

PEMETAAN RISIKO LIKUIFAKSI MENGGUNAKAN METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) DAN WEIGHTED OVERLAY DI KOTA PALU, SULAWESI TENGAH

LIQUEFACTION RISK MAPPING USING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) AND WEIGHTED OVERLAY METHODS IN PALU CITY, CENTRAL SULAWESI

Dewi Mirah Rezki¹, Aenan Putri Aulia^{2,*}, Anggreine Aurelia Porajow³

¹Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Eksplorasi dan Produksi, Universitas Pertamina
E-mail: putriaenan@gmail.com

Abstract

Palu City, Central Sulawesi, is one of the regions in Indonesia that has experienced liquefaction. Liquefaction is a phenomenon when the soil loses strength due to a sudden change in stress. Liquefaction in Palu City is caused by the area dominated by alluvium and the soil is saturated with water due to the earthquake. Liquefaction in Palu City caused damage to infrastructure and caused casualties. On this basis, a map of the liquefaction hazard risk of the city of Palu was made. The data used in this study are administrative and population maps, groundwater productivity maps, rock types maps, earthquake hazard maps, groundwater depth maps, and rock age maps. The method used in this research is the Analytical Hierarchy Process (AHP) method to determine the priority weight of the parameters used. Then the Weighted Overlay method is used in the GIS processing software to combine maps in an overlapping manner based on the priority weights that have been obtained. So it is known that the liquefaction hazard zone of Palu city is divided into 5 classes, namely very high, high, medium, low and very low liquefaction risk classes. The map is expected to provide information on areas that have the potential to experience liquefaction in Palu City. This map is also expected to be used to improve the effectiveness of disaster mitigation management, and can be used as a consideration for the government in carrying out national development.

Keywords: *ahp, liquefaction, map, overlay*

Abstrak

Kota Palu, Sulawesi Tengah merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang pernah mengalami likuifaksi. Likuifaksi adalah fenomena ketika tanah kehilangan kekuatan akibat adanya perubahan tegangan secara mendadak. Likuifaksi di Kota Palu disebabkan karena wilayah yang didominasi oleh aluvium, serta tanah yang jenuh air akibat adanya gempa bumi. Likuifaksi di Kota Palu menyebabkan rusaknya infrastruktur dan menimbulkan korban jiwa. Atas dasar tersebut, maka dibuat peta risiko bahaya likuifaksi Kota Palu. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta administrasi dan populasi, peta produktivitas air tanah, peta jenis batuan, peta rawan gempa, peta kedalaman air tanah, dan peta umur batuan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk mengetahui bobot prioritas dari parameter yang digunakan. Lalu digunakan Metode Weighted Overlay pada perangkat lunak pengolah SIG untuk menggabungkan peta secara tumpang susun berdasarkan bobot prioritas yang telah didapat. Sehingga diketahui zona bahaya likuifaksi Kota Palu yang dibagi menjadi 5 kelas, yaitu kelas risiko likuifaksi sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah, dan sangat rendah. Peta tersebut diharapkan dapat memberikan informasi mengenai wilayah yang berpotensi mengalami likuifaksi di Kota Palu. Peta ini juga diharapkan dapat digunakan untuk meningkatkan keefektifan manajemen mitigasi bencana, serta dapat dijadikan pertimbangan pemerintah dalam melakukan pengembangan nasional.

Kata kunci: *ahp, likuifaksi, overlay, peta*

PENDAHULUAN

Likuifaksi merupakan fenomena dimana sedimen mengalami peluluan akibat bercampur dengan air dan adanya guncangan gempa, sehingga litologi setempat tidak bisa menahan guncangan (Widyaningrum, 2012). Beberapa daerah di Indonesia pernah mengalami likuifaksi, salah satunya adalah Kota Palu Sulawesi Tengah. Pada tahun 2018, terjadi gempa berkekuatan M7,7 di kota Palu dan sekitarnya. Gempa ini diakibatkan oleh pergerakan sesar Palu Koro, sesar ini merupakan sesar aktif yang berarah Utara Selatan, sesar ini bergerak dengan mekanisme pergerakan sesar mendatar mengiri. Selain menyebabkan gempa, pergerakan sesar ini juga memicu terjadinya tsunami di wilayah Pantai Donggala dan Pantai Talise Palu. Tsunami dan gempa ini menyebabkan bercampurnya air dengan formasi batuan aluvium dan endapan pantai yang belum mengalami kompaksi dengan baik, sehingga tanah kehilangan kekuatannya dan menyebabkan likuifaksi di Kota Palu dan Sigi (BNPB, 2018).

Kota Palu dan sekitarnya memiliki endapan tanah pasir dengan muka air tanah dibawah 12 m, sehingga rentan mengalami likuifaksi. Ketika terjadi gempa, volume tanah cenderung menyusut dan tekanan air pori meningkat, sehingga kuat geser efektif tanah akan menurun. Pasir yang jenuh air akan mengisi ruang antar partikel sehingga kekuatan *interlocking* antara partikel hilang. Likuifaksi di kota Palu dan sekitarnya telah menyebabkan rusaknya infrastruktur. Likuifaksi memang tidak dapat diprediksi kapan dan seberapa besar intensitasnya, namun dapat diminimalisir dengan memprediksi probabilitasnya. Oleh karena itu, peneliti membuat Peta Risiko Likuifaksi Kota Palu dan sekitarnya.

Dalam pembuatan Peta Risiko Likuifaksi Kota Palu dan sekitarnya, digunakan enam peta dasar yang ditentukan bobot dan skor nya menggunakan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*), lalu dilakukan proses tumpang susun menggunakan perangkat lunak pengolah SIG.

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan peta potensi likuifaksi di daerah Palu, Sulawesi Tengah. Peta pada penelitian ini didapatkan

dengan mengolah parameter data dengan menggunakan pembobotan data yang didapat dari penggunaan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dalam batasan dan parameter tertentu serta dengan *Weighted Overlay* pada peta dengan pembobotan kelas bencana. Ada beberapa parameter yang digunakan seperti, jenis akuifer, produktivitas air tanah, kawasan rawan gempabumi, jenis batuan, dan umur batuan. Sehingga diketahui zona bahaya likuifaksi Kota Palu yang dibagi menjadi 5 kelas, yaitu kelas risiko likuifaksi sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah, dan sangat rendah. Peta tersebut diharapkan dapat memberikan informasi mengenai wilayah yang berpotensi mengalami likuifaksi di Kota Palu. Peta ini juga diharapkan dapat digunakan untuk meningkatkan keefektifan manajemen mitigasi bencana, serta dapat dijadikan pertimbangan pemerintah dalam melakukan pengembangan nasional.

LOKASI DAERAH PENELITIAN

Daerah lokasi penelitian secara administrasi berada di Daerah Palu, Provinsi Sulawesi Tengah, Indonesia. Secara geografis daerah ini terletak pada koordinat 119° 51' 00" -119° 56' 00" BT dan 00° 52' 00" - 00° 59' 00" LU. Kota Palu memiliki tatanan stratigrafi yang disusun oleh tiga kelompok batuan utama yaitu, kelompok batuan Pra-Tersier, kelompok batuan Tersier dan Kelompok Batuan Kwartir (Hall, 2010).

Wilayah Kota Palu dicirikan oleh bentuk morfologi berupa lembah (*graben*) dimana pusat Kota Palu ini terletak di bagian tengah dari lembah tersebut. Orientasi lembah ini mengikuti arah utama jalur pegunungan di kedua sisinya, yaitu berarah relatif utara-selatan (Bappenas, 2010). Berdasarkan hasil studi dari tim revisi peta gempa Indonesia (Irsyam, M, dkk, 2010) struktur geologi aktif yang melewati Kota Palu adalah berupa PKF (*Palu Koro Fault*) dan MF (*Matano Fault*) keduanya

merupakan sesar aktif yang banyak dijumpai disekitar lembah Palu. Sulawesi Tengah merupakan bagian dari tektonik aktif, daerah ini merupakan bagian subduksi yang menghasilkan fenomena geologi seperti aktivitas vulkanisme dan tektonik

DATA

Pada penelitian ini ada beberapa data tematik yang digunakan untuk memetakan risiko likuifaksi di Kota Palu, seperti data administrasi, produktivitas air tanah, jenis batuan, kerawanan gempa, data kedalaman air tanah, dan data umur batuan di daerah penelitian. Semua data tersebut memiliki hubungan untuk menentukan risiko likuifaksi di daerah penelitian.

a. Peta Administrasi dan Jumlah Populasi

Data tersebut untuk mengetahui batas – batas administrasi dari kota yang ada di Kota Palu dan berapa jumlah populasinya. Karena parameter ini digunakan untuk memetakan daerah mana yang berisiko akan bahaya likuifaksi berdasarkan parameter lainnya. Melalui jumlah populasi dan persebaran daerah kerawanan likuifaksi, maka dapat dilakukan analisis seberapa besar kerugian dan dampak yang ditimbulkan oleh likuifaksi tersebut.

b. Peta Jenis Lapisan Air Tanah

Jenis lapisan air tanah memiliki pengaruh terhadap likuifaksi yaitu dimana jika terdapat sebuah guncangan atau getaran, maka lapisan yang menyimpan dan dapat meloloskan air tanah akan lebih mudah untuk mendistorsi atau menyusun ulang butir – butir pada lapisan tersebut dan akan mengalir begitu saja ke segala arah membuat terjadinya likuifaksi. Data ini berhubungan dengan data produktivitas air tanah dan data jenis batuan.

c. Peta Produktivitas Air Tanah

Data produktivitas air tanah merupakan salah satu elemen penting dalam penentuan daerah rawan likuifaksi. Data produktivitas air tanah akan memberikan informasi yang berhubungan dengan volume air yang berada di bawah tanah. Dengan mengetahui volume air yang ada di bawah tanah

maka bisa membantu dalam hal pemetaan daerah rawan likuifaksi. Volume air yang tinggi menandakan bahwa area tersebut memiliki produktivitas yang tinggi. Area dengan produktivitas tinggi akan lebih rentan terhadap peristiwa likuifaksi.

d. Peta Kawasan Rawan Bencana Gempabumi

Likuifaksi dapat terjadi dengan kehadiran guncangan ataupun getaran dari suatu energi. Seperti yang diketahui bahwa peristiwa gempa bumi akan menghasilkan energi berupa guncangan ataupun getaran. Dengan adanya energi yang ditimbulkan dari suatu gempa dapat memicu terjadinya proses likuifaksi akibat getaran atau guncangan tersebut.

e. Peta Jenis Batuan

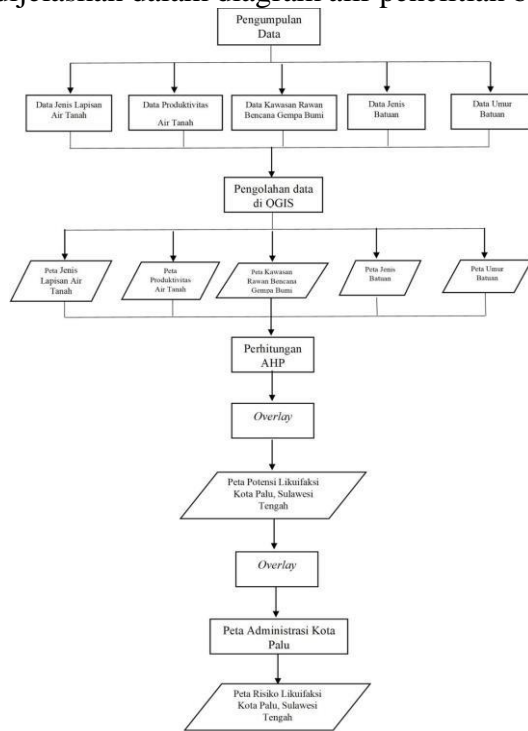
Properti fisik batuan dapat mempengaruhi porositas dan permeabilitas suatu lapisan tanah. Batuan yang memiliki porositas yang baik maka akan menyebabkan fluida lebih mudah untuk masuk ke dalam batuan ataupun ke dalam lapisan tanah sehingga meningkatkan kerawanan terhadap bahaya likuifaksi. Begitupun sebaliknya, batuan dengan porositas yang buruk akan cenderung memiliki resiko yang kecil terhadap terjadinya peristiwa likuifaksi.

f. Peta Umur Batuan

Umur batuan berkaitan dengan proses yang sudah terjadi di batuan tersebut. Semakin tua batuan itu maka batuan itu akan lebih kompak dan terlitifikasi, jadi batu yang berumur tua akan lebih keras sehingga kekuatan batuan juga meningkat. Begitupun sebaliknya, batuan yang berumur lebih muda cenderung bersifat kurang resisten sehingga rentan terhadap peristiwa likuifaksi. Data umur batuan diambil dari Peta Geologi Tinjau Lembar Palu 1973.

METODE

Secara keseluruhan, proses penelitian ini dijelaskan dalam diagram alir penelitian berikut:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Perhitungan Metode AHP

Metode utama yang digunakan adalah metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Dalam perhitungan AHP terdapat beberapa langkah, yaitu :

- Langkah pertama adalah membuat matriks perbandingan berpasangan, dimana nilai setiap matriks diperoleh berdasarkan kuesioner yang telah diisi oleh para ahli. Dalam penelitian ini, digunakan 3 kuesioner ahli. Pada kuesioner tersebut, kelima parameter dibandingkan secara berpasangan. Lalu ditentukan intensitas kepentingannya berdasarkan Saaty (1988) seperti pada Tabel 1. Nilai matriks yang didapatkan akan dirata-ratakan menggunakan perhitungan rataan geometri.
- Langkah selanjutnya adalah melakukan normalisasi matriks, yaitu dengan membagi nilai setiap matriks dengan jumlah total pada kolom tersebut, kemudian ditentukan bobot prioritas dengan menjumlahkan setiap

nilai matriks per baris dan dirata-ratakan.

- Setelah mendapatkan bobot, maka harus dicek apakah bobot yang diperoleh masih dalam preferensi yang logis, yaitu dengan menghitung nilai rasio konsistensi. Pada penelitian ini, didapatkan bahwa nilai rasio konsistensi adalah 0,09. Agar data dapat dikategorikan sebagai data yang bagus dan dapat diterima, maka $CR < 10\%$ (Misbahudin, Abdullah Husna, Rusdi Toriq, 2017).
- Lalu, dilakukan skoring, yaitu memberikan skor pada setiap kelas di masing-masing peta. Skor tertinggi menunjukkan bahwa kelas tersebut paling berpengaruh dalam menyebabkan likuifaksi. Sementara skor terendah menunjukkan bahwa kelas tersebut paling tidak berpengaruh terhadap likuifaksi. Hasil perhitungan AHP dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Skala penilaian antar parameter

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Sama Pentingnya
2	Kurang Penting
3	Cukup Penting
4	Cukup Lebih Penting
5	Kepentingannya Tinggi
6	Kepentingannya Lebih Tinggi
7	Sangat Penting
8	Amat Sangat Penting
9	Paling Penting

Tabel 2. Hasil perhitungan menggunakan metode AHP

Parameter	Kelas	Skor	Bobot
Peta Umur Batuan	Quaternary	5	0,11
	Neogene	3	
	Pra-tertiary	1	
Peta Jenis Lapisan Air	Akuifer Bebas	5	0,25
	Akuifer & Akuifer Semi Tertekan	3	
	Akuifer & Batuan Dasar	1	
Peta Jenis Batuan	Surficial Deposite	5	0,23
	Batuan Vulkanik	4	
	Batuan Sedimen	3	
	Batuan Metamorf	2	
	Intrusi dan Batuan Beku	1	
Peta Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi	Tinggi	5	0,32
	Menengah	-	
	Rendah	-	
Peta Produktivitas Air Tanah	Tinggi	5	0,09
	Sedang	3	
	Kecil	1	

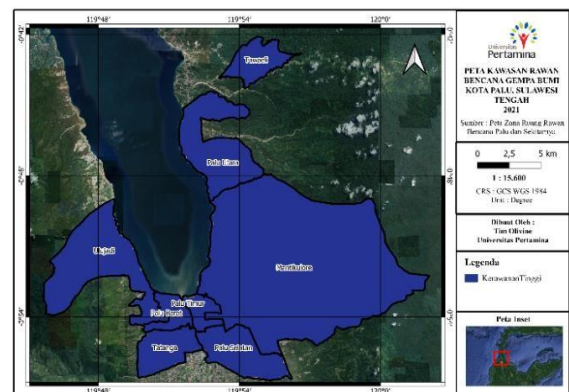
Metode Overlay

Overlay adalah proses menggabungkan peta dalam perangkat lunak pengolah SIG untuk menghasilkan suatu informasi baru. Dalam penelitian ini, peta yang digabungkan adalah peta kedalaman muka air tanah, peta produktivitas air tanah, peta kawasan rawan bencana gempa bumi, peta jenis batuan, dan peta umur batuan. Sebelum melakukan overlay, kelima peta harus disamakan resolusinya, dalam penelitian ini digunakan resolusi 30m x 30m karena resolusi tersebut dianggap tidak terlalu besar, sehingga besar penyimpanannya juga tidak terlalu besar, namun masih representatif serta akurat dalam

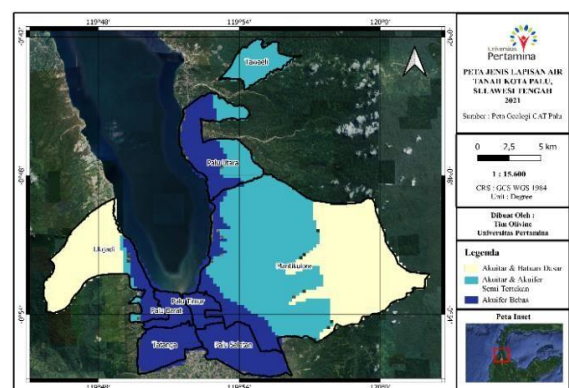
menentukan posisi, dan luas wilayah, terutama pada batas-batas yang berubah secara gradual seperti penutupan lahan. Kelima peta tersebut di overlay dengan menggunakan bobot dan skor yang telah ditentukan. Sehingga didapatkan peta potensi likuifaksi Kota Palu. Setelah itu, dilakukan overlay lagi dengan peta administrasi dan populasi. Kegunaan dari overlay dengan peta administrasi dan populasi adalah untuk menganalisis seberapa besar resiko dan kerugian yang ditimbulkan dilihat dari jumlah populasi yang ada dalam setiap kelas kerawanan. Sehingga diperoleh peta risiko likuifaksi Kota Palu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

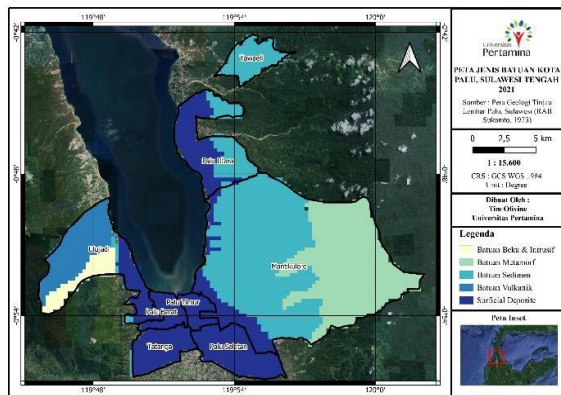
Peta Parameter-Parameter Likuifaksi



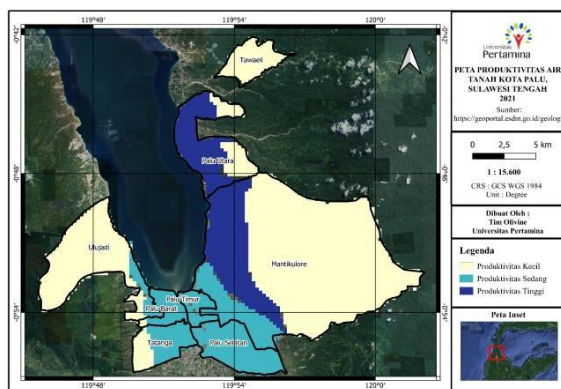
Gambar 2. Peta kawasan rawan bencana gempa bumi Kota Palu, Sulawesi Selatan 2021



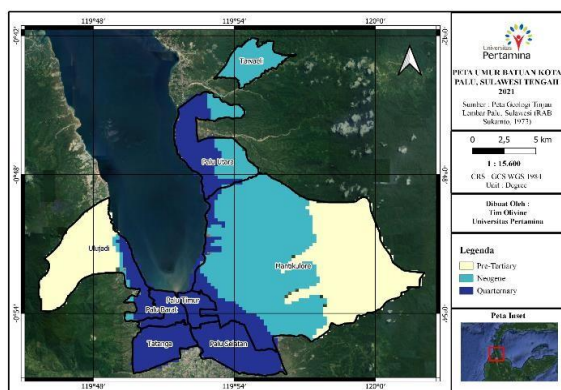
Gambar 3. Peta jenis lapisan air tanah Kota Palu, Sulawesi Tengah 2021



Gambar 4. Peta jenis batuan Kota Palu, Sulawesi Tengah 2021



Gambar 5. Peta produktivitas air tanah Kota Palu, Sulawesi Tengah 2021



Gambar 6. Peta umur batuan Kota Palu, Sulawesi Tengah 2021

Pada Gambar 2, peta kawasan rawan bencana gempabumi kota Palu menunjukkan bahwa seluruh daerah kota Palu memiliki tingkat kerawanan sangat tinggi. Hal ini karena kota Palu menjadi daerah yang dilewati sesar aktif Palu Koro, sehingga aktivitas kegempaan menjadi

sangat intens. Berdasarkan metode skoring untuk parameter rawan bencana kegempaan, maka seluruh daerah kota palu memiliki skor 5, karena kelas kerawanan kegempaan tinggi memiliki pengaruh paling besar terhadap risiko likuifaksi.

Pada Gambar 3, diketahui bahwa Kota Palu memiliki jenis lapisan air tanah berupa akuifer bebas, akuitar & akuifer semi tertekan, serta akuitar & batuan dasar. Akuifer bebas ini terletak pada formasi Qa yang didominasi oleh endapan pantai dan alluvium, akuifer bebas ini juga terletak pada kedalaman yang paling dangkal jika dibandingkan dengan akuitar dan akuifer semi tertekan. Saat terjadi gempa, maka daerah yang memiliki akuifer bebas akan memiliki risiko likuifaksi lebih tinggi karena jenis litologi yang belum terkompaksi dan kedalaman akuifer yang cukup dangkal akan membuat air bisa bercampur dengan litologi tersebut dan tanah kehilangan kekuatannya. Sementara akuifer semi tertekan memiliki hidraulik konduktivitas yang lebih kecil dibandingkan akuifer bebas, dan akuitar merupakan lapisan yang kurang kedap air dan meloloskan air dalam jumlah yang kecil, sehingga kedua lapisan air tanah ini tidak terlalu berpengaruh dalam menyebabkan likuifaksi.

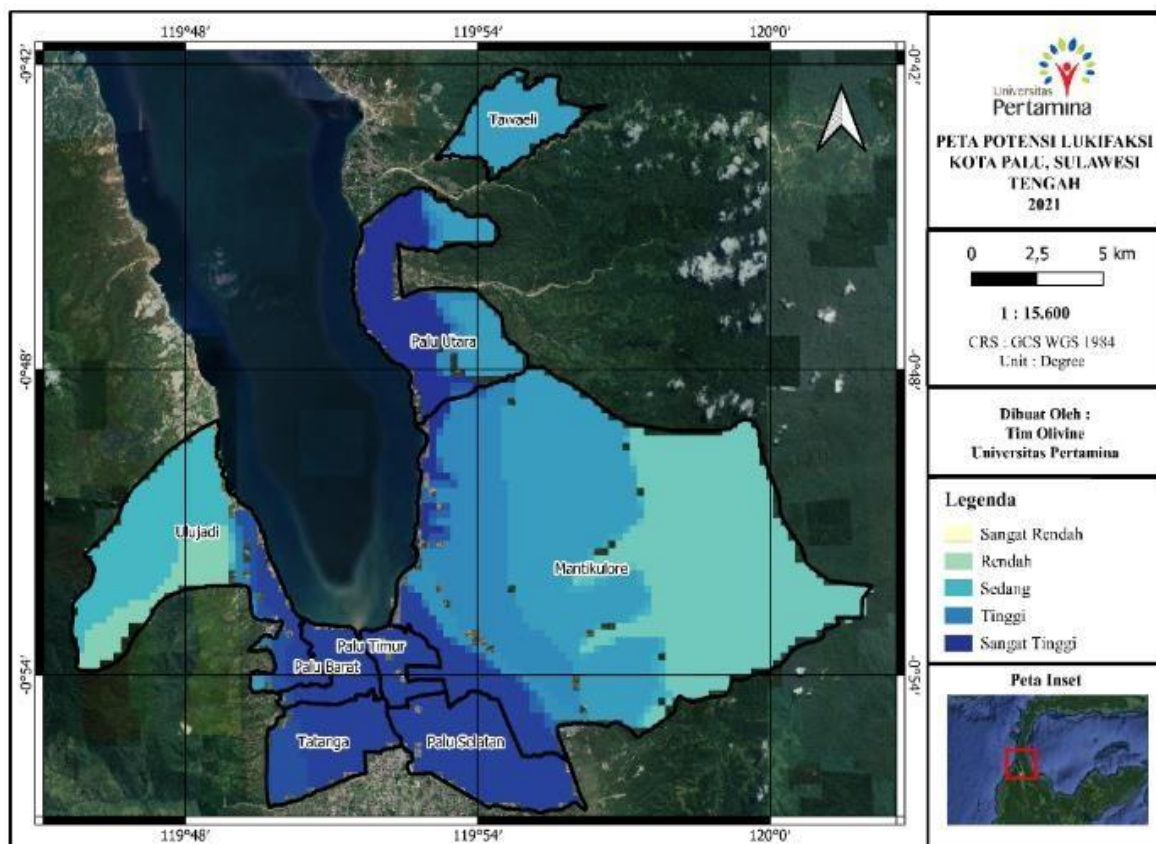
Pada Gambar 4 diketahui jenis batuan berupa *surficial deposits* (endapan pantai dan alluvium) akan lebih berpengaruh terhadap likuifaksi, karena litologi pada endapan pantai dan alluvium cenderung belum terkompaksi dengan baik. Sehingga ketika mengalami gempa dan bercampur dengan air tanah, maka jenis batuan tersebut akan kehilangan kekuatannya. Oleh karena itu, pada metode skoring jenis batuan, *surficial deposits* memiliki skor yang paling tinggi. Pada Gambar 5 dapat diketahui produktivitas air tanah Kota Palu. Menurut Putra dkk (2021), daerah kota Palu dengan produktivitas air tanah tinggi

umumnya memiliki kedalaman muka air tanah kurang dari 5 m di bawah muka air tanah setempat dengan debit mencapai lebih dari 50 liter/detik. Saat terjadi gempa, maka muka air tanah dengan kedalaman dangkal akan sangat terpengaruh dan lebih mudah untuk naik ke permukaan. Sedangkan daerah dengan produktivitas air tanah sedang dengan kedalaman 50-70 m, serta daerah dengan produktivitas air tanah kecil tidak terlalu berpengaruh dalam menyebabkan likuifaksi di kota Palu. Pada Gambar 6, daerah dengan umur batuan quaternary biasanya belum terkompaksi dengan baik, sehingga memiliki kekuatan yang rendah. Apabila terjadi aktivitas kegempaan, maka batuan berumur muda akan sangat mudah terpengaruh dan kehilangan kekuatannya.

Peta Risiko Bahaya Likuifaksi

Peta potensi bahaya likuifaksi dihasilkan dari semua parameter meliputi jenis batuan, umur

batuan, jenis lapisan air tanah, produktivitas air tanah dan kerawanan terhadap bencana gempa bumi. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, terdapat lima pembagian kelas untuk mengetahui seberapa besar potensi terjadinya likuifaksi di Kota Palu, Sulawesi Selatan. Lima pembagian kelas tersebut antara lain kelas sangat tinggi, kelas tinggi, kelas sedang, kelas rendah dan kelas sangat rendah. Daerah-daerah yang termasuk ke dalam kelas sangat tinggi, umumnya tersusun atas jenis batuan berupa *surficial deposite* dengan umur batuan Quaternary, merupakan area akuifer bebas dengan produktivitas air sedang-tinggi dan juga memiliki kerawanan sangat tinggi terhadap gempa bumi. Daerah yang termasuk ke dalam kelas ini yaitu Palu Timur, Palu Barat, Tatanga, sebagian daerah di Palu Utara dan juga daerah Palu Selatan.



Gambar 7. Peta risiko likuifaksi Kota Palu, Sulawesi Selatan 2021.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penulisan paper ini adalah sebagai berikut :

1. Peta risiko likuifaksi diklasifikasikan menjadi 5 tingkat, yaitu risiko sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah, dan sangat rendah.
2. Berdasarkan peta tersebut, Kota Palu didominasi dengan risiko likuifaksi rendah. Namun, yang perlu menjadi perhatian adalah daerah dengan risiko sangat tinggi dan tinggi. Meliputi Palu Timur, Palu Barat, Tatanga, sebagian daerah di Palu Utara, Palu Selatan dan Mantikulore.
3. Nilai CR (*Consistency Ratio*) pada penentuan pembobotan parameter peta potensi bahaya likuifaksi bernilai 0,09 (dapat diterima).
4. Berdasarkan validasi antara Peta Risiko Bahaya Likuifaksi yang telah dibuat dengan Peta Zona Ruang Rawan Bencana Palu, didapatkan persebaran daerah dengan risiko likuifaksi yang sama. Sehingga metode AHP dan parameter yang digunakan dalam penelitian ini dapat dinilai cukup akurat dalam memetakan potensi bahaya likuifaksi pada kota Palu.
5. Peta risiko likuifaksi diklasifikasikan menjadi 5 tingkat, yaitu risiko sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah, dan sangat rendah.
6. Berdasarkan peta tersebut, Kota Palu didominasi dengan risiko likuifaksi rendah. Namun, yang perlu menjadi perhatian adalah daerah dengan risiko sangat tinggi dan tinggi. Meliputi Palu Timur, Palu Barat, Tatanga, sebagian daerah di Palu Utara, Palu Selatan dan Mantikulore.
7. Nilai CR (*Consistency Ratio*) pada penentuan pembobotan parameter peta potensi bahaya likuifaksi bernilai 0,09 (dapat diterima).
8. Berdasarkan validasi antara Peta Risiko Bahaya Likuifaksi yang telah dibuat dengan Peta Zona Ruang Rawan Bencana Palu, didapatkan persebaran daerah dengan risiko likuifaksi yang sama. Sehingga metode AHP dan parameter yang digunakan dalam penelitian ini dapat dinilai cukup akurat dalam memetakan potensi bahaya likuifaksi pada kota Palu.

SARAN

Adapun saran dari penulisan paper ini adalah dengan adanya Peta Potensi Likuifaksi Kota Palu Sulawesi Tengah, diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam meningkatkan upaya mitigasi bencana likuifaksi di daerah ini oleh pemerintah dan BNPB setempat. Peta ini dapat pula menjadi bahan edukasi masyarakat setempat untuk mengetahui kerawanan likuifaksi di daerahnya. Perlu adanya kerjasama antara pemerintah dan masyarakat dalam menanggulangi bencana likuifaksi serta dalam upaya peningkatan pembangunan kedepannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kemudahan dalam penulisan paper ini sehingga kami dapat menyelesaikan penelitian ini sampai selesai. Terimakasih kepada kedua orangtua kami yang telah memberikan doa dan dukungan. Serta kepada Bapak Kaprodi Teknik Geologi Universitas Pertamina, Rio Priandri Nugroho, M.MinRes yang telah memberikan kesempatan kami menjadi perwakilan prodi. Serta kepada seluruh dosen, rekan, dan Himpunan Mahasiswa Teknik Geologi Mahandraga yang telah memberikan ilmu dan pengalaman di bidang geologi, sehingga menjadi bekal kami dalam menulis paper ini, terimakasih atas segala dukungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- BNPB. 2018. *Informasi Kebencanaan Bulanan Teraktual*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Jakarta
- Hall, R. & Wilson. M. E. J. 2000. Neogene Sutures in Eastern Indonesia. *Journal of Asian earth Sciences*. 18, 781-808.
- Husna, A., Marwantho, A., Misbahudin, Toriq, Rusdi. 2017. Analisis Kerentanan Longsoran Menggunakan Proses Hirarki Analitik di Daerah Sukatani dan Sekitarnya, Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 8 No. 1, April 2017: 19 - 30.
- Irsyam, M. 2010. *Peta Zonasi Gempa Indonesia*. Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.

Putra Santosa, D. P., Dwi Hadian, M. S., & Zakaria, Z. (2021). Hydrostratigraphy And Aquifer Geometry In, Palu Groundwater Basin, Central Sulawesi Province After Earthquake. *JURNAL SUMBER DAYA AIR*, 17(1), 25–38. <https://doi.org/10.32679/jsda.v17i1.695>

Widyaningrum, R. 2012. *Penyelidikan Geologi Teknik Potensi Likuifaksi Daerah Palu, Provinsi Sumalesi Selatan*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung.