

PREDIKSI PENURUNAN TANAH AKIBAT LIKUIFAKSI DI CILACAP SELATAN

Selvia Agustina^{1*}, Rinda Karlinasari²

^{1*}Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, Universitas Negeri Jakarta, selvia@unj.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, rinda.karlinasari@unissula.ac.id

ABSTRAK

Cilacap Selatan merupakan salah satu daerah yang berada di pesisir selatan Pulau Jawa. Wilayah ini berhadapan langsung dengan zona subduksi Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Selain itu, Cilacap juga berada dekat dengan jalur Sesar Pamanukan-Cilacap sehingga kondisi ini menyebabkan wilayah Cilacap sering terjadi gempa bumi. Gempa bumi seringkali menimbulkan bencana, salah satunya adalah likuifaksi. Apalagi kondisi geologi di Cilacap Selatan didominasi dengan endapan alluvial dengan muka air tanah dangkal. Oleh sebab itu diperlukan analisis potensi likuifaksi beserta prediksi penurunannya. Analisis dilakukan menggunakan data sekunder berupa peta geologi, data N-SPT, data properti tanah, dan percepatan tanah puncak. Analisis yang digunakan adalah analisis likuifaksi semi empiris, NCEER. Dari pengolahan data tersebut akan menghasilkan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) yang akan dianalisis nilai keamanannya atau *safety factor* (SF). Kemudian tingkat potensi likuifaksi pada penelitian ini menggunakan metode *Liquefaction Potential Index* (LPI). Setelah diketahui tingkat potensi likuifaksinya, menghitung prediksi penurunan tanah setelah terjadi likuifaksi dengan metode Zhang. Hasil analisis menunjukkan bahwa tanah di Cilacap Selatan memiliki kerentanan yang sangat tinggi terhadap likuifaksi dengan nilai *Liquefaction Potential Index* (LPI) sebesar 28,07. Prediksi penurunan tanah akibat likuifaksi mencapai 27,97 cm yang termasuk dalam kategori tingkat kerusakan tinggi. Hal ini disebabkan oleh kondisi tanah yang didominasi oleh lanau lepas dengan muka air tanah yang cukup dangkal serta besarnya percepatan gempa yang berpotensi terjadi di wilayah Cilacap.

Kata kunci : likuifaksi, penurunan tanah, cilacap selatan

Penerbit : Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Cilacap terletak di pesisir selatan Pulau Jawa dan berbatasan langsung dengan Samudra Hindia. Wilayah ini memiliki potensi bencana alam salah satunya adalah gempa bumi. Gempa bumi dapat menyebabkan terjadinya likuifaksi pada tanah yang berpotensi. Likuifaksi adalah fenomena hilangnya kekuatan dan kekakuan tanah seragam jenuh air akibat beban gempa sehingga tanah berperilaku seperti cairan.

Berdasarkan peta geologi, wilayah Cilacap Selatan tersusun atas endapan aluvial dan endapan pantai yang umumnya didominasi oleh tanah berbutir halus seperti lanau dan lempung. Tanah dengan karakteristik demikian

rentan mengalami likuifaksi saat terjadi guncangan gempa. Selain itu, kondisi muka air tanah yang cukup dangkal juga menjadi faktor penting yang meningkatkan potensi likuifaksi di wilayah ini.

Likuifaksi dapat menyebabkan kerusakan bangunan dan infrastruktur di atasnya akibat penurunan permukaan tanah. Oleh karena itu, analisis potensi likuifaksi dan prediksi penurunan tanah di Cilacap Selatan perlu dilakukan untuk mengetahui tingkat kerentanan wilayah tersebut terhadap bencana. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi likuifaksi dan memprediksi penurunan tanah yang mungkin terjadi di Cilacap Selatan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah

- 1) Menganalisis potensi likuifaksi di Cilacap Selatan menggunakan LPI
- 2) Menganalisis prediksi penurunan akibat likuifaksi dengan metode Zhang

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

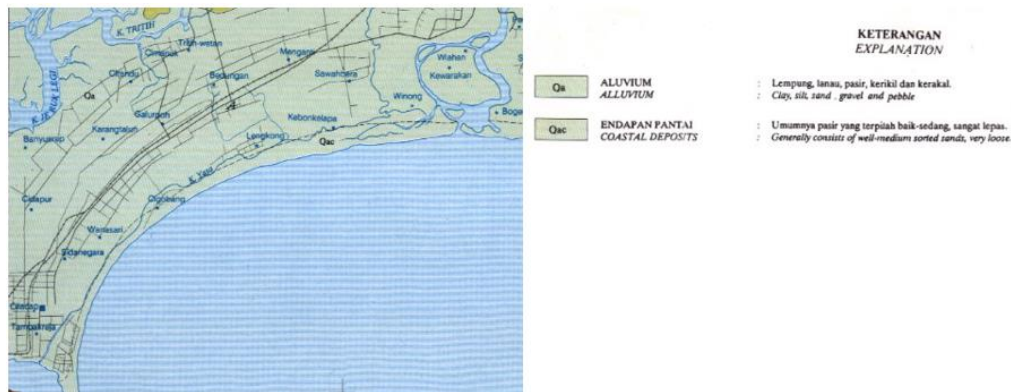
Secara geografis, Indonesia terletak pada pertemuan empat lempeng yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Euarasia, Lempeng Pasifik dan Lempeng Laut Filipina. Kondisi ini menyebabkan Indonesia rawan akan bencana gempa bumi (Sompie & Rondonuwu, 2021). Gempa bumi adalah peristiwa bergetar atau bergoncangnya bumi karena pergerakan/pergeseran lapisan batuan pada kulit bumi secara tiba-tiba akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Gempa bumi tidak dapat terjadi di sembarang tempat, tetapi umumnya terjadi di sekitar batas lempeng dan sekitar sesar (Sunarjo, 2012). Salah satu dampak gempa bumi adalah fenomena likuifaksi (Tanjadu, 2019).

2.2 Likuifaksi

Likuifaksi adalah suatu proses transformasi tanah padat yang jenuh air dan dalam kondisi tak terdrainase menjadi seperti cairan (liquid) yang terjadi akibat beban siklik (Iqbal, Tohari, Sadisun, & Nugroho, 2014). Perambatan gelombang geser gempa menimbulkan beban siklik pada tanah sehingga menyebabkan kenaikan tekanan air pori. Jika peningkatan tekanan air pori sama dengan tekanan efektif tanah maka tanah tersebut mengalami likuifaksi. Menurut Mina (2018), faktor – faktor yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi adalah jenis tanahnya berupa pasir atau lanau jenuh air yang bersifat lepas. Selain itu, kekuatan gempa melebihi 5 magnitudo dan kecepatannya melebihi 0,1g. Muka air tanah juga merupakan faktor penyebab likuifaksi, semakin tinggi muka air tanahnya maka semakin tinggi pula potensi terjadi likuifaksi. Beberapa dampak dari likuifaksi antara lain adalah sand boil (semburan pasir), penurunan tanah, dan lateral spreading (sebaran lateral). Fenomena likuifaksi terbaru terjadi di desa Petobo dan Jono Oge saat gempa Palu, 28 September 2018. Di beberapa tempat muncul sand boil dan longsor likuifaksi/ lateral spreading yang bergerak sehingga mengakibatkan bangunan di atasnya hancur. BNPD memperkirakan longsor di bagian timur merusak dan menghancurkan 3.334 bangunan di Petobo, dan 340 bangunan di Jono Oge (Pusgen, 2019).

2.3 Kondisi Geologi Cilacap

Berdasarkan peta Geologi lembar Banyumas, Cilacap Selatan berupa endapan pantai (Qac) dan endapan Alluvium (Qa). Endapan pantai umumnya berupa pasir yang terpilah baik - sedang hingga sangat lepas. Sedangkan endapan alluvium terdiri atas lanau, lempung, pasir, kerikil, dan kerakal. Gambar 1 merupakan potongan peta geologi lembar Banyumas.



Gambar 1. Peta geologi wilayah Cilacap Selatan

Daerah Cilacap memiliki potensi likuifaksi relatif tinggi karena karakter fisik daerah Cilacap tersusun dari endapan kuartar dengan tingkat kepadatan sangat lepas hingga agak padat. Gradasi tanahnya buruk (terpilah baik), memiliki ukuran butir pasir yang sedang hingga sangat halus, serta bentuk butir membundar tanggung hingga sangat bundar. Muka air tanah di Cilacap cukup dangkal yaitu kedalaman sekitar 0,75 m hingga 5 meter (Hardy, 2015).

2.4 Kondisi Kegempaan Cilacap Selatan

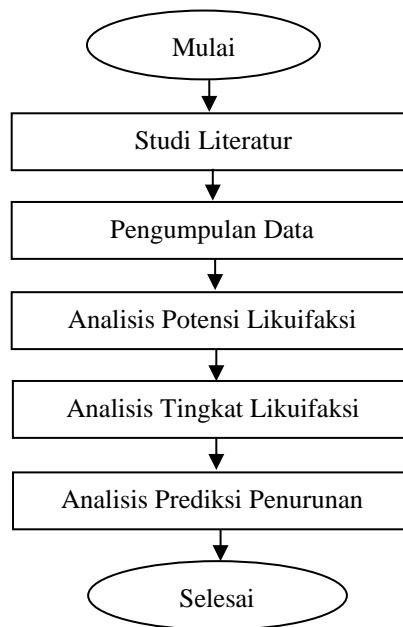
Cilacap merupakan salah satu daerah yang berada di pesisir selatan Pulau Jawa. Wilayah ini berhadapan langsung dengan zona subduksi di Samudera Hindia, yaitu subduksi Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Selain itu, Cilacap juga berada dekat dengan jalur Sesar Pamanukan-Cilacap sehingga kondisi ini menyebabkan wilayah Cilacap sering terjadi gempa bumi yang dapat menimbulkan bencana (Muhaimin, 2016). Tabel 1 menunjukkan histori kegempaan di Cilacap yang dirasakan cukup kuat dan menimbulkan kerusakan dan kerugian. Berdasarkan Peta gempa bumi Indonesia 2010 yang dibuat oleh Kementerian Pekerjaan Umum, tercatat bahwa wilayah Cilacap memiliki nilai PGA antara 0.4 – 0.5 g. Tabel 1 menunjukkan histori kegempaan di Cilacap yang dirasakan cukup kuat dan menimbulkan kerusakan dan kerugian. Berdasarkan Peta gempa bumi Indonesia 2010 yang dibuat oleh Kementerian Pekerjaan Umum, tercatat bahwa wilayah Cilacap memiliki nilai PGA antara 0.4 – 0.5 g.

Tabel 1. Histori kegempaan di Cilacap dengan kekuatan lebih dari 5 Mw (Hardy, 2015)

No	Tanggal	Episenter	Kekuatan (Mw)
1	2 November 2009	Tasikmalaya	7,3
2	11 April 2011	Selatan Jawa	7,1
3	26 April 2011	Barat Daya Cilacap	6,3
4	25 Januari 2014	Kebumen	6,5

3 METODE

3.1 Tahapan Penelitian

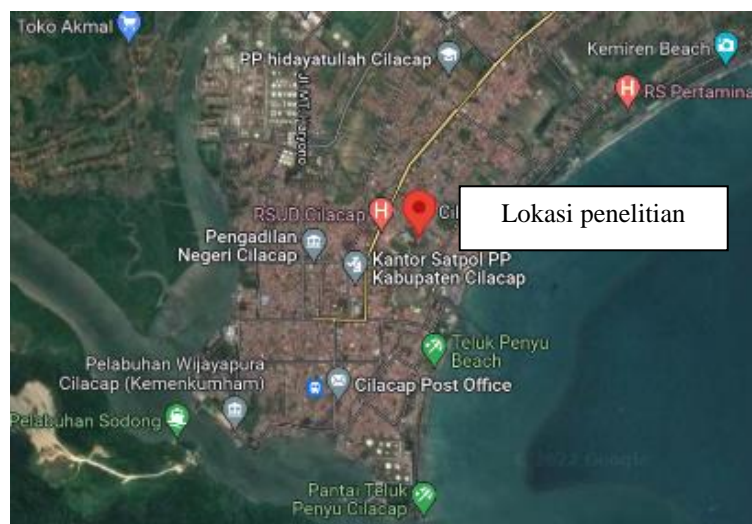


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data tanah dan data gempa. Setelah dilakukan pengumpulan data, kemudian data diolah dan dianalisis menggunakan metode NCEER. Dari pengolahan data tersebut akan menghasilkan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) yang akan dianalisis nilai keamanannya atau *safety factor* (SF). Kemudian tingkat potensi likuifaksi pada penelitian ini menggunakan metode LPI. Setelah diketahui tingkat potensi likuifaksinya, menghitung prediksi penurunan tanah setelah terjadi likuifaksi dengan metode Zhang. Uraian tahapan penelitian di atas dapat diringkas pada Gambar 2.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kelurahan Sidakaya, Kecamatan Cilacap Selatan, Kabupaten Cilacap. Luas area penelitian sekitar 10 hektar. Gambar lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Lokasi penelitian

3.3 Pengambilan Data

Penelitian ini menggunakan data tanah dan data gempa. Data tanah berupa N-SPT dan data propertis tanah di lokasi penelitian. Sedangkan data gempa diambil dari website puskim dengan memasukan nilai koordinat dari daerah penelitian dan dari jurnal – jurnal yang membahas mengenai kegempaan di wilayah penelitian.

3.4 Analisis Data

3.4.1. Perhitungan nilai Cyclic Stress Ratio (CSR)

Cyclic stress ratio (CSR) adalah perbandingan antara geser siklik pada tanah jenuh dengan tegangan efektif tanah. CSR hanya terjadi pada saat tanah menerima beban gempa. Perhitungan untuk mendapatkan nilai CSR dapat dilihat pada Persamaan 1 hingga Persamaan 4.

Tegangan total tanah

$$\sigma_{vo} = \gamma_{sat} \times z \quad (1)$$

Tegangan efektif

$$\sigma'_{vo} = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times z \quad (2)$$

Menghitung tegangan reduksi

$$r_d = \frac{1,000 - 0,4113z^{0,5} + 0,04052z + 0,001753z^{1,5}}{1,000 - 0,4177z^{0,5} + 0,05729z - 0,0006205z^{1,5} + 0,001210z^2} \quad (3)$$

Menghitung nilai CSR

$$CSR = 0,65 \times \left(\frac{a_{max}}{g}\right) \times \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}\right) \times r_d \quad (4)$$

dimana:

a_{max} = percepatan puncak tanah (g)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

γ_{vo} = tegangan tanah total (kN/m²)

γ'_{vo} = tegangan tanah efektif (kN/m²)

γ_{sat} = berat volume tanah jenuh (kN/m³)

γ' = berat volume tanah efektif (kN/m³)

γ_w = berat volume air (kN/m³)

z = kedalaman tanah (m)

r_d = koefisien tegangan reduksi

3.4.2. Perhitungan nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR)

Cyclic Resistance Ratio (CRR) adalah kapasitas tanah untuk menahan tegangan geser selama gempa bumi. Apabila CRR terlampaui oleh tegangan geser maka tanah akan terlikuifaksi. Persamaan untuk menghitung CSR dapat dilihat pada Persamaan 5 hingga Persamaan 9.

Menghitung normalisasi tekanan overburden

$$C_N = \sqrt{\frac{P_a}{\sigma'}} \leq 1,7 \quad (5)$$

dimana:

C_N = normalisasi tekanan overburden

σ' = tegangan vertikal efektif tanah (kN/m²)

P_a = tegangan referensi atau tekanan atmosfer (100 kN/m²)

Menghitung faktor koreksi N-SPT

$$(N_1)_{60} = N_m \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \quad (6)$$

dimana:

$(N_1)_{60}$ = N-SPT terkoreksi overburden dan alat

N_m = N-SPT yang diperoleh dari lapangan

C_N = normalisasi tekanan overburden

C_E = koreksi energi pemukul

C_B = koreksi diameter borehole

C_R = koreksi panjang batang

C_S = Koreksi tabung sampel

Menghitung koreksi *fine content*

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60} \quad (7)$$

$$\alpha = 0 \text{ untuk } FC \leq 5\% \quad (7a)$$

$$\alpha = \exp \left[1,76 - \left(\frac{190}{FC^2} \right) \right] \text{ untuk } 5\% < FC < 35\% \quad (7b)$$

$$\alpha = 5 \text{ untuk } FC \geq 35\% \quad (7c)$$

$$\beta = 1 \text{ untuk } FC \leq 5\% \quad (8a)$$

$$\beta = \left[0,99 - \left(\frac{FC^{1,5}}{1000} \right) \right] \text{ untuk } 5\% < FC < 35\% \quad (8b)$$

$$\beta = 1,2 \text{ untuk } FC \geq 35\% \quad (8c)$$

dimana:

$(N_1)_{60cs}$ = N-SPT terkoreksi *finer content*

$(N_1)_{60}$ = N-SPT terkoreksi *overburden* dan alat

FC = persentase *finer content* (%)

Menghitung *Cyclic Resistance Ratio* (CRR)

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (9)$$

dimana :

CRR = *Cyclic Resistance Ratio*

$(N1)_{60cs}$ = N-SPT terkoreksi *finer content*

3.5.1 Perhitungan nilai *Safety Factor* (FS)

Safety factor (SF) adalah rasio antara CRR dengan CSR. SF berguna sebagai indikasi bahaya potensi likuifaksi. Apabila nilai $SF < 1$ maka tanah di lapisan tersebut berpotensi mengalami likuifaksi sedangkan jika $SF \geq 1$ maka tanah tidak akan mengalami likuifaksi. Persamaan menghitung nilai SF dapat dilihat pada Persamaan 10 hingga Persamaan 11.

$$MSF = \frac{10^{2,24}}{M^{2,56}} \quad (10)$$

dimana:

MSF = faktor skala magnitudo gempa

M = magnitudo gempa (M_w)

$$FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \times MSF \quad (11)$$

dimana:

FS = Faktor keamanan

$CRR_{7,5}$ = *Cyclic Resistance Ratio*

CSR = *Cyclic Stress Ratio*

MSF = faktor skala magnitudo gempa

3.5.2 Perhitungan *Liquefaction Potential Index* (LPI)

$$LPI = \int_0^{20m} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad (12)$$

$$F(z) = 1 - FS \text{ untuk } FS < 1 \quad (13a)$$

$$F(z) = 0 \text{ untuk } FS \geq 1 \quad (13b)$$

$$w(z) = 10 - 0,5z \text{ untuk } z < 20 \text{ m} \quad (14a)$$

$$w(z) = 0 \text{ untuk } z \geq 20 \text{ m} \quad (14b)$$

3.4.3. Perhitungan penurunan tanah

$$S = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{vi} \Delta z_i \quad (15)$$

dimana:

- S = penurunan tanah dipicu oleh likuifaksi (m)
 Σ_v = regangan volumetrik (%)
 Δz = ketebalan tanah tiap lapisan (m)
 I = lapisan tanah

Klasifikasi prediksi penurunan akibat likuifaksi menurut Barlett (2007) dapat dibagi menjadi empat kategori yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi prediksi penurunan tanah akibat likuifaksi (Barlett, 2007)

Penurunan (cm)	Tingkat kerusakan akibat likuifaksi
0-5	Sangat rendah
5-10	Rendah
10-30	Tinggi
30-70	Sangat tinggi

4 HASIL PENELITIAN

4.1 Klasifikasi Tanah di Cilacap Selatan

Berdasarkan peta geologi (Gambar 1), daerah penelitian merupakan endapan pantai (Qac) dan endapan Alluvium (Qa). Endapan pantai umumnya berupa pasir yang terpilah baik - sedang hingga sangat lepas. Sedangkan endapan alluvium terdiri atas lanau, lempung, pasir, kerikil, dan kerakal. Berdasarkan penelitian Eko Soebowo (2009), kondisi stratigrafi bawah permukaan daratan Cilacap dicirikan oleh satuan pasir yang cukup dominan dengan ukuran mulai dari halus hingga kasar, lanau, lempung. Daerah Cilacap memiliki potensi likuifaksi relatif tinggi karena karakter fisik daerah Cilacap tersusun dari endapan kuarter dengan tingkat kepadatan sangat lepas hingga agak padat. Gradasi tanahnya buruk (terpilah baik), memiliki ukuran butir pasir yang sedang hingga sangat halus, serta bentuk butir membundar tanggung hingga sangat bundar. Muka air tanah di Cilacap cukup dangkal yaitu kedalaman sekitar 0,75 m hingga 5 meter (Hardy, 2015). Kemudian Berdasarkan dari data bor log, tanah pada daerah penelitian berupa tanah dengan ukuran halus dan lebih dominan lanau lepas yang berpotensi likuifaksi.

4.2 Analisis Potensi Likuifaksi di Cilacap Selatan

Hasil perhitungan analisis potensi likuifaksi dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3 pada kedalaman 0 hingga 14 meter nilai SF kurang dari 1 sehingga pada kedalaman tersebut berpotensi untuk likuifaksi sedangkan pada kedalaman lebih dari 14 meter aman terhadap bahaya likuifaksi karena nilai SF lebih besar dari sama dengan 1. Nilai SF pada penelitian sangat kecil karena pengaruh dari kondisi tanah. Nilai N-SPT tanah yang rendah dan muka air tanah yang cukup dangkal membuat nilai tegangan atau kekuatan tanah berkurang apabila terkena gempa. Hal ini dikarenakan nilai tegangan tanah berkurang akibat adanya kenaikan air pori. Nilai SF juga terpengaruh dari nilai magnitude gempa yang berpotensi mengguncang Cilacap yaitu 8,7 Mw. Semakin besar gempanya juga semakin rentan terhadap likuifaksi.

4.3 Analisis Indeks Potensi Likuifaksi (LPI)

LPI merupakan metode yang pertamakali diperkenalkan oleh Iwasaki (1978) untuk memprediksi tingkat potensi likuifaksi. LPI dikembangkan untuk mengatasi kekurangan dari FS. FS merupakan hasil akhir dari analisis potensi likuifaksi yang hanya menunjukkan lapisan tanah terlikuifaksi atau tidak. Nilai LPI sebanding dengan ketebalan tanah terlikuifaksi, kedalaman lapisan tanah yang mengalami likuifaksi dan faktor keamanan. Analisis LPI dihitung hingga kedalaman 20 meter dari permukaan tanah. Berdasarkan Tabel 3 kawasan Cilacap Selatan termasuk dalam wilayah yang berpotensi sangat tinggi terjadi likuifaksi karena nilai LPI sebesar 28,07.

4.4 Analisis Prediksi Penurunan akibat likuifaksi

Beberapa fenomena likuifaksi menyebabkan adanya penurunan tanah dan merusak bangunan di atasnya oleh sebab itu diperlukan kajian terhadap penurunan tanah setelah terjadi likuifaksi. Hasil perhitungan penurunan tanah pada daerah penelitian cenderung tinggi yaitu sebesar 27,97 cm. Hal ini karena tanah pada daerah penelitian yang terdiri dari lanau, pasir, dan lempung yang tidak padat sehingga mudah berubah – ubah dan nilai angka keamanan yang kecil sehingga penurunan tanah setelah terjadi likuifaksi besar. Hasil rangkuman analisis potensi likuifaksi, tingkat kerentanan, dan penurunan tanah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rangkuman hasil perhitungan likuifaksi, LPI dan penurunan tanah

z	NSPT	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{ef}	σ efektif	σ_{total}	rd	CSR	$N_{1(60)cs}$	CRR	SF	LPI	S
0	0	-	-	0.00	0.00	1.00	1.00	5.00	1.00	1.0	0.00	8.81
2	3	15.39	5.58	19.62	30.77	0.96	0.45	11.12	0.12	0.2	7.33	12.60
4	5	15.39	5.58	30.77	61.55	0.87	0.52	15.20	0.16	0.2	13.63	15.34
6	9	14.84	5.03	40.83	91.22	0.74	0.50	21.90	0.24	0.3	18.31	17.20
8	11	16.90	7.09	55.01	125.02	0.59	0.40	22.80	0.25	0.4	21.73	18.98
10	9	16.90	7.09	69.18	158.81	0.45	0.31	17.98	0.19	0.4	24.64	21.27
12	14	17.92	8.11	85.40	194.65	0.35	0.24	23.18	0.26	0.7	25.64	23.02
14	8	16.90	7.09	99.58	228.45	0.27	0.19	14.62	0.16	0.6	26.93	25.87
16	13	17.77	7.96	115.49	263.98	0.22	0.15	19.52	0.21	0.9	27.07	27.97
18	28	20.09	10.28	136.05	304.16	0.20	0.13	30.00	0.47	2.4	28.07	27.97
20	24	19.47	9.66	155.37	343.10	0.18	0.12	28.11	0.37	2.1	28.07	27.97

5 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan menunjukkan bahwa tanah di Cilacap Selatan memiliki kerentanan yang sangat tinggi terhadap likuifaksi dengan nilai Liquefaction Potential Index (LPI) sebesar 28,07. Prediksi penurunan tanah akibat likuifaksi mencapai 27,97 cm yang termasuk dalam kategori tingkat kerusakan tinggi. Hal

ini disebabkan oleh kondisi tanah yang didominasi oleh lanau lepas dengan muka air tanah yang cukup dangkal serta besarnya percepatan gempa yang berpotensi terjadi di wilayah Cilacap.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hardy, T. (2015). Karakteristik Lapisan Tanah Berpotensi Likuifaksi Berdasarkan Resistivitas Batuan di Daerah Cilacap. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 47-56.
- [2] Iqbal, P., Tohari, A., Sadisun, I. A., & Nugroho, D. (2014). Fasies Sedimen Kuartar Berpotensi Likuifaksi Pesisir Kota Padang , Provinsi Sumatra Barat berdasarkan Data Inti Bor dan CPTu. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 1-18.
- [3] Kusuma, W. B. (2020). Analisa Kuantitatif dan Kualitatif Potensi Likuifaksi. *Majalah Ilmiah Swara Patra*, 5-16.
- [4] Mina, E., Indera, R., & Sudirman. (2018). Analisa Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data SPT. *Jurnal Fondasi*, 11-21.
- [5] Muhaimin. (2016). Analisis Risiko Gempabumi di Cilacap Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 28-34.
- [6] Nasional, T. P. (2019). Investigasi Awal Longsor - Likuifaksi Geotechnical Extreme Events Reconnaissance Akibat Gempa Palu 28 September 2018. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman.
- [7] Agustina, Selvia. (2016). Potensi Likuifaksi dan Prediksi Penurunan Tanah Setelah Gempa di Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul. Thesis. Universitas Gadjah Mada.
- [8] Soebowo, A.T. (2009). Sifat Keteknikan Bawah Permukaan di Daerah Pesisir Cilacap, Provinsi Jawa Tengah. *Buletin Geologi Tata Lingkungan*. Vol 19 No 2, pp59-66
- [9] Asikin, A. (1992). Peta Geologi Lembar Banyumas, Jawa. Dep.Pertambangan dan Energi, Bandung.
- [10] <https://www.kompas.com/tren/read/2022/07/30/174854365/bmkg-potensi-gempa-87-m-dan-tsunami-10-meter-cilacap-bukan-ramalan?page=all>
- [11] Sompie, O. B., & Rondonuwu, S. G. (2021). Analisis Geoteknik Lokasi Bekas Tambang NMR Ratatotok Terhadap Potensi Likuifaksi. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 1-6.
- [12] Sunarjo. (2012). GEMPABUMI. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- [13] Tanjadu, C. A. (2019). Analisis Potensi Likuifaksi (Studi Kasus: PLTU Area Gorontalo). *Jurnal Sipil Statik*, 1081-1094.