

## ANALISIS PERBANDINGAN POTENSI *CYCLIC MOBILITY* PADA TANAH LEMPUNG DI BEBERAPA TEMPAT DI INDONESIA

Chrisandy<sup>1</sup> dan Alfred Jonathan Susilo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*chrisandy.325190085@stu.untar.ac.id*

<sup>2</sup>Program Studi Doktor Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*alfred@ft.untar.ac.id*

Masuk: 07-07-2023, revisi: 01-08-2023, diterima untuk diterbitkan: 03-10-2023

### ABSTRACT

*Liquefaction is a phenomenon which carrying capacity in soil decreases due an ongoing earthquake. There are two types of liquefaction, namely flow liquefaction and cyclic mobility. There are 4 locations in Indonesia that are compared, which one has the potential. The first thing to do when analyzing liquefaction is check the susceptibility for soil characteristics. examination uses four methods, namely Seed et al, Chinese criteria, Bray and Sancio, and Tsuchida method. If the soil shows liquefaction susceptibility, the research is continued to state criteria, if there is no vulnerability, no need to continued state criteria. Determination of the liquefaction type can be seen from the state criteria method in the graph of the relationship between axial strain ( $\epsilon_a$ ) and deviatoric stress ( $q$ ). To check the potential of the liquefaction using this method cyclic stress ratio (CSR) and the cyclic resistance ratio (CRR). These variables are obtained from calculations on field tests. The output of the case occurs that the type of liquefaction that occurs is cyclic mobility and there is potential for liquefaction in clay soils. And then the results from the analysis proved that there are several areas potentially had cyclic mobility, while others no.*

*Keywords: Cyclic mobility; state criteria; CSR; CRR; clay soils*

### ABSTRAK

Likuifaksi adalah suatu fenomena dimana daya dukung tanah berkurang akibat gempa yang sedang berlangsung. Likuifaksi ada dua jenis yaitu likuifaksi cair dan mobilitas siklik. Lembaga yang berperan dalam hal ini di Indonesia perlu memahami lagi salah satu jenis likuifaksi yang terjadi yaitu mobilitas siklik. Ada 4 daerah yang akan menjadi perbandingan dalam penelitian ini. Hal pertama dilakukan saat menganalisis likuifaksi adalah pengecekan terhadap potensi rentan dari karakter tanah. Pengecekan potensi rentan memakai empat metode yaitu; metode Seed et al. Chinese criteria metode Bray dan Sancio, dan Tsuchida. Jika menunjukkan kerentanan likuifaksi, penelitian dilanjutkan kriteria komposisi, jika tidak ada kerentanan tidak usah dilanjutkan kriteria komposisi. Penentuan tipe likuifaksi dilihat dari metode state criteria pada grafik triaksial hubungan antara gaya aksial ( $\epsilon_a$ ) dan tekanan deviatorik ( $q$ ). Ada 2 metode yang digunakan yaitu rasio resisntensi siklik (CRR) dan rasio tegangan siklik (CSR). Variabel didapat dari perhitungan tes lapangan. Tes lapangan yang dipakai adalah data bor atau N-SPT. Penelitian ini menganalisa potensi likuifaksi pada tanah berdasarkan faktor keamanan yang nanti akan didapat, yang pada akhirnya membuktikan bahwa likuifaksi yang terjadi adalah mobilitas siklik dan berpotensi pada tanah lempung. Lalu hasil yang didapat membuktikan bahwa sebagian daerah berpotensi mobilitas siklik, dan sebagian tidak berpotensi.

Kata kunci: Mobilitas siklik; kriteria komposisi; CSR; CRR; tanah lempung

## 1. PENDAHULUAN

Likuifaksi adalah suatu fenomena dimana tanah kekurangan daya dukung nya. Kejadian ini mengakibatkan struktur pada bangunan mengalami kerusakan, karena tanah tidak dapat menahan bangunan yang berada di atasnya. Lalu likuifaksi sendiri terbagi menjadi 2, yaitu *flow liquefaction* dan *cyclic mobility*.

*Cyclic mobility* terjadi pada tanah yang bersifat pasir maupun lempung/kohesif. Saat terjadi likuifaksi, proses kejadiannya berbeda dengan *flow liquefaction* yang dimana tanah tersebut menjadi cair, tetapi *cyclic mobility* tidak menjadi cair. Maka dari itu perlu diselediki lebih dalam tentang potensi terjadi nya *cyclic mobility* ini, mengingat masih kurangnya pengetahuan *cyclic mobility* di Indonesia.

Beberapa lokasi kondisi tanah lempung di Indonesia, memiliki potensi terhadap *cyclic mobility*. Peneliti akan membandingkan 4 daerah di Indonesia yang rawan terhadap potensi *cyclic mobility* dengan menggunakan data N-SPT.

### Likuifaksi

Likuifaksi merupakan peristiwa dimana terjadinya pengurangan daya dukung pada tanah. Kekurangan daya dukung pada tanah menyebabkan bangunan yang dibangun diatas tanah, kehilangan daya dukungnya, sehingga resiko nya bangunan bisa rusak. (Fernando dan Prihatiningsih, 2019) Terdapat dua pembeda antara *flow liquefaction* dan *cyclic mobility* Pada Tabel 1 menunjukkan perbedaan antara *flow liquefaction* dan *cyclic mobility*.

Tabel 1. Perbandingan antara *flow liquefaction* dan *cyclic mobility* (Schneider & Mayne, 2000)

	<i>Flow Liquefaction</i>	<i>Cyclic Mobility</i>
Keadaan tegangan	Tegangan efektif mencapai nol.	Tegangan efektif tidak mencapai nol.
Reaksi Tanah pada gaya geser	Regangan mengalami pelunakan.	Regangan mengalami pelunakan dan pengerasan.
Karakteristik tanah	Tanah jenuh yang tidak stabil; butiran longgar, dan kehilangan endapan.	Hampir semua pasir jenuh, dengan keterbatasan deformasi dalam tanah lempung.
Potensi kegagalan	Tanah akan lunak seperti aliran cairan tergantung pada kemiringan suatu daerah.	Tanah akan mengalami deformasi selama gempa bumi berlangsung.

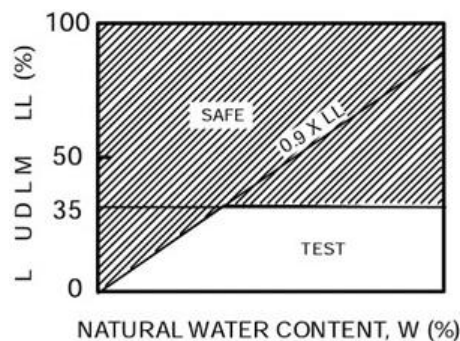
### *Cyclic mobility*

*Cyclic mobility* yaitu salah satu dari jenis likuifaksi yang terjadi Ketika tanah mengalami pembebanan siklik. Kegagalan yang terjadi adalah ketika gempa bumi berlangaug, deformasi yang ditimbulkan semakin besar. Likuifaksi yang terjadi mengakibatkan air pori pada tanah naik ke atas tanah dengan adanya luapan pasir (*sand boiling*) atau semburan lumpur (Siahaan, 2015). Tetapi tanah tersebut dibeberapa kemudian hari akan mengeras.

### Metode *Chinese criteria* (1979)

Metode yang pertama digunakan yaitu *Chinese criteria*. Syarat yang ditentukan jika likuifaksi terjadi adalah:

- *Liquid limit* dibawah 35%.
- Kadar air diatas 0,9 dari *liquid limit* (Gambar 1).



Gambar 1. Grafik LL vs Wc *Chinese criteria* (Wang, 1979)

### Metode Seed et al. (2003)

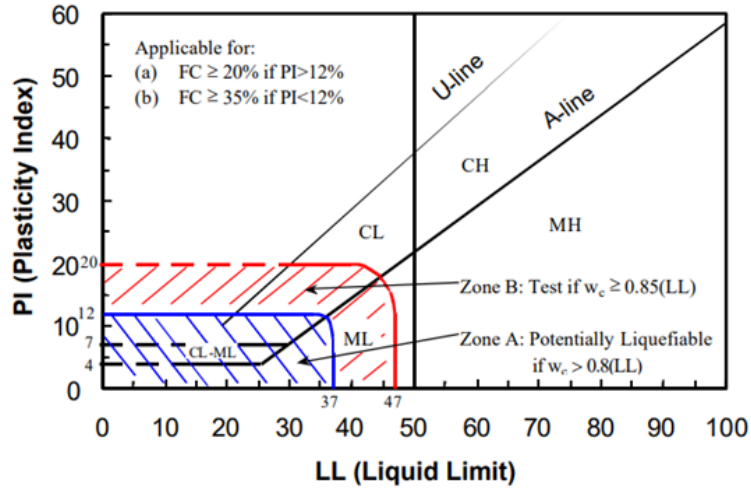
Untuk metode Seed et al. Batas yang melingkupi adalah batas likuiditas dan indeks plastisitas (Januar & Susilo, 2022) syarat jika likuifaksi terjadi jika adalah:

- Untuk zona A, *liquid limit* dibawah 37% dan *plasticity index* dibawah 12%.
- Untuk zona B, *liquid limit* diantara 37-47% dan *plasticity index* dibawah 20% (Gambar 2).

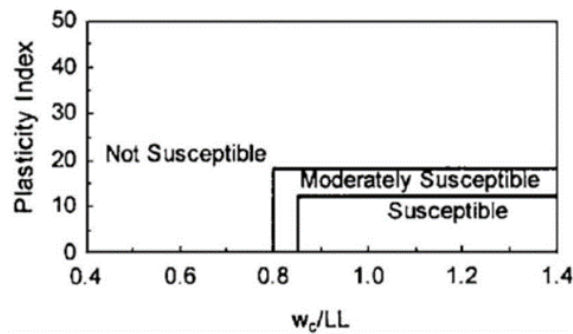
### Metode Bray and Sancio (2006)

Untuk syarat pada Metode Bray and Sancio, batas yang melingkupi adalah kadar air dibagi dengan batas likuiditas dan indeks plastisitas, syarat jika likuifaksi terjadi jika adalah:

- Untuk berpotensi sedang,  $w_c/LL$  berada di rentang 0,8 sampai 0,85 dengan indeks plastisitas berada di rentang 12% sampai dengan 18%.
- Untuk yang sangat berpotensi,  $w_c/LL$  berada di atas 0,85 dengan indeks plastisitas berada dibawah 12% (Gambar 3).



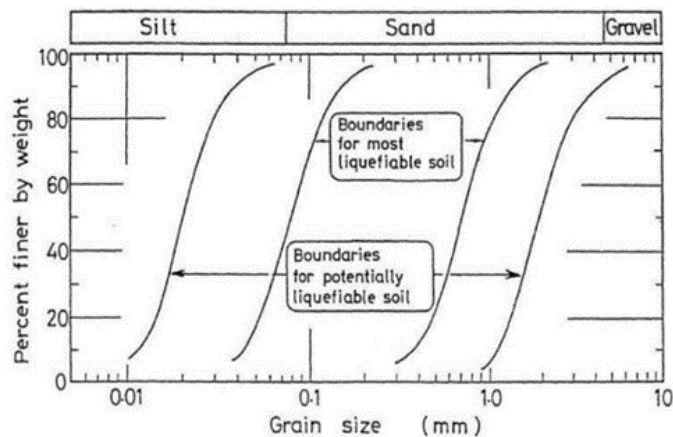
Gambar 2. Grafik LL vs PI (Seed et al.,2003)



Gambar 3. Grafik  $w_c/LL$  vs PI (Bray and Sancio, 2006)

### Metode Tsuchida (1970)

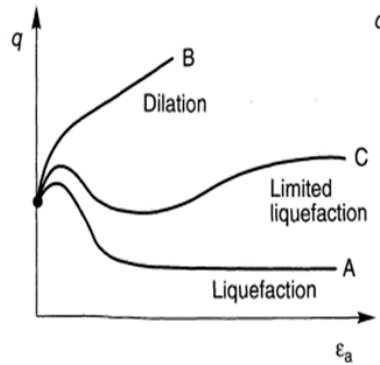
Untuk syarat pada metode Tsuchida, batas yang melingkupi adalah ukuran butiran tanah dengan persen kehalusan tanah, syarat jika likuifaksi terjadi ada di area dalam garis lengkung, untuk lengkung yang luar, likuifaksi masih berpotensi sedang, sedangkan di area lengkung dalam,, likuifaksi sangat berpotensi (Gambar 4).



Gambar 4. Grafik grain size vs % finer (Tsuchida, 1970)

### Metode state criteria

Metode yang dapat digunakan untuk mengetahui tipe likuifaksi yang terjadi adalah dengan menggunakan grafik state criteria yang diusulkan Kramer (1996). Grafik hubungan antara *deviatoric stress* ( $q$ ) dengan *axial strain* ( $\epsilon_a$ ), pada garis A liquefaction menunjukkan bahwa grafik tersebut adalah strain softening dimana kondisi tanah tersebut menjadi semakin lunak, pada garis B limited liquefaction menunjukkan bahwa grafik tersebut adalah limited strain softening dimana kondisi tanah tersebut berada diantara *strain softening* dan *strain hardening*, pada garis C dilation menunjukkan strain hardening dimana kondisi tanah tersebut akan semakin keras (Gambar 5).



Gambar 5. Grafik likuifaksi, likuifaksi terbatas, dan dilatasi. (Kramer 1996)

### Cyclic resistance ratio (CRR)

Setelah jenis likuifaksi ditentukan. Langkah selanjutnya adalah mencari *cyclic resistance ratio* (CRR). *Cyclic resistance ratio* (CRR) adalah kapasitas pergeseran siklik tanah terhadap ketahanan tanah dengan likuifaksi. Evaluasi ini diusulkan oleh Seed dan Idriss (1971). Untuk perhitungan CRR terdapat pada Persamaan 1.

$$CRR = \left( \frac{\tau_h}{\sigma_v'} \right) \sigma_v' \quad (1)$$

Dengan CRR adalah *cyclic resistance ratio*,  $\tau_h$  adalah tegangan geser siklik dan  $\sigma_v'$  tegangan beban vertikal efektif.

### Cyclic stress ratio (CSR)

*Cyclic stress ratio* (CSR) merupakan tekanan pada tanah dikarenakan gempa bumi. Perhitungan CSR terdapat pada Persamaan 2.

$$CSR = 0.65 \cdot \frac{\sigma_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma}{\sigma'} \cdot r_d \quad (2)$$

dengan CSR adalah *cyclic stress ratio*,  $\sigma_{max}$  adalah percepatan gempa maksimum,  $g$  adalah gravitasi,  $\sigma$  adalah tegangan total pada tanah,  $\sigma'$  adalah tegangan efektif pada tanah, dan  $r_d$  adalah faktor reduksi.

### Factor of safety (FS)

Setelah mendapatkan hasil dari *cyclic resistance ratio* (CRR) dan *cyclic stress ratio* (CSR). Dua hasil tersebut dibagi untuk mencari factor of safety (FS). Syarat nya adalah, nilai FS > 1, tanah tidak berpotensi likuifaksi, sedangkan FS  $\leq$  1, tanah berpotensi mengalami likuifaksi. Untuk menentukan FS terdapat pada Persamaan 3.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (3)$$

dengan FS adalah *factor of safety*, CRR adalah *cyclic resistance ratio* dan CSR *cyclic stress ratio*.

## 2. METODE PENELITIAN

### Pengumpulan data tanah

Langkah pertama yang dilakukan adalah pengumpulan data – data tanah berupa data bor tanah dari beberapa titik lokasi yang ditinjau. Lokasi yang ditinjau ada 4 lokasi, data tanah diambil dari salah satu titik yang paling rentan dari lokasi tersebut.

**Pengumpulan data laboratorium**

Langkah berikutnya adalah pengumpulan data laboratorium pada tanah yang ditinjau, data laboratorium yang dibutuhkan berupa *index properties*, *grain size analysis*, *atterberg limits*, dan *triaxial*. Data yang dibutuhkan terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data *summary lab*

Lokasi	Kedalaman (m)	LL (%)	PP (%)	Wc (%)	Wc/LL
Cikarang	3,00 – 3,50	72	45	49	0,68
Aceh	7,00 – 7,50	49	25	38	0,77
Jakarta Pusat	5,50 – 6,00	161	91	81	0,50
Cipayung	3,00 – 4,00	57	21	39	0,67

**Perhitungan potensi *cyclic mobility***

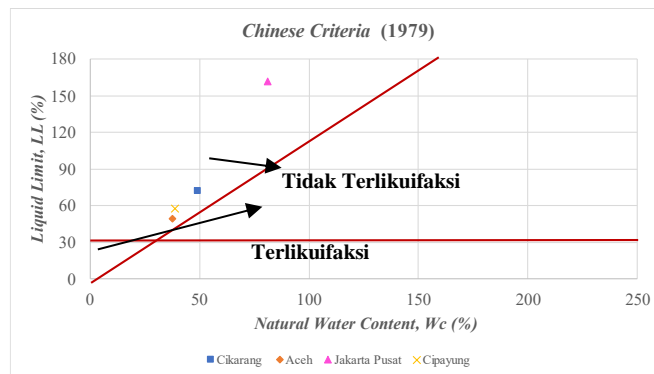
Metode berikutnya adalah perhitungan potensi *cyclic mobility*. Metode untuk mengetahui potensi *cyclic mobility* menggunakan 4 metode kerentanan likuifaksi, metode *state criteria* untuk mengetahui jenis likuifaksi, dan metode CRR dan CSR untuk mengetahui potensi *cyclic mobility*.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil metode *Chinese criteria***

Hasil metode menggunakan *Chinese criteria* membuktikan bahwa semua sampel tanah pada titik pengeboran tidak terjadi likuifaksi, dikarenakan syarat yang ditentukan tidak terpenuhi, syarat yang tidak terpenuhi dikarenakan:

- *Liquid limit* diatas 35%.
- Kadar air dibawah 0,9 dari *liquid limit* (terdapat pada Gambar 6)



Gambar 6. Hasil metode *Chinese criteria*

**Hasil metode Seed et al.**

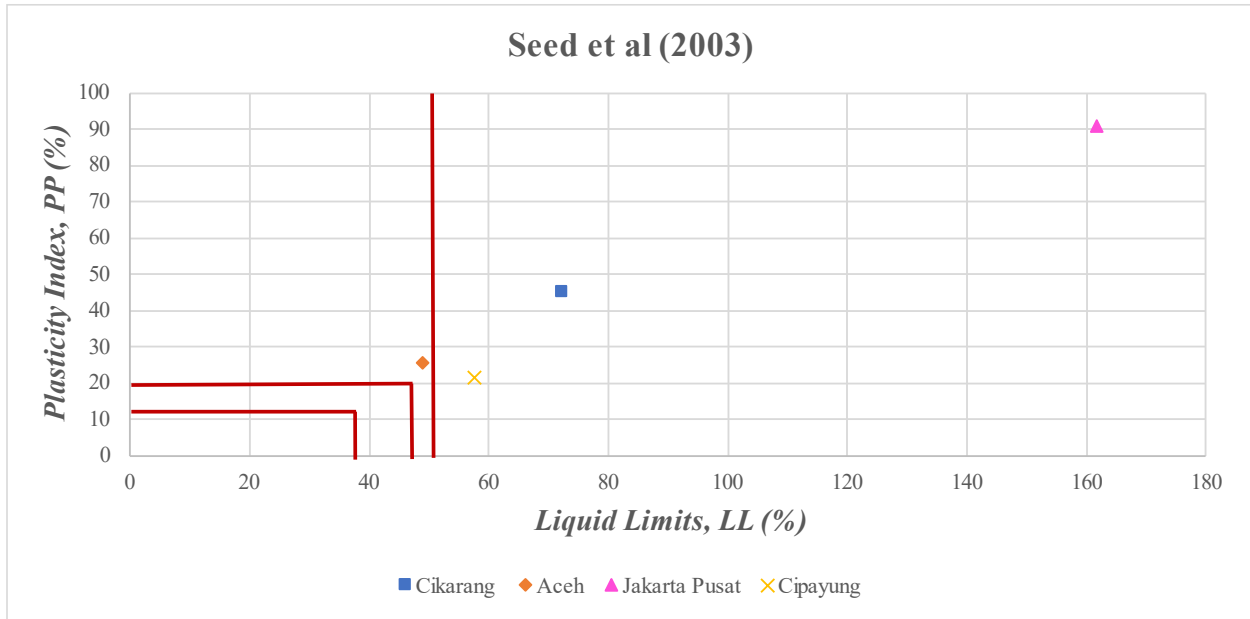
Hasil metode Seed et al. pada Gambar 4.3 membuktikan bahwa semua sampel tanah pada titik pengeboran tidak terjadi likuifaksi. Dikarenakan beberapa syarat yang ditentukan tidak terpenuhi dikarenakan:

- *Liquid limit* diatas 47%.
- *Plasticity index* diatas 20% (Gambar 7).

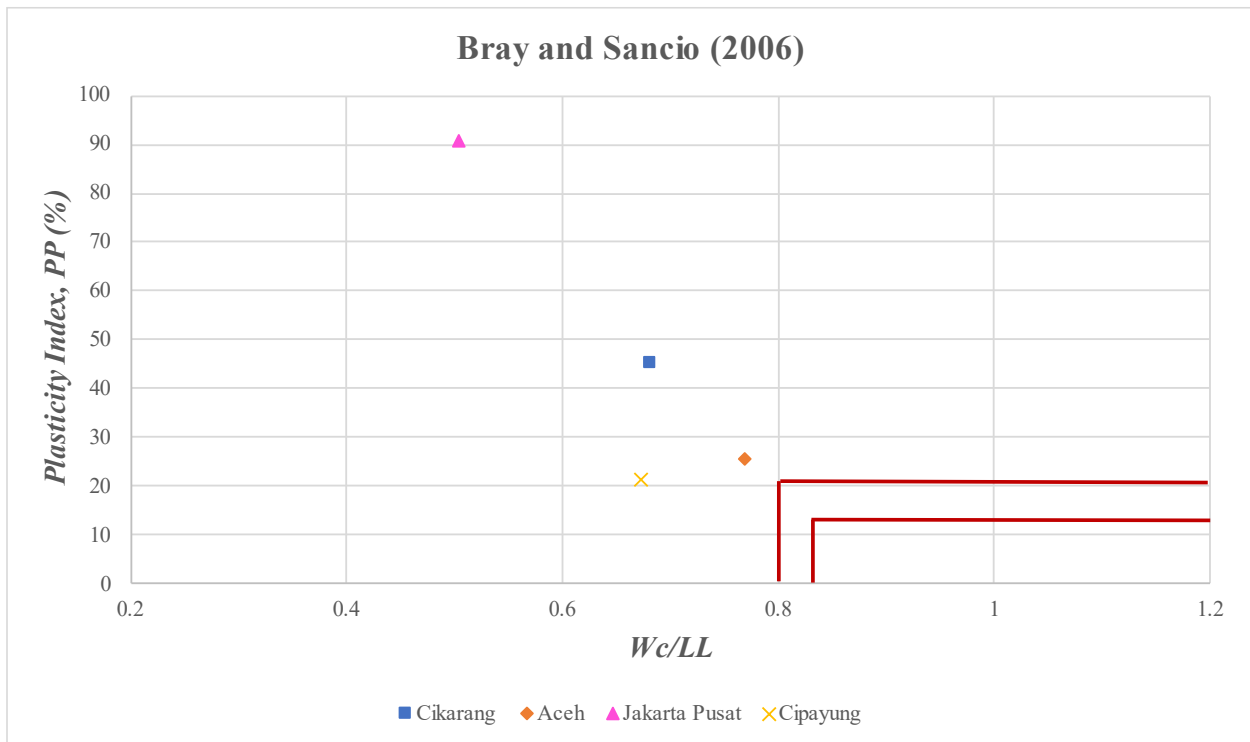
**Hasil metode Bray and Sancio**

Hasil metode Bray and Sancio. pada Gambar 4.5 membuktikan bahwa semua sampel tanah pada titik pengeboran tidak terjadi likuifaksi, syarat tidak terpenuhi dikarenakan:

- Untuk berpotensi sedang, Wc/LL berada dibawah 0,8.
- Indeks plastisitas berada diatas 20% (Gambar 8).



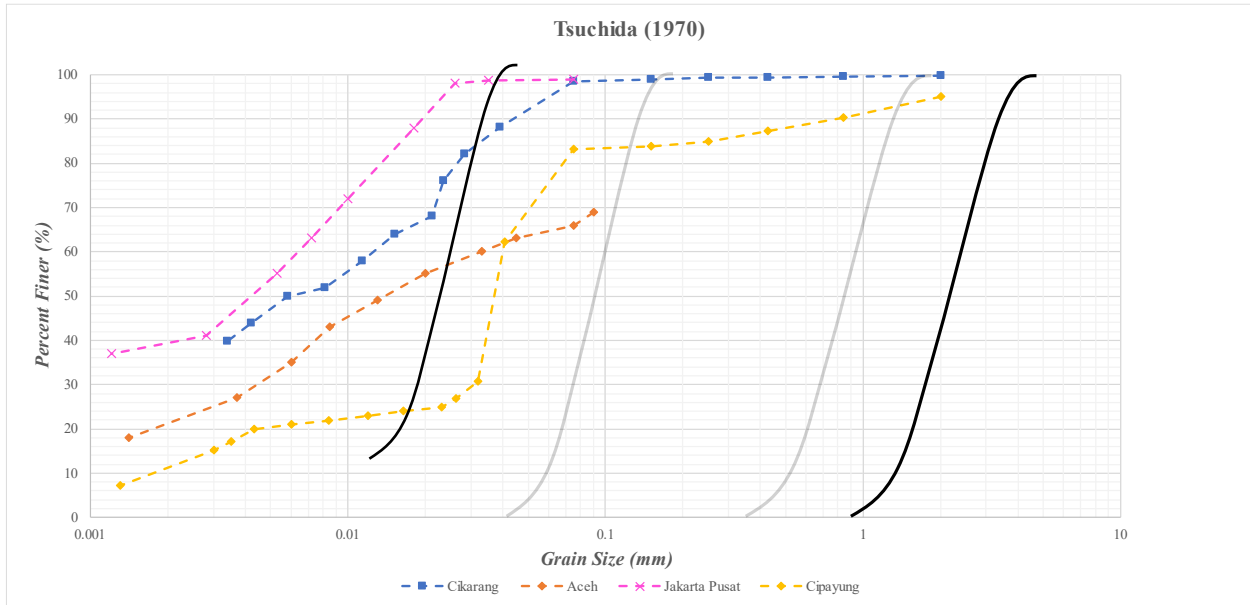
Gambar 7. Hasil metode Seed et al



Gambar 8. Hasil metode Bray and Sancio

**Metode Tsuchida (1970)**

Hasil metode Tsuchida membuktikan bahwa sampel Aceh dan Cipayung sedikit berpotensi mengalami likuifaksi sedangkan yang lainnya tidak, dikarenakan hampir semua butiran tidak memenuhi syarat yang ditentukan dengan terbukti nya beberapa garis berada di area yang tidak terjadi likuifaksi (Gambar 9).

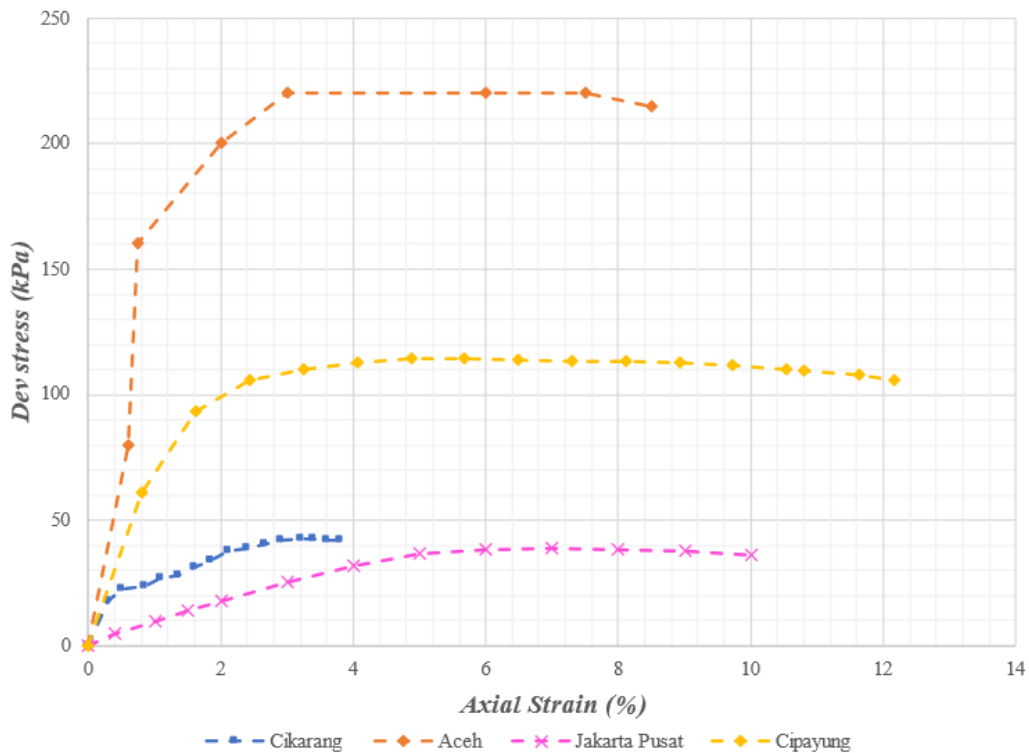


Gambar 9. Hasil metode Tsuchida

**Metode state criteria**

Data tanah untuk metode ini menggunakan grafik *axial strain vs deviatoric stress* dari hasil lab metode *triaxial CU*. Grafik yang terbentuk dari data ini menunjukkan adanya potensi *cyclic mobility* dengan bentuk *dilatation* atau pengerasan pada tanah. Untuk titik A sampai B, menunjukkan bahwa grafik tersebut terjadi *strain hardening* lalu untuk titik B sampai C, terjadi *failure* atau keretakan, Titik A adalah titik awal yang terjadi saat akan *strain hardening*, titik B adalah titik dimana tekanan deviatorik sudah mencapai ultimit, sedangkan titik C adalah titik ketika sudah terjadi *failure*. Penjelasan terdapat pada Gambar 10.

*Axial Strain vs Deviatoric Stress*



Gambar 10. Hasil grafik *axial strain vs deviatoric stress*

### Hasil metode CRR dan CSR

Metode CRR dan CSR ini bertujuan untuk menunjukkan adanya potensi likuifaksi yang terjadi berdasarkan data N-SPT tanah. Hasil pada metode ini menunjukkan hampir semua daerah yang diuji mengalami likuifaksi pada kedalaman tertentu kecuali Cipayung. Potensi likuifaksi ditunjukkan apabila *factor of safety* (CRR/CSR) yang didapat dibawah angka 1 (satu). Hasil pada potensi Cikarang terdapat pada Tabel 3, hasil pada potensi Aceh terdapat pada Tabel 4, hasil pada potensi Jakarta Pusat terdapat pada Tabel 5, dan hasil pada potensi Cipayung terdapat pada Tabel 6.

Tabel 3. Hasil potensi CRR/CSR Cikarang

Depth (m)	N	CRR	CSR	CRR/CSR	Potensi Likuifaksi
2	4	0,2934	0,6274	0,4676	<b>Berisiko</b>
4	6	0,5748	0,7422	0,7744	<b>Berisiko</b>
6	4	0,4689	0,9749	0,4810	<b>Berisiko</b>
8	7	0,9440	1,1938	0,7907	<b>Berisiko</b>
10	9	1,1715	1,3853	0,8457	<b>Berisiko</b>
12	10	1,3847	1,5322	0,9038	<b>Berisiko</b>
14	12	1,8738	1,6258	1,1525	Tidak Bersiko
16	11	1,7565	1,6767	1,0476	Tidak Bersiko
18	15	2,4719	1,7079	1,4474	Tidak Bersiko
20	18	2,8620	1,7396	1,6452	Tidak Bersiko
22	16	2,9503	1,7819	1,6557	Tidak Bersiko
24	35	6,0876	1,8360	3,3156	Tidak Bersiko
26	47	9,1050	1,8998	4,7927	Tidak Bersiko
28	50	9,9501	1,9707	5,0490	Tidak Bersiko
30	50	10,4050	2,0460	5,0855	Tidak Bersiko

Tabel 4. Hasil potensi CRR/CSR Aceh

Depth (m)	N	CRR	CSR	CRR/CSR	Potensi Likuifaksi
2	3	0,1920	2,0530	0,0935	<b>Berisiko</b>
4	2	0,1593	2,5196	0,0632	<b>Berisiko</b>
6	2	0,2251	3,5103	0,0641	<b>Berisiko</b>
8	10	1,0911	4,4462	0,2454	<b>Berisiko</b>
10	10	1,3380	5,2738	0,2537	<b>Berisiko</b>
12	18	2,8528	5,9235	0,4816	<b>Berisiko</b>
14	21	3,5414	6,3573	0,5571	<b>Berisiko</b>
16	22	4,1574	6,6143	0,6285	<b>Berisiko</b>
18	26	5,5814	6,7842	0,8227	<b>Berisiko</b>
20	30	7,3744	6,9493	1,0612	Tidak Bersiko
22	25	6,3906	7,1520	0,8935	<b>Berisiko</b>
24	6	1,8398	7,3983	0,2487	<b>Berisiko</b>
26	43	13,2527	7,6810	1,7254	Tidak Bersiko
28	10	3,3227	7,9912	0,4158	<b>Berisiko</b>
30	8	3,0456	8,3177	0,3662	<b>Berisiko</b>
32	9	3,5134	8,8572	0,3967	<b>Berisiko</b>
34	11	4,5875	9,3966	0,4882	<b>Berisiko</b>
35.5	12	5,0841	9,8012	0,5187	<b>Berisiko</b>

Tabel 5. Hasil potensi CRR/CSR Jakarta Pusat

Depth (m)	N	CRR	CSR	CRR/CSR	Potensi Likuifaksi
2	27	0,8532	0,4561	1,8705	Tidak Bersiko
4	12	0,8058	0,8998	0,8955	<b>Berisiko</b>
6	3	0,4266	1,3304	0,3206	<b>Berisiko</b>
8	3	0,1702	0,5202	0,3272	<b>Berisiko</b>
10	4	0,3394	0,6689	0,5074	<b>Berisiko</b>
12	5	0,4705	0,7913	0,5946	<b>Berisiko</b>
14	15	0,9586	0,8807	1,0885	Tidak Bersiko
16	24	2,1034	0,9412	2,2348	Tidak Bersiko



Tabel 5 (lanjutan). Hasil potensi CRR/CSR Jakarta Pusat

Depth (m)	N	CRR	CSR	CRR/CSR	Potensi Likuifaksi
18	50	4,5042	0,9855	4,5706	Tidak Berisiko
20	60	5,0646	1,0261	4,9357	Tidak Berisiko
22	60	5,6250	1,0702	5,2561	Tidak Berisiko
24	40	6,1854	1,1193	5,5261	Tidak Berisiko
26	22	3,3729	1,1729	2,8756	Tidak Berisiko
28	25	4,2620	1,2300	3,4650	Tidak Berisiko
30	51	7,8666	1,2891	6,1026	Tidak Berisiko

Tabel 6. Hasil potensi CRR/CSR Cipayung

Depth (m)	N	CRR	CSR	CRR/CSR	Potensi Likuifaksi
1.5	17	0,5775	0,4446	1,2989	Tidak Berisiko
3	19	0,6787	0,4602	1,4750	Tidak Berisiko
4.5	18	0,8853	0,6136	1,4429	Tidak Berisiko
6	37	2,2324	0,7581	2,9447	Tidak Berisiko
7.5	50	2,9934	0,8849	3,3827	Tidak Berisiko
9	16	1,4026	0,9829	1,4270	Tidak Berisiko
10.5	28	2,4786	1,0462	2,3691	Tidak Berisiko
12	16	1,8130	1,0816	1,6761	Tidak Berisiko
13.5	10	1,2614	1,1039	1,1426	Tidak Berisiko
15	41	5,5584	1,1262	4,9357	Tidak Berisiko
16.5	50	6,0714	1,1551	5,2561	Tidak Berisiko
18	50	6,5844	1,1915	5,5261	Tidak Berisiko
25	50	8,9784	1,5611	5,7513	Tidak Berisiko
27	50	9,6624	1,6267	5,9400	Tidak Berisiko
29	50	10,3464	1,6954	6,1026	Tidak Berisiko

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah didapatkan semua hasil dari potensi *cyclic mobility*, terdapat beberapa poin kesimpulan:

- Metode kerentanan *Chinese Criteria*, Seed et al., dan Bray and Sancio menunjukkan bahwa tidak ada kerentanan yang terjadi pada keempat daerah, tetapi untuk metode Tsuchida, masing-masing daerah mengalami kerentanan yang tidak terlalu parah.
- Berdasarkan grafik *axial strain vs deviatoric stress* yang terdapat pada hasil lab *triaxial* CU, bentuk grafik menunjukkan adanya *strain hardening* atau *dilatation*, maka dapat dibuktikan bahwa keempat daerah tersebut berpotensi mengalami *cyclic mobility*
- Berdasarkan metode CSR dan CRR, ketiga daerah berpotensi mengalami likuifaksi atau *cyclic mobility* kecuali daerah Cipayung. Dapat dilihat pada Tabel 3
- Berdasarkan nilai percepatan gempa maksimum, daerah yang semakin cepat percepatan gempa nya, akan semakin rentan mengalami gempa dan semakin rentan pula terkena *cyclic mobility*, dikarenakan nilai CSR yang semakin besar.
- Semakin dalam kedalaman pada tanah, dan semakin besar nilai N-SPT, pada tanah, semakin kecil pula potensi *cyclic mobility* yang terjadi.

Terdapat beberapa saran berdasarkan kesimpulan yang didapat:

- Sebaiknya pembangunan gedung atau pembangunan bangunan lainnya, dilakukan di daerah yang percepatan gempa nya tidak terlalu tinggi, dikarenakan nilai pada potensi CSR nya akan semakin besar.
- Hindari pembangunan yang berlokasi di tanah yang N-SPT nya relatif rendah, dikarenakan dapat mempengaruhi nilai CRR, nilai CRR akan semakin kecil apabila N-SPT nya juga semakin rendah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bray, J. D., & Sancio, R. B. (2006). Assessment of the liquefaction susceptibility offshore-grained soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(9), 1165–1177. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2006\)132:9\(1165\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:9(1165))

- Fernando, N., & Prihatiningsih, A. (2019). Analisis potensi cyclic mobility pada tanah kohesif. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3), 77-85. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i3.5811>
- Januar, K., & Susilo, A. J. (2022). Pengecekan penampang fondasi tiang terhadap fenomena likuifaksi akibat gempa. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 5(4), 735–750. <https://doi.org/10.24912/jmts.v5i4.20269>
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Prentice Hall. <http://faculty.washington.edu/kramer/GEEbook.pdf>
- Schneider, J. A., & Mayne, P. W. (2000). *Soil liquefaction response in mid-america evaluated by seismic piezocone tests*. Atlanta: Georgia Institute of Technology. <http://mae.cee.illinois.edu/publications/reports/Report00-03.pdf>
- Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1971). A simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*, 97(9), 1249-1273. <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001662>
- Seed, R. B., Cetin, K. O., Moss, R. E. S., Kammerer, A. M., Wu, J., Pestana, J. M., Riemer, M. F., Sancio, R. B., Bray, J. D., Kayen, R. E., & Faris, A. (2003). Recent advances in soil liquefaction engineering: A unified and consistent framework. Proceedings of the 26<sup>th</sup> Annual ASCE Los Angeles Geotechnical Spring Seminar: Long Beach, CA. [https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1007&context=cenv\\_fac](https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1007&context=cenv_fac)
- Siahaan, S. P. O. (2015). *Percobaan potensi likuifaksi pada tanah pasir seragam dengan permodelan alat di laboratorium* [Tugas Akhir, Universitas Andalas]. <http://scholar.unand.ac.id/754/1/Saut%20Siahaan.pdf>
- Tsuchida, H. (1970). *Prediction and countermeasure against the liquefaction in sand deposits*. Abstract of the Seminar in the Port and Harbour Research Institute.
- Wang, W. S. (1979). Some findings in soil liquefaction. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2(3), 55-63. [http://manu31.magtech.com.cn/Jwk\\_ytgxcb/EN/](http://manu31.magtech.com.cn/Jwk_ytgxcb/EN/)