

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI MENGGUNAKAN DATA CPT (*CONE PENETRATION TEST*) DI TELUK BINTUNI PAPUA BARAT

*Himmatul Azizah¹, Ferry Fatnanta², Muhamad Yusa³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Indonesia

*Corresponding Author (himmatul.azizah2380@student.unri.ac.id)

Abstract	Article history: <i>Received:</i> 12 September 2022 <i>Accepted:</i> 04 November 2022 <i>Available online:</i> 29 November 2022 Keywords: <i>Liquefaction, Magnitude, CSR, CRR, Factor of Safety (FS)</i>
West Papua is an eastern part of Indonesia that has great potential for earthquakes. Eastern Indonesia's seismic activity was triggered by geographical conditions in three major earthquake paths, namely the zone of the confluence of the Pacific and Papua New Guinea plates, the Sorong fault line and the Tarera – Aiduna fault (Naryanto, 2019). Bintuni Bay is one of the regencies in West Papua Province, located between the south coast of Bird's Head and the coast of the Onin Peninsula, facing the Seram Sea off the west coast of Papua. The sorong fault is one of the active faults (faults) of the earthquake source in the Bintuni Bay area (Ciptakarya.pu, 2002). Liquefaction is one of the failures in the soil structure that can occur due to cyclic loads or earthquake vibrations. Liquefaction is the event of the transformation of noncohesive soil material from solid to liquid properties due to an increase in pore water pressure in the soil cavity. The liquefaction potential was analyzed using the boulangier Idriss method (2014). This method compares the value of CSR (Cyclic Stress Ratio) with CRR (Cyclic Resistance Ratio). The factor of safety value (FS) is used as a limit for potential liquefaction or not. If $FS > 1$ indicates that the soil layer has no potential for liquefaction, whereas if $FS < 1$ indicates a potential soil layer of liquefaction. The results of the analysis showed that the magnitude of $\geq 5,6$ Mw with soil acceleration (a_{max}) $\geq 0,16$ g has the potential to reduce liquefaction with very low to very high categories. Coastal areas have a higher liquefaction potential than land areas.	

1. PENDAHULUAN

Likuifaksi (*liquefaction*) adalah peristiwa transformasi material non kohesif dari sifat padat (*solid*) menjadi sifat cair (*liquid*) akibat kenaikan tekanan air pori dalam rongga tanah. Kenaikan tekanan air pori dapat menghilangkan kekuatan geser dan kekakuan tanah, sehingga tegangan efektif tanah berkurang. Jika tegangan efektif tanah turun mendekati nol, maka tanah akan berperilaku seperti cairan/lumpur.

Papua Barat merupakan kawasan Indonesia bagian timur yang memiliki potensi besar terhadap gempa. Aktivitas kegempaan Indonesia timur dipicu oleh kondisi geografis yang berada di tiga jalur besar gempa bumi yaitu zona pertemuan lempeng Pasifik dan Papua *New Guinea*, jalur patahan Sorong dan patahan Tarera-Aiduna (Naryanto, 2019). Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI) yang dirilis oleh BNPB menunjukkan bahwa frekuensi gempa bumi yang terjadi sebanyak sebelas kejadian sepanjang tahun 2002-2021. Teluk Bintuni merupakan salah satu kabupaten pemekaran

baru di provinsi Papua Barat yang terletak diantara pantai selatan Kepala Burung dan pantai Semenanjung Onin, menghadap ke arah Laut Seram di lepas pantai barat Papua. Patahan Sorong merupakan salah satu patahan (sesar) aktif sumber gempa di kawasan Teluk Bintuni (Ciptakarya.pu, 2002).

Gempa merupakan bencana alam yang dapat menimbulkan resiko kegagalan struktur tanah maupun kegagalan struktur bangunan. Salah satu kegagalan struktur tanah yang menyertai kejadian gempa adalah peristiwa likuifaksi. mempertimbangkan hal tersebut, maka Teluk Bintuni perlu dilakukan studi potensi likuifaksi sebagai acuan dalam usaha mitigasi bencana khususnya pada rekayasa sipil.

Potensi likuifaksi dapat dianalisis dengan menggunakan tiga metode pengujian lapangan yaitu uji penetrasi standar (SPT), uji penetrasi konus (CPT), dan pengukuran kecepatan geser. Investigasi geoteknik telah dilakukan di Teluk Bintuni Papua Barat dengan menggunakan CPT mekanik. Pengujian CPT diterapkan keunggulannya dalam kontrol kualitas dan pengulangan

data serta dalam mendeteksi variasi jenis lapisan tanah. Sehingga jika dibandingkan dengan metode lainnya, metode CPT mampu memprediksi lebih akurat pada kedalaman dan ketebalan lapisan tanah berpotensi likuifaksi

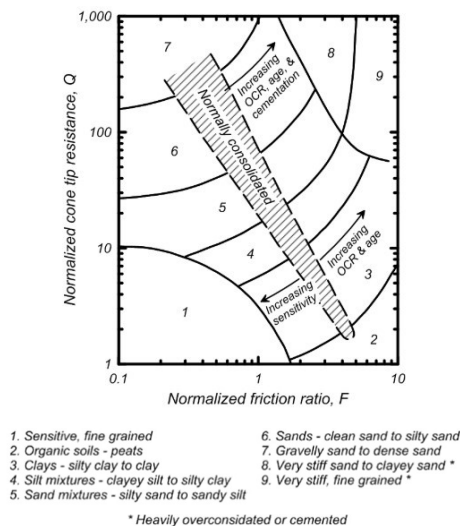
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat padat tanpa mengalami sementasi satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah lapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi rongga kosong diantara partikel tersebut.

2.1.1 Klasifikasi Jenis Perilaku Tanah

Klasifikasi tanah adalah proses pengelompokan jenis tanah. Berdasarkan pengujian CPT, jenis tanah dapat diperkirakan dengan menggunakan grafik *Soil Behavior Type* (SBT). Robertson dkk (1990) menggunakan parameter yang dinormalisasikan dan memiliki 9 jenis tanah seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. SBT oleh Robertson dkk (1990)

Sumber: Idriss, 2014

2.1.2 Tegangan dalam Tanah

a. Tegangan Vertikal Total

Tegangan vertikal total adalah tegangan pada lapisan tanah akibat beban total dari tanah termasuk air yang berada dalam rongga pori tanah.

$$\sigma_v = \gamma \times h$$

Dengan:

σ_v = Tegangan vertikal total (kN/m²)

γ = Berat isi tanah (kN/m³)

h = Kedalaman (m)

b. Tegangan Vertikal Efektif

Tegangan vertikal efektif adalah tegangan pada lapisan tanah yang diakibatkan oleh beban berat butiran tanah

per satuan luas.

$$\sigma'_v = \sigma_v - u$$

Dengan:

σ'_v = Tegangan vertikal efektif (kN/m²)

σ_v = Tegangan vertikal total (kN/m²)

u = Tekanan air pori (kN/m²)

c. Tekanan Air Pori

Tekanan air pori (u) adalah tekanan air yang mengisi rongga-rongga pori pada tanah.

$$u = \gamma_w \times h$$

Dengan:

u = Tekanan air pori (kN/m²)

γ_w = Berat isi air (9,81 kN/m³)

h = Kedalaman (m)

2.1.3 Kelas Situs Tanah

Penentuan kelas situs tanah berdasarkan parameter $\bar{V}_s$, $\bar{N}$ dan $\bar{S}_u$ yang disarankan oleh SNI 1726:2019.

Tabel 1. Klasifikasi Kelas Situs Tanah

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50

Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut:

1. Indeks plastisitas, $PI > 20$,
2. Kadar air, $w \geq 40\%$
3. Kuat geser nirair, $\bar{S}_u < 25$ kPa

SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)

Setiap profil tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:

1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah
 2. Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)
 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$)
- Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2019

2.2 Cone Penetration Test (CPT)

CPT atau sondir adalah salah satu pengujian di lapangan dengan sebuah konus yang dipenetrasikan ke dalam tanah. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah terhadap kedalamannya.

2.2.1 Korelasi Data CPT Mekanik dan CPT Elektrik

Metode CPT elektrik digunakan dalam estimasi potensi likuifaksi. Penerapan metode estimasi likuifaksi pada data CPT mekanik tanpa bentuk koreksi akan menimbulkan ketidakpastian analisis likuifaksi. Oleh karena itu, ketidakpastian karakteristik tanah dari data CPT mekanik dapat dikoreksi dengan menggunakan Tabel 2.

Tabel 2. Statistik Dasar Rasio Elektrik ke Mekanik

	q_{ce}/q_{cm}	f_{se}/f_{sm}	R_{te}/R_{tm}	Q_{ce}/Q_{cm}	F_e/F_m	I_{ce}/I_{cm}	q_{c1Nese}/q_{c1Nesm}
Mean	1,01	0,62	0,69	1,08	0,71	0,95	0,99 (0,92)
Standard deviation	0,45	0,72	0,89	1,50	0,92	0,11	0,31 (0,14)
Median	0,93	0,51	0,56	0,92	0,56	0,96	0,93 (0,93)
10 th percentile	0,59	0,22	0,20	0,55	0,19	0,80	0,73 (0,74)
90 th percentile	1,50	1,03	1,21	1,63	1,25	1,08	1,31 (1,07)
Skewness	2,75	22,4 6	25,9 8	25,7 1	24,4 5	0,09	4,62 (0,13)

Sumber: Facciorusso dkk., 2017

2.2.2 Korelasi Data CPT dan Berat Isi Tanah (γ)

Berdasarkan nilai tahanan ujung (q_c) pada pengujian CPT elektrik, nilai berat isi tanah (γ) dapat ditentukan. Oleh karena itu, dalam penentuan nilai berat isi tanah (γ) digunakan persamaan empiris menurut Robertson & Cabal (2010).

$$\gamma/\gamma_w = 0,27[\log R_f] + 0,36[\log(q_t/P_a)] + 1,236$$

Dengan:

$$R_f = \text{Friction ratio} = f_s/q_t (\%)$$

$$\gamma = \text{Nilai berat isi tanah (kN/m}^3\text{)}$$

$$\gamma_w = \text{Nilai berat isi air (9,81 kN/m}^3\text{)}$$

$$P_a = \text{Tekanan atmosfer (1 atm)}$$

$$q_t = \text{Nilai } q_c \text{ pengujian CPT elektrik (kN/m}^2\text{)}$$

2.2.3 Korelasi Data CPT dan Kecepatan Gelombang Geser (V_s)

Ahmed, (2017) menyampaikan rekomendasi Wair (2012) tentang persamaan empiris korelasi antara data CPT elektrik dan V_s .

$$V_s = 118,8 \log f_s + 18,5$$

$$V_s = 2,41 q_t^{0,395} I_c^{0,124}$$

$$V_s = \sqrt{10^{(0,55I_c+1,68)} \left(\frac{q_t - \sigma_v}{P_a} \right)}$$

Dengan:

$$V_s = \text{Kecepatan gelombang geser (m/detik)}$$

$$f_s = \text{Nilai local side friction (kN/m}^2\text{)}$$

$$q_t = \text{Nilai perlawanan ujung konus (kN/m}^2\text{)}$$

$$I_c = \text{Indeks tipe perilaku tanah}$$

$$\sigma_v = \text{Tegangan normal vertikal (kN/m}^2\text{)}$$

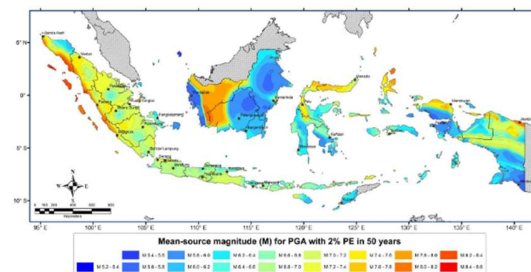
$$P_a = \text{Tekanan atmosfer (1 atm)}$$

2.3 Gempa bumi

Gempa bumi (*earthquake*) adalah getaran pada permukaan bumi yang disebabkan pergeseran lempeng tektonik, runtuh atau longsor batuan, dan aktivitas vulkanis. Gempa bumi dapat menyebabkan suatu kegagalan struktur dengan hilangnya daya dukung pada tanah yang jenuh air (Ariandi dkk., 2019).

2.3.1 Peta Deagregasi Hazard Gempa Indonesia

Deagregasi adalah proses untuk menentukan kekuatan (M) dan jarak (R) dominan hasil PSHA yang memberikan kontribusi bahaya terbesar pada suatu *site*. Asrurifak dkk (2012) melakukan studi pembuatan peta deagregasi untuk memperkirakan gempa penentu dari suatu wilayah yang ditinjau seperti terlihat pada Gambar 2.

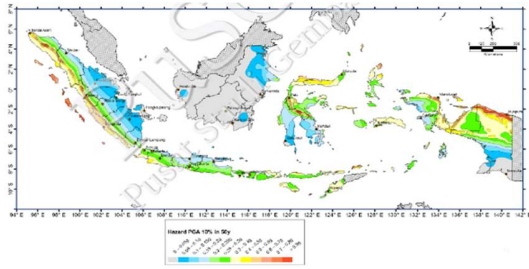


Gambar 2. Peta Deagregasi Magnitudo (M) Indonesia pada Periode Ulang 2475 Tahun

Sumber: Asrurifak dkk., 2012

2.3.2 Peak Ground Acceleration (PGA)

Peak Ground Acceleration (PGA) merupakan nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat akibat gempa bumi. Berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Tahun 2017 penentuan nilai PGA dilakukan dengan menggunakan peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (SB) untuk Probabilitas 10% Terlampaui dalam 50 Tahun

Sumber: Pustlitbang PUPR, 2017

Sedangkan berdasarkan Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dalam penyusunan atlas zona kerentanan likuifaksi Indonesia menggunakan nilai percepatan tanah puncak $\geq 0,1$ g pada periode ulang 500 tahun.

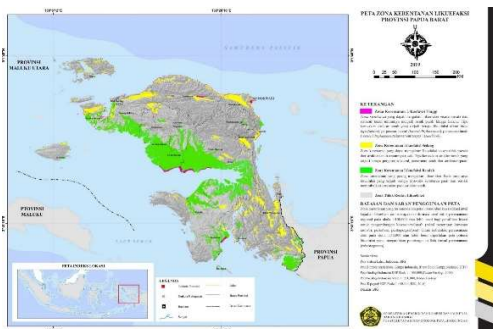
2.4 Likuifaksi

Likuifaksi adalah peristiwa perubahan kondisi tanah non-kohefif yang jenuh air dari keadaan padat menjadi cair akibat adanya peningkatan tekanan air pori sehingga tegangan efektif tanah mendekati nol. Likuifaksi merupakan salah satu kegagalan yang terjadi pada struktur tanah akibat adanya beban siklik atau getaran gempa.

2.4.1 Atlas Zona Kerentanan Likuifaksi Indonesia

Klasifikasi tingkat kerentanan likuifaksi terdiri dari 4 zona:

- Zona kerentanan likuifaksi tinggi (■)
- Zona kerentanan likuifaksi sedang (■)
- Zona kerentanan likuifaksi rendah (■)
- Zona tidak rentan likuifaksi (■)



Gambar 4. Peta Kerentanan Likuifaksi Provinsi Papua Barat

Sumber: Buana dkk, 2019

2.4.2 Metode Boulanger & Idriss (2014)

Metode Boulanger dan Idriss (2014) menggunakan perbandingan CSR (*Cyclic Stress Ratio*) akibat gempa terhadap CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dari tanah.

- CSR akibat Gempa Bumi

CSR (*Cyclic Stress Ratio*) merupakan nilai

perbandingan tegangan geser siklik yang terjadi akibat gempa dengan tegangan efektif di tiap lapisan. Nilai CSR akibat gempa umumnya setara dengan 65% dari rasio tegangan geser siklik maksimum.

$$CSR_{M, \sigma'_v} = 0,65 \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \frac{\alpha_{max}}{g} r_d$$

Dengan:

σ_v = Tegangan total vertikal pada kedalaman z

α_{max}/g = Percepatan horizontal maksimum

r_d = Faktor reduksi tegangan geser

- Koefisien Reduksi Tegangan Geser, r_d

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z).M]$$

$$\alpha(z) = -1,012 - 1,126 \sin\left(\frac{z}{11,73} + 5,133\right)$$

$$\beta(z) = 0,106 + 0,118 \sin\left(\frac{z}{11,28} + 5,142\right)$$

Dengan:

z = Kedalaman di bawah permukaan tanah (m)

- Faktor Koreksi *Overburden*, C_N

Nilai C_N dapat dinyatakan dalam q_{c1Nc} (terbatas pada nilai antara 21 dan 254).

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^m \leq 1,7$$

$$m = 1,338 - 0,249(q_{c1Ncs})^{0,264}$$

$$q_{c1N} = C_N q_{cN} = C_N \frac{q_c}{P_a}$$

Dengan:

C_N = Faktor koreksi *overburden*

P_a = Tekanan atmosfer

$q_{cn} = q_c/P_a$

- Faktor Koreksi *Overburden*, K_σ

Nilai K_σ yang berpengaruh direkomendasikan oleh Boulanger dan Idriss (2008), dinyatakan dalam istilah q_{c1Ncs} .

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln\left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right) \leq 1,1$$

$$C_\sigma = \frac{1}{37,3 - 8,27(q_{c1Ncs})^{0,264}} \leq 0,3$$

- Magnitude Scaling Factor* (MSF)

Magnitude Scaling Factor (MSF) digunakan dalam perhitungan efek durasi (yaitu, jumlah dan amplitudo relatif dari siklus pembebanan) pada pemicu likuifaksi.

$$MSF = 6,9 \cdot \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0,058 \leq 1,8$$

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1) \left(8,64 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 1,325\right)$$

Hubungan MSF_{max} dengan q_{c1NCS} , dinyatakan:

$$MSF_{max} = 1,09 + \left(\frac{q_{c1NCS}}{180}\right)^3 \leq 2,2$$

f. Penyesuaian Pasir Bersih yang Setara untuk FC (*Fines Content*)

Persamaan FC yang disesuaikan untuk CPT dinyatakan:

$$q_{c1NCS} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

$$\Delta q_{c1N} = \left(11,9 + \frac{q_{c1N}}{14,6}\right) \exp\left(1,63 - \frac{9,7}{FC + 2} - \left(\frac{15,7}{FC + 2}\right)^2\right)$$

g. Perkiraan Nilai FC dan Klasifikasi Tanah Menggunakan Data CPT

FC dan klasifikasi tanah sering dikorelasikan dengan indeks perilaku tanah (I_c):

$$I_c = [(3,47 - \log(Q))^2 + (1,22 + \log(F))^2]^{0,5}$$

$$Q = \left(\frac{q_c - \sigma_{vc}}{P_a}\right) \left(\frac{P_a}{\sigma_{vc}}\right)^n$$

$$F = \left(\frac{f_s}{q_c - \sigma_{vc}}\right) \cdot 100\%$$

h. CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) Tanah

Korelasi untuk CRR dikembangkan dengan penyesuaian nilai CRR riwayat kasus pada referensi $M=7,5$ dan $\sigma'_v=1$ atm

$$CRR_{M=7,5, \sigma'_v} = \frac{CRR_{M, \sigma'_v}}{MSF \cdot K_\sigma}$$

$CRR_{M=7,5, \sigma'_v=1}$ kemudian disesuaikan untuk nilai M dan σ'_v lainnya, dinyatakan:

$$CRR_{M, \sigma'_v} = CRR_{M=7,5, \sigma'_v=1} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

$$CRR_{M=7,5, \sigma'_v=1atm} = \exp\left(\frac{q_{c1NCS}}{113} + \left(\frac{q_{c1NCS}}{1000}\right)^2 - \left(\frac{q_{c1NCS}}{140}\right)^3 + \left(\frac{q_{c1NCS}}{137}\right)^4 - 2,80\right)$$

2.5 Factor of Safety (FS)

Nilai *factor of safety* (faktor keamanan) menunjukkan adanya atau tidaknya potensi likuifaksi di suatu wilayah. Jika nilai FS besar dari 1 maka tidak terjadi likuifaksi, namun sebaliknya jika nilai FS kecil dari 1 maka terjadi likuifaksi.

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

Dengan:

FS = *Factor of safety*

CRR = *Cyclic Resistance Ratio*

CSR = *Cyclic Stress Ratio*

2.6 Liquefaction Potential Index (LPI)

Liquefaction Potential Index (LPI) atau Indeks Potensi Likuifaksi merupakan suatu indeks yang digunakan untuk memperkirakan potensi likuifaksi yang menimbulkan kerusakan fondasi. Iwasaki (1978) mengembangkan metode estimasi LPI sampai kedalaman 20 meter.

$$LPI = \int_0^{20m} F w(z) dz \quad (II.78)$$

Dengan:

F = Potensi kejadian likuifaksi, ditentukan berdasarkan nilai FS. Jika $FS \leq 1$ maka

$F = 1 - FS$, dan untuk $FS > 1$ maka nilai $F = 0$.

$w(z)$ = Faktor bobot kedalaman, $10 - 0,5z$ dengan

z adalah kedalaman tinjauan

Tabel 3. Klasifikasi LPI

LPI	Potensi Likuifaksi
LPI = 0	Sangat rendah
$0 < LPI \leq 5$	Rendah
$5 < LPI \leq 15$	Tinggi
$LPI > 15$	Sangat tinggi

Sumber: Iwasaki, 1986

2.7 Penurunan Tanah

Pergerakan arah lateral akibat gempa bumi dapat dianggap tidak terjadi jika permukaan tanah relatif datar, sehingga regangan volumetrik akan sama dengan regangan vertikal. Perhitungan penurunan permukaan tanah dilakukan dengan mengintegrasikan regangan tiap lapisan tanah pada seluruh kedalaman.

$$S = \int_0^z \varepsilon_v dz = \sum_{i=1}^j \varepsilon_{v,i} \Delta z_i$$

Dengan:

ε_v = Regangan volumetrik pasca likuifaksi pada lapisan tanah ke-i berdasarkan Zhang dkk (2002)

Δz_i = Tebal lapisan tanah ke-i

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di kawasan wilayah Kabupaten Teluk Bintuni Provinsi Papua Barat. Lokasi Pengujian ditunjukkan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Lokasi Penelitian (Teluk Bintuni)

Sumber: Google Earth, 2022

3.2 Data Penelitian

1. Data Lapisan Tanah

Data lapisan tanah yang digunakan dalam analisis merupakan data sekunder pengujian CPT dari pekerjaan *Soil Investigation and Climatology Study* pada proyek Genteng Oil Kasuri Pte. Ltd yang dilakukan oleh PT. Surveyor Indonesia.

Tabel 4. Lokasi Pengujian CPT

No	Kawasan	Titik Pengujian	Koordinat	
			Latitude	Longitude
1	Darat	S-1	-2,478397	133,163939
2	Pesisir	S-5	-2,460853	133,117986

2. Data Riwayat Gempa yang bersumber dari USGS.

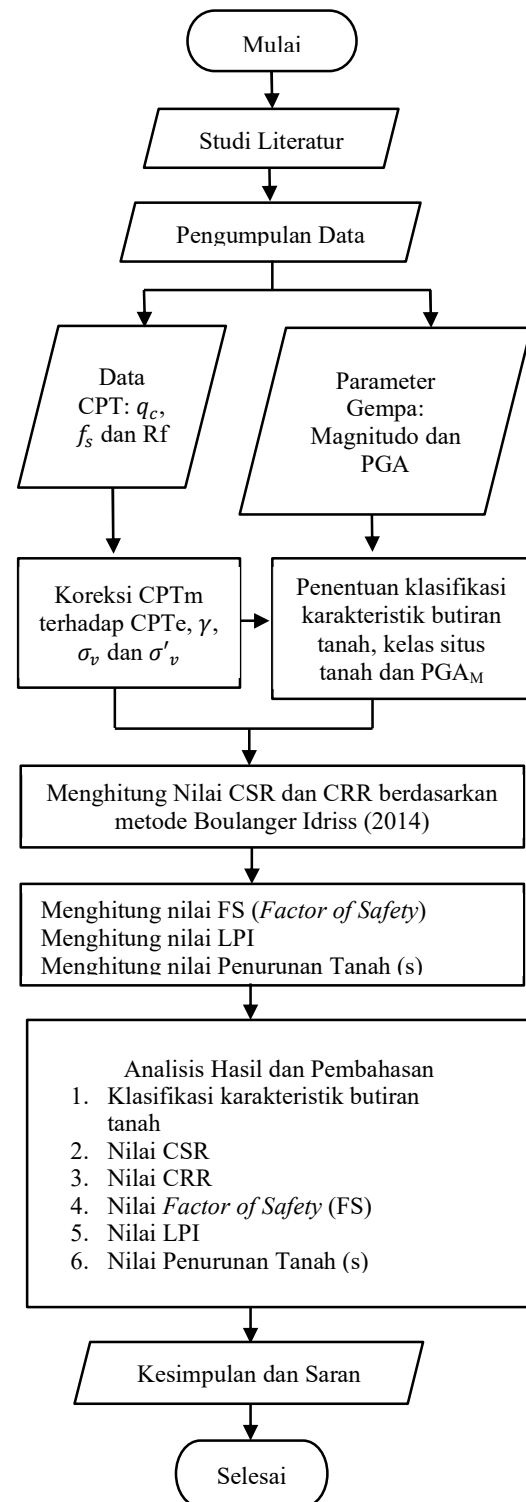
Tabel 5. Magnitudo yang Digunakan

Magnitudo	Kedalaman (km)	Keterangan
7,7	17	Gempa Manokwari 2009
6,6	18	Gempa Sorong 2015
5,6	10	Gempa Manokwari 2003

3. Data PGA (*Peak Ground Acceleration*)

Penentuan nilai PGA dilakukan berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 dengan peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun dan berdasarkan PGA yang digunakan Badan Geologi dalam penyusunan Atlas Zona Kerentanan Likuifaksi Indonesia.

3.3 Bagan Alir Penelitian (*Flowchart*)



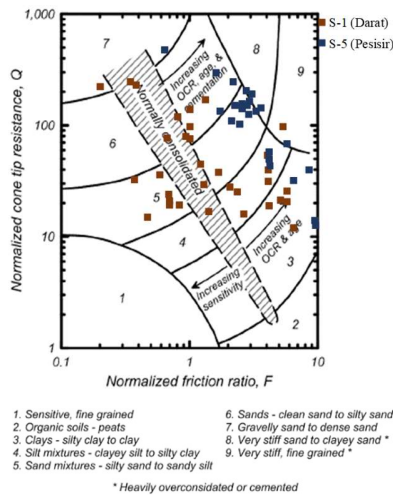
Gambar 6. Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Klasifikasi Karakteristik Butiran Tanah

Hasil klasifikasi karakteristik butiran tanah untuk titik S-

1 dan S-5 berada di zona 3, 4, 5 dan 6. Lapisan tanahnya merupakan *clays – silty clay to clay, silt mixtures – clayey silt to silty clay, sand mixtures – silty sand to sandy silt dan sands – clean sand to silty sand*.



Gambar 7. Hasil Klasifikasi Karakteristik Butiran Tanah

4.2 Kelas Situs Tanah

Kelas situs tanah ditentukan berdasarkan parameter $\bar{V}_s$ sampai kedalaman 30 meter. Digunakan asumsi nilai q_c sampai kedalaman 30 meter, dianggap sama dengan nilai q_c kedalaman terakhir titik pengujian.

Tabel 6. Kelas Situs Tanah

Data CPT	Kedalaman (m)	$\bar{V}_s$	Kelas Situs
S-1	0-30	213,471	SD (Tanah Sedang)
S-5	0-30	210,726	SD (Tanah Sedang)

Hasil analisis menunjukkan bahwa kelas situs tanah tergolong SD (Tanah Sedang).

4.3 Nilai PGA_M

Nilai PGA_M merupakan nilai PGA yang telah terambatkan ke permukaan tanah. Nilai PGA_M dianalisis sesuai prosedur SNI 1726 Tahun 2019.

Tabel 7. Nilai PGA_M

Sumber	PGA	F_{PGA}	PGA_M
Atlas Zona Kerentanan Likuifaksi Indonesia	0,10	1,60	0,16
Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017	0,20 0,25	1,40 1,35	0,28 0,34

4.4 Nilai CSR

Tabel 8. Nilai CSR Titik S-1

Data CPT	Ked. (m)	Magnitudo; a_{max}		
		5,6;0,16	5,6;0,28	5,6;0,34
		0,095-0,108	0,166-0,189	0,200-0,228
		Magnitudo; a_{max}		
		6,6;0,16	6,6;0,28	6,6;0,34
S-1	0-6,8	0,098-0,113	0,171-0,198	0,206-0,238
		Magnitudo; a_{max}		
		7,7;0,16	7,7;0,28	7,7;0,34
		0,101-0,119	0,176-0,208	0,212-0,251

Tabel 9. Nilai CSR Titik S-5

Data CPT	Ked. (m)	Magnitudo; a_{max}		
		5,6;0,16	5,6;0,28	5,6;0,34
		0,201-0,275	0,351-0,481	0,423-0,580
		Magnitudo; a_{max}		
		6,6;0,16	6,6;0,28	6,6;0,34
S-5	0-6,8	0,210-0,275	0,367-0,481	0,442-0,580
		Magnitudo; a_{max}		
		7,7;0,16	7,7;0,28	7,7;0,34
		0,221-0,275	0,386-0,482	0,465-0,581

Nilai CSR merupakan faktor pemicu terjadinya likuifaksi. Analisis nilai CSR maksimum masing-masing titik terjadi pada magnitudo 7,7 Mw dengan percepatan tanah (a_{max}) 0,34 g.

4.5 Nilai CRR

Nilai CRR merupakan besarnya ketahanan tanah terhadap likuifaksi. Nilai CRR dipengaruhi oleh jenis tanah (q_c), magnitudo gempa dan posisi muka air tanah. Nilai CRR dihitung untuk tiga variasi magnitudo yaitu 5,6 Mw; 6,6 Mw dan 7,7 Mw.

Tabel 10. Nilai CRR Titik S-1

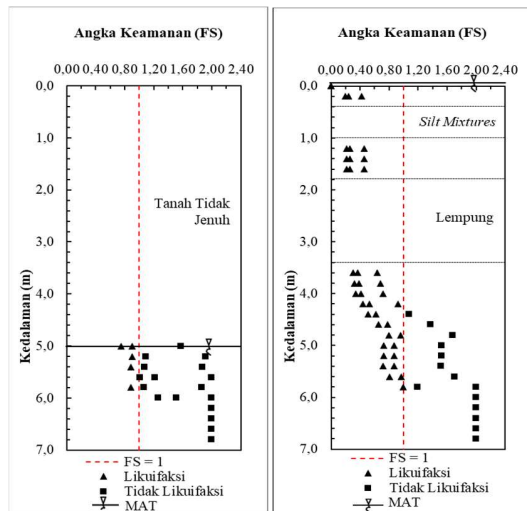
Data	Ked.	Magnitudo		
		5,6 Mw	6,6 Mw	7,7 Mw
CPT	(m)			
S-1	0-6,8	0,116-28,899	0,110-20,791	0,105-13,687

Tabel 11. Nilai CRR Titik S-5

Data	Ked.	Magnitudo		
		5,6 Mw	6,6 Mw	7,7 Mw
CPT	(m)			
S-5	0-6,8	0,115-36208,877	0,109-26049,785	0,104-17149,454

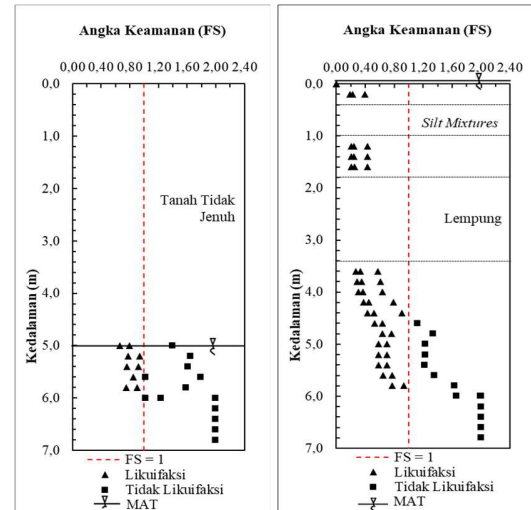
Nilai CRR maksimum untuk masing-masing titik pengujian terjadi pada magnitudo 5,6 Mw.

4.6 Nilai Faktor Keamanan (FS)



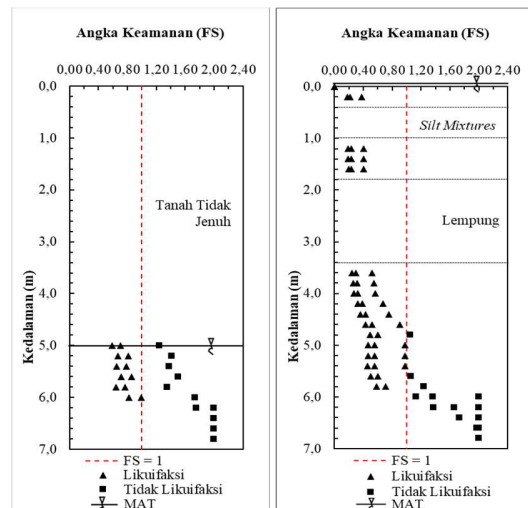
a) S-1 (MAT 5 meter) b) S-5 (MAT 0 meter)

Gambar 8. Hasil Analisis Nilai FS untuk Titik S-1 dan S-5 pada Magnitudo 5,6 Mw



a) S-1 (MAT 5 meter) b) S-5 (MAT 0 meter)

Gambar 9. Hasil Analisis Nilai FS untuk Titik S-1 dan S-5 pada Magnitudo 6,6 Mw



b) S-1 (MAT 5 meter) b) S-5 (MAT 0 meter)

Gambar 10. Hasil Analisis Nilai FS untuk Titik S-1 dan S-5 pada Magnitudo 7,7 Mw

Analisis nilai FS menunjukkan tingkat keamanan lapisan tanah terhadap bahaya likuifaksi. Potensi likuifaksi ditinjau terhadap tanah jenuh air dengan jenis pasir (pasir lepas, pasir berlanau, dan pasir kelepungan). Titik pengujian S-1 akan aman terhadap potensi likuifaksi hanya pada variasi magnitudo gempa 5,6 Mw; 6,6 Mw dan 7,7 Mw dengan nilai percepatan tanah (a_{max}) 0,16 g, sedangkan titik pengujian S-5 pada variasi magnitudo 5,6 Mw; 6,6 Mw dan 7,7 Mw dengan variasi percepatan tanah (a_{max}) 0,16 g; 0,28 g dan 0,34 g ditemukan adanya potensi bahaya likuifaksi

4.7 Nilai LPI (Liquefaction Potential Index)

Nilai LPI dihitung menggunakan pengaruh faktor keamanan (FS) dan faktor bobot kedalaman yang ditinjau (W_z). Titik S-1 memberikan klasifikasi nilai LPI kategori sangat rendah sampai dengan rendah (0-2,782). Sedangkan

titik S-5 memberikan klasifikasi nilai LPI kategori tinggi sampai dengan sangat tinggi (5,872-17,142).

Tabel 12. Nilai LPI Titik S-1

Data	Ked.	Magnitudo; a_{max}		
CPT	(m)	5,6;0,16	5,6;0,28	5,6;0,34
S-1	0-6,8	0,000	0,152	0,856
		Magnitudo; a_{max}		
		6,6;0,16	6,6;0,28	6,6;0,34
		0,000	0,639	1,746
		Magnitudo; a_{max}		
		7,7;0,16	7,7;0,28	7,7;0,34
		0,000	1,567	2,782

Tabel 13. Nilai LPI Titik S-5

Data	Ked.	Magnitudo; a_{max}		
CPT	(m)	5,6;0,16	5,6;0,28	5,6;0,34
S-5	0-6,8	5,872	10,977	13,292
		Magnitudo; a_{max}		
		6,6;0,16	6,6;0,28	6,6;0,34
		6,762	13,193	15,362
		Magnitudo; a_{max}		
		7,7;0,16	7,7;0,28	7,7;0,34
		7,902	15,340	17,142

4.8 Nilai Penurunan Tanah (*Settlement*)

Penurunan tanah akibat likuifaksi dianalisis dengan menggunakan metode Zhang dkk (2002).

Tabel 14. Nilai Penurunan Tanah (*Settlement*) Titik S-1 (cm)

Data	Ked.	Magnitudo; a_{max}		
CPT	(m)	5,6;0,16	5,6;0,28	5,6;0,34
S-1	0-6,8	0,000	0,702	1,281
		Magnitudo; a_{max}		

	6,6;0,16	6,6;0,28	6,6;0,34
	0,000	1,068	1,859
	Magnitudo; a_{max}		
	7,7;0,16	7,7;0,28	7,7;0,34
	0,060	1,775	2,266

Tabel 15. Nilai Penurunan Tanah (*Settlement*) Titik S-5 (cm)

Data	Ked.	Magnitudo; a_{max}		
CPT	(m)	5,6;0,16	5,6;0,28	5,6;0,34
S-5	0-6,8	4,441	6,157	6,646
		Magnitudo; a_{max}		
		6,6;0,16	6,6;0,28	6,6;0,34
		4,920	6,758	7,276
		Magnitudo; a_{max}		
		7,7;0,16	7,7;0,28	7,7;0,34
		5,673	7,331	7,549

Nilai penurunan maksimum terjadi pada variasi magnitudo 7,7 Mw dan percepatan tanah (a_{max}) 0,34 g. Penurunan maksimum titik S-1 adalah sebesar 2,266 cm sedangkan pada titik S-5 adalah sebesar 7,549 cm.

4.9 Perbandingan Hasil Analisis Metode Boulanger Idriss dengan Atlas Zona Kerentanan Likuifaksi Indonesia

Berdasarkan analisis perhitungan berdasarkan metode Boulanger Idriss (2014) kawasan darat diperoleh nilai LPI kategori sangat rendah sampai dengan rendah (0-2,782). Sedangkan pada kawasan pesisir diperoleh nilai LPI kategori tinggi sampai dengan sangat tinggi (5,872-17,142).

Berdasarkan Atlas Zona Kerentanan Likuifaksi Indonesia, wilayah Provinsi Papua Barat khususnya di Teluk Bintuni berada di zona abu-abu (zona tidak rentan likuifaksi) sampai zona hijau (zona kerentanan likuifaksi rendah).

Perbandingan gambaran umum potensi likuifaksi di Teluk Bintuni berdasarkan Atlas Zona Kerentanan Likuifaksi Indonesia sejalan dengan hasil perhitungan analisis berdasarkan Boulanger Idriss (2014) di kawasan darat, sedangkan untuk di kawasan pesisir potensi likuifaksi lebih tinggi hasil perhitungan berdasarkan metode Boulanger Idriss (2014) dibandingkan prediksi pada Atlas Zona Kerentanan Likuifaksi Indonesia. Semakin dangkal nilai muka air tanah, maka semakin

kecil juga nilai faktor keamanan yang mengakibatkan suatu tanah berpotensi terjadi likuifaksi (Tijow dkk., 2018).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian mengenai analisis potensi likuifaksi, diperoleh beberapa kesimpulan:

1. Hasil analisis klasifikasi karakteristik tanah diperoleh lapisan tanahnya yaitu *clays – silty clay to clay, silt mixtures – clayey silt to silty clay, sand mixtures – silty sand to sandy silt*, dan *sands – clean sand to silty sand*.
2. Nilai CSR maksimum terjadi pada magnitudo 7,7 Mw dengan percepatan tanah (a_{max}) 0,34 g, sedangkan nilai CRR maksimum terjadi pada magnitudo 5,6 Mw.
3. Kawasan darat memiliki potensi likuifaksi yang lebih kecil dibandingkan dengan kawasan pesisir.
4. Titik S-1 memberikan klasifikasi nilai LPI kategori sangat rendah sampai dengan rendah (0-2,787). Sedangkan titik S-5 memberikan klasifikasi nilai LPI kategori tinggi sampai dengan sangat tinggi (5,872-17,142).
5. Nilai penurunan maksimum terjadi pada variasi magnitudo 7,7 Mw dan percepatan tanah (a_{max}) 0,34 g. Penurunan maksimum titik S-1 adalah sebesar 2,266 cm, sedangkan pada titik S-5 adalah sebesar 7,549 cm.
6. Perbandingan gambaran umum potensi likuifaksi di Teluk Bintuni berdasarkan Atlas Zona Kerentanan Likuifaksi Indonesia sejalan dengan hasil perhitungan analisis berdasarkan Boulanger Idriss (2014) di kawasan darat. Sedangkan untuk kawasan pesisir potensi likuifaksi lebih tinggi hasil perhitungan berdasarkan metode Boulanger Idriss (2014) dibandingkan prediksi pada atlas zona kerentanan likuifaksi Indonesia.

5.2 Saran

1. Analisis likuifaksi terbatas pada kawasan Teluk Bintuni Papua Barat. Mengingat likuifaksi merupakan salah satu bahaya geologi di dunia konstruksi maka analisis likuifaksi perlu diterapkan di seluruh wilayah di Indonesia.
2. Analisis likuifaksi sebaiknya dilakukan perbandingan dengan menggunakan metode perhitungan lainnya untuk mendapatkan keakuratan hasil.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S. M. (2017). Correlating the shear wave velocity with the cone penetration test. *World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering*. <https://doi.org/10.11159/icgre17.155>
- Ariandi, E. S., Manoppo, F. J., Sumampouw, J. E. R., Sam, U., Manado, R., Manado, J. K. B., & Belakang, A. L. (2019). Kajian Potensi Likuifaksi

Pada Sekitar Pondasi Jembatan Prategang Di Sawangan. *Tekno*, 17(71).

Asrurifak, M., Irsyam, M., Hutapea, B. M., Mahesworo, R. P., & Ridwan, M. (2012). *PETA DEAGREGASI HAZARD GEMPA INDONESIA UNTUK PERIODE ULANG GEMPA 2475 TAHUN*. 4–5.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan dan Nongedung. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, 8, 254.

Buana, T. W., Hermawan, W., Rahdianan, R. N., Widyaningrum, R., Wahyudin, Hasibuan, G., Wiyono, & Solli, W. P. (2019). *ATLAS ZONA KERENTANAN LIKUEFAKSI INDONESIA.pdf*.

Ciptakarya.pu, S. (2002). *Gambaran Umum dan Kondisi Wilayah Kabupaten Teluk Bintuni*.

Facciorusso, J., Madi, C., & Vannucchi, G. (2017). Corrections to mechanical CPT results for use in liquefaction evaluation. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(9), 3505–3528. <https://doi.org/10.1007/s10518-017-0093-y>

Idriss, R. W. B. & I. M. (2014). *CPT AND SPT BASED LIQUEFACTION TRIGGERING PROCEDURES*. April.

Iwasaki, T. (1986). *Soil liquefaction studies in Japan: state-of-the-art*. 5(1), 2–68.

Naryanto, H. S. (2019). Analisis Bahaya, Kerentanan Dan Risiko Bencana Tsunami Di Provinsi Papua Barat. *Jurnal Alami : Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana*, 3(1), 10. <https://doi.org/10.29122/alami.v3i1.3399>

P. Rafferty, J. (2021). Soil Liquefaction. In *Britannica*. Encyclopaedia Britannica.

Prawirodikromo, W. (2012). *SEISMOLOGI TEKNIK & REKAYASA KEGEMPAAN*.

Pustlitbang PUPR. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*.

Tijow, K. C., Sompie, O. B. A., & Ticoh, J. H. (2018). Analisis Potensi Likuifaksi Tanah Berdasarkan Data Standart Penetration Test (SPT), Studi Kasus : Dermaga Bitung, Sulawesi Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 6(7), 492.

Zhang, G., Robertson, P. K., & Brachman, R. W. I. (2002). *Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground*. 1180, 1168–1180. <https://doi.org/10.1139/T02-047>