

Analysis of Strengthening of Soil Subsidence on Land in Tanjung Priok

Aco Wahyudi Efendi¹

¹ Universitas Tridharma, Balikpapan, Indonesia

Email: aw.efendi2018@gmail.com

Abstrak:

Land subsidence is land subsidence in a vertical direction with respect to a specific elevation reference surface, such as B. Mean Sea Level (MSL) or a reference ellipsoid area. Subsidence is a natural phenomenon that often occurs in built-up areas, such as large cities that sit on top of a layer of sediment. This analysis assesses the stability and integrity of the building and obtains parameters in unstable areas, and it is hoped that data will be available that can represent the soil conditions and their relevance to development. Also, information about the effects of changes in the field due to development, such as e.g. B. Ground stability, and awareness of the possibility of excessive ground subsidence which may adversely affect the structure of the building above. The results of the decrease from tests on geoelectric trajectories with loading according to the construction conditions gave a decrease value of 6.78-7.8 cm, with the largest stress analysis on the ground 1000-1200 kN/m² in the deepest soil layer at an altitude of 1000- 1200kN/m² is -20-25m. Chemical (epoxy resin) reinforcement method can inhibit the subsidence rate by 0.20 meters against the subsidence analysis results of 0.24 meters. The reinforcement method using compaction grouting can inhibit the subsidence rate by 0.21 meters versus the subsidence analysis results of 0.24 meters.

Kata Kunci: Land Subsidence; Geoelectric; Chemical; Grouting; FEM

Sitasi:

Efendi, A. W. (2022). Analysis of Strengthening of Soil Subsidence on Land in Tanjung Priok. *Journal of Science and Education Research*, 1(1), 29-37.

Pendahuluan

Penurunan tanah adalah penurunan permukaan tanah dalam arah vertikal terhadap suatu permukaan referensi tinggi tertentu, seperti permukaan laut rata-rata (MSL), atau permukaan ellipsoid referensi. Penurunan tanah merupakan fenomena alam yang banyak terjadi di kawasan binaan seperti kota-kota besar yang berdiri di atas lapisan sedimen, contohnya Bangkok, Shanghai, Los Angeles, dan Tokyo. Di Indonesia, bencana alam yang berlangsung secara perlahan dalam kurun waktu yang relatif lama ini sudah terjadi di beberapa kota. Studi penurunan tanah yang dilakukan selama ini mengidentifikasi beberapa faktor penyebab terjadinya penurunan tanah, yaitu pengambilan air tanah yang berlebihan, penurunan karena beban bangunan (settlement), penurunan karena adanya konsolidasi alamiah lapisan-lapisan tanah, dan karena adanya aktivitas tektonik. Dari empat faktor penurunan tanah tersebut, tiga faktor pertama diperkirakan mempunyai kontribusi yang lebih besar.

Maksud dari kegiatan ini adalah mengevaluasi stabilitas dan integritas bangunan serta mendapatkan parameter pada daerah longsor atau fondasi yang tidak stabil yang ada di PLTGU PRO POMU. Tujuan yang diharapkan adalah tersedianya data yang dapat mewakili kondisi tanah dan relevansi terhadap pembangunan. Sasaran yang ingin dicapai dalam kegiatan Jasa Studi Land Subsidence ini adalah agar tersedianya informasi mengenai adanya pengaruh perubahan di lapangan akibat pengembangan seperti stabilitas tanah dan lereng. Juga mengetahui kemungkinan-kemungkinan terjadinya penurunan tanah yang berlebih yang dapat memberikan dampak negatif pada struktur bangunan yang berada di atasnya. Wilayah pekerjaan dalam Kegiatan Jasa Studi Land Subsidence PLTGU PRO POMU adalah mulai dari Gate gerbang sampai perbatasan Blok 1-2 dengan Blok 4 dan difokuskan untuk beberapa titik di area fondasi Gas Turbine Building.

Metode

Penurunan

Dalam perancangan konstruksi bangunan sipil, sering ditemukan lapisan tanah yang memiliki daya dukung rendah (*low strength*), yang sangat mempengaruhi berbagai tahapan rancang• bangun konstruksi, baik dalam tahap perencanaan (design), tahap pelaksanaan (perform), maupun tahap operasional dan pemeliharaan (Operational and Maintenance) (Panguriseng, 2017).

Article Info

Received: 21 Januari 2022

Accepted: 16 Februari 2022



Journal of Science and Education Research is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

Rendahnya daya dukung dari suatu jenis lapisan tanah di suatu tempat, sangat dipengaruhi oleh minerologi tanah, yang mana minerologi tanah terbentuk dari proses pelapukan material batuan (unorganik) dan/atau material organik. Hasil lapukan material unorganik dan organik yang membentuk lapisan tanah pada suatu tempat, dapat merupakan material lapukan setempat (*residual soil*), dan/atau hasil lapukan yang terangkut dari tempat lain (*transported soil*). Eksistensi kedua jenis material lapukan tersebut di dalam pembentukan lapisan tanah, sangat mempengaruhi sifat-sifat tanah pada suatu tempat. Baik sifat fisis maupun sifat teknis dari pada lapisan tanah. Jika partikel lapukan tersebut bergradasi halus, maka cenderung memberikan sifat yang kohesif dengan konsistensi fisis yang lunak. Sebaliknya jika partikel lapukan pembentuk lapisan tanah bergradasi kasar, maka cenderung memberikan konsistensi yang keras dan sifat yang cenderung non kohesif. Kedua karakteristik tersebut (kohesivitas dan konsistensi), sangat menentukan kinerja dari lapisan tanah dalam berbagai hal, seperti besaran daya dukung, kapasitas permeabilitas tanah, perilaku kompresibilitas, dan potensi kembang susut (*swelling potensial*) tanah (Panguriseng, 2017).

Besaran daya dukung geser pada suatu lapisan tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, sebagaimana yang dirumuskan dengan persamaan Mohr-Coulomb bahwa kohesivitas dan konsistensi tanah menjadi faktor yang menentukan besaran daya dukung geser tanah;

- (1) Nilai kohesi tanah, merupakan parameter kohesivitas yang sangat dipengaruhi adanya partikel tanah yang berbutir halus.
- (2) Sudut geser dalam tanah, berat volume tanah dan tekanan pori tanah, ketiganya merupakan parameter yang menunjukkan konsistensi tanah, yang sangat dipengaruhi oleh adanya partikel bergradasi kasar.

Jika besaran daya dukung tanah dimaknai dalam arti kemampuan tanah dalam memikul tekanan aksial, maka beberapa parameter tanah yang berpengaruh, sebagaimana yang dirumuskan oleh Terzaghi (Das, 2008).

Metode Geolistrik

Pemeriksaan Lapisan Tanah Menggunakan Alat Georesistant/Geolistrik. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menginvestigasi amblesan adalah metode geolistrik. Metode ini merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika yang dapat memberikan gambaran (peta) tentang suatu lapisan atau formasi batuan dan kedalaman lapisan batuan berdasarkan sifat kelistrikan batuan. Dalam kaitannya dengan amblesan, metode geolistrik dapat memberikan gambaran tentang amblesan sebagai zona lemah dengan sifat-sifat kelistrikan berupa tahanan jenis dan *chargeability* tertentu.

Metode geofisika yang secara luas banyak dilakukan dalam eksplorasi adalah metode seismik, magnetik, gaya berat, tahanan jenis listrik dan elektromagnetik. Metode geolistrik merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika yang dapat diterapkan untuk mempelajari karakteristik suatu sistem geothermal, penentuan lithologi lapisan batuan, posisi reservoir, pola aliran serta sebaran fluida geothermal di bawah permukaan bumi. Penggunaan geolistrik pertama kali dilakukan oleh Conrad Schlumberger pada tahun 1912. Geolistrik merupakan salah satu metoda geofisika untuk mengetahui perubahan tahanan jenis lapisan batuan di bawah permukaan tanah dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*Direct Current*) yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah. Injeksi arus listrik ini menggunakan 2 buah elektroda arus A dan B yang ditancapkan ke dalam tanah dengan jarak tertentu. Geolistrik ini bisa untuk mendeteksi adanya lapisan tambang yang mempunyai kontras resistivitas dengan lapisan batuan pada bagian atas dan bawahnya. Bisa juga untuk mengetahui perkiraan kedalaman bedrock untuk fondasi bangunan. Metoda geolistrik juga bisa untuk menduga adanya panas bumi (*geothermal*) di bawah permukaan. Hanya saja metoda ini merupakan salah satu metoda bantu dari metoda geofisika yang lain untuk mengetahui secara pasti keberadaan sumber panas bumi di bawah permukaan.

Prinsip dasar metode ini adalah menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi menggunakan dua buah elektroda arus, kemudian mengukur beda potensial melalui dua buah elektroda lainnya di permukaan bumi. Arus listrik yang di-injeksikan akan mengalir melalui lapisan batuan di bawah permukaan, dan menghasilkan data beda potensial yang harganya bergantung pada tahanan jenis (*resistivity*) dari batuan yang dilaluinya. Fenomena inilah yang dimanfaatkan untuk mengetahui dan menentukan jenis batuan termasuk fluida apa saja yang ada di bawah permukaan.

Penyelidikan geolistrik ini terdiri atas dua jenis kegiatan yaitu pemetaan tahanan jenis (*Mapping*) dan pendugaan tahanan jenis (*Sounding*). Hasil pengukuran *mapping* akan berupa peta-peta tahanan jenis semu untuk berbagai bentangan elektroda arus, sedangkan pengukuran *sounding* akan berupa profil-profil nilai tahanan jenis sebenarnya (Broto, 2008)

Analisa LEM dan FEM

Ada dua cara dalam menganalisis kestabilan lereng: analisis total stress dan analisis effective stress. Analisis total stress didasarkan pada *undrained shear strength* dan disebut juga analisis σ_u . Analisis effective stress didasarkan pada *drained shear strength* dan disebut juga analisis c , Morgenstern and Price (1965) mengusulkan suatu persamaan yang dapat menangani gaya geser antar perlapisan dalam GLE dan hal tersebut memenuhi kesetimbangan antara momen dan gaya. Dalam menghitung besar faktor keamanan lereng dalam

analisis lereng tanah melalui metoda sayatan, hanya longsor yang mempunyai bidang gelincir yang dapat dihitung.

Longsor dengan bidang gelincir (slip Surface), F dapat dihitung dengan metode sayatan (slice method) menurut Fellinius atau Bishop. Untuk suatu lereng dengan penampang yang sama, cara Fellinius dapat dibandingkan nilai faktor keamanannya dengan cara Bishop. LEM adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya. Metoda analisis ini pertama-tama mengasumsikan bidang kelongsoran yang dapat terjadi. Terdapat dua asumsi bidang kelongsoran yaitu: bidang kelongsoran berbentuk circular dan bidang kelongsoran yang diasumsikan berbentuk non-circular (bisa juga planar) (Liong, 2012)

Metode elemen hingga (bahasa Inggris: Finite element method, FEM) adalah metode yang banyak digunakan untuk memecahkan persamaan diferensial numerik yang timbul dalam rekayasa dan pemodelan matematika. Area masalah umum yang menarik termasuk bidang tradisional analisis struktural, perpindahan panas, aliran fluida, transportasi massa, dan potensi elektromagnetik. FEM adalah metode numerik umum untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial dalam dua atau tiga variabel ruang (yaitu, beberapa masalah nilai batas). Untuk memecahkan masalah, FEM membagi sistem besar menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan lebih sederhana yang disebut elemen hingga. Hal ini dicapai dengan diskritisasi ruang tertentu dalam dimensi ruang, yang diimplementasikan dengan konstruksi jaring objek: domain numerik untuk solusi, yang memiliki jumlah titik terhingga. Rumusan metode elemen hingga dari masalah nilai batas akhirnya menghasilkan sistem persamaan aljabar. Metode ini mendekati fungsi yang tidak diketahui di atas domain (Logan, 2011)

Perbaikan Tanah

Apabila mengacu pada klasifikasi dari stabilisasi tanah sebagaimana yang telah diuraikan sebelumnya, maka ruang lingkup dari perbaikan tanah meliputi dua klasifikasi (Panguriseng, 2017), yakni:

- (a) Perbaikan tanah dengan metode kimiawi; yang selanjutnya dapat dibedakan dalam beberapa sudut tinjauan, antara lain: (1) Ditinjau dari jenis bahan pencampur (*additive*), perbaikan tanah dengan metode kimiawi, dibedakan atas: (a) Perbaikan tanah dengan bubuk (*powder stabilization*), (b) Perbaikan tanah dengan larutan (*solvent stabilization*), (2) Ditinjau dari jenis material bubuk (*powder*); perbaikan tanah dengan metode kimiawi, dibedakan atas: (a) Perbaikan tanah dengan semen (*soil cement*), (b) Perbaikan tanah dengan kapur (*soil lime*), (c) Perbaikan tanah dengan abu (*soil ash*). (3) Ditinjau dari cara pencampuran; perbaikan tanah dengan metode kimiawi, dibedakan atas: (a) Perbaikan tanah dengan metode pengadukan (*mixing method*), (b) Perbaikan tanah dengan metode penyuntikan (*grouting method*).
- (b) Perbaikan tanah dengan metode fisik yang bila ditinjau dari aspek metode pelaksanaannya dapat dibedakan dalam beberapa jenis, antara lain: (a) Pemadatan tanah (*compaction*), (b) Konsolidasi tanah (*consolidation or preloading*), (c) Pengeringan tanah (*dewatering*), (d) Penggantian tanah (*replacement*), (e) Perlekatan partikel tanah (*permeation resin*), dan lain-lain.

Perkuatan Tanah

Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa perkuatan tanah (*soil reinforcement*), adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan/atau kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan memberikan material sisipan ke dalam lapisan tanah tersebut.

Selanjutnya material lapisan tanah yang terbentuk dari hasil tindakan perkuatan tanah disebut tanah perkuatan (*reinforced earth*). Tanah perkuatan, adalah lapisan tanah yang telah diberikan material sisipan yang mampu membentuk suatu sistem yang dapat bekerja sebagai satu kesatuan, sehingga kemampuan dari sistem tersebut menjadi jauh lebih besar atau lebih optimal dari pada kemampuan awal dari lapisan tanah tersebut. (Panguriseng, 2017).

Secara garis besar perkuatan tanah dapat diklasifikasikan berdasarkan tujuan utama dari tindakan perkuatan, yakni: (a) Perkuatan tanah dasar (*bearing capacity reinforcement*), (b) Perkuatan dinding penahan (*retaining wall reinforcement*). Pembahasan tentang perkuatan tanah tidak akan diuraikan dalam buku ini, dan akan dibahas secara khusus dalam buku lain yang juga penulis susun.

Tahap Tahap Penyelidikan. Adapun urutan atau langkah-langkah dalam pelaksanaan penyelidikan adalah sebagai berikut:

- (a) *Desk Study* dilakukan untuk mempelajari kondisi lapangan berdasarkan literatur dan laporan-laporan sebelumnya meliputi: (1) studi mengenai penurunan tanah yang dilakukan di awal, (2) tata guna lahan, (3) kondisi hidrologi wilayah studi, (4) kondisi geologi wilayah studi, (5) akses jalan atau cara ke lokasi, (6) peta wilayah, (7) sejarah penggunaan lahan, (8) foto udara, (9) data-data perencanaan sarana dan prasarana yang akan dibangun.
- (b) *Peninjauan Lapangan (Site reconnaissance)*, mempunyai sasaran yang meliputi, daerah yang akan dikembangkan dan daerah sekitarnya yang mungkin terpengaruh akibat adanya kegiatan proyek. Selain itu dalam pelaksanaan peninjauan di lapangan ada hal-hal yang perlu diperhatikan yang meliputi, kondisi lapangan secara umum, bangunan-bangunan yang ada, termasuk puing-puing bangunan lama jika ada,

longsor, patahan dan pergerakan tanah, settlement dan depresi muka tanah, sumber air serta apabila memungkinkan sebaiknya membuat peta geologi dengan kondisi alamnya secara mendetail.

- (c) Penyelidikan Detail, dimaksudkan untuk mendapatkan data terkait studi yang dilakukan dengan melakukan survey-survey di lapangan untuk mendapatkan data yang valid, (d) Pemilihan Metode Penyelidikan, dalam pemilihan serta penentuan metode penyelidikan, sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor (Panguriseng, 2017) sebagai berikut: (1) topografi, jenis tanah dan muka air tanah, (2) jenis tanah, prakiraan jenis fondasi dan keperluan teknis, (3) informasi yang telah ada, (4) prakiraan variasi tanah, (5) faktor-faktor eksternal yang terdiri dari, ketersediaan alat, ketersediaan jalan menuju lokasi, biaya dan waktu, (6) penyelidikan tanah dengan survey geolistrik untuk mengetahui rona kondisi tanah apakah ada penurunan atau tidak dari hasil geolistrik.

Hasil dan Pembahasan

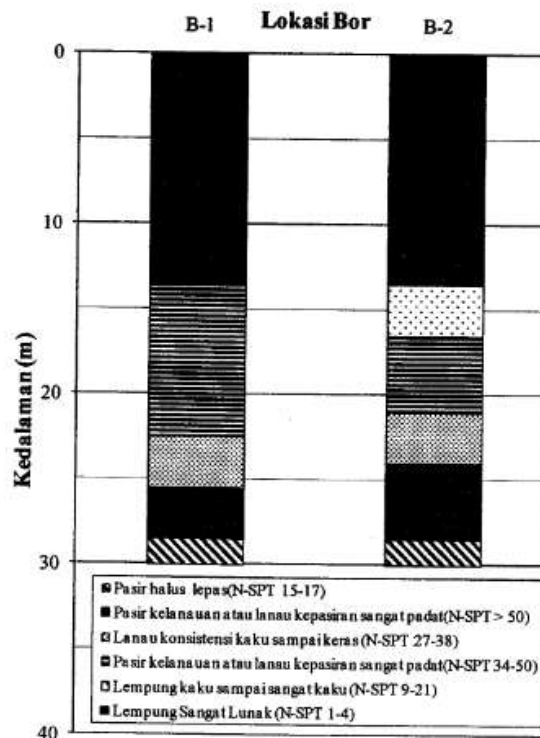
Data Primer

Lokasi Studi Land Subsidence berposisi di JL.RE Martadinata, Ancol, Pademangan Ancol Kec. Pademangan Kota Jakarta Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, dengan titik koordinat $6^{\circ} 06' 36''$ S; $106^{\circ} 52' 02''$ E seperti tergambar pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Strafografi Tanah Tahun 2011-2012

Data korelasi tanah diambil dari hasil dari survei identifikasi lapisan tanah dengan metode boring pada tahun 2011-2012 berupa data borlog seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. Strafografi Tanah Tahun 2011-2012

Pada metode pengukuran di lapangan menggunakan metode georesistant pada 5 lintasan di area Studi Land Subsidence PLTGU PRO POMU, didapatkan nilai parameter hasil *resistivity* adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Korelasi Data Resistivity menjadi NSPT.

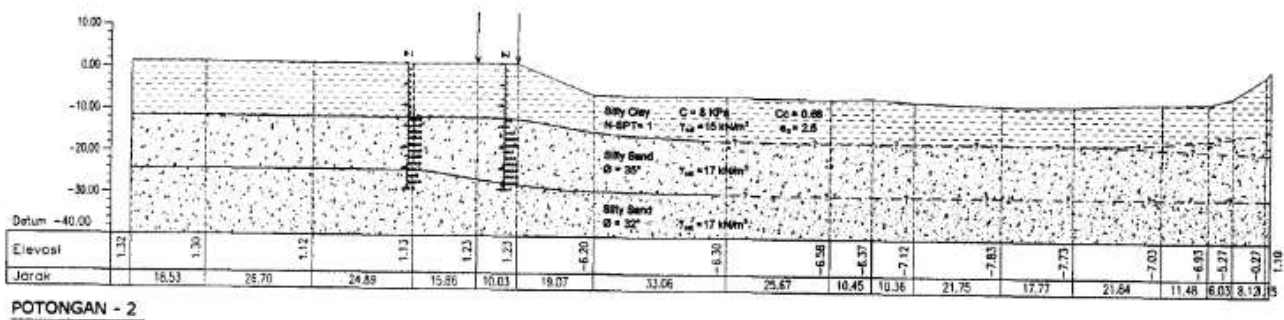
No	Data Resistivity (Ohm-m)	Geological Material	NSPT
1	1-100	Clay wet	5
2	100-2000	Sand wet	17
3	2000-4000	Sand dry	22
4	4000-10000	Sand dry	30
5	10000-30000	Rock	25
6	30000-50000	Bedrock	60

Data pada Tabel 1 merupakan data dari hasil survey di lapangan dan merupakan hasil dari nilai resistivity dikorelasikan menjadi nilai NSPT sesuai pada Tabel Material Geoteknik yang ada dibawah ini.

Tabel 2. Nilai Parameter Tanah

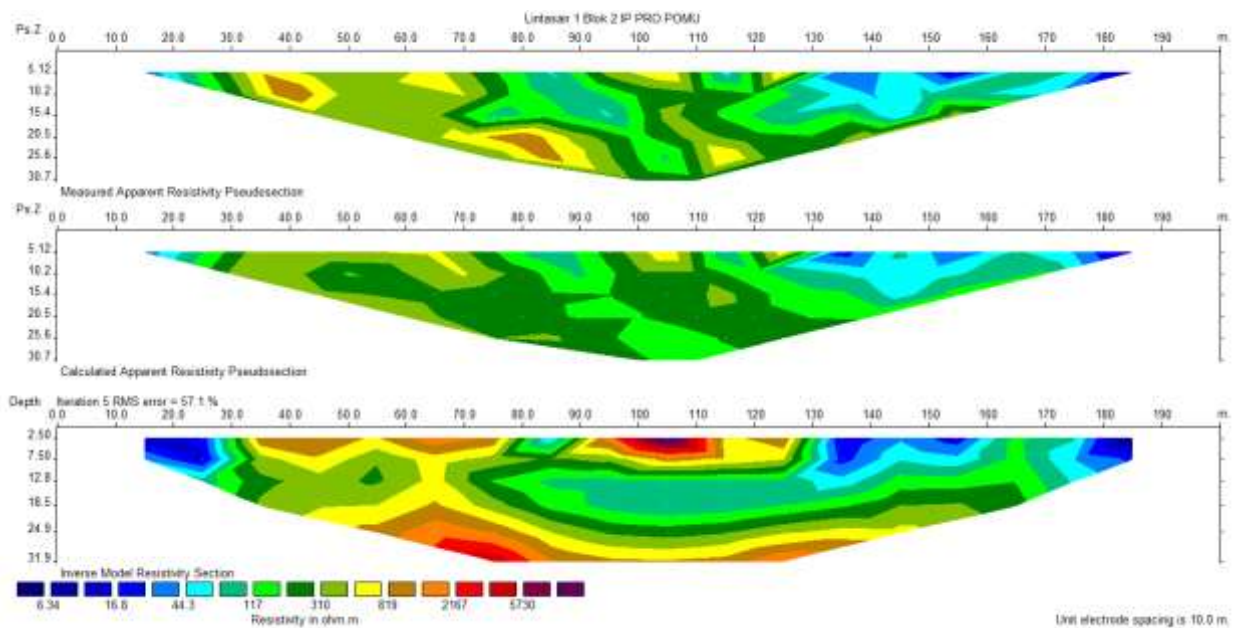
Kedalaman (m)	Jenis Tanah	NSPT	Berat Volume (kN/m ³)	NSPT rata-rata	c=cu=4,5 .N (kN/m ²)	c=cu=k. N (kN/m ²)	EFEKTIF STRESS phi (o)	Y (kN/m ³)	Ysat (kN/m ³)	kh (m/hari)	kv (m/hari)	Es (kN/m ²) Es=(500 s/d 1500)*C	v
0		2											
	Clay wet		16	3,5	15,75	17,5	20	16	16	8,64E-03	1,73E-02	8750	0,35
10		5											
	Sand Dry		18,1	11	49,5	55	23	18,1	18,1	1,73E-03	3,46E-03	27500	0,3
20		17											
	Sand Dry		18,7	19,5	87,75	97,5	26	18,7	18,7	8,64E-04	1,73E-03	48750	0,25
30		22											
	Sand Dry		19,3	26	153,4	130	24	19,3	19,3	1,73E-04	3,46E-04	65000	0,22
40		30											
	Rock		19,7	27,5	162,25	137,5	24	19,7	19,7	8,64E-05	1,73E-04	68750	0,21
50		25											
	Bedrock		23,6	42,5	250,75	212,5	28	23,6	23,6	4,32E-05	8,64E-05	106250	0,21
60		60											

Dari hasil survey penyelidikan tanah maka digambarkan typical dari lapisan tanah pada lahan tersebut:



Gambar 3. Stratigrafi Tanah Tahun 2011-2012

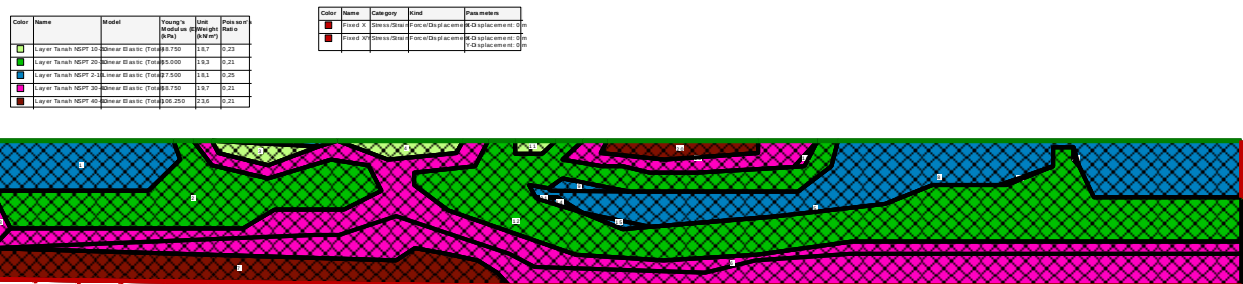
Pengukuran lapisan tanah pada penelitian kali ini menggunakan geolistrik dimana hasil dari lintasan I. Didapat dengan digambarkan secara 2 dimensi sebagai berikut:



Gambar 4. Strafigrifi Tanah Tahun 2011-2012

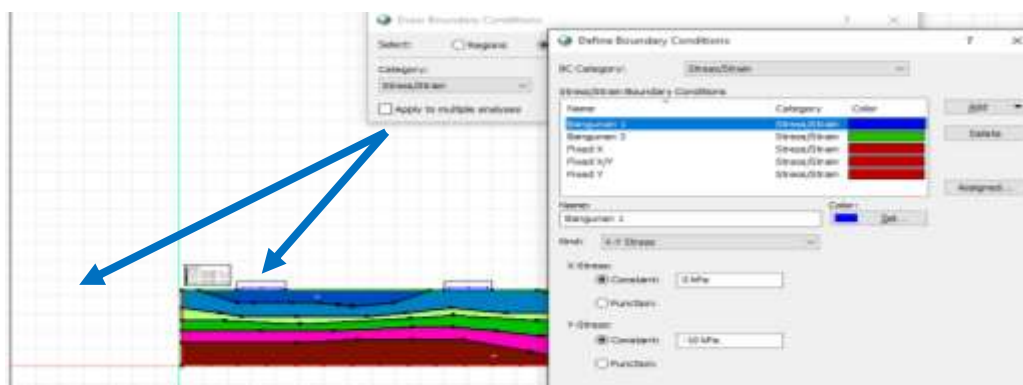
Permodelan Lapisan Tanah

Setelah didapatkan hasil visualisasi georesistant pada lintasan ini, hasil tersebut dimodelkan pada software FEM untuk melakukan analisis penurunan, disesuaikan dengan parameter tanah yang telah dikorelasi. Pada lintasan 1 termodel sebagai berikut :



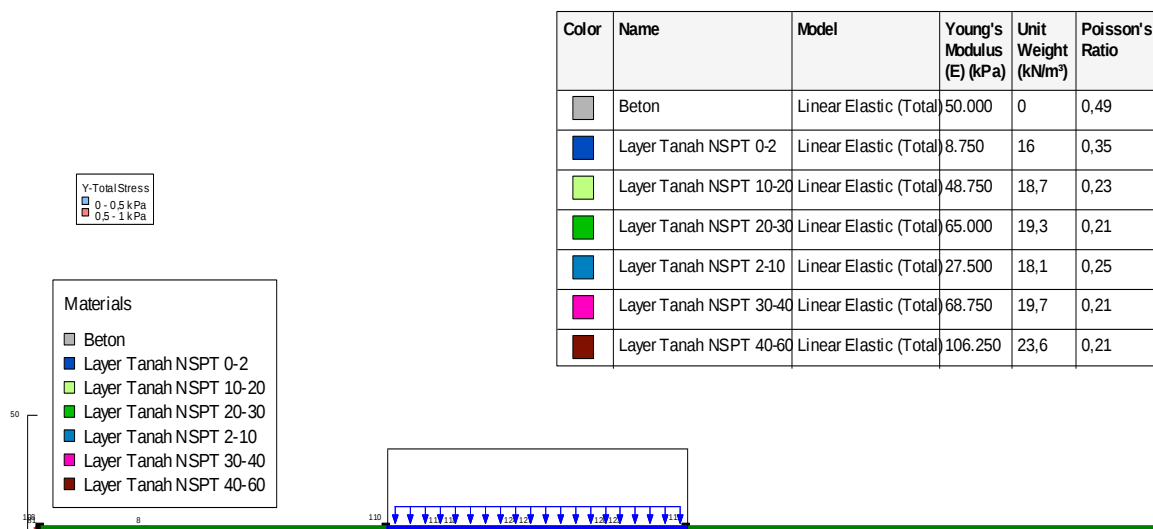
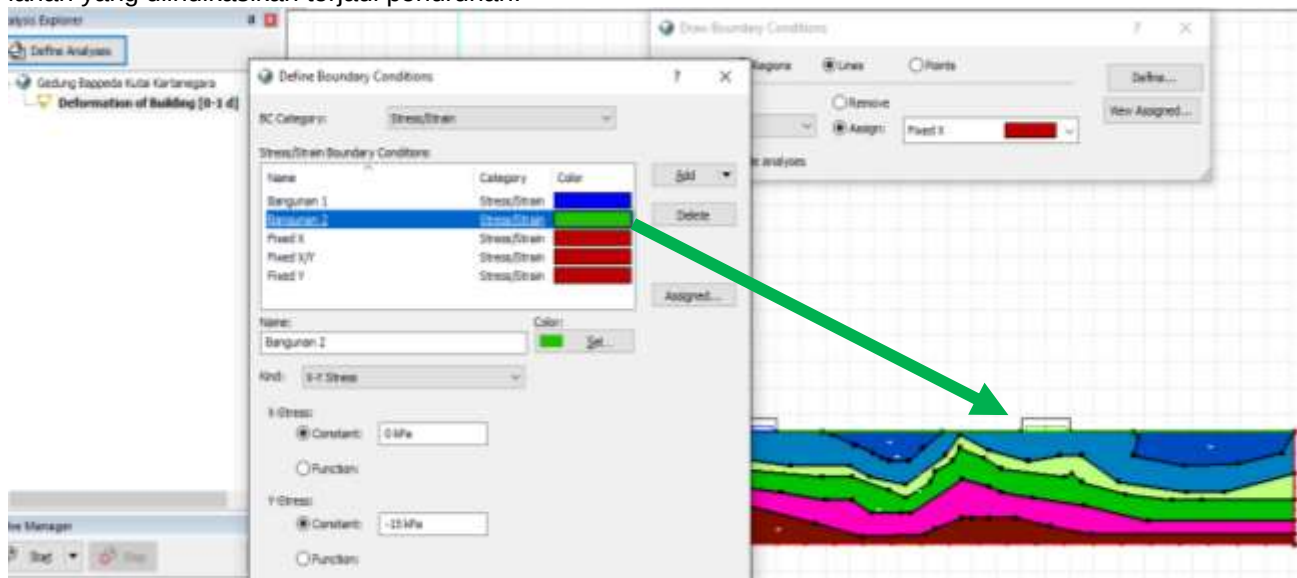
Gambar 5. Strafigrifi Tanah Tahun 2011-2012

Pembebanan dilakukan untuk mengetahui kondisi deformasi yang terjadi pada tanah ekisting akibat beban yang diberikan. Dimana nilai beban yang dimasukkan adalah 10-15 kPa atau setara dengan 10-15 kN/m² dimana pada persyaratan beban guna bangunan adalah 2,4-4,79 kN/m² dan pada Pabrik kecil adalah 6 kN/m².

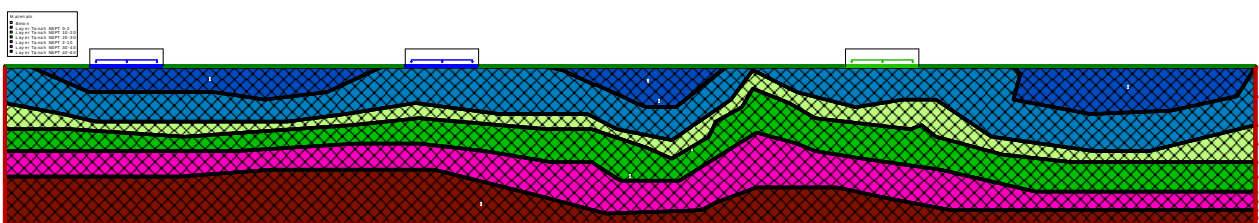


Gambar 6. Pembebanan pada Permodelan

Properti material diinput dari hasil korelasi data geolistrik dengan mengacu pada SNI (Nasional, 2005). korelasi geoteknik pada nilai NSPT sehingga didapatkan nilai tersebut yang menjadi data material permodelan lahan yang diindikasikan terjadi penurunan.



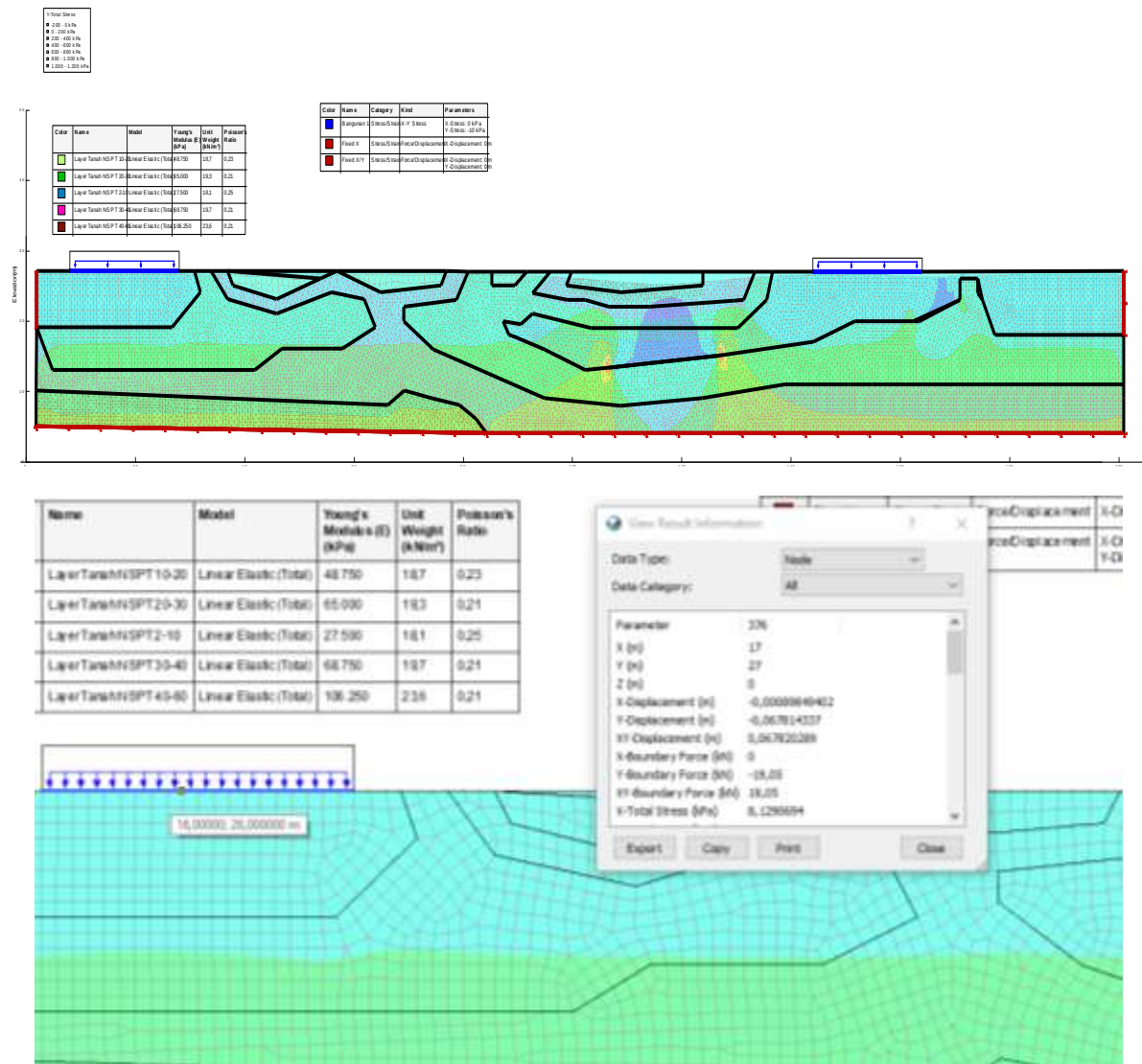
Gambar 7. Data Material Tanah yang digunakan



Gambar 8. Data Material Tanah yang digunakan

Hasil Analisis Permodelan

Hasil analisis yang terjadi setelah diberi pembebanan sesuai kondisi bangunan adalah 10 kN/m² dengan penurunan adalah 6,78-7,8 cm.

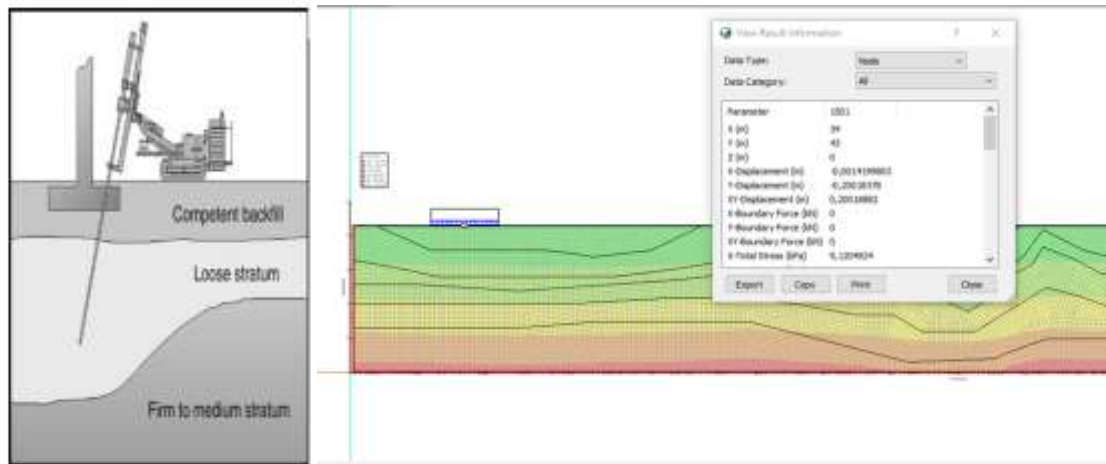


Gambar 9. Hasil analisis perilaku permodelan lapisan tanah akibat beban

Dari hasil analisis tegangan terbesar pada tanah adalah 1000-1200 kPa atau setara 1000-1200 kN/m² pada lapisan tanah terdalam di elevasi -20-25 m, pada lapisan permukaan adalah berkisar 0-200 kPa atau setara dengan 200 kN/m².

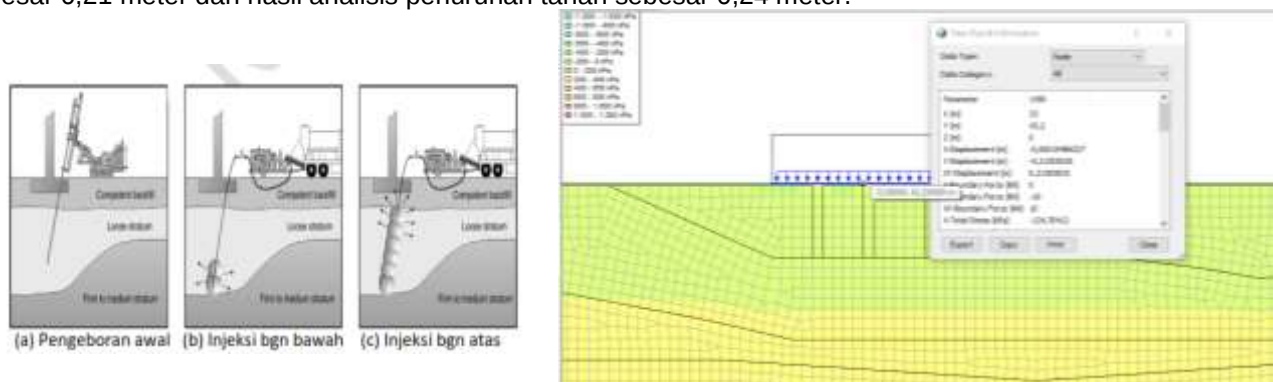
Analisis Perkuatan

Metode perkuatan dengan chemical (*epoxy resin*) dapat menghambat laju penurunan tanah sebesar 0,20 meter dari hasil analisis penurunan tanah sebesar 0,24 meter.



Gambar 10. Menggunakan Perkuatan Chemical (Epoxy Resin)

Metode perkuatan dengan menggunakan compaction grouting dapat menghambat laju penurunan tanah sebesar 0,21 meter dari hasil analisis penurunan tanah sebesar 0,24 meter.



Gambar 11. Menggunakan Perkuatan Compaction Grouting

Kesimpulan

Pada Studi Land Subsidence yang berposisi di JL.RE Martadinata, Ancol, Pademangan Ancol Kec. Pademangan Kota Jakarta Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, dengan titik koordinat 6° 06' 36" S ; 106° 52' 02" E didapatkan hasil penurunan dari pengujian pada lintasan geolistrik dengan pembebanan sesuai dengan kondisi bangunan didapatkan nilai penurunan sebesar 6,78-7,8 cm dengan analisis tegangan terbesar pada tanah adalah 1000-1200 kN/m² pada lapisan tanah terdalam di elevasi -20-25 m. Metode perkuatan dengan chemical (*epoxy resin*) dapat menghambat laju penurunan tanah sebesar 0,20 meter dari hasil analisis penurunan tanah sebesar 0,24 meter. Metode perkuatan dengan menggunakan compaction grouting dapat menghambat laju penurunan tanah sebesar 0,21 meter dari hasil analisis penurunan tanah sebesar 0,24 meter.

Daftar Rujukan

- Broto, S. a. (2008). *Pengolahan Data Geolistrik dengan Metode Schlumberger*. Jawa Tengah: Teknik, UNDIP.
- Das, B. M. (2008). *Advanced Soil Mechanics, Third Edition*. New York: Taylor & Francis Group.
- Efendi, A. W. (2016). *Laporan Hasil Investigasi Rona Lapisan Tanah pada Situs Gunung Selendang Sanga-Sanga*. Samarinda: CLTQ&BANTEK Universitas Tridharma Balikpapan.
- Liong, G. T. (2012). *Analisa Stabilitas Lereng Limit Equilibrium Vs Finite Element Method*. HATTI-PIT-XVI 2012. Jakarta: HATTI.
- Logan, D. L. (2011). *A first course in the finite element method*. Boston, Massachusetts. Amerika: Cengage Learning.
- Nasional, B. S. (2005). *Standar Pembebanan Jembatan SNI T-02-2005*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Panguriseng, D. (2017). *Dasar-dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Yogyakarta: Pustaka AQ.