta tahun yang terbilang lebih muda dari pada umur dari Gn. Duduk dengan umur 3,9 juta tahun (Suharno, 2013).

4.3. Lintasan Data

Dari peta subsiden interpolasi *overlay* geologi dengan rentang waktu September 2018 hingga April 2017 (**Gambar 4**) dilakukan *slicing* data interpolasi perhitungan hasil subsiden. Terdapat dua buah *line slicing* yaitu A ke A' dan *line slicing* B ke B' yang saling dikorelasikan dengan data topografi dari data DEM SRTM V4 3-Arc Second dan kondisi geologi dari Peta Geologi Lmbr. Kt. Agung serta peta geologi regional.

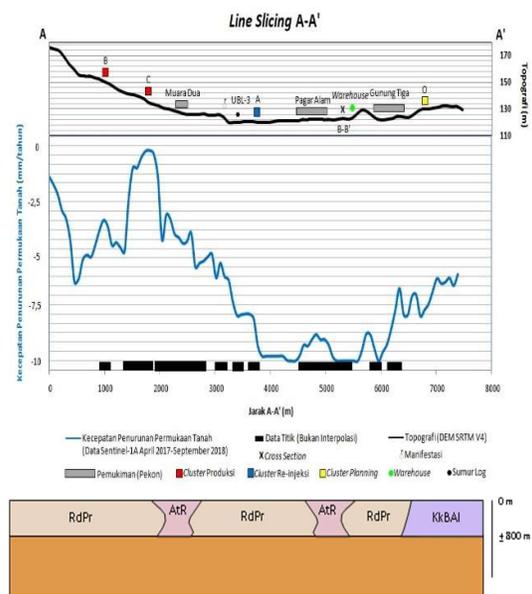


Gambar 4. Peta Interpolasi Titik Subsiden September 2018 - April 2017.

Dilihat dari *line slice* A - A' terdapat hubungan subsiden dengan kecepatan \pm -5 mm/tahun dengan pemukiman Pekon Muara Dua serta batuan teralterasi (AtR). Keberadaan AtR juga dibuktikan dengan adanya manifestasi permukaan danau hijau. Tak jauh dari situ juga terdapat sumur UBL-3 dan area *cluster* re-injeksi A. Selain itu, hubungan juga terlihat pada pemukiman Pekon Gn. Tiga dan Pagar

Alam dengan subsiden dengan kecepatan ± -10 mm/tahun serta batuan teralterasi (AtR).

Diantara kedua pemukiman terdapat *warehouse* atau yang dulunya Kantor PGE Ulubelu dan tak jauh dari sana terdapat area *cluster* re-injeksi R1. Di area ini juga terdapat Gn. Duduk dibagian timur laut dan Gn. Duduk disebelah barat daya. Tidak jauh dari area *cluster planning* O terdapat perbedaan litologi antara batuan rindingan piroklastik (RdPr) dengan kukusan basaltik andesit lava (KkBAI) yang disertai dengan adanya subsiden dengan kecepatan $\pm -7,5$ mm/tahun. Tak jauh dari area *cluster planning* ini terdapat sumur UBL-1 dan manifestasi (Gambar 5).

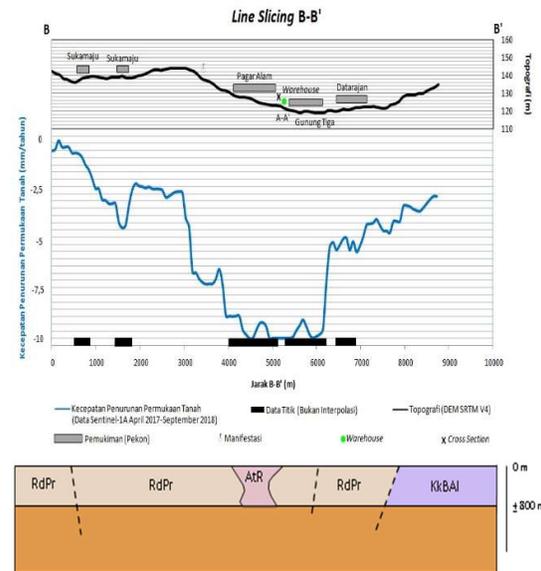


Gambar 5. Line Slicing A - A'.

Dilihat dari *line slice* B - B' terdapat hubungan subsiden dengan kecepatan ± -4 mm/tahun dengan permukiman Pekon Sukamaju serta adanya struktur geologi berupa patahan. Lainnya, hubungan yang jelas terlihat pada Pekon Datarajan, Gn. Tiga, Pagar Alam dan Datarajan dengan subsiden dengan kecepatan ± -10 mm/tahun, serta adanya batuan teralterasi (AtR).

Diantara pemukiman Pekon Gn. Tiga dan Pagar Alam terdapat *warehouse* dan tak jauh dari sana terdapat area *cluster* re-injeksi R1 serta diapit oleh Gn. Duduk dibagian Timur Laut dan Gn. Duduk disebelah barat daya. Diantara

permukiman Pekon Gn. Tiga dan Pekon Datarajan terdapat struktur kaldera dari Gn. Duduk (3,9 juta tahun). Tak jauh dari permukiman Pekon Datarajan terdapat patahan dan juga batas litologi antara batuan rindingan piroklastik (RdPr) dengan kukusan basaltik andesit lava (KkBAI) yang disertai dengan adanya subsiden dengan kecepatan $\pm -4,5$ mm/tahun (Gambar 6).



Gambar 6. Line Slicing B - B'.

Litologi Batuan RdPr dan KkBAI merupakan bagian dari litologi Qhv (batuan gn. api kuartar muda) dengan umur holosen ke pleistosen yang terdiri dari batuan tufa, basaltic andesit lava, dan breksi dengan ketebalan ± 800 m. Jauh dibawahnya terdapat formasi hulusimpang (Tomh) yang berumur miosen hingga oligosen akhir dengan batuan breksi vulkanik dan lava (Suharno, 2011). Dari semuanya, batuan teralterasi (AtR) adalah batuan dengan umur paling muda, batuan ini juga terbentuk karena adanya *outflow* dari bawah permukaan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Daerah penelitian memiliki indikasi subsiden dengan nilai rata-rata kecepatan 3,3 mm/tahun (September 2018 - April

- 2017) dengan subsiden terparah -10 mm/tahun.
2. Daerah yang terindikasi subsiden berada pada Gn. Duduk, Gn. Tiga dan rim structure yang merupakan pemukiman Pekon Gn. Tiga, Karang Rejo, Pagar Alam, Muara Dua.
 3. Potensi subsiden di daerah penelitian terjadi karena faktor alamiah seperti pemadatan batuan teralterasi (AtR) dan struktur geologi regional.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan terhadap penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, T. C., Sidarto, S., Santosa & Gunawan, W. (1994). *Geologi lembar Kotaagung, Sumatera*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Archenita, D., Silvianengsih, Hamid, D., Natalia, M. & Misriani, M. (2015). Kajian land subsidence untuk kekuatan tanah (studi kasus Sawahlunto). *Rekayasa Sipil*, 12(2). ISSN:1858-3695.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Tanggamus. (2018). *Kecamatan Ulu Belu dalam angka 2018*. ISBN:978-602-351-027-6.
- Bhatia, S. C. (2008). *Fundamentals of remote sensing*. Atlantic Publishers & Distributors (P) Ltd. ISBN-10:9788126909315.
- Henneberger, R. C. & Browne, P. R. L. (1988). Hydrothermal alteration and evolution of the Ohakuri hydrothermal system, Taupo volcanic zone, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 34, 211-121.
- Husein, S., Setianto, A., Nurseto, S. T. & Koestono, H. (2015). Tectonic control to geothermal system of Way Panas, Lampung, Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress*. Melbourne: Australia.
- Mulyadi. (2000). Ulubelu, the most developed geothermal area in South Sumatra. *Proceedings World Geothermal Congress*. Kyushu-Tohoku: Jepang.
- Sarkowi, M. (2010). Identifikasi struktur daerah panasbumi Ulubelu berdasarkan analisa data SVD anomali bouguer. *Jurnal Sains MIPA*, 16(2), 111-118. ISSN:1978-1873.
- Setyadi, B. (2016). Analisis penurunan muka tanah dengan small baseline subset differential SAR interferograms di Kota Bandarlampung. Lampung: Program Studi Teknik Geofisika, Universitas Lampung.
- Siahaan, E. E., Sasradipoera, D. S., Silitonga, T. H., Pelmelay, C., Koestono, H., Mubarak, M. H. & Rifki, G. (2015). Success development drilling in Ulubelu green field in South Sumatra based on geological structure evidence, generate 4X55MW. *Proceedings World Geothermal Congress 2015*. Melbourne: Australia.
- Soedarsono & Arief, R. B. (2017). *Prediksi amblesan tanah (land subsidence) pada dataran aluvial di Semarang bagian bawah*. Semarang: Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan. UNISSULA.
- Suharno. (2013). Reservoir review of the Rendingan-Ulubelu-Waypanas (RUW) geothermal field, Lampung, Indonesia. *Geothermal Resources Council (GRC) Transactions*, 37, 471-477.
- Suharno & Browne, P. R. L. (2000). Subsurface hydrothermal alteration at the Ulubelu geothermal field, Lampung, Southern Sumatra, Indonesia. *Proceedings Twenty-fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, California: Stanford University.
- Zaenudin, A., Haerudin, N., Darmawan, I. G. B. & Wibowo, Y. A. (2017). *Eksplorasi sumber daya mineral remote sensing, geologi dan geofisika - buku ajar*. Bandarlampung: Pusaka Media, Korpri Jaya Sukarame. ISBN:978-602-54520-26-9

