

TUGAS AKHIR

**PROFIL NILAI SAFETY FACTOR (SF) POTENSI LIKUIFAKSI
BERDASARKAN DATA CPT MENGGUNAKAN APLIKASI GIS &
SURFER**

***PROFILE OF SAFETY FACTOR VALUE (SF) POTENTIAL
LIQUIFACTION BASED ON CPT DATA USING GIS & SURFER
APPLICATION***

POPPY MAGHFIRAH

D011 17 1322



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2021

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**PROFIL NILAI SAFETY FAKTOR (SF) POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN
DATA CPT MENGGUNAKAN APLIKASI GIS & SURFER**

Disusun dan diajukan oleh:

POPPY MAGHFIRAH

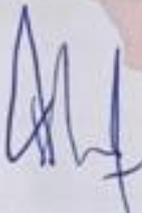
D011 17 1322

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 22 Desember 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Tri Harianto, ST, MT
NIP. 197203092000031002



Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D
NIP. 196007301986031003

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wibardi Tiaronge, ST, M.Eng
Nip. 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Poppy Maghfirah, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul **“Profil Nilai Safety Factor (SF) Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data CPT Menggunakan Aplikasi Gis & Surfer”** adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu, semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 10 November 2021

Yang membuat pernyataan,



Poppy Maghfirah

D011171322

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan kasih dan rahmat-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Profil Nilai Safety Factor (SF) Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data CPT Menggunakan Aplikasi Gis & Surfer” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Eng. Tri Harianto, S.T. M.T dan Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, MSc, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah bersedia menyediakan waktunya untuk membimbing dan mengarahkan penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ayahanda Muhammad Yusuf Pata'dungan, Ibunda Salmawaty Tomenyembey, Nenek mama, serta adik-adik, Richard Aryanto, Najmi

Mufliha Y. dan Rifky Ahmad F., yang telah memberi banyak dukungan moral, doa, dan semangat kepada penulis.

5. Bapak/Ibu Dosen Pengajar di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberi banyak ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
6. Saudara Arfan Aminuddin, Arung Zabarjad , M. Basyrah atas bantuan menjalankan aplikasi pada proses penulisan skripsi ini.
7. Teman seperjuangan Tugas Akhir, Abigail Anggi Putri O.S, yang telah berjuang bersama dan saling suport dalam proses penggarapan tugas akhir.
8. Teman-teman Apartemen Hidayat : Andiny, Riska, dan Miftah, yang telah memberi semangat serta bantuan kepada penulis.
9. Teman Opi Mida Titania, Emanuella Tandirerung, dan Tabita N. Ary yang selalu menemani, berbagi cerita, dan juga memberi semangat.
10. Teman-teman Sipil 2017, atas bantuan doa, dan dukungan semangat untuk penulis.
12. Keluarga Asisten Laboratorium Ukur Tanah, yang telah memberi masukan.
14. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terima kasih untuk semuanya.

Penulis sangat mengharapkan kiranya tugas akhir ini dapat memberi manfaat kepada pembaca. Adapun penulisan skripsi ini tidak lepas dari ketidaksempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritik dari pembaca sangat diharapkan sebagai masukan untuk penulis kedepannya.

Gowa, 10 November 2021

Penulis

ABSTRAK

PROFIL NILAI SAFETY FACTOR (SF) POTENSI LIKUIFAKSI BERDASARKAN DATA CPT MENGGUNAKAN APLIKASI GIS & SURFER

Oleh:

Poppy Maghfirah

Gempa bumi dapat menyebabkan kerusakan pada struktur lapisan tanah, salah satu jenis bahaya akibat dari bencana gempa bumi yaitu likuifaksi. Likuifaksi merupakan peristiwa lapisan tanah pasir lepas mengalami kehilangan kuat geser secara drastis karena meningkatnya tekanan air pori sebagai akibat terjadinya tegangan siklik pada getaran tanah yang sangat cepat dalam waktu singkat. Potensi likuifaksi ini dapat dianalisis menggunakan data *Cone Penetration Test* (CPT) dengan mempertimbangkan nilai percepatan gempa (p.g.a).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi tanah apabila terjadinya potensi likuifaksi dengan menggunakan data CPT (*Cone Penetration Test*) melalui aplikasi GIS dan Surfer, aplikasi computer yang berfungsi untuk menganalisis serta membuat kontur distribusi dari data koordinat serta data keluaran dari CPT. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan membuat visualisasi terhadap kondisi tanah yang mengalami likuifaksi ataupun tidak mengalami likuifaksi.

Kata kunci: Gempa bumi, Likuifaksi, CPT, GIS, Surfer

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Batasan Masalah	2
E. Sistematika Penulisan	3
BAB II	5
A. Cone Penetration Test	5
B. Gempa Bumi	8
C. Likuifaksi	10
D. Mekanisme Terjadinya Likuifaksi	13
E. Faktor-faktor terjadinya likuifaksi	13
F. GIS (Geographic information system)	16
BAB III	19
A. Lokasi Penelitian	19
B. Bahan dan Peralatan Pengolahan Data	20
B.1. Bahan	20
B.2. Alat	20
C. Pengumpulan Data	20
D. Bagan Alir Penelitian	20
E. Prosedur Penggunaan Aplikasi GIS	21
BAB IV	32
A. Deskripsi Daerah Penelitian	32
B. Distribusi Nilai Safety Faktor Perkedalaman Titik Uji	34

C. Kontur Distribusi <i>Safety Factor</i>	44
D. Perbandingan Kontur Distribusi <i>Safety Factor</i>	60
BAB V.....	73
A. Kesimpulan.....	73
B. Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Lokasi titik pengujian <i>cone penetration test</i> (CPT).....	33
Tabel 2. Data kedalaman <i>safety factor</i> (SF) pada titik S-01.....	38
Tabel 3. Data kedalaman <i>safety factor</i> (SF) pada titik S-02.....	38
Tabel 4. Data kedalaman <i>safety factor</i> (SF) pada titik S-03.....	39
Tabel 5. Data kedalaman <i>safety factor</i> (SF) pada titik S-04.....	39
Tabel 6. Data kedalaman <i>safety factor</i> (SF) pada titik S-05.....	40
Tabel 7. Data kedalaman <i>safety factor</i> (SF) pada titik S-06.....	40
Tabel 8. Data kedalaman <i>safety factor</i> (SF) pada titik S-07.....	41
Tabel 9. Data kedalaman <i>safety factor</i> (SF) pada titik S-08.....	41
Tabel 10. Data kedalaman <i>safety factor</i> (SF) pada titik S-09.....	42
Tabel 11. Data kedalaman <i>safety factor</i> (SF) pada titik S-10.....	42
Tabel 12. Data kedalaman <i>safety factor</i> (SF) pada titik S-11.....	43
Tabel 13. Data kedalaman <i>safety factor</i> (SF) pada titik S-12.....	43
Tabel 14. Tabel luas tanah terlikuifaksi dan tidak terlikuifaksi.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Alat Uji <i>Cone Penetration Test</i>	6
Gambar 2. Grafik tipe perilaku tanah tidak ternormalisasi	7
Gambar 3. Lempeng Tektonik Indonesia	9
Gambar 4. Kondisi tegangan tanah efektif	11
Gambar 5. Kondisi partikel tanah sebelum dan sesudah naiknya tekanan air pori.....	12
Gambar 6. Peta Lokasi Penelitian.....	19
Gambar 7. Bagan Alir Penelitian.....	21
Gambar 8. <i>Main Window</i> pada <i>software</i> ArcGIS Map.....	22
Gambar 9. Input data pada <i>software</i> ArcGIS Map	22
Gambar 10. <i>Raster Interpolation</i> untuk menampilkan kontur	23
Gambar 11. <i>Topo To Raster</i> untuk menampilkan kontur	24
Gambar 12. Memunculkan garis <i>contour</i>	24
Gambar 13. <i>Label</i> Garis <i>contour</i>	25
Gambar 14. <i>Label</i> Titik Patok.....	26
Gambar 15. Tampilan Surfer pada pengimputan data	27
Gambar 16. Tampilan Layar utama <i>software</i> Surfer	28
Gambar 17. Submit Data	29
Gambar 18. Submit Data	29
Gambar 19. Tampilan gambar 2 dimensi pada <i>software</i> Surfer.....	30
Gambar 20. Tampilan gambar kontur 3 dimensi pada <i>software</i> Surfer....	31
Gambar 21. Lokasi titik pengujian <i>Cone Penetration Test</i>	32
Gambar 22. Kontur distribusi <i>safety factor</i> pada kedalaman 1 m.....	44
Gambar 23. Kontur distribusi <i>safety factor</i> pada kedalaman 2 m.....	46
Gambar 24. Kontur distribusi <i>safety factor</i> pada kedalaman 3 m.....	47
Gambar 25. Kontur distribusi <i>safety factor</i> pada kedalaman 4 m.....	48
Gambar 26. Kontur distribusi <i>safety factor</i> pada kedalaman 5 m.....	49
Gambar 27. Kontur distribusi <i>safety factor</i> pada kedalaman 6 m.....	50
Gambar 28. Kontur distribusi <i>safety factor</i> pada kedalaman 7 m.....	51
Gambar 29. Kontur distribusi <i>safety factor</i> pada kedalaman 8 m.....	52
Gambar 30. Kontur distribusi <i>safety factor</i> pada kedalaman 9 m.....	53
Gambar 31. Kontur distribusi <i>safety factor</i> pada kedalaman 10 m.....	54
Gambar 32. Kontur distribusi <i>safety factor</i> pada kedalaman 11 m.....	55
Gambar 33. Kontur distribusi <i>safety factor</i> pada kedalaman 12 m.....	56
Gambar 34. Kontur distribusi <i>safety factor</i> pada kedalaman 13 m.....	57
Gambar 35. Kontur distribusi <i>safety factor</i> pada kedalaman 14 m.....	58
Gambar 36. Kontur distribusi <i>safety factor</i> pada kedalaman 15 m.....	59
Gambar 37. Kontur <i>safety factor</i> 2 dimensi dan 3 dimensi kedalaman 1m	60

Gambar 38. Kontur <i>safety factor</i> 2 dimensi dan 3 dimensi kedalaman 2 m	61
Gambar 39. Kontur <i>safety factor</i> 2 dimensi dan 3 dimensi kedalaman 3 m	61
Gambar 40. Kontur <i>safety factor</i> 2 dimensi dan 3 dimensi kedalaman 4 m	62
Gambar 41. Kontur <i>safety factor</i> 2 dimensi dan 3 dimensi kedalaman 5 m	63
Gambar 42. Kontur <i>safety factor</i> 2 dimensi dan 3 dimensi kedalaman 6 m	63
Gambar 43. Kontur <i>safety factor</i> 2 dimensi dan 3 dimensi kedalaman 7 m	64
Gambar 44. Kontur <i>safety factor</i> 2 dimensi dan 3 dimensi kedalaman 8 m	65
Gambar 45. Kontur <i>safety factor</i> 2 dimensi dan 3 dimensi kedalaman 9 m	65
Gambar 46. Kontur <i>safety factor</i> 2 dimensi dan 3 dimensi kedalaman 10 m	66
Gambar 47. Kontur <i>safety factor</i> 2 dimensi dan 3 dimensi kedalaman 11 m	67
Gambar 48. Kontur <i>safety factor</i> 2 dimensi dan 3 dimensi kedalaman 12 m	67
Gambar 49. Kontur <i>safety factor</i> 2 dimensi dan 3 dimensi kedalaman 13 m	68
Gambar 50. Kontur <i>safety factor</i> 2 dimensi dan 3 dimensi kedalaman 14 m	69
Gambar 51. Kontur <i>safety factor</i> 2 dimensi dan 3 dimensi kedalaman 15 m	69
Gambar 52. Grafik luasan tanah terlikuifaksi dan tidak terlikuifaksi	71
Gambar 53. Grafik Index pengaruh.....	72

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Likuifaksi merupakan dampak dari bencana alam gempa bumi, dimana hal tersebut mengakibatkan perubahan kondisi tanah yang awalnya solid menjadi cair sebagai akibat hilangnya tegangan geser tanah akibat kenaikan tegangan air pori yang disebabkan oleh beban berulang dalam hal ini beban gempa.

Likuifaksi adalah hilangnya kekuatan tanah akibat kenaikan tegangan air pori dan turunnya tekanan efektif dari lapisan tanah yang timbul akibat beban siklik. Akibat struktur tanah pasir (*cohesionless*) menerima tegangan geser yang berturut-turut sehingga struktur tanah pasir memadat, tetapi karena peristiwa siklik ini terjadi dengan waktu sangat cepat maka proses pemadatan tidak terjadi dan tegangan air pori meningkat (Idriss dan Boulanger, 2008). Karena kehilangan kekakuan serta tegangan gesernya mengakibatkan sifat tanah yang awalnya padat menjadi cair. Tanah yang berpotensi mengalami likuifaksi ketika diberikan beban siklik adalah pasir halus (*sand*), pasir berlumpur (*silty sand*), dan pasir lepas (*loose sand*). Karena hanya terjadi di tanah yang jenuh, likuifaksi umumnya terjadi di dekat sungai, teluk, atau badan air lainnya (Kramer, 1996).

Dari Potensi Likuifaksi yang ada, perlu dilakukan kajian untuk mengurangi kerugian atas timbulnya akibat dari likuifaksi, parameter

potensi likuifaksi yang dibutuhkan yaitu nilai CPT (*cone penetration test*), Nilai *safety factor* serta Koordinat lokasi penelitian. Metode yang digunakan untuk menganalisis perubahan profil tanah akibat potensi likuifaksi yaitu kontur distribusi pada tiap kedalaman. Analisa ini dapat dilakukan melalui *software* GIS serta *Surfer* yang merupakan aplikasi yang dapat menjalankan analisa kontur.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka dibuat rumusan masalah sebagai berikut;

1. Bagaimana kondisi kontur *safety factor* tanah setelah mengalami gempa?
2. Bagaimana korelasi kontur *safety factor* 2 dimensi dan 3 dimensi?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Membuat kontur *safety factor* 2 dimensi dan 3 dimensi menggunakan *software* GIS dan *Surfer*.
2. Bagaimana perbandingan kontur *safety factor* 2 dimensi dan 3 dimensi.

D. Batasan Masalah

Ruang lingkup pembahasan dari penelitian ini yaitu:

1. Data sekunder sondir di lokasi penelitian.
2. Data titik koordinat di lokasi penelitian.

E. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun agar perubahan tugas akhir ini lebih terarah pada inti permasalahan dan kerangka isi. Gambaran umum mengenai isi penelitian ini, dapat dituliskan sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Menjelaskan latar belakang penelitian ini dilakukan, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penelitian.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Memaparkan teori-teori dasar dan tinjauan umum sehubungan dengan judul penulisan yaitu Profil Nilai *Safety Factor* (SF) Potensi Likuifaksi Berdasarkan Data CPT Menggunakan Aplikasi Gis & Surfer.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Menerangkan teknis penelitian yang dilakukan serta cara pengolahan data hasil penelitian.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan data hasil penelitian dan analisis data untuk mencapai hasil penelitian.

BAB 5. PENUTUP

Menerangkan tentang kesimpulan hasil analisis data penelitian dan saran sebagai hasil pandangan penelitian yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut dari tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Cone Penetration Test

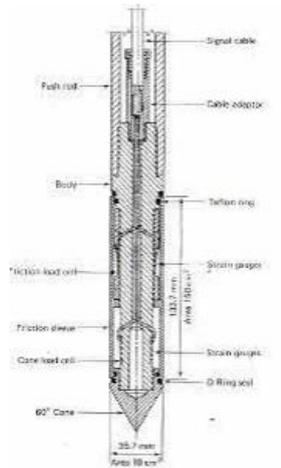
Penyelidikan tanah atau (*soil investigation*) merupakan bagian awal dari proses yang dilakukan sebelum dimulainya pekerjaan pembangunan suatu struktur bangunan. Penyelidikan tanah dilakukan dengan 2 (dua) cara, yaitu: penyelidikan di lapangan dan pengujian di laboratorium.

Penyelidikan tanah dilakukan untuk mendapatkan data tentang sifat-sifat teknis tanah, yang selanjutnya digunakan untuk bahan pertimbangan dalam keperluan desain dan pelaksanaan konstruksi dari suatu struktur yang berdiri di atasnya. Secara rinci, tujuan penyelidikan tanah adalah:

1. Untuk memperoleh informasi awal kondisi tanah dasar, dan mengidentifikasi kemungkinan desain alternatif, serta memungkinkan penyelidikan yang lebih lengkap untuk direncanakan.
2. Untuk memperoleh informasi lengkap dari kondisi tanah dalam merencanakan metode perbaikan tanah yang tepat untuk timbunan dan pondasi jembatan serta konstruksi lainnya.
3. Untuk menyediakan informasi mengenai kondisi tanah dasar.
4. Memperoleh informasi tambahan pada lokasi tertentu untuk mengklarifikasi kondisi tanah, sehingga desain strukturnya menjadi lengkap. (Wahyudi & Mutia, 2018)

Salah satu metode penyelidikan tanah yang dilakukan dilapangan yaitu uji penetrasi kerucut statis (*Conus Penetration Test/CPT/Sondir*). CPT

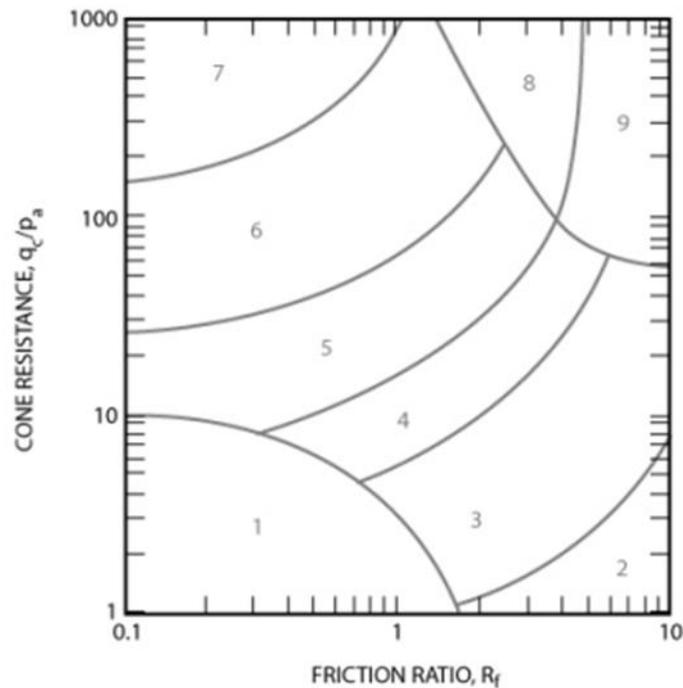
merupakan metode yang digunakan untuk menentukan sifat rekayasa geoteknik tanah dan menggambarkan stratigrafi tanah.



Gambar 1. Alat Uji *Cone Penetration Test*

(Sumber : Holtz and Kovacs, 1981)

Alat kerucut penetrometer (*Cone Penetration Test*) adalah sebuah alat yang ujungnya berbentuk kerucut dengan sudut 60° dan dengan luasan ujung 10 cm² seperti terlihat pada Gambar 1. Alat ini digunakan dengan cara ditekan ke dalam tanah terus menerus dengan kecepatan tetap 20 mm/detik, sementara itu besarnya perlawanan tanah terhadap kerucut penetrasi (q_c) juga terus menerus diukur. Dari alat penetrometer yang lazim dipakai, sebagian besar mempunyai selubung geser (*biconus*) yang dapat bergerak mengikuti kerucut penetrometer. Salah satu keuntungan utama dari alat ini ialah bahwa tidak perlu siadakan pemboran tanah untuk penyelidikan tanah. Tes pada umumnya dilakukan pada tanah kohesif (Das, 2010).



<i>Zone</i>	<i>Soil Behavior Type</i>
1	<i>Sensitive, fine grained</i>
2	<i>Organic soils - clay</i>
3	<i>Clay - silty clay to clay</i>
4	<i>Silt mixtures - clayey silt to silty clay</i>
5	<i>Sand mixtures - silty sand to sandy silt</i>
6	<i>Sands - clean sand to silty sand</i>
7	<i>Gravelly sand to dense sand</i>
8	<i>Very stiff sand to clayey sand*</i>
9	<i>Very stiff fine grained*</i>

Gambar 2. Grafik tipe perilaku tanah tidak ternormalisasi (Robertson et al., 2010)

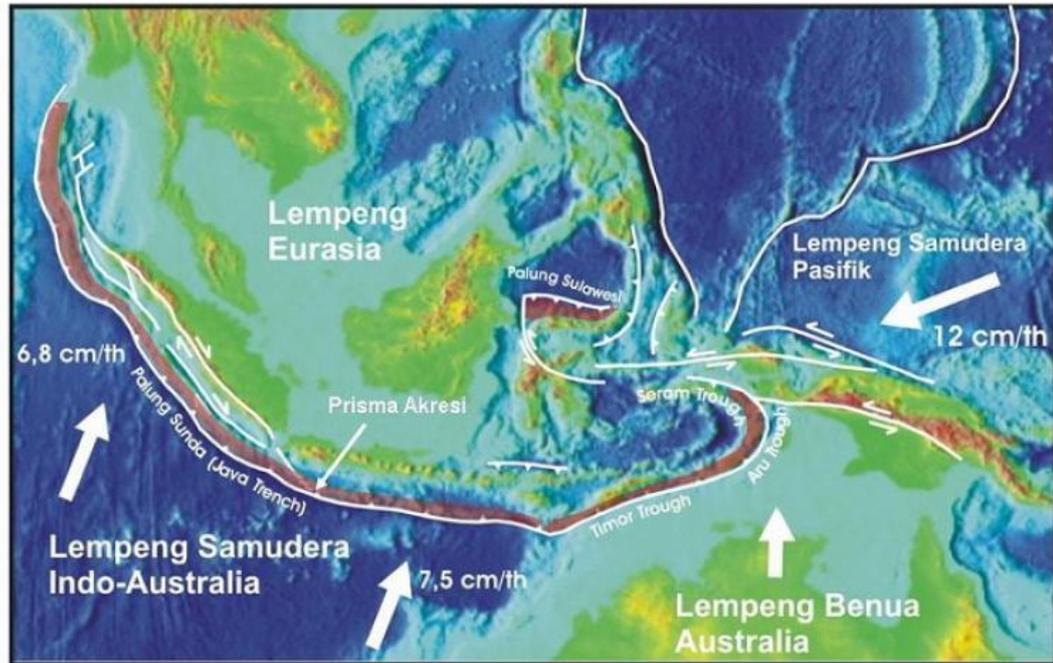
Salah satu pengaplikasian utama CPT adalah menentukan jenis tanah. Namun CPT tidak diharapkan untuk memberikan prediksi jenis tanah yang akurat, tetapi dapat memberikan tipe perilaku tanah (SBT) berdasarkan karakteristik mekanik (kekuatan, kekakuan, kompreibilitas). Pada tahun 2010, Robertson et, al., memberikan versi terbaru dari grafik tipe perilaku tanah (Gambar 2). Grafik ini menggunakan hasil dari CPT yaitu nilai perlawanan konus (q_c) dan hambatan rasio (R_f).

B. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi.

Gempa bumi merupakan bencana alam yang cukup unik, berbeda dengan bencana lainnya seperti badai, banjir, dan lainnya yang dapat diprediksi sedangkan gempa bumi sulit diprediksi kapan terjadinya. Dikarenakan gempa bumi ini muncul secara tiba-tiba, maka tidak dapat dihindari adanya kerugian secara materi sehingga adanya korban jiwa.

Indonesia terletak antara pertemuan tiga lempeng kerak bumi yaitu lempeng Pasifik, Eurasia dan lempeng India Australia. Kepulauan Indonesia merupakan daerah yang berada pada pertemuan antara 2 jalur gempa utama yaitu jalur gempa Mediterania dan jalur gempa Sirkum Pasifik. Oleh karena itu, Indonesia memiliki potensi bencana gempa bumi. Gempa bumi merupakan bencana alam yang terjadi dibawah permukaan tanah yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada struktur. Kerusakan pada tanah ini diakibatkan oleh besarnya energi yang dilepaskan oleh pusat gempa (*hypocenter*) berupa getaran yang merambat dipemukaan bumi (Tini, Tohari, & Iryanti, 2017).



Gambar 3. Lempeng Tektonik Indonesia
(Sumber : Batur Unesco Global Geopark)

Menurut teori lempeng tektonik, permukaan bumi menjadi beberapa lempeng tektonik yang besar. Lempeng tektonik merupakan bagian keras kerak bumi yang mengapung di atas astenosfer seperti yang terlihat pada Gambar 3. Oleh karena itu, lempeng tektonik ini bergerak bebas dan berinteraksi satu sama lain. Terdapat tiga kemungkinan pergerakan jika suatu lempeng tektonik terhadap lempeng lainnya bertemu pada suatu sesar, yaitu kedua lempeng saling menjauhi (*spreading*), saling mendekati (*collision*) dan saling bergeser (*transform*). Secara umum, gerakan ini berlangsung lambat dan tidak dapat dirasakan manusia namun terukur sebesar 0-15 cm tiap tahunnya. Terkadang gerakan ini mengalami macet dan saling mengunci yang mengakibatkan akumulasi energi yang berlangsung sampai suatu saat batuan pada lempeng tersebut tidak lagi

kuat menahan gerakan tersebut sehingga terjadi pelepasan mendadak yang dikenal sebagai gempa bumi.

Gempa dibedakan berdasarkan penyebab terjadinya gempa (Bolt, 1978), yaitu gempa tektonik (*tectonic earthquake*), gempa vulkanik (*vulcanic earthquake*), gempa runtuh (*collapse earthquake*), gempa ledakan (*explosion earthquake*). Gempa yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik umumnya lebih besar bila dibandingkan dengan jenis gempa lainnya.

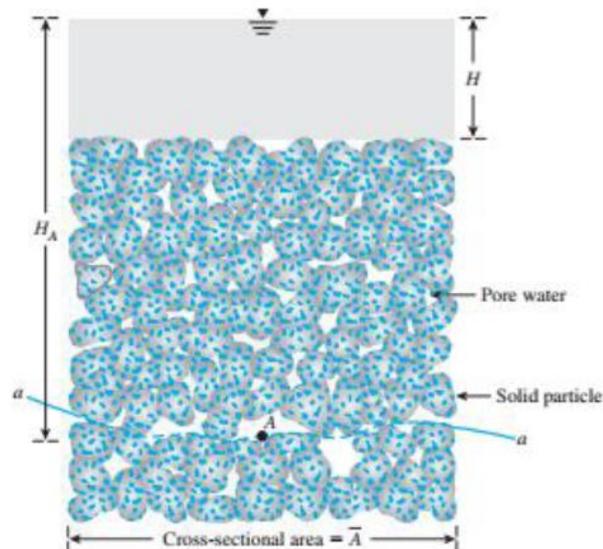
C. Likuifaksi

Likuifaksi adalah hilangnya kekuatan tanah akibat kenaikan tegangan air pori dan turunnya tekanan efektif dari lapisan tanah yang timbul akibat beban siklik. Akibat struktur tanah pasir (*cohesionless*) menerima tegangan geser yang berturut-turut sehingga struktur tanah pasir memadat, tetapi karena peristiwa siklik ini terjadi dengan waktu sangat cepat maka proses pemadatan tidak terjadi dan tegangan air pori meningkat. Dampak dari terjadinya peningkatan air pori, tanah akan kehilangan kuat geser secara drastis akibat turunnya tegangan efektif air pori tanah (Idriss & Boulanger, 2008).

Proses perubahan kondisi tanah pasir yang jenuh air akan menjadi cair akibat tekanan air pori yang meningkat hingga ke titik sama besar dengan tegangan total akibat adanya beban siklik sehingga tegangan efektif tanah akan berkurang hingga sama dengan nol. Hal ini menunjukkan bahwa likuifaksi merupakan fenomena suatu tanah kehilangan banyak kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*) dalam waktu yang singkat. Saat terjadi

gempa, gaya geser yang ditimbulkan mengakibatkan pasir bereaksi sehingga tekanan air pori meningkat. Akibat getaran siklik yang terjadi dalam waktu singkat ini, tanah kehilangan banyak kekuatan atau kekakuannya sehingga tidak dapat mendukung struktur diatas dan menjaga untuk tetap stabil.

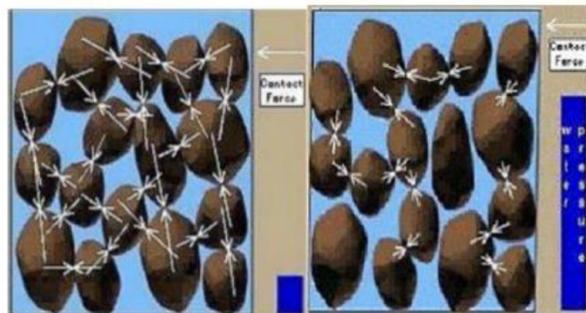
Pasir dengan kepadatan lepas sampai sedang dan pasir berlumpur yang jenuh air cenderung bereaksi dengan beban siklik sehingga tanah kehilangan kuat geser akibat menurunnya tegangan efektif tanah seiring dengan meningkatnya tegangan air pori. Peristiwa likuifaksi jika dilihat secara visual ditandai dengan munculnya lumpur pasir di permukaan tanah berupa semburan pasir (*sand soil*), tenggelamnya struktur bangunan di atas permukaan, rembesan air melalui retakan tanah, penurunan muka tanah dan perpindahan lateral.



Gambar 4. Kondisi tegangan tanah efektif

(Sumber: Amaliah,2021)

Peningkatan tekanan air pori menyebabkan aliran air naik ke permukaan tanah dalam bentuk semburan lumpur atau pasir. Untuk keadaan likuifaksi ini, tegangan efektif tanah menjadi sama dengan nol dan partikel saling melepaskan seolah-olah mengambang di air seperti yang terlihat pada Gambar 4. Struktur yang berada di atas endapan tanah pasir yang terlikuifaksi saat gempa bumi akan tenggelam atau jatuh dan saluran yang terkubur akan mengapung ke permukaan.



Gambar 5. Kondisi partikel tanah sebelum dan sesudah naiknya tekanan air pori

(Sumber: Amaliah, 2021)

Untuk mengetahui potensi bahaya likuifaksi di daerah tersebut, maka diperlukan analisa kondisi bawah permukaan tanah seperti pada Gambar 5, agar dapat menjadi bahan pertimbangan untuk mengambil keputusan apakah daerah tersebut berpotensi mengalami likuifaksi atau aman. Analisa kondisi bawah permukaan untuk mengetahui potensi likuifaksi akibat gempa bumi di daerah tersebut diteliti dengan menggunakan metode geoteknik yaitu *Cone Penetration Test (CPT)*.

D. Mekanisme Terjadinya Likuifaksi

Menganalisis potensi terjadinya likuifaksi diasumsikan selama berlangsungnya getaran gempa belum terjadi disipasi yang berarti di lapisan tanah, dengan kata lain belum terjadi redistribusi tekanan air pori pada massa tanah. Akibat beban siklik (beban gempa), tanah mengalami tekanan sebelum proses disipasi terjadi sehingga itu mengakibatkan tekanan air pori meningkat, muka air tanah sangat menentukan potensi terjadinya likuifaksi (Tijow & Ticoh, 2018)

Endapan atau deposit tanah pasir yang mempunyai muka air tanah di bawah permukaan rentan mengalami likuifaksi. Selama gempa bumi, tegangan geser siklik yang disebabkan oleh rambatan gelombang geser menyebabkan pasir lepas bereaksi dan menghasilkan tekanan air pori yang meningkat. Akibat gelombang siklik yang terjadi begitu cepat, air pada tanah tidak mampu keluar. Meningkatnya tekanan air pori menyebabkan aliran air ke atas permukaan berupa semburan lumpur atau pasir. Tekanan air pori meningkat karena tanah yang bergerak mengakibatkan air mengalir ke atas dan mengubah pasir dari fase padat menjadi fase cair disebut likuifaksi.

E. Faktor-faktor terjadinya likuifaksi

Ada banyak faktor yang dapat menyebabkan tanah mengalami proses likuifaksi. Berdasarkan hasil uji laboratorium serta observasi dan studi lapangan, menurut (Day, 2001) faktor-faktor tersebut diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Intensitas, durasi, dan karakteristik gempa bumi

Tanah akan mengalami likuifaksi apabila tanah tersebut diberikan getaran. Karakteristik gerakan tanah seperti percepatan dan durasi gempa dapat menentukan regangan geser yang menyebabkan reaksi antarpartikel tanah dan peningkatan tekanan air pori berlebih sehingga terjadi likuifaksi. Potensi likuifaksi meningkat seiring intensitas gempa dan lamanya guncangan terjadi. Gempa bumi yang memiliki kekuatan tertinggi akan menghasilkan percepatan tanah maksimum pada tanah dasar atau *Peak Ground Acceleration (PGA)*.

2. Muka air tanah

Kondisi yang paling rentan untuk likuifaksi adalah permukaan yang dekat dengan muka air tanah. Hal ini disebabkan karena tanah tidak jenuh yang terletak di atas permukaan air tanah tidak akan mengalami likuifaksi.

3. Jenis tanah

Ishihara (1996) menyatakan bahwa peristiwa likuifaksi yang pernah terjadi selama gempa bumi telah ditemukan dalam endapan yang terdiri dari pasir halus sampai sedang dan pasir yang mengandung rasio plastisitas yang rendah. Dengan demikian, jenis tanah yang rentan terhadap likuifaksi adalah tanah nonplastis (*nonkohesif*). Diperkirakan tanah nonkohesi yang rentan terhadap likuifaksi adalah pasir bersih (*clean sands*), pasir berlumpur nonplastis (*nonplastic silty sands*), lumpur nonplastis (*nonplastic silt*) dan kerikil (*gravel*).

4. Kepadatan relatif awal (*Initial relative density*)

Berdasarkan studi lapangan, tanah non-kohefif yang mempunyai kepadatan relatif yang lepas rentan terhadap likuifaksi. Jika tanah memiliki kepadatan relatif yang semakin besar maka akan semakin besar tahanannya terhadap potensi likuifaksi.

5. Gradasi dan analisis butiran tanah

Tanah yang memiliki gradasi seragam (*uniformly graded soil*) cenderung tidak stabil dan lebih rentan terhadap likuifaksi daripada tanah yang bergradasi baik (*well-graded soil*). Tanah dengan gradasi baik memiliki partikel yang saling mengisi rongga dan mengurangi potensi kontraksi tanah sehingga menghasilkan tekanan air pori yang lebih sedikit selama gempa bumi. Selain itu, gradasi tanah pada D50 yang memiliki ukuran butir 0,15 mm hingga 0,35 mm berpotensi mengalami likuifaksi.

6. Kondisi drainase dan dimensi deposit atau endapan

Jika tekanan air pori berlebih dapat dengan cepat akan terdisipasi, maka kemungkinan tidak akan terjadi likuifaksi. Oleh karena itu, drainase dengan kerikil permabel atau lapisan kerikil dapat mengurangi potensi terjadinya likuifaksi. Selain itu, endapan alami yang terbentuk di danau, sungai, atau lautan cenderung membentuk lapisan konsistensi tanah lepas dan terjadi segregasi sehingga lebih rentan terhadap likuifaksi. Tanah yang sangat rentan terhadap likuifaksi terbentuk di lingkungan pengendapan lacustrine, alluvial, dan marine.

F. GIS (Geographic information system)

ArcGIS adalah salah satu software yang dikembangkan oleh ESRI (Environment Science & Research Institute) yang merupakan kompilasi fungsi-fungsi dari berbagai macam software GIS yang berbeda seperti GIS desktop, server, dan GIS berbasis web. Software ini mulai dirilis oleh ESRI pada tahun 2000. Produk utama dari ArcGIS adalah ArcGIS desktop dan dikelompokkan dalam tiga komponen yaitu: ArcVIEW (komponen yang fokus ke penggunaan data yang komprehensif, pemetaan dan analisis), ArcEditor (lebih fokus ke arah editing data spasial) dan ArcInfo (menyajikan fungsi GIS untuk keperluan analisis geoprocesing). Software ArcGIS pertama kali diperkenalkan kepada public oleh ESRI pada tahun 1999, yaitu dengan kode versi 8.0 (ArcGIS 8.0) dan mengalami perkembangan hingga sekarang dengan versi ArcGIS 10. ArcGis desktop memiliki 5 tingkatan yaitu:

- ArcView, yang memungkinkan pengguna menampilkan data spasial, membuat peta berlapis, serta melakukan analisis spasial dasar.
- ArcMap adalah aplikasi utama untuk kebanyakan proses GIS dan pemetaan dengan computer. ArcMap memiliki kemampuan utama untuk visualisasi, membangun database spasial baru, editing, menciptakan desain-desain peta.
- ArcEditor, memiliki kemampuan sebagaimana ArcView dengan tambahan peralatan untuk memanipulasi berkas shapefile dan geodatabase.

- ArcInfo, memiliki kemampuan sebagaimana ArcEditor dengan tambahan fungsi manipulasi data, penyuntingan dan analisis.
- ArcCatalog, tool untuk menjelajah (browsing), mengatur (Organizing), membagi (documentation) data GIS. ArcCatalog membantu dalam proses eksplorasi dan pengolahan data spasial. Setelah data terhubung, kemudian dapat digunakan untuk melihat data yang akan digunakan dan dapat langsung ditambahkan pada peta.

Adapun kelebihan serta kekurangan dari GIS yaitu:

Kelebihan:

ArcGis itu sangat berguna dalam berbagai bidang kehidupan dan unggul daripada system informasi biasa. Misalnya:

- ✓ Dalam pelayanan kesehatan contohnya dapat mengembangkan bentuk peta ilustrasi sehingga dapat memudahkan user untuk membuat peta dalam suatu wilayah yang mengilustrasikan distribusi atau penyebaran terhadap suatu penyakit, kematian, dsb.
- ✓ Dalam bidang agriculture, yaitu mengetahui bagaimana cara untuk meningkatkan suatu produksi berdasarkan data yang ada.
- ✓ Dalam bidang marketing, yaitu kita dapat meningkatkan/mengoptimalkan pemasaran.
- ✓ Dalam bidang geografi, yaitu kita dapat mengetahui lokasi rawan yang terjadi bencana alam.

Kekurangan:

- ✓ ArcGis perlu spek hardware yang lebih tinggi
- ✓ ArcGIS secara default tidak support multi view dan multi layout
- ✓ Pada ArcGIS tidak mendukung banyak format file
- ✓ Ada beberapa perintah pada Arcgis yang menggunakan system credit (berbayar) jika ingin menjalankan suatu perintah tertentu.

(Sumber:<https://www.academia.edu/9070839/KelebihanDanKekuranganSoftwareArcgis>)