



ANALISIS POTENSI LIKUEFAKSI DAERAH PALU BERDASARKAN KECEPATAN GELOMBANG GESER DAN PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM (STUDI KASUS GEMPABUMI PALU 28 SEPTEMBER 2018 MW 7,4)

Sandy Tri Gustono^{1*}, Haura Dhiya Amaninida¹, Arif Alhazmi Fauzi²

¹*Sekolah Tinggi Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika / Jl. Perhubungan I No. 5 Pondok Betung, Kota Tangerang Selatan, Banten 15221*

²*Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika /Jl. Angkasa I No. 2 Kemayoran, Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10720*

Email: sandytri.gustono@stmkg.ac.id

INFO ARTIKEL

Status artikel:

Diterima: 27 November 2021

Disetujui: 30 Desember 2021

Tersedia online: 31 Desember 2021

Keywords: Liquefaction, V_s , FS, CRR, CSR

ABSTRACT

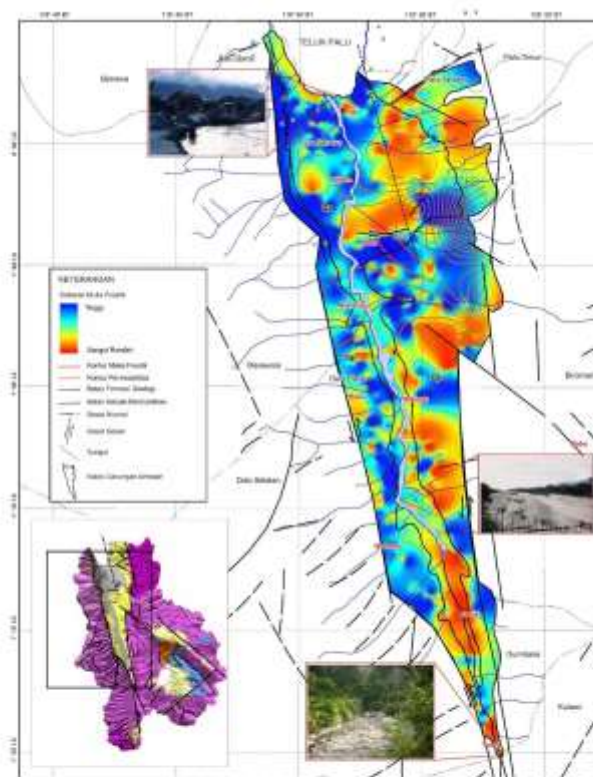
The Palu-Donggala earthquake on 28th September 2018 caused huge losses, especially losses caused by liquefaction in several regions. Liquefaction is a phenomenon in which the strength of the soil layers is reduced due to earthquake shaking. So far, many studies on liquefaction have used Cone Penetration Test (CPT) and Standard Penetration Test (SPT) data, whereas shear wave velocity (V_s) data can be an alternative for the research. This study aims to analyze the potential for liquefaction after the earthquake on 28th September 2018 by using shear wave velocity data (V_s) and the NCEER method at three different peak ground acceleration. This study uses measurement data that has been carried out at 67 points around the Palu area, Central Sulawesi. The potential of the liquefaction is determined based on the value of the shear wave velocity (V_s) which is then analyzed to obtain the Factor of Safety (FS) value which obtained from a comparison of the value of the Cyclic Resistance Ratio (CRR) and the value of the Cyclic Stress Ratio (CSR). The area is assumed to have a liquefaction potential if the FS value is less than one. Based on the results of this research, almost all the areas show the potential for liquefaction in the three values of peak ground acceleration. The only thing that distinguishes the three results is the total thickness of the liquefaction layer at each measurement point

1. PENDAHULUAN

Pada 28 September 2018 pukul 17:02:45 WIB, gempa bumi berkekuatan M_w 7,4 mengguncang daerah Sulawesi Tengah dan juga memicu beberapa bencana susulan, salah satunya adalah likuefaksi (BMKG, 2018). Dalam kejadian gempa bumi tersebut, Petobo dan Balaroa menjadi daerah dengan wilayah terdampak likuefaksi yang cukup parah dengan luasan wilayah berturut-turut 1,628 km² dan 0,422 km².

Menurut Marcuson (1978) selain faktor dari sumber gempa bumi, terdapat beberapa faktor yang juga menyebabkan terjadinya likuefaksi di suatu daerah, di antaranya adalah kedalaman muka air tanah dan jenis tanah. Pada daerah Palu (Gambar 1), kedalaman muka air tanah berkisar 2 – 5 meter di bawah permukaan tanah. Di beberapa tempat yang lebih rendah bahkan memiliki kedalaman muka air tanah kurang dari 2 meter di bawah permukaan tanah. Sedangkan untuk lereng yang agak tinggi kedalamannya bisa lebih dari 10 meter (Zeffitni, 2013).

Kondisi geologi Palu didominasi oleh jenis *alluvium* dan endapan pantai (Qap) yang umumnya terdiri dari pasir di bagian atas, lanau di bagian tengah dan lempung di bagian bawah. Kedalaman muka air tanah pada jenis ini berkisar antara 0,5 – 16 meter di bawah permukaan tanah. Faktor-faktor yang sudah dijelaskan di atas mendukung terjadinya likuefaksi di daerah Palu.

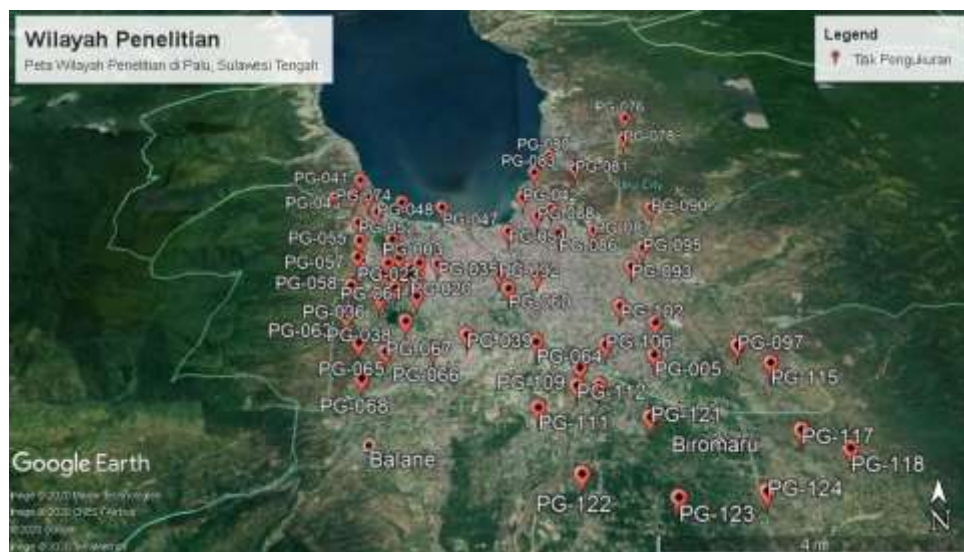


Gambar 1. Peta hidrogeologi di cekungan air tanah Palu (Zeffitni, 2013).

Oleh karena itu, berdasarkan kajian di atas, penelitian mengenai potensi likuefaksi sangatlah diperlukan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui daerah Palu yang berpotensi terjadi likuefaksi dengan menghitung kecepatan gelombang geser pada kedalaman 30 m (V_{s30}) dan mengetahui probabilitas nilai percepatan maksimum di batuan dasar yang berpotensi mengakibatkan likuefaksi. Magnitudo yang digunakan adalah magnitudo gempa bumi pada kejadian gempa bumi tanggal 28 September 2018. Perhitungan yang digunakan adalah metode penilaian potensi likuefaksi menggunakan kecepatan gelombang geser (V_s) berdasarkan dari *simplified procedure* (prosedur penyerderhanaan) yang telah diperbarui oleh *National Center for Earthquake Engineering Research* (NCEER). Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menjadi informasi penting bagi pemerintah setempat maupun masyarakat di daerah Palu sebagai bahan pertimbangan dalam pembangunan kembali pemukiman dan infrastruktur yang rusak serta antisipasi dan mitigasi bencana ke depannya.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian secara kuantitatif dan kualitatif untuk penentuan kecepatan perambatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter (V_{s30}) dan untuk mengidentifikasi potensi likuefaksi di lokasi penelitian berdasarkan model matematis. Dalam penelitian ini, lokasi yang digunakan adalah daerah Palu, Sulawesi Tengah dengan koordinat $0,35^\circ - 1,20^\circ$ LU dan $120^\circ - 122,90^\circ$ BT. Data yang digunakan adalah data kecepatan perambatan gelombang geser pada kedalaman 30 meter (V_{s30}) dari hasil pengukuran mikrotremor sebanyak 67 lokasi (Gambar 2) dan data kedalaman air tanah berupa peta dan tabel kedalaman air tanah bebas yang dilakukan oleh Zeffitni (2013). Data selanjutnya diolah dengan metode inversi *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) menggunakan aplikasi *HVInv* (Piña-Flores dkk., 2017) dan perhitungan potensi likuefaksi dengan metode *National Center Earthquake Engineering Research* (NCEER).



Gambar 2. Lokasi penelitian

Perhitungan Potensi Likuefaksi dengan Metode NCEER

a. Menghitung nilai *Cyclic Stress Rasio* (CSR)

Cyclic Stress Rasio (CSR) merupakan parameter sebagai indikasi besar pengaruh seismik terhadap tekanan siklik pada setiap lapisan tanah. Perumusan CSR yang diformulasikan oleh Seed dan Idriss (1971) dapat dilihat pada persamaan (1).

$$CSR = 0,65 \times \left(\frac{a_{max} \times \sigma_{v0}}{g \times \sigma_{v0}'} \right) \times r_d \quad (1)$$

Keterangan:

- a_{max} = percepatan tanah maksimum (cm/dtk²)
- g = gravitasi bumi (981 cm/detik²)
- σ_{v0} = tegangan total *overburden* tanah
- σ_{v0}' = tegangan efektif *overburden* tanah
- r_d = koefisien reduksi tegangan

b. Menghitung nilai *Cyclic Resistance Rasio* (CRR)

Cyclic Resistance Rasio (CRR) merupakan prosedur untuk mengevaluasi ketahanan tanah terhadap likuefaksi. Dalam mendapatkan nilai untuk CRR, terdapat empat tes yang dapat dilakukan. Namun, pada penelitian ini digunakan tes pengukuran kecepatan gelombang geser (V_{S1}). Andrus dan Stokoe (1997) menyimpulkan hubungan antara CRR dan V_{S1} seperti terdapat pada persamaan (2).

$$CRR = a \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + b \left(\frac{1}{V_{S1}^* - V_{S1}} - \frac{1}{V_{S1}^*} \right) \quad (2)$$

Keterangan:

- V_{S1} = kecepatan gelombang geser yang telah dikoreksi oleh tegangan *overburden*
- V_{S1}^* = batas atas nilai V_{S1} terkoreksi *overburden*
- a, b = ketetapan parameter kemiringan kurva

c. Menghitung *factor of safety* (FS)

Nilai *factor of safety* (FS) digunakan sebagai penentu faktor keamanan dari likuefaksi pada lapisan tanah dengan cara membandingkan antara nilai *Cyclic Resistance Rasio* (CRR) dengan Menghitung nilai *Cyclic Stress Rasio* (CSR) (Youd dkk., 2001), yaitu:

$$FS = \left(\frac{CRR}{CSR} \right) MSF \quad (3)$$

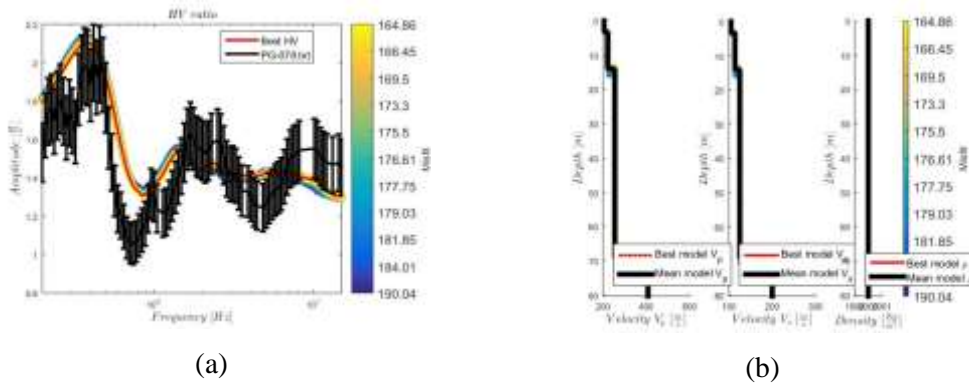
Dengan nilai *Magnitude Scaling Factor* (MSF) menurut Andrus dkk. (2003):

$$MSF = \left(\frac{10^{2,24}}{M_w^{2,56}} \right) \quad (4)$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, jika didapatkan nilai *factor of safety* (FS) < 1, maka tanah tersebut memiliki potensi terjadinya likuefaksi. Sebaliknya, jika nilai *factor of safety* (FS) > 1, maka tanah tersebut tidak berpotensi likuefaksi (Youd dkk., 2001).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan nilai V_{S30} rata-rata, dilakukan pengolahan terhadap data rekaman *noise* dari survei mikrotremor yang telah dilakukan menggunakan perangkat lunak *HVInv* untuk mendapatkan model yang sesuai dengan *horizontal to vertical spectral ratios of ambient noise* (HVSARN) dan kemudian diinversikan hingga mendapatkan estimasi nilai V_s . Hasil pengolahan berupa kurva rasio H/V dan model kecepatan gelombang V_s perkedalaman ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) kurva rasio H/V di titik PG-078 (b) model kecepatan gelombang V_s perkedalaman di titik PG-078

Setelah proses pengolahan data tersebut, didapatkan nilai estimasi kecepatan gelombang V_s untuk setiap lapisannya (Tabel 1) yang kemudian akan dilakukan perhitungan kecepatan rata-rata gelombang geser sampai pada kedalaman 30 meter.

Tabel 1. Estimasi kecepatan gelombang V_s per lapisan di titik PG-078

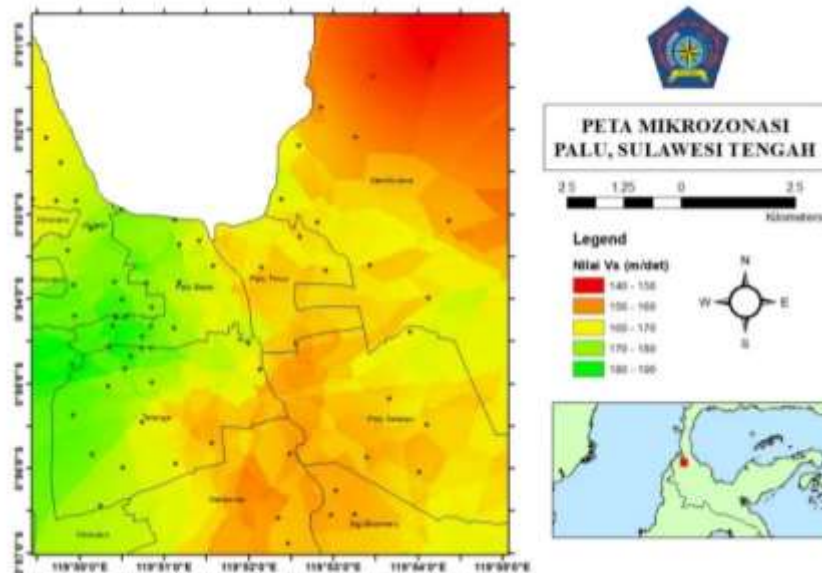
Ketebalan (m)	V_p (m/dtk)	V_s (m/dtk)	Densitas (kg/m ³)
3,15	204,99	104,93	2000
10,49	220,56	114,61	2000
54,87	250,08	125,24	2000
0,0	406,77	200,43	2000

Hasil akhir berupa nilai rata-rata V_{S30} untuk setiap titik tersebut akan digunakan untuk mengetahui klasifikasi jenis tanah pada daerah penelitian berdasarkan SNI 03-1726-2012 (Tabel 2). Adapun pemetaan nilai rata-rata V_{S30} pada lokasi penelitian ditampilkan pada Gambar 4. Perhitungan nilai V_s pada masing-masing kedalaman sangat penting karena

memiliki tujuan untuk mengetahui ketebalan potensi likuefaksi pada satu titik pengukuran sampai kedalaman 30 meter.

Tabel 2. Klasifikasi jenis tanah berdasarkan SNI 03-1726-2012

Klasifikasi Site	V_s (m/dtk)
A. Batuan Keras	$V_s \geq 1500$
B. Batuan	$750 < V_s \leq 1500$
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < V_s \leq 750$
D. Tanah Sedang	$175 < V_s \leq 350$
E. Tanah Lunak	$V_s < 175$



Gambar 4. Peta mikrozonasi wilayah Palu, Sulawesi Tengah

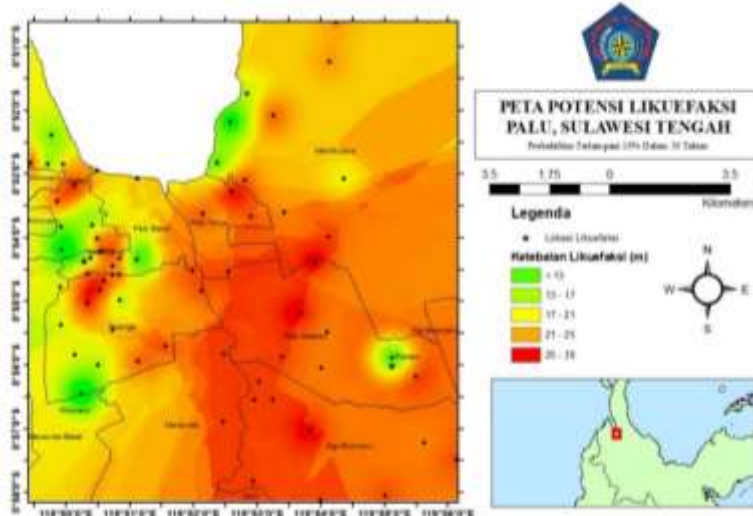
Berdasarkan gambar di atas, wilayah Palu bagian Utara memiliki nilai V_s yang lebih kecil yaitu berkisar antara 140 – 160 m/dtk dibandingkan dengan sebelah Barat yang memiliki nilai berkisar antara 170 – 190 m/dtk. Meski begitu, wilayah Palu menunjukkan jenis tanah dalam kategori berturut-turut, yaitu tanah lunak dan tanah sedang dengan nilai V_s rata-rata pada $V_s < 175$ m/dtk untuk tanah lunak dan $175 < V_s \leq 350$ untuk tanah sedang. Hal ini sesuai dengan struktur geologi wilayah itu sendiri didominasi oleh struktur jenis alluvium dan endapan pantai (Qap) yang umumnya terdiri dari pasir, lanau dan lempung.

Penilaian Potensi Likuefaksi

Penilaian potensi likuefaksi dilakukan dengan menggunakan metode *simplified procedure* yang telah diperbarui oleh NCEER. Parameter yang dibutuhkan dalam mendapatkan penilaian tersebut berupa kecepatan gelombang geser (V_s) pada setiap kedalaman, ketinggian muka air tanah berdasarkan penelitian Zeffitni (2013), besar

magnitudo gempa bumi pada tanggal 28 September 2018 (M_w 7,4), dan tiga nilai percepatan maksimum di batuan dasar, yaitu untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun sebesar 0,8 g, 7% dalam 75 tahun sebesar 1 g dan 2% dalam 50 tahun sebesar 1,2 g.

a. Potensi Likuefaksi Untuk Probabilitas Terlampaui 10% Dalam 50 Tahun

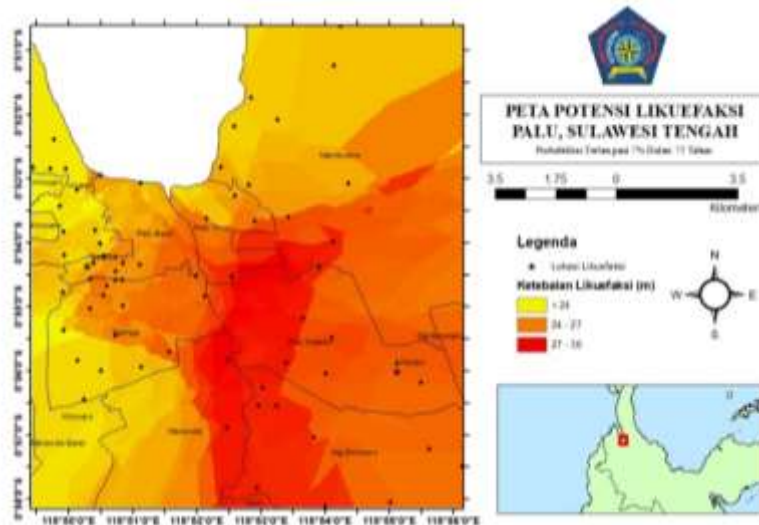


Gambar 5. Peta potensi likuefaksi wilayah Palu, Sulawesi Tengah untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun

Pemetaan potensi likuefaksi untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun menggunakan nilai percepatan maksimum di batuan dasar sebesar 0,8 g. Gambar 5 menunjukkan bahwa seluruh titik pada penelitian di daerah Palu memiliki potensi terjadinya likuefaksi meski dalam ketebalan yang berbeda. Pada wilayah Palu Selatan di mana Petobo merupakan daerah yang sebelumnya terdampak likuefaksi cukup besar menunjukkan bahwa wilayah tersebut masih berpotensi terjadi likuefaksi kembali dengan ketebalan likuefaksi bervariasi antara 13 sampai dengan 30 meter. Hasil yang sama ditunjukkan pada wilayah Palu Barat tepatnya Balaroa yang juga terdampak likuefaksi akibat gempa bumi pada tanggal 28 September 2018. Potensi likuefaksi paling besar ditunjukkan pada bagian tengah dari wilayah Palu. Hasil tersebut sesuai dengan keadaan daerah itu sendiri, mengingat wilayah tersebut dialiri oleh Sungai Palu.

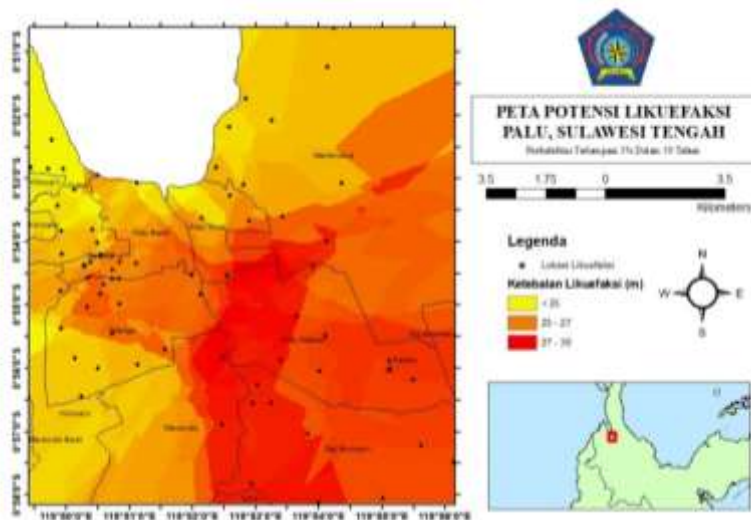
b. Potensi Likuefaksi Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun

Pemetaan potensi likuefaksi untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun menggunakan nilai percepatan maksimum di batuan dasar sebesar 1 g (Gambar 6). Berdasarkan hasil pemetaan di atas, terlihat perubahan yang cukup signifikan dibandingkan dengan pemetaan potensi likuefaksi berdasarkan probabilitas percepatan maksimum di batuan dasar terlampaui 10% dalam 50 tahun (Gambar 5). Beberapa titik di Ulujadi, Palu Barat, Tatanga, Palu Selatan, dan Mantikulore yang semula menunjukkan ketebalan potensi likuefaksi berkisar antara 13 – 17 meter, pada Gambar 6 menunjukkan bahwa ketebalan tersebut bertambah.



Gambar 6. Peta potensi likuefaksi wilayah Palu, Sulawesi Tengah untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

c. Potensi Likuefaksi Untuk Probabilitas Terlampaui 2% Dalam 50 Tahun



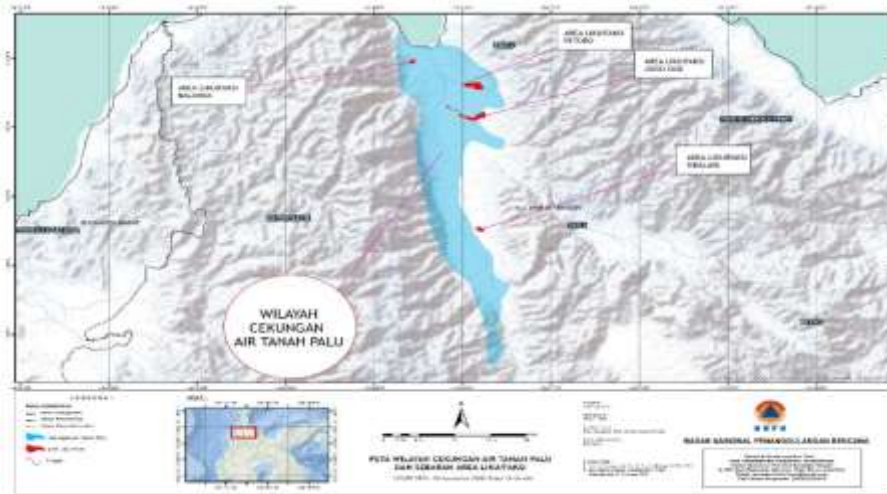
Gambar 7. Peta potensi likuefaksi wilayah Palu, Sulawesi Tengah untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun

Pemetaan berdasarkan probabilitas percepatan maksimum di batuan dasar terlampaui 2% dalam 50 tahun menggunakan nilai percepatan maksimum di batuan dasar sebesar 1,2 g (Gambar 7). Gambar 7 menampilkan hasil yang perbedaannya tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan Gambar 6. Salah satu perbedaan yang cukup terlihat berada di wilayah

Palu Selatan dan Sigi Biromaru yang didominasi oleh warna merah yang menunjukkan ketebalan potensi likuefaksi berkisar antara 27 – 30 meter.

Validasi

Berdasarkan tinjauan geologi daerah penelitian, potensi terjadinya likuefaksi seperti yang ditunjukkan pada peta potensi likuefaksi memungkinkan untuk terjadi. Hal tersebut disebabkan beberapa faktor, antara lain karena wilayah Palu merupakan daerah dengan daratan yang didominasi oleh litologi *alluvium* berumur Holosen yang struktur penyusunnya berupa lumpur, lempung, pasir, kerikil, dan kerakal (Murtolo dan Hasan, 1994). Di samping itu, Wilayah Palu merupakan daerah lembah yang juga merupakan daerah cekungan air tanah (Gambar 8).



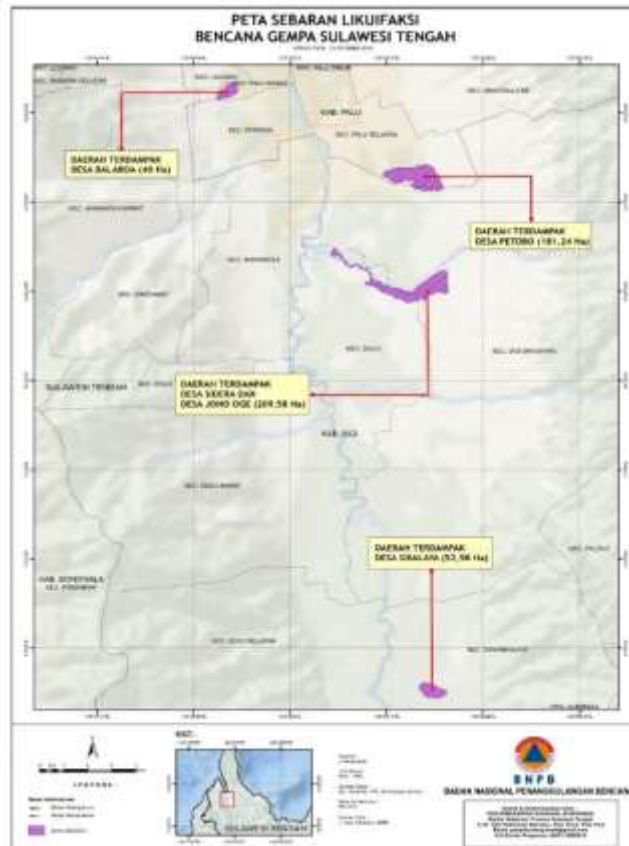
Gambar 8. Wilayah Cekungan Air Tanah Palu (BNPB, 2018)

Selain faktor-faktor yang disebutkan di atas, wilayah Palu memiliki ketinggian muka air tanah yang dangkal (Zeffitni, 2013). Nilai ketinggian muka air tanah untuk masing-masing daerah ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Ketinggian muka air tanah di cekungan air tanah (CAT) Palu (Zeffitni, 2013)

Wilayah Penelitian	Ketinggian Muka Air Tanah (m)
Ulujadi	1,79
Palu Barat	1,38
Tatanga	1,90
Palu Timur	2,25
Mantikulore	2,25
Marawola	1,90
Sigi Biromaru	2,27
Palu Selatan	2,35

Menurut peta yang diterbitkan oleh BNPB (2018), kejadian gempa bumi di Sulawesi Tengah pada 28 September 2018 menimbulkan beberapa kejadian likuefaksi di daerah Balaroa, Petobo, Jono Oge, Sidera, dan Sibalaya (Gambar 9) di mana hal tersebut sesuai dengan posisinya yang berada pada cekungan air tanah Palu.



Gambar 9. Peta sebaran likuefaksi bencana gempa Sulawesi Tengah (BNPB, 2018)

4. SIMPULAN

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa wilayah Palu, Sulawesi Tengah memiliki daerah dengan kriteria tanah sedang dan tanah lunak dengan nilai V_s berkisar antara 140 – 190 m/s. Daerah dengan kriteria tanah sedang berada di barat Palu, tepatnya di daerah Ulujadi, Palu Barat, dan Tatanga dengan nilai V_s berkisar antara 170 – 190 m/dtk. Sedangkan daerah dengan nilai V_s terkecil, yaitu berkisar antara 140 – 160 m/s, terletak di utara Palu, tepatnya di daerah Matikulore. Berdasarkan tiga nilai percepatan maksimum terlampaui di batuan dasar yang telah dilakukan pengolahan, ketiganya menunjukkan bahwa seluruh titik penelitian di wilayah Palu, Sulawesi Tengah memiliki potensi likuefaksi. Yang membedakan ketiganya adalah ketebalan likuefaksi yang mungkin terjadi pada setiap titiknya. Nilai percepatan puncak di batuan dasar untuk probabilitas 2% dalam 50 tahun menunjukkan potensi likuefaksi dengan ancaman tertinggi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Survei Sekolah Tinggi Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (STMKG) dan Stasiun Geofisika Palu atas bantuan data yang telah diberikan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Andrus, Ronald D., dan Kenneth H. Stokoe. 1997. *Liquefaction Resistance Based on Shear Wave Velocity*. NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. Technical Report NCEER-97-0022.
- Andrus, Ronald D., Kenneth H. Stokoe, Riley M. Chung, dan C. Hsein Juang. 2003. *Guidelines for Evaluating Liquefaction Resistance Using Shear Wave Velocity Measurement and Simplified Procedures*. National Institute of Standards and Technology. United States.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2018. *Press Release No: UM.505/9/D3/IX/2018*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2018. *Album Peta Pos Pendamping Nasional*. <https://sites.google.com/view/gempadonggala/album-peta/petasituasi>, diakses pada 27 Juni 2020 pukul 18:06.
- Marcuson dan William F. 1978. *Definition of Terms Related to Liquefaction*, Journal of The Geotechnical Engineering Division. Vol.104 No.9. Hal.1197-1200.
- Murtolo dan Hasan B. S. 1994. *Peta Geomorfologi Lembar Palu dan Sekitarnya Sulawesi Tengah*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung
- Piña-Flores J., Pertou M., García-Jerez A., Carmona E., Luzón F., Molina-Villegas J.C., Sánchez-Sesma F.J. (2017). *The inversion of spectral ratio H/V in a layered system using the diffuse field assumption (DFA)*, Geophysical Journal International 208, 577-588.
- Seed, H. B., dan I. M. Idriss. 1971. *Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential*, Journal of The Geotechnical Engineering Division. ASCE.
- Sulistiari, H. T. (2017). *Penambangan Batu Marmer di Desa Banjar Kecamatan Panggul Kabupaten Trenggalek*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Syam, W. M. (2016). *Optimalisasi Kalsium Karbonat Dari Cangkang Telur Untuk Produksi Pasta Komposit*. Uin Alauddin Makassar. *Uin Alauddin Makassar*.
- Youd, T. L. dan I. M. Idriss. 2001. *Liquefaction Resistance of Soils : Summary Report from The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, Journal of Geotechnical and Environmental Engineering. Hal.297-313.

Zeffitni. 2013. *Potensi Airtanah di Cekungan Airtanah (CAT) Palu Berdasarkan Satuan Hidromorfologi dan Hidrogeologi*, Jurnal Geografi Vol.11 No.22. Hal.97-106

Zuhdi, M. (2019). *Buku Ajar Pengantar Geologi*. Duta Pustaka Ilmu.