

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DAN PENURUNAN PADA AREAL REKLAMASI YANG BERLOKASI DI JAKARTA UTARA

Ervito Linverando¹, Gregorius Sandjaja S², dan Ali Iskandar³

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
ervito.325180127@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta
gregoriuss@ft.untar.ac.id

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta
ali.iskandar1999@gmail.com

Masuk: 13-09-2022, revisi: 16-09-2022, diterima untuk diterbitkan: 23-09-2022

ABSTRACT

North Jakarta is an area of DKI Jakarta which borders the Java Sea, making it a coastal city. Due to this, the DKI Jakarta government made a reclamation project to tidy up the coastal area of North Jakarta so that it becomes more organized as a tourist spot for the public. However, there is a general problem in the area resulting from the reclamation project, namely land subsidence due to embankment. The embankment in the reclamation area has the potential to experience liquefaction because the embankment is saturated with a high groundwater level and the quality of the embankment material is not good. Therefore, soil improvement was carried out using the vibroflotation method based on SNI 8460:2017 to overcome liquefaction in the area under review. Based on the results of the analysis carried out, the soil improvement carried out succeeded in minimizing the potential for liquefaction that occurred in the area.

Keywords: North Jakarta; liquefaction; soil subsidence; vibroflotation; SNI 8460:2017

ABSTRAK

Jakarta Utara merupakan wilayah DKI Jakarta yang berbatasan dengan laut Jawa sehingga menjadikannya kota pantai. Dikarenakan hal tersebut, pemerintah DKI Jakarta membuat proyek reklamasi untuk merapikan wilayah pantai Jakarta Utara agar menjadi lebih tertata sebagai tempat wisata bagi publik. Tetapi terdapat permasalahan umum pada wilayah hasil proyek reklamasi tersebut yakni penurunan tanah akibat timbunan. Timbunan pada wilayah reklamasi tersebut berpotensi mengalami likuifaksi karena timbunan bersifat jenuh dengan muka air tanah yang tinggi dan kualitas material timbunan yang kurang baik. Oleh karena itu dilakukan perbaikan tanah dengan metode vibroflotation berdasarkan SNI 8460:2017 untuk mengatasi likuifaksi pada areal yang ditinjau. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, perbaikan tanah yang dilakukan berhasil meminimalkan potensi likuifaksi yang terjadi pada areal tersebut.

Kata kunci: Jakarta Utara; likuifaksi, penurunan tanah; *vibroflotation*; SNI 8460:2017

1. PENDAHULUAN

Kota Administrasi Jakarta Utara adalah sebuah kota yang terletak di utara Daerah Khusus Ibukota Jakarta dengan luas daratan 146,66 km². Secara geografi bagian utara kota ini berbatasan dengan Laut Jawa, bagian timur berbatasan dengan Kabupaten Bekasi, bagian barat berbatasan dengan Provinsi Banten, bagian selatan berbatasan dengan Kota Administrasi Jakarta Barat, Kota Administrasi Jakarta Pusat, dan Kota Administrasi Jakarta Timur.

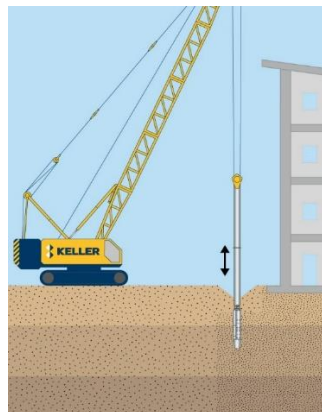
Pemerintah Provinsi Jakarta mengadakan proyek reklamasi Pantai Utara untuk menata Pantai yang terletak di Utara Jakarta dan menjadikan Jakarta sebagai Kota Pantai (*waterfront city*). Proyek reklamasi yang dilakukan dibagi menjadi beberapa tahap pengerjaan yang dibagi menurut zona wilayah. Zona terbagi menjadi 3 zona wilayah yaitu zona barat (*west zone*), zona tengah (*central zone*). Yang di dalamnya termasuk Proyek Reklamasi Teluk Jakarta. Untuk peta pembagian zona disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta sub-kawasan reklamasi (Presentasi Pemerintah DKI Jakarta, 2016)

Namun berdasarkan hasil penyelidikan tanah pada areal tersebut setelah dilakukan reklamasi ditemukan bahwa areal tersebut berpotensi mengalami likuifaksi dikarenakan kondisi tanah yang jenuh, muka air tanah tinggi, dan tanah yang lolos saringan no.200 kurang dari 50% yang menunjukkan tanah berbutir kasar. Selain berpotensi likuifaksi, karena kondisi tanah tersebut, muncul masalah seperti terjadinya penurunan tanah akibat reklamasi, muncul rembesan air dari dalam tanah, adanya pergerakan tanah dan lain sebagainya.

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah tersebut, Berdasarkan data tersebut dilakukan perbaikan tanah untuk memadatkan tanah pada areal reklamasi tersebut. Metode perbaikan tanah yang digunakan menurut SNI 8460:2017 yaitu metode *vibroflotation*. Contoh gambar perbaikan tanah dengan metode *vibroflotation* disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi cara kerja Vibroflotation (Keller, 2022)

Berdasarkan hal-hal di atas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Berapakah penurunan yang akan terjadi pada bangunan apartment yang terletak di daerah reklamasi Jakarta Utara?
2. Apakah pemadatan tanah metode vibroflotation dapat memperbaiki tanah agar meminimalkan likuifaksi akibat reklamasi dalam studi kasus ini?

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis penurunan bangunan yang terjadi menggunakan bantuan program elemen hingga 3D dan menganalisis potensi likuifaksi sebelum dan sesudah perbaikan tanah secara perhitungan menggunakan metode *Tokimatsu-yoshimi*, *Seed et al*, *Youd-Idriss*, dan *Idriss-Boulanger*.

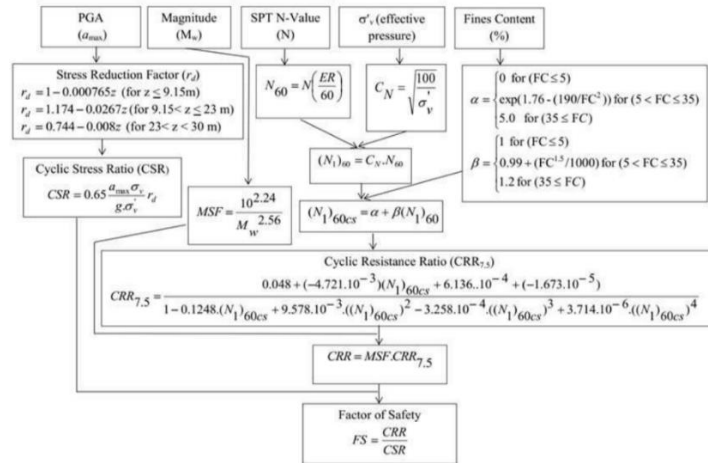
Analisis Potensi Likuifaksi

Likuifaksi merupakan fenomena dimana tanah berbutir atau non-koheusif kehilangan kekuatannya akibat getaran yang disebabkan oleh gempa bumi. Kehilangan kekuatan tersebut disebabkan oleh meningkatnya tegangan air yang

menyebabkan tegangan efektif tanah berkurang dan hal ini yang menyebabkan tanah berubah wujud dari padat menjadi cair seperti aliran air. Faktor yang mempengaruhi likuifaksi adalah jenis tanah, kepadatan relatif tanah, tekanan pembatas awal, intensitas dan guncangan gempa, nilai OCR, dan kondisi muka air tanah. Analisis akan dilakukan menggunakan data SPT menggunakan metode sebagai berikut.

1. Metode Seed

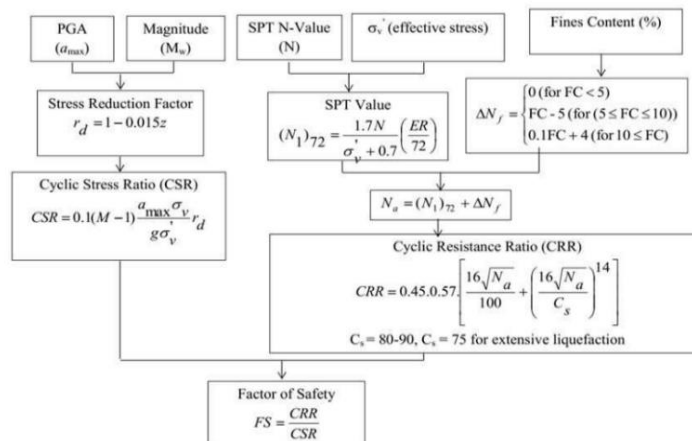
Metode ini menggunakan besaran CSR dan CRR yang ditentukan berdasarkan parameter kekuatan gempa (M_w), a_{max} , FC dan tegangan efektif tanah (σ'_v). Diagram alir perhitungan disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir metode Seed (Seed et al., 1985)

2. Metode Tokimatsu-Yoshimi

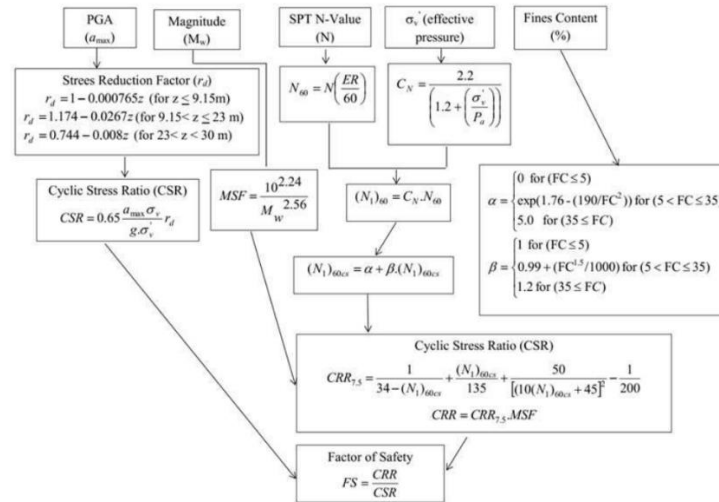
Metode ini mirip dengan metode *Seed*, namun mempertimbangkan level kerentanan likuifaksi yang dinyatakan menggunakan koefisien C_v dengan rentang 80-90. Diagram alir perhitungan disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir metode Tokimatsu-Yoshimi (Tokimatsu-Yoshimi, 1983)

3. Metode *Youd-Idriss*

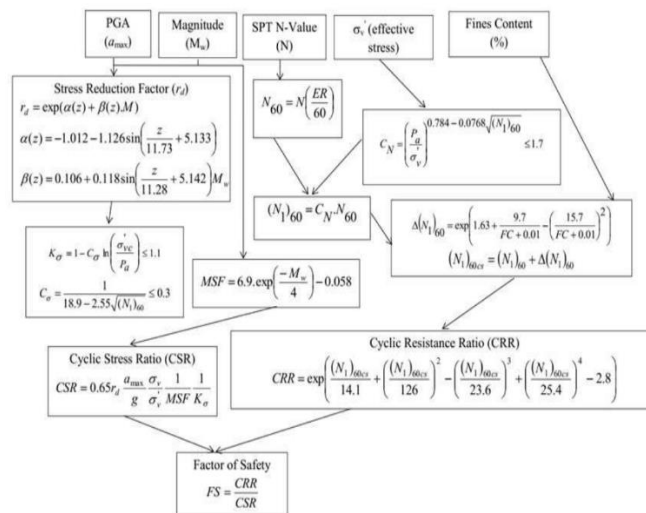
Metode ini menggunakan nilai r_d (faktor reduksi kedalaman) berdasarkan rentang kedalaman. Nilai CRR ditentukan berdasarkan nilai SPT yang di koreksi berdasarkan nilai FC. Diagram alir perhitungan disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir metode Youd-Idriss (Youd & Idriss, 2001)

4. Metode *Idriss-Boulanger*

Metode ini merupakan metode semi empiris likuifaksi akibat gempa. Metode ini menggunakan koreksi tekanan overburden (K_σ). Diagram alir perhitungan disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir metode Idriss-Boulanger (Idriss & Boulanger, 2008)

2. METODE PENELITIAN

Metode pengumpulan data

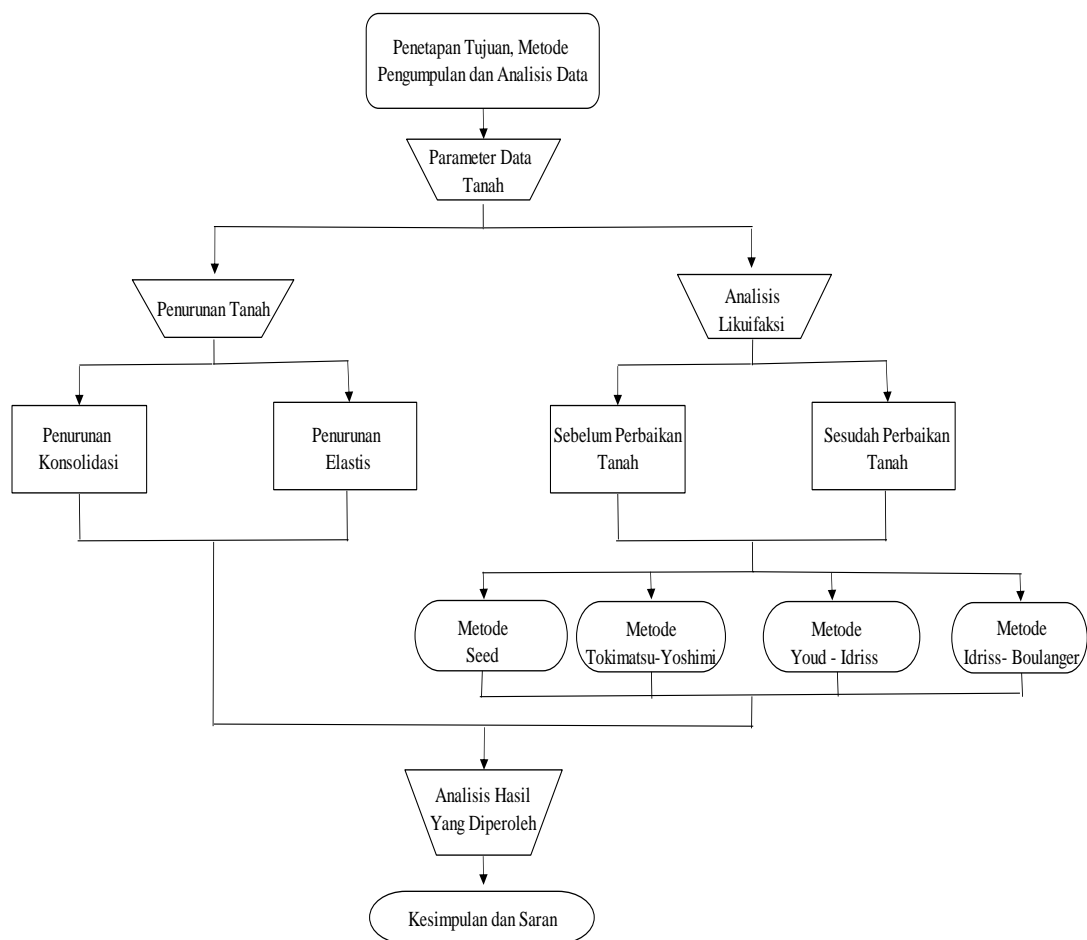
Untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan, dilakukan pengumpulan data yang berasal dari data penyelidikan tanah. Data penyelidikan tanah berupa data tanah sondir, data laboratorium, data *borelog* dan denah koordinat titik *borelog*. Data ini akan diolah agar di dapatkan parameter tanah yang dibutuhkan untuk perhitungan dan pemodelan pada program elemen hingga 3D.

Metode analisis data

Untuk analisis data dibantu oleh program *Microsoft Excel*, *NovoLiq* dan program elemen hingga. *Microsoft Excel* digunakan untuk mengolah hasil data penurunan yang di dapat dari program elemen hingga dan menghitung potensi likuifaksi secara manual. *NovoLiq* untuk menghitung poteksi likuifaksi dan membandingkan hasil perhitungan dengan perhitungan manual. Program elemen hingga digunakan untuk pemodelan dan perhitungan kompleks dari bentuk model yang diamati untuk mendapatkan hasil penurunan bangunan.

Diagram alir

Adapun diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alir penelitian

3. HASIL PARAMETER DESAIN

Hasil parameter untuk pemodelan

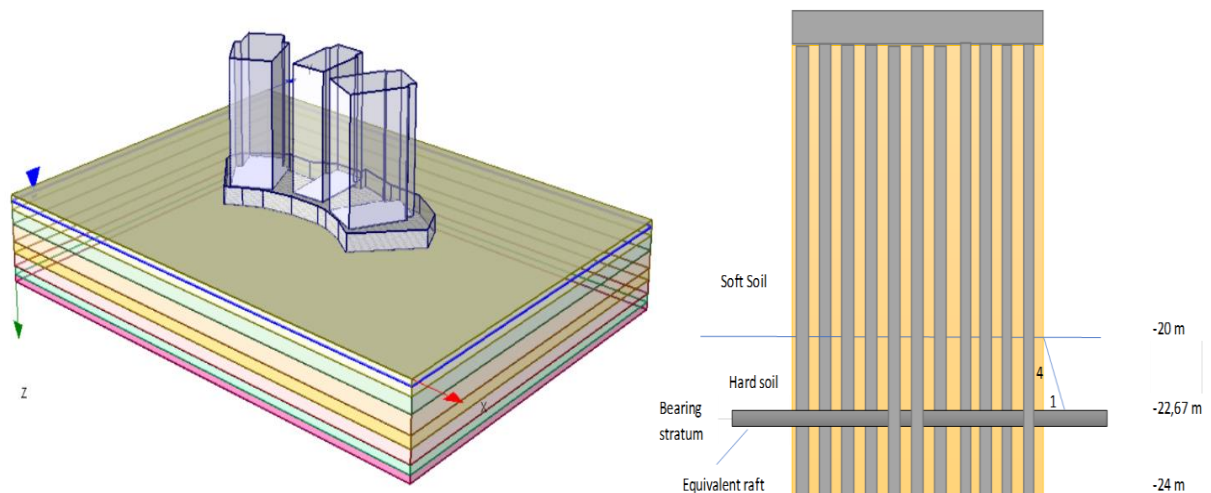
Adapun parameter-parameter hasil korelasi data-data penyelidikan tanah yang akan digunakan pada program elemen hingga untuk memodelkan tanah di sajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter tanah pemodelan

Elevation (m)	γ_{wet} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	e_0	Cc	Cs	OCR	ν	Es (MPa)
0	10	17.1	19.7	0.5	-	-	0.3	27.6
10	20	17.1	18.5	0.6	0.3	1.7	0.4	4.1
20	32	18.5	17.7	0.6	0.3	9.1	0.5	87.4
32	40	19	19	1.2	0.3	6.9	0.5	89.2
40	49	20	20	0.8	0.4	8.1	0.5	96.6
49	55	20	20	1.8	0.4	4.6	0.4	91.3
55	60	19	21.5	1.2	-	-	0.4	55.2

Hasil desain dan pemodelan

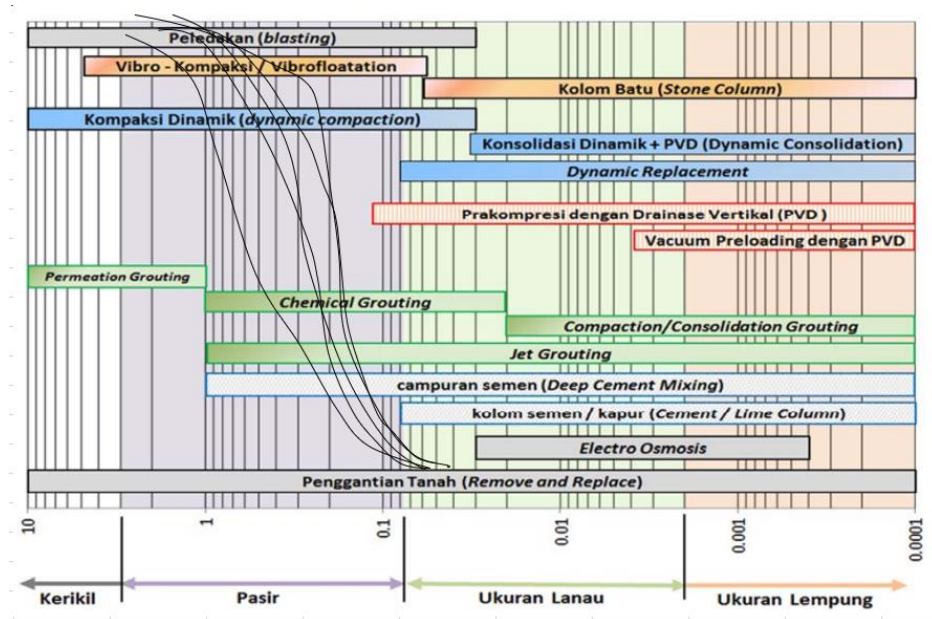
Desain bangunan menggunakan titik koordinat yang di dapat dari *plotting* pada program peta satelit dengan kedalaman pondasi 24 meter. Kemudian titik koordinat di *plotting* ke program elemen hingga dan di lanjutkan dengan memasukkan parameter data tanah dengan asumsi pembebanan 1 ton/m² pada bangunan. Bangunan yang di modelkan menggunakan *raft equivalent* dikarenakan terdapat lapisan tanah permukaan yang merupakan jenis *soft soils*. Pemodelan disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pemodelan bangunan pada program elemen hingga

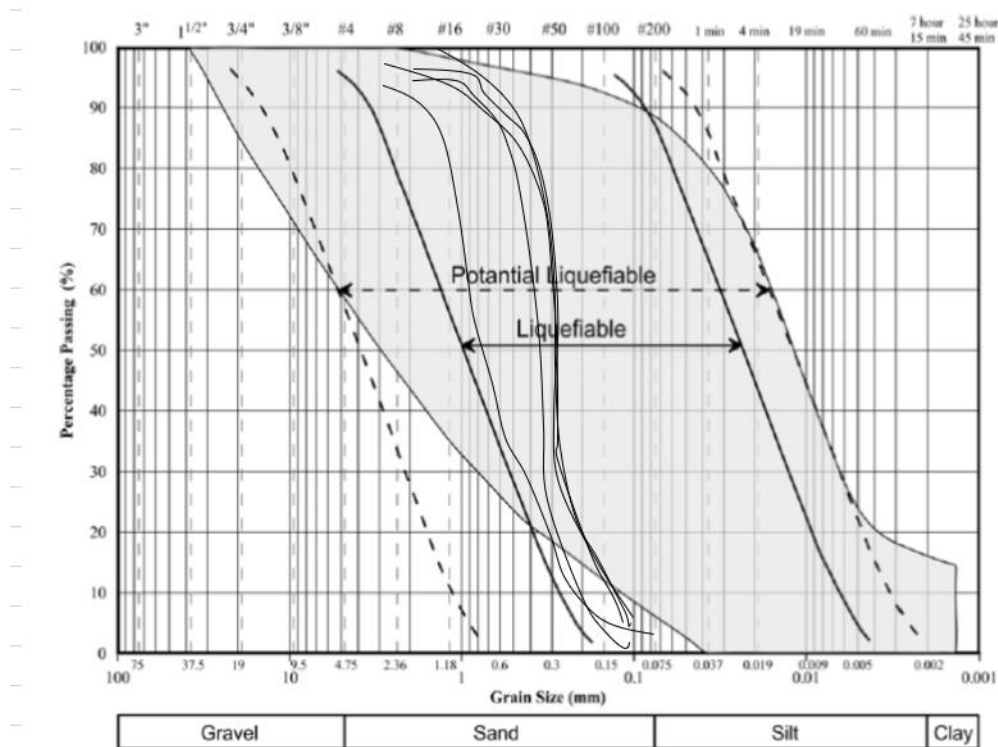
Hasil *Plotting Grain Size Analysis*

Dilakukan *plotting* menggunakan grafik *Grain Size Analysis* penyelidikan tanah terhadap grafik metode perbaikan tanah SNI 8460;2017 untuk menentukan metode perbaikan tanah yang di gunakan. Grafik hasil *plotting* disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik metode perbaikan tanah (SNI 8460: 2017)

Kemudian untuk hasil *grain size analysis* penyelidikan tanah juga di *plotting* ke grafik jenis tanah yang berpotensi likuifaksi yang di sajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik jenis tanah yang terlikuifaksi (Iwasaki, 1986)

Hasil parameter untuk potensi likuifaksi

Parameter untuk potensi likuifaksi di dapatkan dari data borlog pada data primer sebelum perbaikan tanah dan sesudah perbaikan tanah. Parameter sebelum perbaikan tanah di sajikan pada Tabel 2. Parameter sesudah perbaikan tanah akan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Parameter sebelum perbaikan tanah

		Elevasi (m)		jenis tanah	γ (kN/m ³)	NSPT	FC (%)
Sebelum perbaikan tanah	NSPT 1	0	5	silty sand	14.8	7	22
		5	10.5	sand	13.7	13	6
		10.5	12	silty clay	8.0	6	98
	NSPT 2	0	6	sand	14.9	4	8
		6	10.5	silty clay	15.8	13	9
		10.5	16.5	silty clay	14.4	3	89.5
		16.5	25.5	clayey silt	10.5	13	79
		25.5	30.5	sandy silt	11.0	43	53.5
		30.5	40.5	clayey silt	11.7	26	71
		40.5	45.5	silty clay	11.3	40	94
		45.5	57	clayey silt	11.0	38	94
		57	62	clayey silt	11.0	42	94
	NSPT 3	0	6	sandy silt	14.6	8	9
		6	10.5	sand	13.6	7	5
		10.5	12	silty clay	10.5	1	47.5

Tabel 3. Parameter sesudah perbaikan tanah

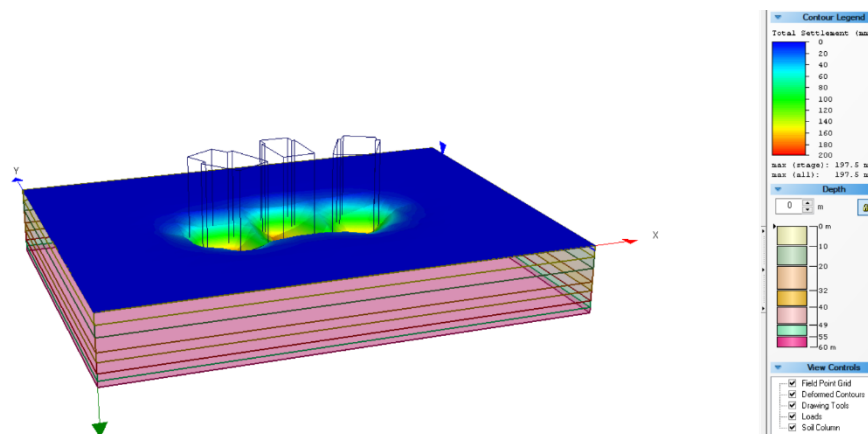
		Elevasi (m)		jenis tanah	γ (kN/m ³)	NSPT	FC (%)
Sesudah perbaikan tanah	NSPT 1	0	10.5	sand with silt	14.5	18	25.9
		10.5	12	silty clay	14.8	1	99.3
	NSPT 2	0	10	silty sand	14.6	17	28.7
		10	20	silty clay	14.9	7	92.6
		20	32	clayey silt	15.1	24	98.4
		32	40	silty clay	18	33	99.2
		40	49	silty clay	18.1	35	95.9
		49	55	clayey silt	15.6	37	98.8
		55	60	silty sand	15.6	49	99
	NSPT 3	0	10	sand with silt	14.5	18	18.9
		10	12	clayey silt	14.9	1	98.7

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Penurunan Bangunan

Berdasarkan hasil perhitungan dengan program elemen hingga menggunakan parameter-parameter hasil korelasi data penyelidikan tanah, di dapatkan penurunan total seperti yang di sajikan pada Gambar 11. Data deformasi tersebut kemudian akan di koreksi menurut M.J. Tomlinson dan R.Boorman (2001) untuk mendapatkan deformasi terkoreksi.

Setelah itu penurunan yang terjadi akan di cek menggunakan penurunan izin sesuai SNI 8460;2017 menggunakan lebar bangunan selebar 38 meter yang di dapat dari koordinat peta satelit.



Gambar 11. Hasil penurunan program elemen hingga

Tabel 4. Hasil analisis penurunan

	cm	Koreksi	Penurunan terkoreksi
Penurunan konsolidasi	11.8	0.7	8.3 cm
Penurunan elastis	7.9	0.8	6.3 cm
Penurunan ijin	15 cm+ b/600		21.3 cm
TOTAL			14.6 cm
Cek penurunan terhadap penurunan ijin			OK

Hasil Analisis Potensi Likuifaksi

Analisis potensi likuifaksi menggunakan nilai α_{max} yang berasal dari rsaciptakarya yaitu senilai 0,3745 g dengan menggunakan asumsi magnitude gempa sebesar 7,5 Mw. Potensi likuifaksi yang telah di hitung secara manual untuk sebelum dan sesudah perbaikan tanah akan disajikan dalam tabel 5 dan Tabel 6. Lapisan tanah yang memiliki nilai $SF < 1$ berpotensi terlikuifaksi, $SF = 1$ kritis dan $SF > 1$ tidak berpotensi likuifaksi.

Tabel 5. Nilai FS Hasil analisis potensi likuifaksi sebelum perbaikan tanah

Sebelum Perbaikan Tanah					
	Kedalaman	Tokimatsu-Yoshimi	Seed	Youd-Idriss	Idriss-Boulanger
NSPT 1	5	0.4	0.3	0.3	0.4
	10	0.5	0.5	0.5	0.5
	12	0.8	0.6	0.6	0.5
NSPT 2	10	0.2	0.2	0.2	0.2
	20	0.6	0.5	0.5	0.5
	30	0.6	0.4	0.4	0.4
	40	1.0	1.0	1.0	0.7
	50	7.0	20.7	20.7	39.3
	60	2.3	1.5	1.7	1.2
NSPT 3	5	0.3	0.3	0.3	0.3
	10	0.4	0.3	0.3	0.4
	12	0.7	0.3	0.4	0.4

Tabel 6. Nilai FS hasil analisis potensi likuifaksi sesudah perbaikan tanah

Sesudah Perbaikan Tanah					
	Kedalaman	Tokimatsu-Yoshimi	Seed	Youd-Idriss	Idriss-Boulanger
NSPT 1	5	1.5	3.9	4.7	1.2
	10	1.5	3.9	4.7	1.2
	12	0.7	0.7	0.4	0.4
NSPT 2	10	1.3	4.8	2.1	1.1
	20	0.7	0.6	0.6	0.4
	30	1.6	1.4	1.4	1.0
	40	2.8	1.7	1.6	1.8
	50	3.9	1.7	1.4	1.6
	60	6.0	1.7	1.4	1.5
NSPT 3	5	1.4	9.9	1.1	1.1
	10	1.4	9.9	1.1	1.1
	12	0.7	0.3	0.4	0.4

Berdasarkan nilai FS hasil analisis potensi likuifaksi maka di dapatkan kesimpulan per lapisan dengan keterangan Tidak terlikuifaksi (TL) dan Terlikuifaksi (L) yang di sajikan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

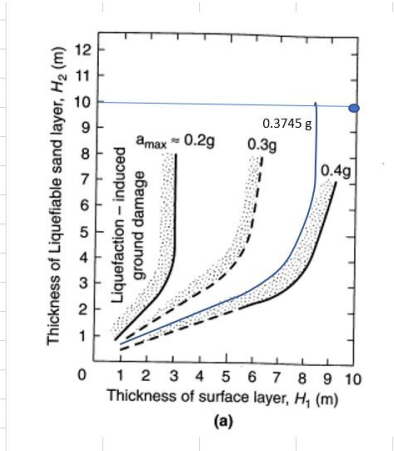
Tabel 7. Hasil analisis potensi likuifaksi sebelum perbaikan tanah

Sebelum Perbaikan Tanah					
	Kedalaman	Tokimatsu-Yoshimi	Seed	Youd-Idriss	Idriss-Boulanger
NSPT 1	5	L	L	L	L
	10	L	L	L	L
	12	L	L	L	L
NSPT 2	10	L	L	L	L
	20	L	L	L	L
	30	TL	TL	TL	TL
	40	TL	TL	TL	TL
	50	TL	TL	TL	TL
	60	TL	TL	TL	TL
NSPT 3	5	L	L	L	L
	10	L	L	L	L
	12	L	L	L	L

Tabel 8. Hasil analisis likuifaksi sesudah perbaikan tanah

Sesudah Perbaikan Tanah					
	Kedalaman	Tokimatsu-Yoshimi	Seed	Youd-Idriss	Idriss-Boulanger
NSPT 1	5	TL	TL	TL	TL
	10	TL	TL	TL	TL
	12	L	L	L	L
NSPT 2	10	TL	TL	TL	TL
	20	L	L	L	L
	30	TL	TL	TL	TL
	40	TL	TL	TL	TL
	50	TL	TL	TL	TL
	60	TL	TL	TL	TL
NSPT 3	5	TL	TL	TL	TL
	10	TL	TL	TL	TL
	12	L	L	L	L

Pada lapisan tanah kedalaman 11 hingga 20 meter sesudah perbaikan tanah masih berpotensi mengalami likuifaksi. Dilakukan *plotting* pada grafik Ishihara (1985) untuk menentukan pengaruh terhadap lapisan tanah di atasnya. *Plotting* pada grafik Ishihara di lampirkan pada Gambar 12. Dan didapatkan hasil akhir yaitu lapisan tanah yg berada di kedalaman 0 hingga 10 meter tidak ikut terlikuifaksi dengan lapisan tanah dibawahnya.



Gambar 12. Grafik *plotting* Ishihara (Steven L.Kramer, 1996)

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat di ambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil *plotting grain size anaylisis* pada grafik SNI 8460;2017 menunjukkan bahwa metode perbaikan tanah *vibroflotation* sudah sesuai dengan kondisi tanah pada areal tersebut.
2. Penurunan bangunan yang terjadi pada areal reklamasi tersebut menggunakan parameter tanah sesudah perbaikan tanah dengan metode *vibroflotation* menunjukkan penurunan total terkoreksi bangunan yang terjadi senilai 14,6 cm yang lebih rendah dari syarat SNI 8460;2017 yaitu penurunan total yang terjadi kurang dari 21,3 cm
3. Analisis potensi likuifaksi menggunakan *magnitude* gempa 7,5 menunjukkan perbaikan tanah yang di lakukan berhasil meminimalkan potensi likuifaksi yang terjadi para areal reklamasi tersebut sebesar 50% yang ditunjukkan melalui hasil analisis potensi likuifaksi sebelum perbaikan tanah menunjukkan lapisan 0 hingga 20 meter mengalami likuifaksi sedangkan hasil analisis potensi likuifaksi sesudah perbaikan tanah, lapisan 11 hingga 20 meter mengalami likuifaksi tanpa mempengaruhi lapisan di atasnya.

Saran

1. Melakukan analisis pemodelan dengan program elemen hingga dengan lapisan tanah yang tidak rata menggunakan masing-masing titik *borlog*.
2. Pembebanan Gedung untuk analisis penurunan bangunan menggunakan beban sebenarnya dari bangunan.
3. Pemodelan gempa dapat di coba dengan menggunakan *history magnitude* gempa yang pernah terjadi di areal reklamasi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Idriss, I. M. & Boulanger, R. W. (2008). *Soil Liquefaction during Earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute.
- Iwasaki, T. (1986). Soil Liquefaction Studies In Japan: State-of-the-art. *Journal Of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*., Vol.5, No.1, 3-4
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice-Hall.
- Peta sub-kawasan Reklamasi (2016). Diakses pada 5 Februari 2022, dari <https://www.bareksa.com/berita/berita-ekonomi-terkini/2016-03-15/proyek-reklamasi-berpotensi-datangkan-bantuan-rp40-triliun-untuk-jakarta>
- Seed H.B., Tokimatsu K., Harder L.F., Chung R.M. (1985). Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance Evaluations, *Journal of Geotechnical Engineering* , ASCE, Vol.111, No. 12, 1425-1445.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik* (SNI 8460:2017). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList>
- Tokimatsu, K. d. (1983). Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT Values and Fines Content, *Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, vol.23, NO.4, 56-74.
- Tomlinson, M. J., & Boorman, R. (2001). *Foundation Design and Construction (7th ed)*. Prentice Hall.
- Vibro compaction. (2022). Ilustrasi Cara Kerja *Vibroflotation* . Diakses pada 5 Februari 2022, dari *Vibro compaction*: <https://www.keller.co.uk/expertise/techniques/vibro-compaction>
- Youd T.L., & Idriss I.M. (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering DIV, ASCE*, Vol.127, No.4, 297-313.

