

## Korelasi dan Signifikansi Faktor Pengontrol Likuefaksi terhadap Kerusakan Tanah Permukaan pada Sebaran Endapan Kuartar di Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah

### *Correlation and Significance of Liquefaction Controlling Factors on Surface Soil Damage caused Liquefaction Result in the Quaternary Deposit Distribution of Sigi Regency, Central Sulawesi Province*

W.P. Solli<sup>1</sup>, D. Muslim<sup>2</sup>, E. Sukiyah<sup>2</sup>, T.W. Buana<sup>3</sup>., dan Y.Yuniardi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiwa Pascasarjana Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjajaran

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjajaran

<sup>3</sup> Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan, Badan Geologi

Jalan Diponegoro No. 57 Bandung 40122 Indonesia

e-mail: william24006@mail.unpad.ac.id dan d.muslim@unpad.ac.id

Naskah diterima 15 April 2025, selesai direvisi 20 Agustus 2025, dan disetujui 23 Agustus 2025

#### ABSTRAK

Gempabumi 7,5 Mw pada 28 September 2018 mengakibatkan likuefaksi dan menyebabkan kerusakan tanah permukaan di Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah. Kerusakan yang signifikan terdiri dari daerah Jonooge dan Sibalaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh faktor pengontrol likuefaksi yang terdiri atas litologi (dominansi ukuran butir endapan), kedalaman muka air tanah, kemiringan lereng, dan jarak ke jalur patahan Palu Koro terhadap kerusakan tanah permukaan. Jumlah titik pengamatan sebanyak 135 titik, yang selanjutnya akan diuji korelasi dan uji signifikansi menggunakan uji Sommer antara variabel independen yang merupakan faktor pengontrol likuefaksi terhadap variabel dependen yang merupakan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi. Hasil uji korelasi dan signifikansi pada Sebaran Endapan Kuartar di Kabupaten Sigi menunjukkan korelasi litologi dengan kerusakan tanah permukaan bernilai +0,66 (hubungan cukup), korelasi muka air tanah dengan kerusakan tanah permukaan bernilai -0,26 (hubungan lemah), korelasi kemiringan lereng dengan kerusakan tanah permukaan bernilai +0,26 (hubungan lemah), korelasi jarak ke Patahan Palu Koro dengan kerusakan tanah permukaan bernilai -0,36 (hubungan lemah). Berdasarkan arah korelasi menjelaskan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi cenderung meningkat wilayah yang tersusun oleh litologi yang dominan berukuran pasir, muka air tanah  $\leq 10$  m, jarak ke patahan Palu Koro  $\leq 10$  km dan kemiringan lereng  $> 1^\circ$ .

**Kata kunci:** Kabupaten Sigi, likuefaksi, korelasi, signifikansi, kerusakan

#### ABSTRACT

The 7.5 Mw earthquake on September 28, 2018 caused liquefaction, which led to surface soil damage. Significant damage in the Sigi Regency was found in the Jonooge and Sibalaya areas. This study aims to determine the effect of liquefaction control factors, consisting of lithology (grain size deposit dominant), groundwater level depth, slope, and distance to the Palu Koro fault, on surface soil damage. There were 135 observation points, which were then tested for correlation and a significance test using Sommer's test between the independent variables, which are the factors controlling liquefaction, and the dependent variable, which is surface soil damage caused liquefaction result. The results of the correlation and significance tests on the Distribution of Quaternary Deposits in Sigi Regency show that the correlation between lithology and surface soil damage is +0.66 (moderate relationship), the correlation between groundwater level and surface soil damage is -0.26 (weak relationship), the correlation between slope gradient and surface soil damage is +0.26 (weak relationship), and the correlation between distance to the Palu Koro Fault and surface soil damage is -0.36 (weak relationship). Based on the direction of the correlation, it explains that surface soil damage due to liquefaction tends to increase in areas composed mainly of sandy lithology, groundwater level  $\leq 10$  m, distance to Palu Koro Fault  $\leq 10$  km, and slope gradient  $> 1^\circ$ .

**Keywords:** Sigi Regency, Liquefaction, correlation, sinificance, damage

## PENDAHULUAN

Gempabumi berkekuatan 7,5 Mw pada 28 September 2018 yang berpusat di bagian utara Kabupaten Donggala Provinsi Sulawesi Tengah, mengakibatkan likuefaksi pada beberapa wilayah, salah satunya di Kabupaten Sigi. Kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi ini dengan kerusakan infrastruktur yang signifikan bahkan menelan korban jiwa terjadi di daerah Jonooge (Jalil dr., 2021) dan di daerah Sibalaya (Mason dr., 2019). Kejadian likuefaksi yang terjadi pada wilayah ini cukup lengkap dari kejadian likuefaksi yang pernah terjadi yaitu semburan pasir, pergeseran lateral dan likuefaksi aliran, sehingga sangat menarik dipelajari dalam membuat suatu pemodelan untuk mengetahui interaksi faktor pengontrol dengan kejadian likuefaksi. Makalah ini menerangkan interaksi faktor pengontrol likuefaksi terhadap kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi itu. Interaksi faktor pengontrol (variabel independen) akan dinilai bagaimana hubungannya terhadap kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi dengan uji korelasi dan signifikansi hubungan antar variabel yang dihubungkan. Nilai korelasi dan signifikansi hubungan dari setiap variabel ini akan dapat menjelaskan faktor pengontrol likuefaksi yang memiliki tingkat hubungan yang paling tinggi dengan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi, mengingat tidak semua wilayah di Kabupaten Sigi pada sebaran Endapan Kuarter mengalami kerusakan tanah yang signifikan. Penelitian terkait korelasi parameter yang mengontrol likuefaksi dengan kejadian likuefaksi menggunakan uji-uji statistik masih sangat jarang. Jika ada riset sejenis, kajian dilakukan kurang mendalam, karena lebih menekankan membuat model prediktif, dan data yang digunakan masih bersifat global yang dikumpulkan dari kejadian likuefaksi di berbagai belahan dunia.

Secara teori Seed dan Idriss (1970) menjelaskan likuefaksi terjadi pada tanah tidak berkohesi yang kehilangan kekuatannya selama gempa bumi, Berubahnya kekuatan tersebut diakibatkan oleh meningkatnya tekanan air

pori yang membuat tekanan efektif tanah berkurang (Youd, 1973). Wilayah Kabupaten Sigi sendiri, khususnya pada sebaran Endapan Kuarter didominasi oleh material berukuran pasir dengan muka airtanah berkisar 4 m – 11,69 m (Widyatama, 2023). Wilayah ini juga dekat dengan zona patahan Palu Koro, dengan aktivitas seismik yang tinggi, yang berasal dari segmen-segmen patahan Palu Koro maupun sesar-sesar minor disekitarnya (Pakpahan dr., 2015). Daerah Petobo yang berbatasan dengan Kabupaten Sigi pada bagian selatan, berdasarkan data anomali gravitasi terdapat sesar geser yang juga jadi pemicu likuefaksi (Wardhana dr., 2024). Sebaran Endapan Kuarter di wilayah Kabupaten Sigi pada umumnya terendapkan pada daerah dengan lereng landai – miring, hal ini disebabkan dari posisi dataran Kabupaten Sigi yang dikelilingi oleh pegunungan. Likuefaksi yang terjadi Kabupaten Bantul pada tahun 2006 menunjukkan kerusakan parah pada Endapan Kuarter khususnya pada sebaran Endapan Gunungapi Merapi Muda (Buana dr., 2006). Sehingga apabila dihubungkan dengan definisi likuefaksi kejadian likuefaksi di Kabupaten Bantul dan karakteristik geologi dan hidrogeologi, khususnya sebaran Endapan Kuarter di Kabupaten Sigi yang juga berasal dari batuan gunungapi, likuefaksi yang terjadi akibat gempa 7,7 Mw di Kota Palu seharusnya wilayah dengan kerusakan infrastruktur signifikan tidak hanya pada Jonooge dan Sibalaya saja.

Pendekatan yang dilakukan dalam mengklasifikasikan urutan nilai faktor pengontrol dan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi menggunakan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Andrews dan Martin (2000) dalam Green dan Ziotopulo (2015) menjelaskan material dengan kandungan butiran lempung <10% rentan terhadap likuefaksi. Pernyataan ini dikuatkan oleh Zhang dr. Zhang, dkk (2004) mengumpulkan kejadian likuefaksi masa lampau kasus Hokkaido (1993), Dagupan (1990), Moss Landing (1989), Wildlife (1987), Noshiro (1983), Heber Road (1979), Juvenill Hall (1971), Jensen Plant (1971), Niigata (1964),

Alask (1964), Fuku (1948), Kanto (1923), San Francisco (1906) menunjukkan material yang terlikuefaksi umumnya merupakan dominan pasir, dan sebagian kecil terdapat material lanau. Zhang, dkk (2004) juga menjelaskan bahwa berdasarkan kasus Noshiro (1983), Juvenill (1971), Niigata (1964), Fukui (1948), Kanto (1923) menunjukkan likuefaksi tipe *lateral displacement* terjadi dari slope 0,2 % - 3,5 % atau mulai dari 0,7°. Zarei drr. (2024) menjelaskan dengan percobaan yang ada likuefaksi lebih dominan terjadi pada lereng yang lebih tinggi dari pada landai pada material yang tidak padat. faktor airtanah dijelaskan oleh Dwiyanoro drr. (2023) bahwa potensi dan keparahan likuefaksi muncul dari 8 m dari permukaan dan akan mengalami peningkatan semakin dekat dengan permukaan, pada umur endapan holosen denan muka air tanah 0 – 10 m (Oberemier, 1996). Papadopoulos dan Lefkopoulus (1993) menginventarisir data-data kejadian likuefaksi pada beberapa wilayah di belahan dunia, dimana likuefaksi masih terjadi pada jarak 55 km dari sumber patahan, dan paling banyak terjadi pada rentang jarak 0 – 20 km. Badan Geologi melalui Surat Keputusan Kepala Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan Nomor 105/GL.04/BGE/2024 juga telah membuat klasifikasi penilaian kerentanan likuefaksi skala 1: 50.000, dimana untuk material pasir, lanau atau lempung plastisitas rendah dengan lapisan penutup lempung plastisitas tinggi < 4 m dan muka air tanah > 10 m, akan semakin rentan terlikuefaksi pada slope > 1°. Hal ini membuat faktor litologi (dominasi ukuran butir endapan), muka air tanah, kemiringan lereng dan faktor patahan yang digunakan sebagai variabel independen dalam menilai hubungan dengan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi sebagai variabel dependen pada makalah ini.

Penelitian terkait korelasi pengontrol likuefaksi dengan potensi likuefaksi sebelumnya dilakukan oleh Hu drr. (2011), dengan menggunakan data yang bersumber dari berbagai belahan dunia, seperti Cina (mayoritas), Amerika, Selandia Baru, Jepang dan lokasi lainnya. Hasil men-

unjukkan parameter fisik tanah memiliki nilai korelasi 0,046 – 0,049 (sangat rendah) terhadap potensi likuefaksi, parameter gempa memiliki nilai korelasi 0,317 – 0,334 (rendah) terhadap potensi likuefaksi dan muka air tanah memiliki nilai korelasi negatif 0,18 (rendah) terhadap potensi likuefaksi. Karakas, dkk. (2024) juga membuat model kerentanan likuefaksi dengan parameter yang berbeda, dengan validasi likuefaksi akibat gempa Turki, juga tidak dilakukan korelasi antar parameter utamanya sifat fisik tanah. Kumar dan Wipulanusat (2025), yang menggunakan data sangat regional, dimana menunjukkan adanya hubungan tekanan air pori, kandungan butiran halus (*fine content*), percepatan gempa permukaan dengan probabilitas likuefaksi, namun korelasi yang dilakukan disini lebih kepada hubungan mekanisme antar parameter terhadap likuefaksi tanpa menguji hipotesis secara statistik. Pembuatan model prediktif untuk kerentanan likuefaksi sangat berkembang dewasa ini, dimana analisis korelasi sudah diintegrasikan dalam membuat model machine learning seperti deep learning, dimana sudah mampu menangkap hubungan non linier yang kompleks, namun masih sulit digeneralisasi secara statistik (Alloua drr., 2024; Ghani drr., 2025; Sehmusoglo drr., 2025).

Analisis korelasi secara statistik antar faktor pengontrol likuefaksi terhadap kejadian likuefaksi, masih menggunakan data yang sangat regional. Data tersebut dikumpulkan dari berbagai data di belahan dunia yang setiap wilayahnya memiliki kondisi geologi yang berbeda. Data yang regional ini yang digunakan untuk membuat peta kerentanan likuefaksi yang berbasis prediksi dengan klaim akurasi yang tinggi, namun sebelum dilakukan pembuatan model, namun analisis korelasi antar variabel pengontrol likuefaksi terhadap kejadian likuefaksi tidak menjadi fokus utama. Kesenjangan ini akan dijawab dengan penelitian korelasi antar variabel pengontrol likuefaksi terhadap kejadian likuefaksi dan bagaimana signifikansi hubungan parameter dari variabel yang dihubungkan dengan menggunakan data yang diperoleh dari satu

wilayah. Parameter pengontrol likuefaksi disebut sebagai variabel independen dan kejadian likuefaksi disebut sebagai variabel dependen. Variabel independen adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel dependen, sedangkan variabel dependen adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel independen (Sugiyono, 2007). Skala pengukuran pada data yang digunakan pada penelitian ini adalah Skala Ordinal. Skala Ordinal termasuk dalam jenis data hasil penggolongan atau pengklasifikasian yang dapat dirutkan atau dirangking (Nuryadi drr., 2017).

## METODOLOGI PENELITIAN

Parameter pengontrol likuefaksi yang digunakan adalah litologi (ukuran butir endapan), kedalaman muka air tanah, kemiringan lereng dan jarak patahan ke kejadian likuefaksi, kejadian likuefaksi disini adalah kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi. Parameter-parameter diambil pada satu wilayah, yaitu khusus pada sebaran Endapan Kuarter di Kabupaten Sigi Provinsi Sulawesi Tengah. Parameter pengontrol likuefaksi yang digunakan adalah litologi (ukuran butir endapan), kedalaman muka air tanah, kemiringan lereng dan jarak patahan ke kejadian likuefaksi, kejadian likuefaksi disini adalah kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi. Klasifikasi variabel independen dan variabel dependen pada sebaran Endapan Kuarter di wilayah Kabupaten Sigi disajikan

pada Tabel 1. Uji korelasi ini diharapkan akan menjawab pertanyaan terkait interaksi variabel independen yang berdampak pada kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi (variabel dependen) khususnya pada sebaran Endapan Kuarter di wilayah Kabupaten Sigi.

Klasifikasi Kerusakan Tanah Permukaan akibat Likuefaksi menggunakan Klasifikasi Kerusakan Tanah Permukaan di lembah Palu (Wafid drr., 2025) disajikan pada Tabel 2.

Jumlah data variabel dependen yang digunakan terdiri atas 135 wilayah pengamatan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi dengan luas 1 wilayah pengamatan 0,25 km<sup>2</sup>. Distribusi Titik pengamatan disajikan pada Gambar 2.

Hubungan dari setiap parameter variabel independen terhadap parameter variabel dependen disajikan detail pada Tabel 3. Data penelitian tersebut selanjutnya masing-masing variabel independen dan variabel dependen dibuatkan tabel kontingensi (Tabel 4).

Tabel kontingensi merupakan tabel yang menampilkan distribusi frekuensi dari dua atau lebih variabel dengan tipe data kategorikal, dimana setiap kotak/*cell* akan menunjukkan jumlah observasi yang berkombinasi dengan kategori tertentu dari variabel tersebut (Sommers, 1962). Pengisian tabel kontingensi menggunakan data penelitian dari masing-masing variabel independen dihubungkan dengan variabel dependen, selanjutnya dilakukan perhitungan Distribusi Pasangan Data (Tabel 4 ) yang

Tabel 1. Jenis Data yang digunakan sebagai variabel penelitian

| Variabel Penelitian                                   | Parameter Data                 | Sumber Data                                           |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>Variabel Independen</b>                            |                                |                                                       |
| Litologi (ukuran butir)                               | Dominan Pasir<br>Dominan Lanau | Hasil Deskripsi Material di lapangan                  |
| Muka Air Tanah                                        | > 10 m<br>≤ 10 m               | Laporan Penyelidikan oleh Badan geologi               |
| Kemiringan lereng                                     | > 1°<br>≤ 1°                   | Hasil Pengamatan di lapangan                          |
| Jarak ke patahan Palu Koro                            | > 10 km<br>≤ 10 km             | Pengkuran pada Peta Geologi skala 1: 250.000          |
| <b>Variabel Dependen</b>                              |                                |                                                       |
| Kerusakan Kerusakan Tanah Permukaan akibat Likuefaksi | Rendah<br>Menengah<br>Tinggi   | Hasil Deskripsi Pemetaan Dampak Likuefaksi tahun 2018 |

Tabel 2. Penilaian Cepat Efek Guncangan Gempabumi 28 September 2018 terhadap Kerusakan Tanah Permukaan di Lembah Palu (ditulis kembali dari Wafid, drr 2025) yang digunakan sebagai variabel dependen pada makalah ini

| Kelas  | Kriteria                                                                                                                                                                                                                                                               | Penilaian                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rendah | Likuefaksi tidak terjadi atau dapat terjadi bersifat lokal/setempat (sekitar kurang dari 5% lokasi pengamatan terjadi likuefaksi, retakan tanah kurang dari 1 cm, penurunan tanah tidak terjadi, pergeseran horisontal tidak terjadi, pengembangan tanah tidak terjadi | Kerusakan tanah permukaan relatif aman akan tetapi masih dapat bersifat merusak bangunan akibat penguatan gelombang (amplifikasi)                                                                                                                                                             |
| Sedang | Likuefaksi dapat ter terjadi bersifat lokal/setempat (sekitar 5% - 25% lokasi pengamatan terjadi likuefaksi), retakan tanah kurang dari 5 cm, penurunan tanah kurang dari 10 cm, pergeseran horisontal kurang dari 5 cm, pengembangan tanah permukaan dapat terjadi    | Kerusakan tanah permukaan dapat terjadi karena kehadiran retakan permukaan ( <i>surface rupture</i> ) yang dapat disertai likuefaksi yang bersifat lokal/setempat. Deformasi horisontal dan vertikal kemungkinan dapat terjadi dalam skala yang kecil                                         |
| Tinggi | Likuefaksi dapat terjadi bersifat luas (lebih dari 25% lokasi pengamatan terjadi likuefaksi, retakan tanah lebih dari 5 cm, penurunan tanah lebih dari 10 cm, pergeseran horisontal lebih dari 5 cm, pengembangan tanah permukaan dapat terjadi secara luas            | Kerusakan tanah permukaan dikontrol oleh retakan permukaan ( <i>surface rupture</i> ) yang dapat disertai likuefaksi, deformasi horisontal maupun vertikal dan dapat memicu gerakan tanah pada lereng landai (pada umumnya <15%). Dampak kerusakan tanah pada umumnya berdampak relatif luas. |



Gambar 1. a) Kerusakan likuefaksi rendah pada Jalan Poros Palolo Kabupaten Sigi; b) Kerusakan Likuefaksi menengah pada salah satu wilayah di Kabupaten Sigi; c) Kerusakan likuefaksi tinggi pada salah satu wilayah di Kabupaten Sigi.

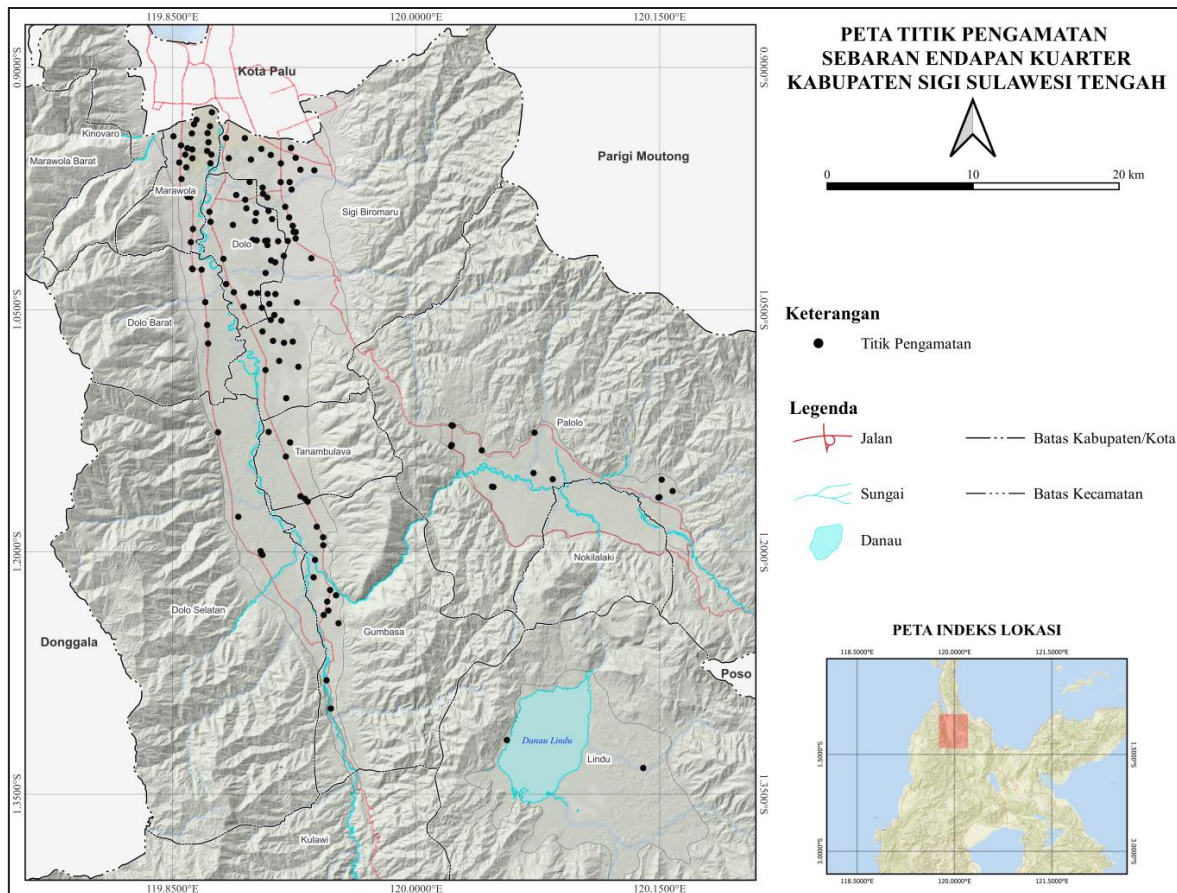
akan digunakan untuk Uji Korelasi Sommers. Uji korelasi Sommers yang dipilih dikarenakan data yang dihubungkan merupakan data ordinal dan dapat ditentukan variabel dependennya (Sommers, 1962).

X1 merupakan parameter 1 variabel independen, X2 merupakan parameter 2 variabel independen, Y1 merupakan variabel 1 parameter dependen, Y2 merupakan parameter 2 variabel dependen, Y3 merupakan parameter 3 variabel dependen, a – h merupakan frekuensi responden pasangan, B1 – B3 merupakan total frekuensi untuk baris pada Y1 Y3, A1 – A2 merupakan total frekuensi untuk kolom pada X1 – X2 dan N merupakan jumlah frekuensi/sampel. Pengisian tabel kontigensi menggunakan data penelitian dari masing-masing variabel independen dihubungkan dengan variabel dependen. Pasangan konkordan jika subjek diperingkatkan lebih tinggi pada X juga

diperingkatkan lebih tinggi variabel Y (arah klasifikasi sama), sedangkan pasangan diskordan jika subjek diperingkatkan lebih tinggi pada X tetapi diperingkatkan lebih rendah pada Y (arah klasifikasi berbeda) (Agresti, 2002). Pasangan terikat hanya pada X yaitu pasangan memiliki nilai sama pada variabel X tetapi memiliki nilai yang berbeda pada variabel Y, pasangan terikat hanya pada Y yaitu pasangan memiliki nilai yang sama pada Y tetapi memiliki nilai berbeda pada X (Sommers, 1962).

Sommers (1962) mengusulkan koefisien dxy dan dxy menggambarkan hubungan secara bivariat yang terdapat perbedaan, yaitu variabel independen dan variabel dependen, dyx ketika X adalah variabel independen dan dxy merupakan kebalikannya. Sommers (1962) merumuskan dyx dimana X adalah variabel independen dan Y adalah variabel dependen berdasarkan persamaan (1) berikut:

Korelasi dan Signifikansi Faktor Pengontrol Likuefaksi terhadap Kerusakan Tanah Permukaan pada Sebaran Endapan Kuartier di Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah



Gambar 2. Lokasi Penelitian yang menunjukkan Titik pengamatan kerusakan tanah permukaan akibat.

Tabel 3. Hubungan Parameter dan Jumlah Data yang digunakan pada penelitian ini

| Litologi (endapan dominansi ukuran butir) sebagai Variabel Independen dengan Kerusakan Tanah Permukaan akibat Likuefaksi sebagai Variabel Dependen |                           |        | Kedalaman Muka Air Tanah sebagai Variabel Independen dengan Kerusakan Tanah Permukaan akibat Likuefaksi sebagai Variabel Dependen   |                           |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------|
| Litologi                                                                                                                                           | Kerusakan Tanah Permukaan | Jumlah | Muka Air tanah                                                                                                                      | Kerusakan Tanah Permukaan | Jumlah |
| Lanauan                                                                                                                                            | Rendah                    | 10     | ≤ 10 m                                                                                                                              | Rendah                    | 33     |
|                                                                                                                                                    | Menengah                  | 2      |                                                                                                                                     | Menengah                  | 4      |
|                                                                                                                                                    | Tinggi                    | 1      |                                                                                                                                     | Tinggi                    | 57     |
|                                                                                                                                                    | Rendah                    | 27     |                                                                                                                                     | Rendah                    | 4      |
| Pasiran                                                                                                                                            | Menengah                  | 4      | > 10 m                                                                                                                              | Menengah                  | 2      |
|                                                                                                                                                    | Tinggi                    | 91     |                                                                                                                                     | Tinggi                    | 35     |
| Jumlah Total                                                                                                                                       |                           | 135    | Jumlah Total                                                                                                                        |                           | 135    |
| Kemiringan Lereng sebagai Variabel Independen dengan Kerusakan Tanah Permukaan akibat Likuefaksi sebagai Variabel Dependen                         |                           |        | Jarak ke Patahan Palu Koro sebagai Variabel Independen dengan Kerusakan Tanah Permukaan akibat Likuefaksi sebagai Variabel Dependen |                           |        |
| Kemiringan Lereng                                                                                                                                  | Kerusakan Tanah Permukaan | Jumlah | Jarak ke Patahan Palu Koro                                                                                                          | Kerusakan Tanah Permukaan | Jumlah |
| ≤ 10°                                                                                                                                              | Rendah                    | 12     | ≤ 10 km                                                                                                                             | Rendah                    | 33     |
|                                                                                                                                                    | Menengah                  | 1      |                                                                                                                                     | Menengah                  | 4      |
|                                                                                                                                                    | Tinggi                    | 12     |                                                                                                                                     | Tinggi                    | 57     |
|                                                                                                                                                    | Rendah                    | 25     |                                                                                                                                     | Rendah                    | 4      |
| > 10°                                                                                                                                              | Menengah                  | 5      | > 10 km                                                                                                                             | Menengah                  | 2      |
|                                                                                                                                                    | Tinggi                    | 80     |                                                                                                                                     | Tinggi                    | 35     |
| Jumlah Total                                                                                                                                       |                           | 135    | Jumlah Total                                                                                                                        |                           | 135    |

Tabel 4. Tabel Kontigensi dan Distribusi Pasangan untuk Uji Korelasi dengan Uji Sommers (Sommers, 1962)

| Tabel Kontigensi |                |                | Distribusi Pasangan Uji Sommers |                                       |                |
|------------------|----------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------|
|                  | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | Tipe Pasangan                   | Jumlah Pasangan                       | Simbol         |
| Y <sub>1</sub>   | a              | B              | Konkordan                       | a (e + h) + d (h)                     | P              |
| Y <sub>2</sub>   | d              | E              | Diskordan                       | b (d + g) + e (g)                     | Q              |
| Y <sub>3</sub>   | g              | H              | Terikat hanya pada X            | a (d + g) + d (g) + b (e + h) + e (h) | X <sub>o</sub> |
|                  | A <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> | Terikat hanya pada Y            | a (b) + d (e) + g (h)                 | Y <sub>o</sub> |

Tabel 5. Hasil Nilai Korelasi/Hubungan dan Interpretasi Hubungannya (Cahyono, 2017)

| Besarnya Nilai Hubungan | Interpretasi Hubungan |
|-------------------------|-----------------------|
| 0,80 – 1,00             | Tinggi                |
| 0,60 – 0,80             | Cukup                 |
| 0,40 – 0,60             | Agak rendah           |
| 0,20 – 0,40             | Rendah                |
| 0,00 – 0,20             | Sangat rendah         |

$$d_{yx} = \frac{P - Q}{P + Q + Y_o} \dots\dots\dots (1)$$

Harga positif menunjukkan bahwa semakin besar/kecil variabel X diikuti semakin besar/kecil variabel Y, sedangkan harga negatif menunjukkan hubungan yang kebalikannya. Setelah diketahui nilai  $d_{yx}$  sebagai nilai korelasi, akan dilakukan uji signifikansi untuk melihat bahwa benar terdapat hubungan antar variabel independen dan variabel dependen yang dikorelasikan. Siegel dan Castellan (1988), menyatakan prosedur pengujian hipotesis uji signifikansi korelasi Sommers dengan kriteria  $H_0$  ditolak jika nilai  $Z_{hitung} > Z_{tabel}$  yang dapat diartikan bahwa secara signifikan terdapat hubungan di antara dua variabel yang dihubungkan dengan persamaan (2) untuk Y sebagai variabel dependen sebagai berikut:

$$Z_{score} = \frac{d_{yx}}{\sqrt{\text{var}(d_{yx})}} \dots\dots\dots (2)$$

$d_{yx}$  adalah koefisien korelasi Sommers dengan Y sebagai variabel terikat dan  $\text{var}(d_{yx})$  adalah variansi koefisien korelasi Sommers dengan Y sebagai variabel terikat. Variansi  $d_{yx}$  dihitung dengan menggunakan persamaan (3) seperti yang disajikan dalam Siegel dan Castellan (1988), sebagai berikut:

$$\text{var}(d_{yx}) = \frac{4 \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k n_{ij} (N_{ij}^+ + M_{ij}^+ + N_{ij}^- + M_{ij}^-)^2}{(N^2 - \sum_{j=2}^k C_j^2)^2} \dots\dots (3)$$

Perhitungan varian dari  $d_{yx}$ , adalah perlu menghitung semua kesepakatan pada setiap data. Pen-

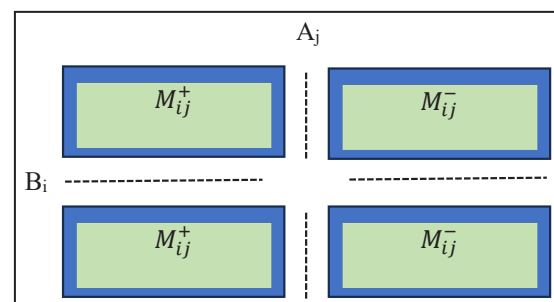
deskripsian perhitungan pasangan konkordan dan diskordan, menggunakan simbol  $N_{ij}^+$  dan  $N_{ij}^-$  untuk masing-masing menunjukkan jumlah frekuensi di bawah dan di kanan serta jumlah frekuensi di bawah dan di kiri sel ke -i.  $M_{ij}^+$  dan  $M_{ij}^-$  untuk masing-masing menunjukkan frekuensi di atas dan di kiri serta di atas dan di kanan sel ke -j.  $M_{ij}^+$  dan  $M_{ij}^-$  dijelaskan dengan persamaan (4) dan (5) sebagai berikut:

$$M_{ij}^+ = \sum_{p=1}^{i-1} \sum_{q=1}^{j-1} n_{pq} \dots\dots\dots (4)$$

$$M_{ij}^- = \sum_{p=1}^{i-1} \sum_{q=j+1}^k n_{pq} \dots\dots\dots (5)$$

Secara grafis hubungan notasi  $N_{ij}^+$ ,  $N_{ij}^-$ ,  $M_{ij}^+$ ,  $M_{ij}^-$  disajikan pada Gambar 3 dan cara perhitungannya disajikan pada Tabel 6.

Nilai  $Z_{tabel}$  ditentukan dengan menggunakan hipotesis 2 arah, karena akan dicari dua hubungan yang berbeda yaitu hipotesis nol ( $H_0$ ) dan hipotesis alternatif ( $H_a/H_1$ ), tingkat signifikansi ( $\alpha$ ) yang ditentukan pada penelitian ini adalah 10% untuk membuat kesalahan dalam membuat hipotesis

Gambar 3. Hubungan notasi  $N_{ij}^+$ ,  $N_{ij}^-$ ,  $M_{ij}^+$ ,  $M_{ij}^-$  (Siegel dan Castellan, 1988).Tabel 6. Cara Perhitungan  $N_{ij}^+$ ,  $N_{ij}^-$ ,  $M_{ij}^+$ ,  $M_{ij}^-$ 

| $N_{ij}$ | $N_{ij}^+$ | $M_{ij}^+$ | $N_{ij}^-$ | $M_{ij}^-$ |
|----------|------------|------------|------------|------------|
| $n_{11}$ | $e + h$    | 0          | 0          | 0          |
| $n_{12}$ | 0          | 0          | $d + g$    | 0          |
| $n_{21}$ | $h$        | 0          | 0          | $b$        |
| $n_{22}$ | 0          | $A$        | $g$        | 0          |
| $n_{31}$ | 0          | 0          | 0          | $b + e$    |
| $n_{32}$ | 0          | $d + a$    | 0          | 0          |

Korelasi dan Signifikansi Faktor Pengontrol Likuefaksi terhadap Kerusakan Tanah Permukaan  
pada Sebaran Endapan Kuarter di Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah

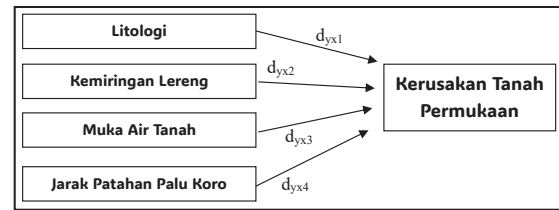
nol ( $H_0$ ), hal ini dilakukan mengingat data-data penelitian bersifat deskripsi dan interpretasi, yang rentan akan *human error*. Penentuan nilai  $Z_{\text{tabel}}$  hipotesis 2 arah pada persamaan (6) sebagai berikut:

$$Z_{1-(\alpha/2)} = Z_1 - (0.1/2) = Z_{1-0.05} = Z_{0.95} \dots\dots (6)$$

Nilai  $Z_{0.95}$  ditentukan dengan menggunakan tabel Z dan nilai  $Z_{\text{tabel}}$  disini dapat bernilai  $\pm$ , sesuai dengan nilai dari  $Z_{\text{scorenya}}$ . Algoritma Metodologi Penelitian dan skema korelasi Gambar 4 dan signifikansi variabel penelitian di sajikan pada Gambar 5. Perhitungan  $Z_{\text{tabel}}$  sebagai berikut:

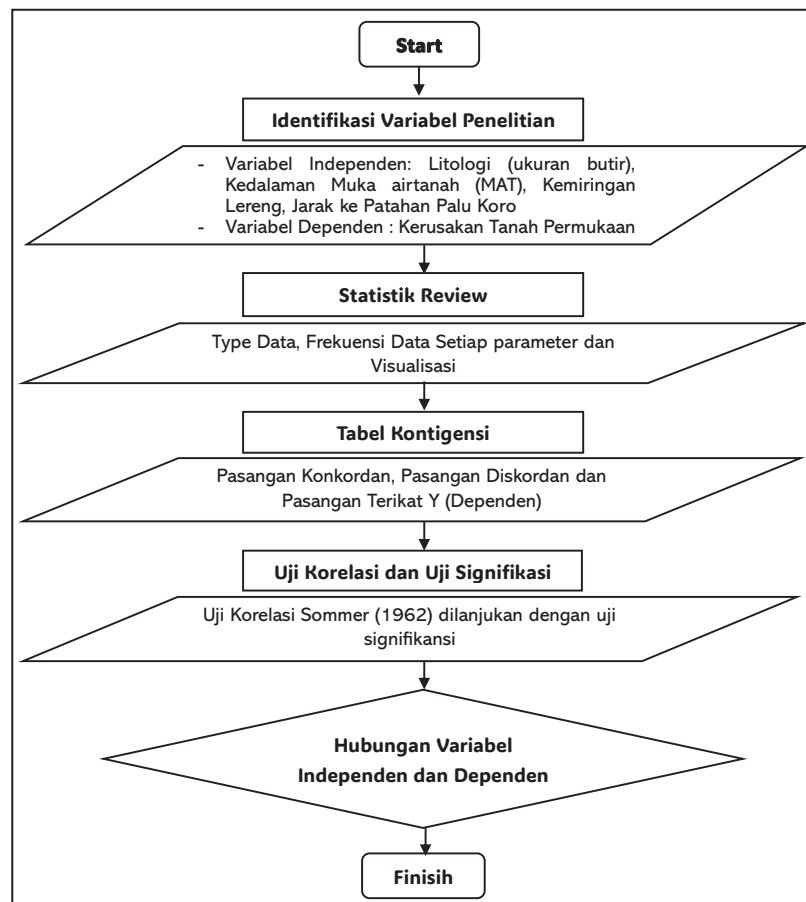
$$Z_{\text{tabel}} = Z_{0.95} = \pm 1.64$$

Uji korelasi yang digunakan adalah secara biva-riat dimana, masing-masing unsur yang terdapat



Gambar 5. Diagram Korelasi variabel bebas dan variabel terikat.

pada variabel independen seperti litologi, muka airtanah, kemiringan lereng dan jarak lokasi terlikuefaksi ke patahan Palu Koro dikorelasikan terhadap variabel dependen kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi. Setiap nilai hubungan korelasi yang telah diperoleh akan dilanjutkan dengan uji signifikansi sehingga dapat diketahui apakah korelasi antar variabel yang dihubungkan memiliki hubungan yang bermakna secara statistik.



Gambar 4. Algoritma Metodologi Penelitian.

Parameter dari setiap variabel memiliki memiliki tipe data ordinal (Tabel 7), yaitu data yang merupakan data kategori yang menunjukkan adanya peringkat. Setiap parameter pada variabel independen diubah dengan bilangan berbasis dua dan parameter variabel dependen diubah dengan bilangan berbasis tiga. Statistik deskriptif dan pembagian bilangan basis dari setiap parameter disajikan pada Tabel 7.

Distribusi setiap parameter pada setiap variabel independen dihubungkan dengan variabel dependen, disajikan dalam bentuk visualisasi histogram (Gambar 5).

Berdasarkan grafik histogram pada Gambar 5 menunjukkan pada sebaran Endapan Kuartar wilayah Kabupaten Sigi, kerusakan tanah permukaan tinggi memiliki frekuensi yang tinggi pada litologi dominan pasir, muka air tanah (MAT)  $\geq 10$  m, kemiringan lereng  $> 1^\circ$  dan jarak lokasi terlikuefaksi ke patahan Palukoro  $\geq 10$  km.

Hubungan Variabel Independen dan Variabel Dependen yang disajikan pada Tabel 1, selanjutnya dibuatkan tabel kontigensi, tabel ini bertujuan mengetahui bagaimana probabilitas dan untuk pengolahan data lebih lanjut untuk mengetahui nilai korelasi dan bagaimana signifikansi hubungan antar variabel jumlah data pada setiap parameter yang merupakan tujuan utama dari makalah ini. Tabel kontigensi yang dibuat meliputi hubungan litologi (ukuran butir) dengan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi (Tabel 8), hubungan muka airtanah (MAT) dengan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi (Tabel 9), hubungan kemiringan lereng dengan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi

(Tabel 10) dan hubungan jarak patahan ke Palu Koro dengan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi (Tabel 11). Setelah dilakukan pembuatan tabel kontigensi hubungan setiap variabel independen dengan variabel, dilanjutkan dengan perhitungan distribusi data untuk uji korelasi Sommers yaitu pasangan konkordan (P), pasangan diskordan (D) dan pasangan terikat (Y). Setelah diketahui nilai korelasi ( $\text{dyx}$ ) dari setiap hubungan variabel independen dengan variabel dependen, selanjutnya dilakukan uji signifikansi korelasi Sommer ( $\text{dyx}$ ) dengan rumusan pada persamaan (3), (4) dan (5) yang bertujuan untuk mengetahui apakah secara statistik hubungan antar variabel tersebut bermakna atau tidak. Unsur yang harus diketahui disini adalah  $M_{ij}^+$ ,  $M_{ij}^-$ ,  $N_{ij}^+$ ,  $N_{ij}^-$  yang cara perhitungannya seperti pada Tabel 6, dengan detail hasil perhitungan signifikansi dari masing-masing variabel bebas dan variabel terikat yang dihubungkan tersebut disajikan pada Tabel 13. Hipotesis dari uji signifikansi yaitu Hipotesis Nol ( $H_0$ ) menunjukkan dua variabel yang dihubungkan dengan tidak hubungan signifikan.  $H_0$  berlaku apabila  $Z_{\text{score}} < Z_{\text{tabel}}$  (Positif) atau  $Z_{\text{score}} > Z_{\text{tabel}}$  (Negatif) sedangkan, Hipotesis Alternatif ( $H_1$ ) menunjukkan dua variabel yang dihubungkan memiliki hubungan yang signifikan.  $H_1$  berlaku apabila  $Z_{\text{score}} > Z_{\text{tabel}}$  (Positif) atau  $Z_{\text{score}} < Z_{\text{tabel}}$  (Negatif).

Perhitungan  $Z_{\text{score}}$  diperoleh dari persamaan (2). Hasil Perhitungan  $Z_{\text{score}}$  setiap hubungan antar variabel disajikan pada Tabel 13.

Analisis korelasi masing-masing variabel bebas dengan variabel terikat yang menunjukkan frek-

Tabel 7. Frekuensi Parameter dari setiap Variabel Penelitian

| No | Variabel Penelitian                       | Tipe Data | Parameter      | Frekuensi |
|----|-------------------------------------------|-----------|----------------|-----------|
| 1  | Litologi (dominansi ukuran butir endapan) | Ordinal   | Lanau          | 13        |
|    |                                           |           | Pasir          | 122       |
| 2  | Muka Airtanah (MAT)                       | Ordinal   | $\leq 10$ m    | 110       |
|    |                                           |           | $> 10$ m       | 25        |
| 3  | Kemiringan Lereng                         | Ordinal   | $\leq 1^\circ$ | 41        |
|    |                                           |           | $> 1^\circ$    | 94        |
| 4  | Jarak ke Patahan Palu Koro                | Ordinal   | $\leq 10$ km   | 120       |
|    |                                           |           | $> 10$ km      | 15        |
| 5  | Kerusakan tanah permukaan                 | Ordinal   | Rendah         | 7         |
|    |                                           |           | Menengah       | 36        |
|    |                                           |           | Tinggi         | 92        |

Korelasi dan Signifikansi Faktor Pengontrol Likuefaksi terhadap Kerusakan Tanah Permukaan  
pada Sebaran Endapan Kuartir di Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah

Tabel 8. Tabel Kontigensi Korelasi Litologi (dominansi ukuran butir endapan) dengan Kerusakan Tanah Permukaan

| Kerusakan Tanah Permukaan | Litologi (Dominan Lanau) | Litologi (Dominan Pasir) | Total Baris |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|
| Rendah                    | 10                       | 27                       | 37          |
| Menengah                  | 2                        | 4                        | 6           |
| Tinggi                    | 1                        | 91                       | 92          |
| <b>Total Kolom</b>        | <b>13</b>                | <b>122</b>               | <b>135</b>  |

Tabel 9. Tabel Kontigensi Korelasi Muka Air Tanah (MAT) dengan Kerusakan Tanah Permukaan

| Kerusakan Tanah Permukaan | Muka Air Tanah (> 10 m) | Muka Air Tanah (≤ 10 m) | Total Baris |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|
| Rendah                    | 4                       | 33                      | 37          |
| Menengah                  | 2                       | 4                       | 6           |
| Tinggi                    | 35                      | 57                      | 92          |
| <b>Total Kolom</b>        | <b>41</b>               | <b>122</b>              | <b>135</b>  |

Tabel 10. Tabel Kontigensi Kemiringan Lereng dengan Kerusakan Tanah Permukaan

| Kerusakan Tanah Permukaan | Kemiringan Lereng ≤ 1° | Kemiringan Lereng > 1° | Total Baris |
|---------------------------|------------------------|------------------------|-------------|
| Rendah                    | 12                     | 25                     | 37          |
| Menengah                  | 1                      | 5                      | 6           |
| Tinggi                    | 12                     | 80                     | 92          |
| <b>Total Kolom</b>        | <b>12</b>              | <b>80</b>              | <b>135</b>  |

Tabel 11. Tabel Kontigensi Jarak ke Patahan Palu Koro dengan Kerusakan Tanah Permukaan

| Kerusakan Tanah Permukaan | Jarak ke Patahan Palu Koro (> 10 km) | Jarak ke Patahan Palu Koro (≤ 10 km) | Total Baris |
|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| Rendah                    | 0                                    | 37                                   | 37          |
| Menengah                  | 0                                    | 6                                    | 6           |
| Tinggi                    | 15                                   | 77                                   | 92          |
| <b>Total Kolom</b>        | <b>15</b>                            | <b>110</b>                           | <b>135</b>  |

Tabel 12. Tabel Distribusi Pasangan Konkordan (P), Diskordan (Q), dan Terikat (Y<sub>0</sub>)

| Korelasi Litologi dengan Kerusakan Tanah Permukaan          |      | Korelasi Muka Air Tanah dengan Kerusakan Tanah Permukaan             |      |
|-------------------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------|------|
| Konkordan (P)                                               | 1132 | Konkordan (P)                                                        | 358  |
| Diskordan (Q)                                               | 85   | Diskordan (Q)                                                        | 1361 |
| Terikat Y <sup>0</sup>                                      | 469  | Terikat Y <sup>0</sup>                                               | 2135 |
| Korelasi Kemiringan Lereng dengan Kerusakan Tanah Permukaan |      | Korelasi Jarak ke patahan palu Koro dengan Kerusakan Tanah Permukaan |      |
| Konkordan (P)                                               | 1100 | Konkordan (P)                                                        | 0    |
| Diskordan (Q)                                               | 385  | Diskordan (Q)                                                        | 1800 |
| Terikat Y <sup>0</sup>                                      | 1265 | Terikat Y <sup>0</sup>                                               | 1155 |

Tabel 13. Interpretasi Tingkat Hubungan dan Arah Hubungan masing-masing Variabel Bebas dengan Variabel Terikat

| Hubungan Variabel Independen dan Variabel Dependen                               | Nilai Korelasi | Interperatasi Hubungan                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Litologi (dominasi ukuran butir endapan) dengan Kerusakan tanah permukaan        | 0,66           | Hubungan cukup/edang searah, semakin kasar material, kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi meningkat            |
| Muka airtanah dengan Kerusakan tanah permukaan                                   | -0,26          | Hubungan rendah berlawanan, semakin dangkal muka air tanah, kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi meningkat     |
| Kemiringan Lereng dengan Kerusakan tanah permukaan                               | 0,26           | Hubungan rendah searah, semakin landai-miring suatu lereng, kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi meningkat     |
| Jarak Lokasi Terlikuefaksi ke Patahan Palu Koro dengan Kerusakan tanah permukaan | -0,36          | Hubungan rendah berlawanan, semakin dekat dengan jarak patahan, kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi meningkat |

uensi pasangan data membutuhkan pembuatan tabel kontingensi, seperti yang disajikan pada Tabel 8, 9 10, 11. Setelah dilakukan penyusunan tabel kontingensi, dilakukan perhitungan distribusi pasangan data, yang terdiri atas pasangan Konkordan (P), Diskordan (Q) dan Terikat Y ( $Y_o$ ), seperti yang disajikan pada Tabel 12. Jumlah pasangan Konkordan (P), Diskordan (Q) dan Terikat Y ( $Y_o$ ) yang digunakan untuk korelasi masing-masing variabel bebas dengan variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini.

Hasil korelasi yang telah dihitung menggunakan Persamaan (1), dilengkapi penjelasan interpretasi tingkat dan arah hubungan/korelasi antar variabel bebas yang dikorelasikan dengan variabel terikat berdasarkan klasifikasi Tabel 5 disajikan pada Tabel 13. Nilai  $dyx$  (nilai korelasi) masing-masing variabel yang dikorelasikan digunakan untuk menghitung  $Z_{score}$  menggunakan Persamaan (2) dengan membandingkannya dengan kuadrat nilai varian ( $dyx$ ), varian ( $dyx$  yang diperoleh dari Persamaan (3). Hubungan nilai  $dyx$ ,  $var(dyx)$ ,  $Z_{score}$  dan  $Z_{tabel}$  yang telah dihitung pada bagian metodologi tulisan ini dari masing-masing variabel yang dikorelasi disajikan pada Tabel 14.

Interpretasi hubungan signifikan masing-masing variabel bebas dan variabel terikat yang dikorelasikan. Analisis signifikansi hubungan litologi dengan kerusakan tanah permukaan menganalisis perbandingan nilai  $|Z_{score}(3,11)| > |Z_{tabel}|(1,64)$ , dimana hipotesis nul ( $H_0$ ) ditolak dan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) diterima. Hal ini yang menunjukkan hubungan litologi dengan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi signifikan. Analisis signifikansi hubungan muka air tanah dengan kerusakan tanah permukaan

menganalisis perbandingan nilai  $|Z_{score}(2,95)| > |Z_{tabel}|(1,64)$ , dimana hipotesis nul ( $H_0$ ) ditolak dan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) diterima. Hal ini yang menunjukkan hubungan muka air tanah dengan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi signifikan. Analisis signifikansi hubungan kemiringan lereng dengan kerusakan tanah permukaan menganalisis perbandingan nilai  $|Z_{score}(3,33)| > |Z_{tabel}|(1,64)$ , dimana hipotesis nul ( $H_0$ ) ditolak dan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) diterima. Hal ini yang menunjukkan hubungan kemiringan lereng dengan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi signifikan. Analisis signifikansi hubungan jarak ke patahan Palu Koro dengan kerusakan tanah permukaan menganalisis perbandingan nilai  $|Z_{score}(2,07)| > |Z_{tabel}|(1,64)$ , dimana hipotesis nul ( $H_0$ ) ditolak dan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) diterima. Hal ini yang menunjukkan hubungan jarak ke patahan Palu Koro dengan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi signifikan.

Hasil analisis korelasi dan signifikansi menunjukkan litologi dan kemiringan lereng memiliki hubungan yang searah dengan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi, berarti kerusakan tanah permukaan cenderung meningkat pada litologi dan dominan berukuran butir pasir dan kemiringan lereng  $> 1^\circ$ . Sedangkan, pada kedalaman muka air tanah dan jarak ke Patahan Palu Koro hasil korelasi menunjukkan hubungan yang berlawanan dengan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi, berarti kerusakan tanah permukaan cenderung meningkat pada kedalaman muka air tanah  $\leq 10$  m dan jarak ke Patahan Palu Koro  $\leq 10$  km. Hal ini sejalan dengan teori yang ada, yaitu likuefaksi terjadi pada material pasir, muka air tanah yang dangkal dan

Tabel 14. Hubungan nilai  $dyx$ ,  $var(dyx)$ ,  $Z_{score}$  dan  $Z_{tabel}$  setiap variabel yang dikorelasikan

| Hubungan Antar Variabel                                                          | $d_{yx}$ | $var(d_{yx})$ | $Z_{score}$ | $Z_{tabel}$ |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------|-------------|-------------|
| Litologi (dominasi ukuran butir endapan) dengan kerusakan tanah permukaan        | 0,66     | 0,0049        | 3,11        | 1,64        |
| Muka airtanah dengan kerusakan tanah permukaan                                   | -0,26    | 0,00774       | -2,95       | -1,64       |
| Kemiringan lereng dengan kerusakan tanah permukaan                               | 0,26     | 0,0156        | 2,07        | 1,64        |
| Jarak lokasi terlikuefaksi ke patahan Palu Koro dengan kerusakan tanah permukaan | -0,35    | 0,0115        | -3,33       | -1,64       |

dipicu oleh getaran dan akan cenderung mudah bergerak pada daerah yang landai miring. Hasil uji signifikansi juga menunjukkan bahwa variabel independen yaitu litologi (dominansi ukuran butir endapan), muka air tanah, kemiringan lereng dan jarak ke Patahan Palu Koro secara bivariat menunjukkan hubungan yang signifikan secara statistik dengan variabel dependen kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi.

Kerusakan tanah permukaan pada sebaran endapan Kuarter di Kabupaten Sigi hasil analisis korelasi secara bivariat berdasarkan klasifikasi nilai korelasi dan interpretasi hubungan (Tabel 5) menurut Cahyono (2017) menunjukkan litologi (dominasi ukuran butir endapan) memiliki nilai korelasi +0,66 (hubungan cukup) dan ini merupakan variabel yang memiliki nilai hubungan tertinggi dibandingkan dengan muka air tanah yang bernilai -0,26 (hubungan lemah), kemiringan lereng bernilai +0,26 (hubungan lemah) serta jarak ke Patahan palu Koro bernilai +0,36 (hubungan lemah). Hal ini menunjukkan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi pada sebaran Endapan kuarter di Kabupaten Sigi lebih berhubungan pada variabel litologi dan kerusakan tanah permukaan tinggi wilayahnya umumnya tersusun oleh litologi yang ukuran butir endapannya dominan pasir. Muka air tanah, kemiringan lereng dan jarak ke Patahan Palu Koro secara bivariat memiliki hubungan yang lemah dengan kerusakan tanah permukaan pada Sebaran Endapan Kuarter di Kabupaten Sigi, dimana hanya terlihat dari dominansi kejadian kerusakan tanah permukaan tinggi lebih banyak terjadi pada Muka air tanah  $\leq 10$  m, kemiringan lereng  $< 1^\circ$  dan jarak ke Patahan Palu Koro  $\leq 10$  km. Hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Hu dkk (2011) yang menggunakan kejadian likuefaksi dari berbagai belahan dunia, dimana sifat fisik tanah, muka air tanah, dan parameter gempa, kesemua parameter tersebut tidak ada yang dominan terhadap likuefaksi (semua memiliki hubungan yang bernilai rendah - sangat rendah). Faktor litologi yang menunjukkan hubungan yang lebih tinggi daripada variabel lainnya yang mengontrol

likuefaksi, dimana penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Tokimatsu dan Yoshimi, 1983) pada kejadian likuefaksi di Jepang yang menunjukkan pasir seragam lebih rentan terlikuefaksi dibandingkan dengan pasir dengan kandungan lempung  $> 10\%$ . Berdasarkan perbandingan penelitian lainnya yang serupa dengan penelitian ini, menunjukkan kejadian likuefaksi yang digunakan dalam menganalisis korelasi sangat dipengaruhi karakteristik geologi pada masing-masing wilayah.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Korelasi dan Signifikansi Litologi, muka air tanah, kemiringan lereng dan jarak ke Patahan Palu Koro dengan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi, menunjukkan hubungan yang signifikan secara statistik. Variabel litologi yang dilihat dari dominansi ukuran butir endapan secara bivariat menunjukkan nilai korelasi yang lebih besar terhadap kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi yaitu bernilai 0,66 (hubungan sedang), dibandingkan dengan variabel lainnya seperti muka air tanah, kemiringan lereng, jarak ke patahan Palu Koro, yang kesemuanya memiliki nilai korelasi terhadap kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi pada rentang 0,26 – 0,36 (hubungan lemah). Berdasarkan arah korelasi menjelaskan kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi cenderung meningkat wilayah yang tersusun oleh litologi yang dominan berukuran pasir, muka air tanah  $\leq 10$  m, jarak ke patahan Palu Koro  $\leq 10$  km dan kemiringan lereng  $> 1^\circ$ , meskipun hal ini harus dibuktikan ketelitiannya dengan pendekatan analisis multivariat untuk melihat interaksi litologi non linier, muka air tanah, kemiringan lereng, dan jarak Patahan ke Palu Koro terhadap kerusakan tanah permukaan akibat likuefaksi pada sebaran Endapan Kuarter di Kabupaten Sigi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Satuan Kerja Pusat Air Tanah dan Geologi

Tata Lingkungan atas data dan informasi yang diberikan sehingga penulisan makalah ini dapat berlangsung dengan baik. Kepada Ex Marwanto, terima kasih atas bantuannya untuk inventarisasi data dan penyusunan peta terkait penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agresti, A. (2002): *Categorical Data Analysis second edition*, Inc. Publication. Printed in the United States of America. ISBN: 0-047136093-7.
- Alioua, S., Arab, A., Benbouras, M.A., Leghouchi, A., (2024): Modeling Static Liquefaction Susceptibility of Saturated Clayey Sand Using Advanced Machine-Learning Techniques. *Transportation Infrastructure Geotechnology*: Springer. <https://doi.org/10.1007/s40515-024-00396-5>.
- Asari, A., Zulkarnaini, Hartatik, Anam, A.C. (2023): *Pengantar Statistika*. PT. Mafy Media Literasi Indonesia. ISBN: 978-623-09-3634-0.
- Buana, T.W., Wafid, M.A.N., Sadisun, I.A.. (2006): *Hubungan Potensi Likuefaksi pada Endapan Gunungapi Merapi Muda dengan Kerusakan Bangunan di Kabupaten Bantul pada Kasus Gempabumi 27 Mei 2006*; Jurnal Lingkungan Badan Geologi: Bandung. ISSN : 2086-7794.
- Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan, 2024. *Keputusan Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan Nomor 1505/GL.04/BGE/2024 Tentang Pedoman Pemetaan Kerentanan Likuefaksi skala 1: 50.000*. Badan Geologi: Bandung.
- Cahyono, T. (2017): *Statistik Uji Korelasi*, Yayasan Sanitarian Banyumas. Purwokerto. ISBN: 978-602-72170-3-4.
- Dwiyantoro, W., Fathani, T.F., Adi, A.D. (2023): Influence of Groundwater Table Fluctuation on Liquefaction Potential Analysis Using Cyclic Stress Approach. *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1184/1/012006>.
- Ghani, S., Thapa, I., Kumari, S., Correia, A.G., Asteris, P.G. (2025): Revealing the Nature of Soil Liquefaction using Machine Learning. *Earth Science Informatics*: Springer. <https://doi.org/10.1007/s12145-024-01688-7>.
- Green, R.A., dan Ziotopoulou (2015): *Overview of Screening Criteria for Liquefaction Triggering Susceptibility*. *Proceedings of the Tenth Pacific Conference on Earthquake Engineering*. Building and Earthquake-Resilient Pacific Sydney: Australia.
- Hu, J., Tan, Y., Zou, W. (2021): Key Factors Influencing Earthquake-Induced Liquefaction and their Direct and Mediation Effects. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.024638>.
- Jalil, A., Fathani, T.F., Satyarno, I., Wilopo., W. (2021): *Liquefaction in Palu: The Cause of Massive Mudflows*, *Geoenvironmental Disasters*. Springer Open. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40677-021-00194-y>.
- Karakas, E.K., Yildiz, I., Can, R., Kocaman, S., Cetin, K.O., Gokceoglu, C. (2024) : Event-Based Regional Model of Liquefaction Susceptibility in Amik, Golbasi and Kahramanmaraş Basins after the February 6, 2023 Earthquakes. *Engineering Geology* 339 : Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.eng-geo.2024.107644>.
- Kumar, D.R., Wupulanusat, W. (2025): Advancements in Predicting Soil Liquefaction Susceptibility: a Comprehensive analysis of Ensemble and Deep Learning Approaches. *Scientific: Nature Portfolio*. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-04280-1>.
- Mason, B. Hutabarat, D., Gallant, A.P., Wartman, J. (2019) : *Geotechnical Reconnaissance: The 28 September 2018 M.7.5 Palu Donggala, Indonesia Earthquake*. Technical Report. DOI: <https://doi.org/10.18118/G63376>.
- Nuryadi, Astuti, T.D., Utami, E.S., Budiantara, M. (2017): *Dasar-Dasar Statistik Penelitian*. Sibuku Media: Gramasurya, Yogyakarta. ISBN: 978-602.6558-04-06.
- Oberemier, S.F. (1996): Use of Liquefaction-Induced Features for Paleoseismic Analysis-

- An Overview of How Seismic Liquefaction Features can be Distinguished from other Features and how their Regional Distribution and Properties of Sources Sediment can be used to Infer the Location and Strength of Holocene Paleo-Earthquakes. *Engineering Geology* : Elsevier.
- Pakpahan, S., Ngadmanto, D., Masturyono, Rohadi, S., Rasmid, Widodo, H.S. (2015): Analisis Kegempaan di Zona Sesar Palu Koro, Sulawesi Tengah. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*: Bandung. ISSN: 2086-7794.
- Papadopoulos, G.A., Lefkopoulus, G. 1993. *Magnitude-Distance Relations For Liquefaction in Soil From Earthquakes*. Bulletin of Seismological Society of America Volume 83. DOI: <https://10.1785/BSSA0840062019>.
- Pucangan, A., Rifa'i, A., Rahardjo, A.P. (2024): Liquefaction Potential Analysis Based on Standard Penetration Test Data at Irrigation Canals in Sibowi Area-Central Sulawesi Province. IOP Conference Series. The 2nd International Conference on Disaster Management and Climate Change 2023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1314/1/012035>.
- Seed, H.B. Idriss, I.M. (1970): *A Simplified Procedure For Evaluating*, Earthquake Engineering Research Center Report No. EERC 70 – 9. National Technical Information Service University of California. PB198009.
- Sehmusoglu, E.K., Kurnaz, T.F., Erden, C. (2025): Estimation of Soil Liquefaction using Artificial Intelligence Techniques: an Extended Comparison Between Machine and Deep Learning Approaches. *Environmental Earth Science*: Springer. <https://doi.org/10.1007/s12665-025-12116-4>.
- Siegel, S., and Castellan, N.J. (1988): *Non Parametric for The Behavioral Sciences 2<sup>th</sup>*. Mc Graw-Hill Book Company. ISBN : 0-07-057357-3.
- Somers, H., (1962): *A New Asymmetric of Association for Ordinal Variables*. American Sociological Association. <http://www.jstor.org/stable/2090408>.
- Sugiyono (2007): *Statistik Untuk Penelitian*. Alfabeta Bandung. ISBN: 978-979-8433-10-8.
- Tokimatsu, K dan Yoshimi, Y. (1983): *Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-Value and Fines Content*. Soils and Foundations Volume 23 Nomor 4. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. DOI: [https://doi.org/10.3208/sandf1972.23.4\\_56](https://doi.org/10.3208/sandf1972.23.4_56).
- Yang, H., Liu, Z., Xie, Y. (2023): Probabilistic Liwuefaction Assessment Based on a In-Situ State Parameter Considering Soil Spatial Variability and Various Uncertainties. *KSCE Journal of Civil Engineering* 27: Geotechnical Engineering. <https://doi.org/10.1007/s12205-023-0144-7>.
- Youd, T.L. (1973): *Liquefaction, Flow, and Associated Ground Failure*. Geological Survey Circular 688, The U.S. Geological Survey Washington, D.C.
- Wafid, M.A.N., Suyono, Buana, T.B., Saputra, S.E.A., Cita, A., Iman, M.I. (2025): *Likuefaksi Tipe Palu (Fenomena Alam Unikdi Dunia, Suatu Tinjauan Geologi Komprehensif)*. Badan geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. ISBN: 9789799616098.
- Wang, W., Chen, L., Guo, T., Wang, Y., Ling, X. (2023): Analysis of Standard Penetration Test-Based Liquefaction Evaluation Methods using Chinese Liquefaction Database. *Rock and Soil Mechanics* Vol. 44. <https://doi.org/10.16285/j.rsm.2022.5229>.
- Wardhana, D.D., Muslim, D., Zakaria, Z., Tohari, A., Soebowo, E. (2024): *Identification of Subsurface Structure Causing Liquefaction in Palu City Based on Gravity Anomaly*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Sciences 1373 (2024) 012067 : IOP Publishing
- Widyatama, I.M., Ismanti, S., and Setiawan, A.F. (2023): *Assessment of post-liquefaction potential in soil displacement on Irrigation Canal Reconstruction Project in The Jono Oge and Lolu Area, Central Sulawesi, Indonesia*, E3S Web of conferences 468, ICST

- Universitas Gadjah Mada. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346804001>.
- Zarei, A., Motlagh, A.H., Bonab, M.H., Panahi, P.A. (2024): Influence of Ground Slope and Relative Density on Liquefaction-Induced Lateral Spreading: A Physical Modeling. *Geotechnical Geology Engineering* Vol. 42 : Springer. <https://doi.org/10.1007/s10706-024-02836-y>.
- Zhang, G., Robertson, P.K., Brachman, R.W.I. (2002): Estimating Liquefaction-Induced Ground Settlements from CPT for Level Ground. *Geotech Journal* Vol 39. NRC Canada. <https://DOI:10.1139/T02-047>.
- Zhang, G., Robertson, P., Brachman, R. (2004) : Estimating Liquefaction-Induced Lateral Displacements using the Standard Penetration Test or Cone Penetration Test. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. [https://DOI:10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2004\)130:8\(861\)](https://DOI:10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:8(861)).