

**LAPORAN  
PENELITIAN DOSEN**



**PEMILIHAN METODE PERBAIKAN TANAH PADA  
KAWASAN BERIKAT DI JAKARTA UTARA**

**Tim Peneliti :**

**DR. Ir. Idrus M. Alatas M.Sc**

**Ir. Wawan Kuswaya MT**

**Ir. Agus Rusetyo Kurniawan**

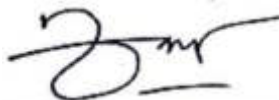
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL  
2019**

**PENGESAHAN  
LAPORAN PENELITIAN**

- 1 Judul Penelitian : Pemilihan Metode Perbaikan Tanah Pada Kawasan Berikat Di Jakarta Utara
- 2 Ketua Peneliti :
- a. Nama Lengkap : DR.Ir. Idrus M. Alatas M.Sc
- b. Jenis Kelamin : Laki-laki
- c. NIP : 11860032
- d. Disiplin ilmu : Geoteknik (Teknik Sipil)
- e. Pangkat/Golongan : Lektor /III d
- f. Jabatan : Dosen
- g. Fakultas/Prodi : Teknik Sipil dan Perencanaan / Teknik Sipil
- h. Alamat : Jl. Moh. Kahfi II, Srengseng Sawah Jak-Sel.
- i. Telp/Faks/E-mail : 0818909763/hb\_idrus@yahoo.com
- 3 Anggota Peneliti : Ir. Wawan Kuswaya MT  
Ir. Agus Rusetyo Kurniawan.
- 4 Lokasi Penelitian : Kawasan Berikat, Jakarta Utara
- 5 Jumlah biaya : 15.500.000,-

Jakarta, Agustus 2019  
**Mengetahui,**  
**Ketua Program Studi**  
**Teknik Sipil**

**Ketua Peneliti**



Ir. Nasir Djalili, MT



DR. Ir. Idrus M. Alatas M.Sc

**Menyetujui,**  
**Ketua LP2M – ISTN**



DR. Ir. Syamsul Elyumin MSc

Tanggal	:	13/01/2020
No. Inventaris	:	
Kode Eksemplar	:	
No. Panggil	:	
Sumber	:	
Lokasi	:	
Paraf	:	



### KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, kami dapat menyelesaikan penelitian ini. Penulisan penelitian ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu kewajiban sebagai tenaga edukatif diperguruan tinggi untuk menunjang Tri Dharma Perguruan Tinggi. Kami menyadari bahwa, tanpa bantuan dan arahan dari berbagai pihak terutama kari Pengelola Kawan Berikat, sangatlah sulit bagi kami untuk menyelesaikan laporan penelitian ini. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih kepada:

- a) Pimpinan LP2M I.S.T.N Jakarta yang memberikan kesempatan kepada kami untuk melakukan penelitian ini.
- b) PT. Indra Karya Persero yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- c) PT. Kawasan Berikat Nusantara (KBN) yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- d) PT. Karya Sukses Berdikari (KSB) Konsultan yang banyak membantu dan memfasilitasi baik data dan keperluan lain yang saya butuhkan
- e) Semua teman teman seprofesi di HATTI yang memberikan dukungan pada penelitian ini.

Akhir kata, kami berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga penelitian ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan geoteknik dimasa depan.

Jakarta, 12 Agustus 2019

Penelitian

DR. Ir. Idrus M. Alatas M.Ac

## ABSTRAK

Target pertumbuhan ekspor sekitar 10% membuat pemerintah terus berupaya mendatangkan kapal besar untuk menggenjot arus peti kemas, terutama kargo ekspor. Sehingga kebutuhan akan layanan depo petikemas akan juga mengalami peningkatan. Keterbatasan lahan pada lokasi strategis di daerah pesisir dan sekitar pantai membuat sebuah depo petikemas harus dibangun di atas lahan yang strategis namun kurang ideal dari segi geoteknik. Pada umumnya tanah di daerah pesisir memiliki karakteristik yang kurang menguntungkan bagi konstruksi sipil, karena mempunyai kadar air yang tinggi, kemampuan dukung rendah, sifat kembang susut yang tinggi dan penurunan yang besar. sehingga sangat diperlukan adanya suatu metode perbaikan tanah yang dapat diterapkan untuk menanggulangi masalah-masalah yang dihadapi tersebut.

Pada penelitian ini beberapa metode penanganan tanah lunak termasuk tanah lempung dan clayshell telah dilakukan dengan menggunakan metode dan pendekatan geoteknis dan struktural. Parameter uji yang dipakai adalah kenaikan daya dukung dan penurunan konsolidasi dengan data tanah spesifik daerah pesisir dengan basis data daerah Cakung – Cilincing , Jakarta Utara.

Hasil perhitungan dari masing masing metode diatas dicatat kemudian di nilai dan di beri nilai kemudian dianalisis terhadap semua faktor, nilai nilai terbesar adalah yang terbaik yang untuk dilakukan. cara analisis dan faktor pendukung yang seragam diharapkan dapat mempermudah kita dalam menganalisa metode yang paling optimal yang dapat dilakukan atau minimal kita mengetahui proses penilaian terhadap beberapa alternatif pilihan metode perbaikan tanah pada kondisi tanah yang mungkin jauh berbeda dengan penelitian ini.

Kata kunci : tanah lempung, *marine clay*, perbaikan tanah, konsolidasi

## ABSTRACT

The export growth target of around 10% makes the government continues to try to bring in big cargo ships to boost the flow of containers, especially export cargo. So the need for container depot services will also increase. The limited land at strategic locations in the coastal areas and around the coast makes a container depot must be built on strategic land but not ideal in terms of geotechnical engineering. In general, land in coastal areas has unfavorable characteristics for civil construction, because they have high water content, low bearing capacity, high shrinkage and high degradation. so it is very necessary to have a method of soil improvement that can be applied to overcome the problems faced.

This study mentions several methods of handling soft soils including clay and clayshell have been carried out using geotechnical and structural methods and approaches. The test parameters used are an increase in carrying capacity and a decrease in consolidation with specific land data for coastal areas with a database of Cakung - Cilincing, North Jakarta.

The calculation results of each of the above methods are recorded then nilaid and given a nilai then analyzed for all factors, the largest nilai is the best thing to do. a uniform method of analysis and supporting factors are expected to facilitate us in analyzing the most optimal methods that can be done or at a minimum we know the process of evaluating several alternative choices of methods of soil improvement in soil conditions that may be much different from this research.

**Keywords:** clay, marine clay, soil improvement, consolidation

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	8
1.2. Maksud dan Tujuan .....	8
1.3. Batasan Penelitian.....	10
1.4. Lokasi penelitian.....	12
1.5. Sistematika Penulisan.....	14
BAB 2 .....	16
STUDI PUSTAKA .....	16
2.1. Sifat dan karakteristik fisika tanah .....	16
2.2. 16	
2.1. 1 Sistem Klasifikasi Tanah <i>UNIFIED</i> .....	17
2.1. 2 Komposisi Tanah .....	11
2.1. 3 Modulus Elastisitas .....	12
2.1. 4 <i>Poison's Ratio</i> .....	14
2.1. 5 Batas-Batas Konsistensi Tanah ( <i>Atterberg</i> ).....	15
2.1. 6.....	15
2.1. 7 Potensi masalah pada masing-masing type tanah .....	16
2.3. Sifat dan karakteristik mekanika tanah.....	17
2.2. 1 Tegangan tanah .....	17

2.2. 2.....	17
2.2. 3 Kuat Geser Tanah.....	19
2.2. 4 Konsolidasi.....	20
2.4. Metode keruntuhan geser (Pondasi dangkal) Terzaghi – Meyerhof.....	28
2.5. Pondasi dalam.....	31
2.4.1. Perhitungan daya dukung.....	31
2.6. Perbaikan tanah.....	33
2.7. Pemilihan metode perbaikan tanah.....	34
2.8. Dasar Teori Perbaikan tanah (Pendekatan Geoteknik).....	37
1. <i>Preloading</i> dan <i>PVD</i> .....	37
2. Vacuum dan <i>PVD</i> .....	40
3. Stone Column.....	41
4. Cerucuk.....	47
2.9. Dasar Teori perhitungan depo petikemas.....	53
2.10. Petikemas.....	54
2.11. Kendaraan angkut petikemas.....	57
2.12. Metode Scoring dan optimalisasi.....	58
BAB 3.....	50
METODOLOGI PENELITIAN.....	50
3.1 Lokasi, waktu dan permasalahan dalam penelitian.....	51
A. Daya dukung tanah dasar.....	51
B. Sumber dan pengambilan data.....	52
C. Karakteristik tanah.....	51
3.1 Metode Pengumpulan Data.....	52
3.2 Analisis Pengolahan Data.....	53

3.3	Cara Analisis.....	55
3.5	Metode perbaikan tanah .....	57
3.5.2	<i>PVD Dengan Vacuum Preloading</i> .....	62
3.4	Diagram Alur ( <i>Flowcharts</i> ).....	67
3.5	Variabel pembobotan ( <i>Scoring</i> ).....	72
BAB 4	.....	70
ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA .....		70
4.1	Lokasi dan kondisi tanah .....	70
4.2	Data tanah (penelitian) , spesifikasi material dan pembebanan ( <i>Loading</i> )...72	
4.1.1	Analisis Tanah.....	91
4.3	Perbaikan Tanah .....	95
1.	Analisis dan perhitungan slab beton (Beban pile) .....	113
2.	Analisis dan perhitungan tiang pancang .....	123
4.4	Analisis dan optimalisasi pemilihan perbaikan tanah.....	128
4.5	Hasil Pemilihan.....	130
BAB 5	.....	128
KESIMPULAN DAN SARAN.....		128
5.1.	Kesimpulan.....	128
5.2.	Saran .....	130
DAFTAR PUSTAKA	.....	131



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Depo petikemas ( <i>Oceanweek</i> , 2018).....	1
Gambar 1. 2 PVD Preloading Soil Improvement .....	4
Gambar 1. 3 PVD Preloading Vacuum Soil Improvement .....	5
Gambar 1. 4 Stone Column Soil Improvement .....	5
Gambar 1. 2 PVD Preloading Soil Improvement .....	5
Gambar 1. 6 Tiang Pancang <i>Soil Improvement</i> (Menard, 2016) .....	5
Gambar 1. 7 <i>Satelite</i> Map PT. KBN sumber <i>Google map</i> .....	13
Gambar 1. 8 Peta Lokasi Penelitian.....	14
Gambar 2. 1 Blok Diagram Massa Tanah (Bowles, 1997) p.18 .....	11
Gambar 2. 2 Batas batas konsistensi tanah .....	15
Gambar 2. 3 Susunan Tanah Tak Jenuh (Bowles, 1997).....	17
Gambar 2. 4 (a) Gaya Antar Butiran , (b) Kontak Antar Butir (Bowles, 1997) .	18
Gambar 2. 5 Prosedur Penentuan Tekanan Prakonsolidasi $pc'$ .....	16
Gambar 2. 6 (a) Lempung <i>normally consolidated</i> (b) dan (c) Lempung <i>overconsolidated</i> .....	22
Gambar 2. 7 Daya dukung tanah dan keruntuhan geser.....	21
Gambar 2. 8 Variasi nilai maksimum $Nc^*$ $Nq^*$ - sudut geser tanah.....	24
Gambar 2. 9 Vertical Drain.....	29
Gambar 2. 10 Konsolidasi dan Preloading.....	30
Gambar 2. 11 Kurva Konsolidasi.....	30
Gambar 2.12 Skema Konsolidasi Vakum Dengan Penutup Membran .....	32
Gambar 2. 13 Skema 3 Dimensi Vakum Konsolidasi dan Sistim Pemipaan.....	33
Gambar 2. 14 Skema dan Implementasi Stone Column.....	34
Gambar 2. 15 Grafik Perhitungan Faktor Perbaikan Dari Stone Column.....	35

Gambar 2. 16 Sketsa Pemasangan Metode Stone Column .....	35
Gambar 2. 17 Pola Pemasangan Metode Stone Column.....	36
Gambar 2. 18 Setup soil pada stone column.....	37
Gambar 2. 19 Unit sel stone column.....	38
Gambar 2. 20 Sketsa Pemasangan Cerucuk.....	40
Gambar 2. 21 Faktor daya dukung tanah.....	42
Gambar 2. 22 Beban urugan tanah.....	45
Gambar 2. 23 Komponen Teknis petikemas.....	46
Gambar 2. 24 Spesifikasi Reachstacker.....	48
Gambar 3. 1 Asimetri Unit Sel PVD.....	56
Gambar 3. 2 Pola Drainase.....	57
Gambar 3. 3 Faktor Hambatan.....	58
Gambar 3. 4 Skematik distribusi beban pada cerucuk.....	62
Gambar 3. 5 Diagram alur konsep umum penelitian.....	65
Gambar 3. 6 Diagram alur konsep PVD dan Preloading.....	66
Gambar 3. 7 Diagram alur konsep PVD, Preloading dan Vacuum.....	67
Gambar 3. 8 Diagram alur konsep Cerucuk.....	67
Gambar 3. 9 Diagram alur konsep Stone column.....	68
Gambar 3. 10 Diagram alur konsep Slab on Pile.....	69
Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian.....	70
Gambar 4. 2 Lokasi titik boring dan sondir.....	70
Gambar 4. 3 Denah rencana depo petikemas.....	71
Gambar 4. 4 Ilustrasi Penumpukan 5 tier petikemas 20 feet (max load).....	71
Gambar 4. 5 Susunan penumpukan petikemas.....	72
Gambar 4. 6 Statigrafi BH 1-4-3 ((Laporan tanah Geoinvest,2018)).....	87

Gambar 4. 7 Statigrafi BH 1-4-3 ((Laporan tanah Geoinvest,2018)).....	88
Gambar 4. 8 Permodelan Struktur Menggunakan Software.....	113
Gambar 4. 9 Momen arah X.....	113
Gambar 4. 10 Momen arah Y.....	114
Gambar 4. 11 Tegangan pada plat bagian atas.....	114
Gambar 4. 12 Tegangan pada plat bagian bawah.....	115
Gambar 4. 13 Bagan nilai skala interval pada daya dukung.....	126
Gambar 4. 14 Bagan nilai skala interval pada Penurunan.....	127

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Soil Classification</i> .....	9
Tabel 2. 2 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles, 1997) .....	14
Tabel 2. 3 Relasi Jenis Tanah dan <i>Possion's Ratio</i> .....	14
Tabel 2. 4 Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Nilai Indeks Plastisitas.....	15
Tabel 2. 5 Tabel Type Tanah (Han, 2015).....	16
Tabel 2. 6 Variasi faktor waktu terhadap derajat konsolidasi.....	25
Tabel 2. 7 Faktor Daya Dukung.....	29
Tabel 2. 8 Harga Faktor Bentuk, Kedalaman Dan Kemiringan.....	30
Tabel 2. 9 Permasalahan Geoteknik Kemungkinan Penyebabnya (Han, 2015) ...	33
Tabel 2. 10 Metode Perbaikan tanah kategori kerapatan/ <i>densification</i> .....	36
Tabel 2. 11 Metode Perbaikan Stone Column (Hussin, 2006) p.541.....	42
Tabel 2. 12 Faktor Daya Dukung Tanah Terzaghi.....	50
Tabel 2. 13 Spesifikasi teknis petikemas 40 feet .....	56
Tabel 2. 14 Spesifikasi teknis petikemas 20 feet .....	56
Tabel 3. 1 Tekanan pembebanan konstruksi bangunan.....	62
Tabel 3. 2 Variabel Pembobotan (Scoring).....	69
Tabel 4. 1 Skenario Pembebanan.....	72
Tabel 4. 2 Hasil Sondir (CPT).....	73
Tabel 4. 3 Laporan penyelidikan tanah BH1 (Laporan tanah Goinvest, 2018).....	74
Tabel 4. 4 Laporan penyelidikan tanah BH2 (Laporan tanah Goinvest, 2018).....	75
Tabel 4. 5 Laporan penyelidikan tanah BH3 (Laporan tanah Goinvest, 2018).....	76
Tabel 4. 6 Laporan penyelidikan tanah BH4 (Laporan tanah Goinvest, 2018).....	77
Tabel 4. 7 Laporan penyelidikan tanah BH5 (Laporan tanah Goinvest, 2018).....	78
Tabel 4. 8 Laporan penyelidikan tanah BH6 (Laporan tanah Goinvest, 2018).....	79

Tabel 4. 9 Kondisi tanah (Laporan tanah Goinvest, 2018).....	80
Tabel 4. 10 Hasil Boring BH1 (Laporan tanah Goinvest, 2018).....	81
Tabel 4. 11 Hasil Boring BH2 (Laporan tanah Goinvest, 2018).....	82
Tabel 4. 12 Hasil Boring BH3 (Laporan tanah Goinvest, 2018).....	83
Tabel 4. 13 Hasil Boring BH4 (Laporan tanah Goinvest, 2018).....	84
Tabel 4. 14 Hasil Boring BH5 (Laporan tanah Goinvest, 2018).....	85
Tabel 4. 15 Hasil Boring BH6 (Laporan tanah Goinvest, 2018).....	86
Tabel 4. 16 Kapasitas daya dukung ultimit.....	89
Tabel 4. 17 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-01.....	90
Tabel 4. 18 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-02.....	90
Tabel 4. 19 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-05.....	90
Tabel 4. 20 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-06.....	91
Tabel 4. 21 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-01.....	91
Tabel 4. 22 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-02.....	91
Tabel 4. 23 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-05.....	92
Tabel 4. 24 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-06.....	92
Tabel 4. 25 Perhitungan faktor hambatan PVD pola segitiga.....	93
Tabel 4. 26 Perhitungan faktor hambatan PVD pola segiempat.....	93
Tabel 4. 27 Derajat konsolidasi (U) pola segitiga jarak 0.8 m BH 1.....	94
Tabel 4. 28 Derajat konsolidasi (U) pola segitiga jarak 0.8 m BH 2.....	94
Tabel 4. 29 Derajat konsolidasi (U) pola segitiga jarak 0.8 m BH 3.....	95
Tabel 4. 30 Derajat konsolidasi (U) pola segitiga jarak 0.8 m BH 4.....	95
Tabel 4. 31 Penurunan akibat preloading tahap 1 BH 1.....	96
Tabel 4. 32 Penurunan akibat preloading tahap 2 BH 1.....	96
Tabel 4. 33 Penurunan akibat preloading tahap 1 BH 2.....	96

Tabel 4. 34	Penurunan akibat preloading tahap 2 BH 2.....	97
Tabel 4. 35	Penurunan akibat preloading tahap 1 BH 5.....	97
Tabel 4. 36	Penurunan akibat preloading tahap 2 BH 5.....	97
Tabel 4. 37	Penurunan akibat preloading tahap 1 BH 6.....	97
Tabel 4. 38	Penurunan akibat preloading tahap 2 BH 6.....	98
Tabel 4. 39	Hasil analisis perbaikan PVD dan Preloading.....	98
Tabel 4. 40	Analisis rencana anggaran biaya dan waktu.....	99
Tabel 4. 41	Penurunan akibat PVD, preloading 2 m dan vacuum BH1.....	101
Tabel 4. 42	Penurunan akibat PVD, preloading 2 m dan vacuum BH2.....	101
Tabel 4. 43	Penurunan akibat PVD, preloading 2 m dan vacuum BH5.....	101
Tabel 4. 44	Penurunan akibat PVD, preloading 2 m dan vacuum BH6.....	102
Tabel 4. 45	Hasil analisis perbaikan PVD, Preloading dan Vacuum.....	102
Tabel 4. 46	Analisis biaya dan waktu pekerjaan PVD, Preloading dan Vacuum...103	
Tabel 4. 47	Data compressibility tanah.....	105
Tabel 4. 48	Tabel stone column BH1 (Laporan Struktur KBN, 2018).....	106
Tabel 4. 49	Tabel stone column BH2 (Laporan Struktur KBN, 2018).....	106
Tabel 4. 50	Tabel stone column BH5 (Laporan Struktur KBN, 2018).....	107
Tabel 4. 51	Tabel stone column BH6 (Laporan Struktur KBN, 2018).....	107
Tabel 4. 52	Analisis biaya dan waktu pekerjaan Stone column.....	108
Tabel 4. 53	Analisis daya dukung cerucuk.....	110
Tabel 4. 54	Analisis biaya dan waktu pekerjaan cerucuk.....	110
Tabel 4. 55	Summary hasil analisa.....	115
Tabel 4. 56	Lendutan.....	120
Tabel 4. 57	Support Reaction.....	121
Tabel 4. 58	Analisis biaya dan waktu pekerjaan Slab on Pile.....	123

Tabel 4. 59 Resume hasil perhitungan daya dukung ijin dan penurunan.....	125
Tabel 4. 60 Resume dan data hasil perhitungan pada metode perbaikan tanah.....	126
Tabel 4. 61 Hasil Penilaian dan pemilihan metode perbaikan tanah.....	127

## **BAB I PENDAHULUAN**

Perdagangan antar negara dengan menggunakan peti kemas terus mengalami peningkatan yang luar biasa. Berbagai negara berlomba dalam membangun terminal peti kemas modern yang dilengkapi dengan peralatan modern, otomatisasi sistem, peralatan keamanan yang canggih, layanan operasional yang cepat, dan sumber daya manusia yang ahli di bidangnya. Kelancaran arus peti kemas di pelabuhan merupakan salah satu faktor pendukung berkembangnya suatu daerah yang secara langsung dapat berdampak pada perkembangan perekonomian daerah atau wilayah setempat (Tedy Herdian, 2018).

Pada 2017, arus peti kemas tercatat tumbuh 7,89%, tertinggi sejak 2013 sekaligus melampaui pertumbuhan rerata dalam 4 tahun terakhir. (Maulana, 2018)



Gambar 1. 1 Depo petikemas (*Oceanweek, 2018*)

Berdasarkan pertimbangan di atas maka PT. KBN (Persero) berencana untuk berinvestasi dalam pengembangan depo kontainer, dimana kebutuhan depo kontainer tersebut sangat banyak dan juga menjanjikan. Secara tidak langsung dengan pembangunan depo kontainer tersebut, PT. KBN (Persero) juga ikut membantu dalam mengurangi waktu tunggu kapal (*dwelling time*) yang terjadi di Pelabuhan Tanjung Priok.



## 1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi khususnya di bidang ekspor import sangat mempengaruhi pertumbuhan arus petikemas sehingga kebutuhan akan properti siap pakai seperti penyewaan gedung pabrik standard serta jasa pelayanan logistik berupa pelayanan terpadu untuk pergudangan berikat dan pergudangan umum, penyiapan depo petikemas (Hikam, 2019).

Membangun dan membuat rekayasa konstruksi bangunan untuk penumpukan petikemas pada tanah lunak di daerah pantai di daerah Jakarta Utara yang merupakan tanah pesisir dan pada umumnya tanah lunak bersifat kurang menguntungkan secara teknis untuk mendukung suatu pekerjaan konstruksi.

## 1.2. Maksud dan Tujuan

Semua kegiatan pada depo kontainer merupakan penumpukan kontainer dengan pergerakan kendaraan bertonase berat dan dapatlah kita bayangkan berapa beban yang terjadi pada tanah tersebut.

Plastisitas yang tinggi, kembang susut yang tinggi, daya dukung yang rendah, kandungan air yang tinggi dan sulit terdrainase karena permeabilitas tanah relatif rendah serta kompresibilitas yang besar menyebabkan tanah mengalami penurunan yang besar dan dalam waktu yang sangat lama. Hal inilah yang sering menjadi masalah dalam pelaksanaan suatu pekerjaan konstruksi (M.Das, 2011).

Optimalisasi menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia adalah berasal dari kata dasar optimal yang berarti terbaik, tertinggi, paling menguntungkan, menjadikan paling baik, menjadikan paling tinggi, pengoptimalan proses, cara, perbuatan mengoptimalkan (menjadikan paling baik, paling tinggi, dan sebagainya) maka makna optimalisasi adalah suatu tindakan, proses, atau metodologi untuk membuat sesuatu (sebagai sebuah desain, sistem, atau keputusan) menjadi yang paling baik. Maka disimpulkan bahwa optimalisasi adalah suatu proses, melaksanakan pekerjaan yang dipilih (dari beberapa *alternatif*) dengan terencana guna mencapai hasil dan kinerja yang optimal.

Maksud :

Maksud dari penelitian ini adalah memahami konsep dan teori dasar geoteknik mampu membaca laporan hasil tanah dan menginterpretasikan kedalam sebuah analisis tanah yang kemudian digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung dan penurunan akibat konsolidasi serta waktu dan laju penurunan memberi rekomendasi termasuk pemahaman pada beberapa metode perbaikan tanah, membandingkan metode tersebut terhadap faktor waktu pekerjaan, tingkat kesulitan dan biaya dalam bentuk bobot atau skor (Hikam, 2019).

Tujuan :

Dari rumusan masalah diatas diharapkan mencapai tujuan sebagai berikut :

1. Memahami dan menganalisa beberapa metode perbaikan tanah/ pematangan lahan.
2. Mendapatkan besar dan waktu pemampatan tanah dari tiap metode
3. Merencanakan metode yang paling optimal dari perkuatan tanah dengan pendekatan geoteknis atau pondasi
4. Mengetahui sasaran dari perbaikan tanah adalah untuk:
  - a. Kenaikan daya dukung
  - b. Penurunan konsolidasi dan laju penurunan pertahun
  - c. Pencapaian target penurunan karena beban rencana
  - d. Pembobotan dan penilaian tiap metode perbaikan tanah
  - e. Klasifikasi yang menyeluruh terhadap semua aspek untuk optimalisasi
  - f. Penilaian metode perbaikan dan menentukan metode perbaikan yang optimal

### 1.3. Batasan Penelitian

Membangun dan membuat rekayasa konstruksi bangunan untuk penumpukan petikemas pada tanah lunak di daerah pantai di daerah Jakarta Utara yang merupakan tanah lunak dan memerlukan teknologi perbaikan tanah.

Mempersiapkan metode perbaikan tanah pada kondisi tanah asli ataupun tanah urugan dengan tujuan membangun sebuah depo petikemas dengan semua fasilitasnya termasuk akses jalan kendaraan berat pengangkut kontainer yang mempersyaratkan daya dukung dan penurunan yang harus di hitung dan direncanakan, memerlukan suatu perencanaan perbaikan tanah yang optimal dan dibatasi pada beberapa metode perbaikan yang lazim digunakan di Indonesia pemilihan dibatasi 4 (empat) macam perbaikan tanah (geoteknik) dan beberapa yaitu :

1. PVD dan Preloading,
2. PVD dan vacuum,
3. stone column,
4. cerucuk dan
5. 1 (satu) pendekatan struktur yaitu penggunaan pile on slab.

Untuk tanah yang digunakan untuk penumpukan petikemas dan usaha untuk perbaikan tanah yang optimal dalam penelitian ini terbatas pada :

1. Disain terbatas pada area luas 6.6 Ha dengan 18 titik sondir dan 6 boring
2. Disain dengan beban petikemasisi kapasitas 20/40 feet dan alat angkutnya
3. Sistim penilaian menggunakan metode pemilihan dengan skala interval
4. Parameter penilaian adalah daya dukung, penurunan, kemudahan pelaksanaan, waktu pengerjaan, ketrampilan pekerja, pengadaan material biaya, establishment factor (Jie Han) dan faktor luar dan dalam

Sebagai ilustrasi digambarkan metode tersebut seperti dibawah ini:



Gambar 1. 2 PVD Preloading *Soil Improvement*\_(Menard, 2016)



Gambar 1. 3 PVD Preloading Vacuum *Soil Improvement*\_(Menard, 2016)



Gambar 1. 4 Stone Column *Soil Improvement*\_(Menard, 2016)



Gambar 1. 5 Cerucuk (kayu dolken) (Zainuddin, 2011)

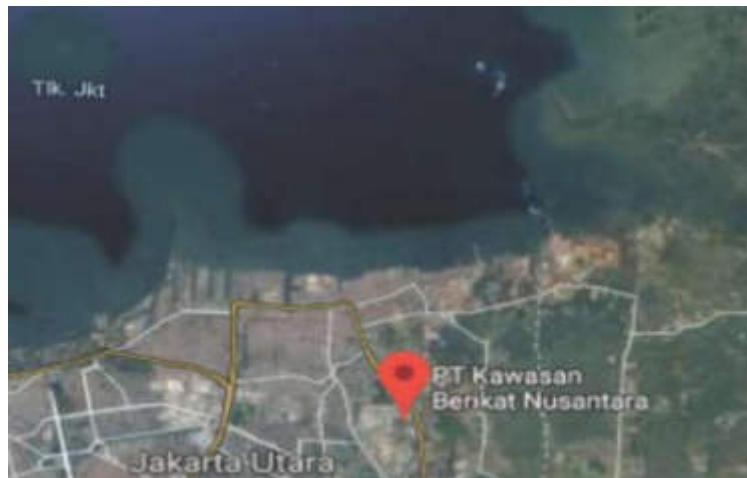


Gambar 1. 6 Tiang Pancang *Soil Improvement* (Menard, 2016)

#### 1.4. Lokasi penelitian

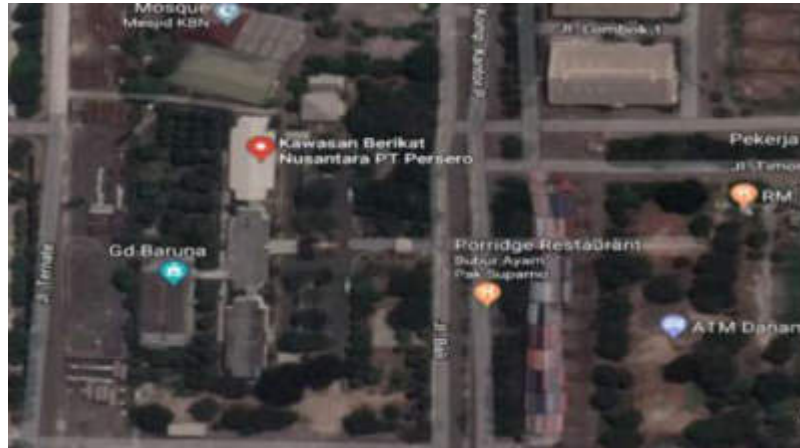
1.4. Beralamat di Jalan Raya Cakung-Cilincing (sekitar 5 km dari pelabuhan utama Tanjung Priok, Jakarta Utara), kawasan ini memiliki luas 176,7 hektar. Lokasi KBN berada di daerah pesisir Jakarta sangat dekat dengan pelabuhan Tanjung Priok.

Beralamat di Jalan Raya Cakung-Cilincing (sekitar 5 km dari pelabuhan utama Tanjung Priok, Jakarta Utara), kawasan ini memiliki luas 176,7 hektar. Lokasi KBN berada di daerah pesisir Jakarta sangat dekat dengan pelabuhan Tanjung Priok

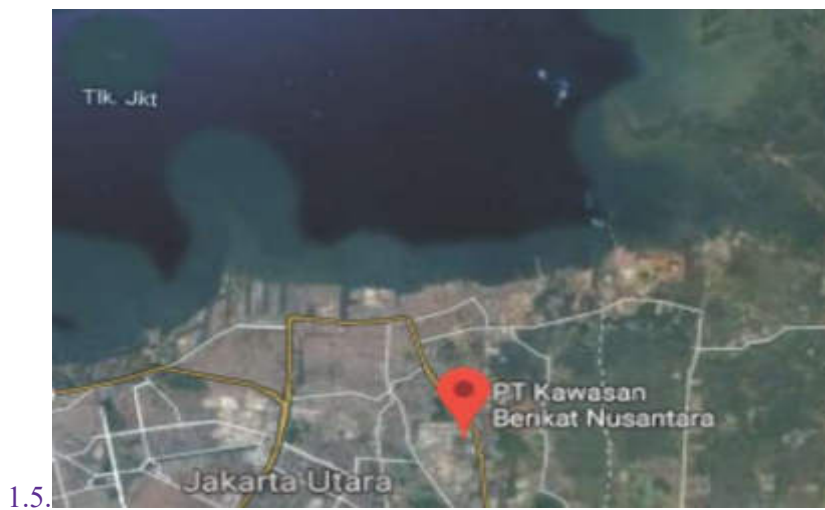


Gambar 1. 7 Satelite Map PT. KBN sumber Google map

Objek penelitian berada dilokasi Pembangunan Depo Kontainer di Blok B1 (3,9 Ha) dan beberapa Area di Blok A22 (2,7 Ha) Kawasan Cakung dengan total luas area depo sekitar 6,6 Ha.



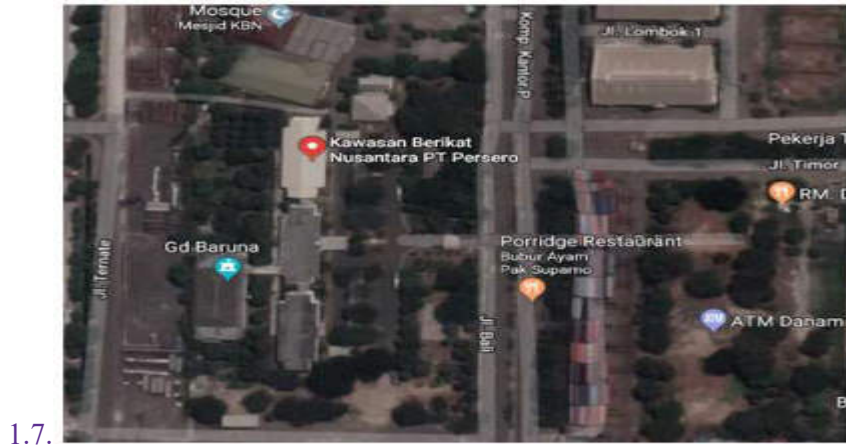
Gambar 1. 8 Peta Lokasi Penelitian sumber Google map



Gambar 1. 7 *Satelite Map PT. KBN sumber Google map*

Objek penelitian berada dilokasi Pembangunan Depo Kontainer di Blok B1 (3,9 Ha) dan beberapa Area di Blok A22 (2,7 Ha) Kawasan Cakung dengan total luas area depo sekitar 6,6 Ha.

1.6.



1.7.

### 1.5.1.8. **Gambar 1. 8** Peta Lokasi Penelitian **Sistimatika Penulisan**

Sistimatika penulisan laporan penelitian ini merupakan penjelasan singkat tiap bab sebagai berikut:

#### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian tentang Latar Belakang Masalah yang mendasari pentingnya dilakukan penelitian, identifikasi, pembatasan dan perumusan Masalah Penelitian, Maksud dan Tujuan Penelitian, Kegunaan Penelitian yang diharapkan, Lokasi penelitian yang diajukan serta Sistematika Penulisan.

#### BAB II STUDI PUSTAKA

Bab ini berisi Tinjauan teori yang mendiskripsikan pengertian, jenis-jenis dan prinsip dasar, -klasifikasi tanah dasar, properties tanah dan metode perbaikan tanah termasuk teori yang mendasari perhitungan dan metode perbaikan lahan yang tepat dan optimal pada pembangunan depo petikemas

#### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi uraian tentang metode disain Disain Penelitian, metode kerja dan oOperasional , model pembebanan untuk setiap vVariabel dan aplikasi perbaikan lahan termasuk teori dasar yang mencakup rumus rumus empiris yang digunakan dalam analisis dan disain kemudian metode pembobotan atau skoring sehingga dapat mengukur tingkat efektifitas dari suatu pekerjaan perbaikan lahan.

#### BAB IV ANALISIS DAN PENGOLAHANA DATA

Dalam bab ini diuraikan tentang hHasil pPenelitian yang meliputi deskripsi Penerbitan Bulletin Bandara, Karakteristik Responden yang menjadi sampel penelitian, Distribusi Data, Pengujian Persyaratan Analisis yang terdiri atas Pengujian Validitas dan Pengujian Reliabilitas Instrumen Penelitian, Pengukuran Koefisien Korelasi, Pengukuran Koefisien Determinasi dan Pengukuran Koefisien Regresi serta Pengujian Hipotesis; dan Pembahasan Hasil Penelitian yang dilakukan dengan pendekatan analisis kualitatifpengolahan dan analisa data tanah dengan keluaran berupa daya dukung tanah dan penurunan akibat konsolidasi serta rekomendasi perbaikan tanah yang sesuai dengan metodologi dari beberapa metode perbaikan tanah yang tepat dan optimal yang telah dibahas di bab sebelumnya-

#### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi uraian tentang pokok-pokok kesimpulan dan saran-saran yang perlu disampaikan kepada pihak-pihak yang berkepentingan dengan hasil penelitian.



## **BAB 2**

### **-STUDI PUSTAKA**

Membangun dan membuat rekayasa konstruksi bangunan untuk penumpukan petikemas pada tanah lunak di daerah pantai di daerah Jakarta Utara yang merupakan tanah pesisir dan pada umumnya tanah lunak bersifat kurang menguntungkan secara teknis untuk mendukung suatu pekerjaan konstruksi. Karena hal tanah asli berupa tanah pasiran dengan daya dukung rendah dan konsolidasi tinggi maka biasanya di daerah pesisir harus dilakukan perbaikan tanah dengan mengganti tanah asli yang berpasir dengan tanah lempung dan dipadatkan dengan metode tertentu sehingga dapat kita simpulkan bahwa kondisi tanah di daerah pesisir rata-rata berupa tanah urugan. Menurut beberapa tulisan maka karakteristik tanah pesisir adalah pasiran dan dalam ilmu geoteknik tanah type ini adalah soft soil secara spesifik tanah pasiran (Taufiq, 2016)

Studi pustaka dilakukan untuk menemukan informasi yang relevan sesuai dengan objek penelitian dan menambah pengetahuan mengenai masalah yang diteliti selain itu untuk mendapatkan landasan teori yang dapat dijadikan pedoman ketika melakukan pemecahan masalah dan merumuskan hipotesis yang akan diuji. Dengan melakukan studi pustaka kita juga dapat menghindari penelitian terhadap aspek-aspek dari suatu permasalahan yang telah diteliti sebelumnya.

#### **2.1. Sifat dan karakteristik fisika tanah**

##### **2.1.2.2.**

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (M.Das, 1993) p.66

### 2.1.1 Sistem Klasifikasi Tanah *UNIFIED*

Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh Cassagrande dalam tahun 1942

Kelompok tanah pada sSistem UNIFIED (*Unified Soil Classification*

*System/USCS*): ~~membagi tanah ke dalam dua kelompok utama:~~

- a. Tanah berbutir kasar → adalah tanah yang lebih dan 50% bahannya tertahan pada ayakan No. 200. Tanah butir kasar terbagi atas kerikil dengan simbol G (*gravel*), dan pasir dengan simbol S (*sand*).
- b. Tanah berbutir halus → adalah tanah yang lebih dan 50% bahannya lewat saringan No. 200. Tanah butir halus terbagi atas lanau dengan simbol M (*silt*), lempung dengan simbol C (*clay*), serta lanau dan lempung organik dengan simbol O, bergantung pada tanah itu terletak pada grafik plastisitas. Tanda L untuk plastisitas rendah dan tanda H untuk plastisitas tinggi.

~~untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan tenagn yang dilaksanakan oleh The Army Corps Engineers.~~ Tabel 2. 1 *Sistem UNIFIED Soil Classification*

(Cassagrande 1948); (Bowles, 1997) p. 32

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama umum		
Tanah Beton Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan no. 200	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayak No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
		Kerikil dengan butiran halus	GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
			GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Kerikil 50% atau lebih dai fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4		Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SP	Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
			SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
	Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang		ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
				CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clay)
OL				Lanau – organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%			MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, ataulanau diatomae, lanau yang elastis	
			CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clay)	
			OH	Lempung organic dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	

Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi
--	----	---

Simbol lain yang digunakan dalam klasifikasi tanah ini adalah:

W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik)

P = *poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk)

L = *low plasticity* (plastisitas rendah) ( $LL < 50$ )

H = *high capacity* (plastisitas tinggi) ( $LL > 50$ )

### 2.1.2 ~~Kepadatan tanah~~

~~Untuk mengevaluasi kepadatan dari tanah, void ratio merupakan perbandingan dari volume void dengan volume solid ( $V_v/V_s$ ). ASTM D4253 and ASTM D4254 dapat digunakan untuk menentukan nilai maksimal dan minimal dari void ratio adalah diatas 15% (berat kering) dari partikel tanah yg lolos saringan no 200. Dengan batasan maksimal dan minimal dari void ratio maka kepadatan relatif dari tanah,  $D_r$  dapat dihitung sebagai berikut : (Han, 2015 #62)~~

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (2.1)$$

$$e_{max} = e_{min} \dots \quad (2.2)$$

~~dimana~~

~~$e_{max}$  = maximal void ratio~~

~~$e_{min}$  = minimal void ratio~~

~~$e$  = void ratio of soil in place~~

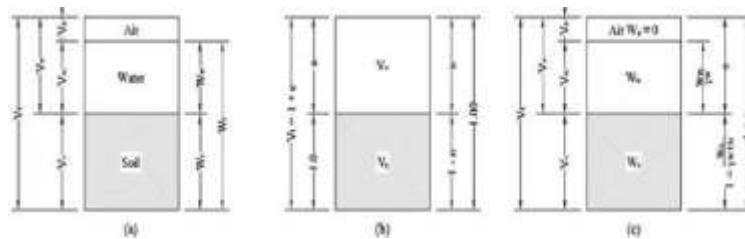
**Tabel 2. 2 Qualitative Description of Degree of Density**  
(Han, 2015)

$D_r$ (%)	Description
0–25	Very Loose
25–50	Loose
50–70	Medium Dense
70–85	Dense
85–100	Very Dense

Deskripsi mutu dari derajat kepadatan pada tanah coarse-grained yang disajikan pada tabel 2.1. untuk type tanah kategori padat dapat ditentukan jika memiliki nilai  $D_r > 70\%$ . Bobot ditentukan oleh perbandingan berat terhadap volume tanah dengan mudah diukur di laboratorium dan lapangan; sementara itu untuk parameter ground improvement untuk pondasi dangkal misalnya bobotnya ditentukan daari kondisi kering, lembab dan jenuh. Bobot berat kering dan kelembaban terdapat pada relasi isi kadar air pada tanah. (Han, 2015)

### 2.1.32.1.2 Komposisi Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (M.Das, 2010).



Gambar 2. 1 Blok Diagram Massa Tanah (Bowles, 1997) p.18

Hubungan volume - berat

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \quad (2.1)$$

Dimana:

$V_s$  = Volume butiran padat

$V_v$  = Volume pori

$V_w$  = Volume air dalam pori

$V_a$  = Volume udara dalam pori

Apabila udara dianggap tidak memiliki berat, maka berat total dari contoh tanah dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$W = W_s + W_w \quad (2.2)$$

Dimana :

$W_s$  = Berat butiran padat

$W_w$  = Berat air

Hubungan yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*), dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

- a. Angka pori / *void ratio* ( $e$ ), didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat, atau :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.3)$$

- b. Porositas ( $n$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dengan volume tanah total, yang dinyatakan dalam persen yaitu :

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (2.4)$$

- c. Derajat kejenuhan ( $s$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air dengan volume pori, dinyatakan dalam persen, yaitu :

$$s = \frac{V_w}{V_v} \quad (2.5)$$

### 2.1.3 M

## Modulus Elastisitas

### 2.1.1

#### 2.1.1 Modulus Elastisitas Tanah

Nilai modulus Young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari Triaxial Test. Nilai Modulus elastisitas ( $E_s$ ) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan seperti pada Tabel. [2.2](#)

Tabel 2. 2 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles, 1997)

Jenis Tanah	Es ( kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Lempung</b>	
Sangat lunak	3 - 30
Lunak	20 - 40
Sedang	45 - 90
Keras	70 - 200
Berpasir	300 - 425
<b>Pasir</b>	
Berlanau	50 - 200
Tidak Padat	100 - 250
Padat	500 - 1000
<b>Pasir dan Kerikil</b>	
Padat	800 - 2000
Tidak Padat	500 - 1400
Lanau	20 - 200
Loses	150 - 600
Cadas	1400-1400 - 14000

#### 2.1. 4 Poisson's Ratio

##### 2.1. 2 Poisson's Ratio

Nilai *poisson's ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan pemuai lateral. Nilai *poisson's ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada tabel dibawah ini

Tabel 2. 3 Hubungan Antara Relasi Jenis Tanah dan *Possion's Ratio*

(M.Das, 1995)

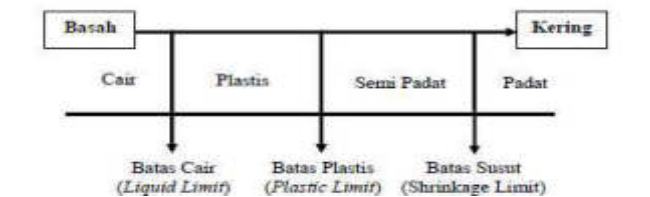
Jenis Tanah	Poisson's Ratio ( $\mu$ )
Lempung jenuh	0,4 - 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 - 0,3
Lempung berpasir	0,2 - 0,3
Lanau	0,3 - 0,35
Pasir padat	0,2 - 0,4
Pasir kasar (e = 0,4 - 0,7)	0,15
Pasir halus (e = 0,4 - 0,7)	0,25
Batu	0,1 - 0,4
Loses	0,1 - 0,3



## 2.1.5 Batas-Batas Konsistensi Tanah (*Atterberg*)

### 2.1.3 2.1.6

*Atterberg* adalah ilmuwan dari Swedia yang mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi, yang dikarenakan batas-batas ini tidak merupakan sifat-sifat fisika yang jelas maka dipakai cara empiris untuk menentukannya. Kegunaan batas *Atterberg* dalam perencanaan adalah memberikan gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk yaitu kekuatan kekuatannya rendah, sedangkan *compressibility*-nya tinggi sehingga sulit dalam hal pematatannya. Batas-batas konsistensi tanah dapat dilihat pada gambar dibawah ini (Bowles, 1997)



Gambar 2. 2 Batas batas konsistensi tanah

- Batas cair (LL) adalah kadar air tanah antara keadaan cair dan plastis
  - Batas plastis (PL) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis
- e. Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis, dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis (atau:  $PI = LL - PL$ ) menunjukkan tingkat keplastisan tanah

menurut dapat dilihat pada tabel dibawah ini: Tabel 2. 4 Klasifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Nilai Indeks Plastisitas

IP	JENIS TANAH	PLASTISITAS	KOHESI
0	Pasir	Non Plastis	Non Kohesif

<7	Lanau	Rendah	Agak Kohesif
7-17	Lempung berlanau	Sedang	Kohesif
>17	Lempung murni	Tinggi	Kohesif

#### 2.1.4

#### 2.1.5.2.1.7 Potensi masalah pada masing-masing type tanah

Potensi masalah pada tanah dapat di klasifikan berdasarkan tipe tanah sebagai berikut

Tabel 2. 5 Tabel Type Tanah (Han, 2015)

TYPE TANAH	NAMA	POTENSI MASALAH
NATURAL	Lempung	Kekuatan rendah, kompresibilitas tinggi, deformasi kembang susut yang tinggi dan permeabilitas rendah
	Lanau	Kekuatan rendah, kompresibilitas tinggi, berpotensi likuifaksi, permeabilitas rendah dan mudah terkikis
	Tanah Organik	Kompresibilitas tinggi, mudah mengembang
		Kekuatan rendah, kompresibilitas tinggi, berpotensi likuifaksi, permeabilitas rendah dan mudah terkikis
	Tanah Ekspansif	Perubahan volume tanah yang tinggi
	Loess (Debu pasir)	Perubahan volume tanah yang tinggi, berpotensi sangat mudah runtuh
URUGAN	Urugan sembarang	Kekuatan rendah, kompresibilitas tinggi, tidak seragam dan berpotensi sangat mudah runtuh
	Bekas galian	Kadar air tinggi, kekuatan rendah dan kompresibilitas tinggi
	Reklamasi	Kadar air tinggi, kekuatan rendah dan kompresibilitas tinggi
	Materi daur ulang	Tidak seragam, sifat sangat bervariasi
	Materi bekas solid	Kekuatan rendah, kompresibilitas tinggi, tidak seragam dan berpotensi ter degradasi tinggi (terlepas)
	produk olahan Materi buatan	Kekuatan rendah, kompresibilitas tinggi dan berpotensi sangat mudah runtuh

#### 2.2. h

#### 2.1.4 Khlhbj

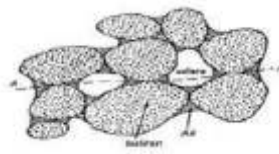
### 2.3. Sifat dan karakteristik mekanika tanah

Sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari struktur tanah bila dibebani dengan gaya atau tekanan. Parameter kekuatan mekanis ini berupa tegangan tanah, kekuatan geser tanah termasuk nilai kohesi dan parameter lainnya yang akan kita bahas dibawah ini.

#### 2.2.1 Tegangan tanah

#### 2.2.1.2.2

Tegangan tanah terdiri dari butiran padat dan ruang pori, ruang pori dapat berisi udara atau air atau keduanya. Bila tanah jenuh sempurna, ruang pori ini terisi penuh dengan air.



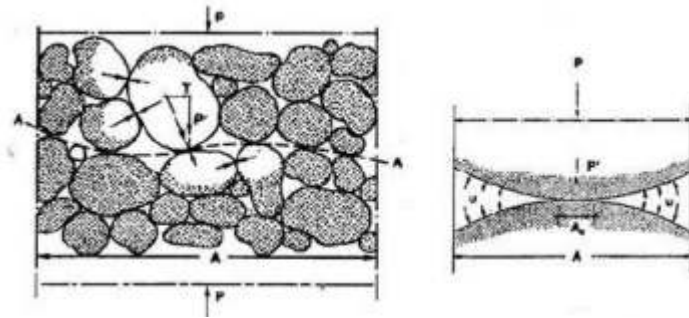
Gambar 2.3 Susunan Tanah Tak Jenuh (Bowles, 1997)

Besar bidang kontak antar butiran tergantung bentuk dan susunan butiran. Tegangan yang terjadi pada bidang kontak antar butiran dipengaruhi oleh tekanan air pori. Volume tanah secara keseluruhan dapat berubah akibat adanya perubahan susunan butir, sehingga terjadi pula perubahan gaya-gaya yang bekerja pada butiran;

a. Tegangan geser ditahan oleh butiran tanah, yaitu oleh gaya-gaya yang berkembang pada bidang singgung antar butiran.

a.—

b. Tegangan normal ditahan oleh tanah melalui penambahan gaya antar butirnya. Luas bidang kontak antar butiran sangat kecil, dimana untuk butiran bulat kontak ini berupa sebuah titik.



Gambar 2. 4 (a) Gaya Antar Butiran , (b) Kontak Antar Butir (Bowles, 1997)

Terzaghi (1923) memberikan prinsip tegangan efektif pada segumpal tanah, pada tanah jenuh sempurna yang terjadi adalah sebagai berikut:

a. Tegangan Normal

Tegangan pada suatu titik pada tanah yang bersifat sama di kedalaman tertentu tanpa memperhitungkan pengaruh dan berat air dan merupakan hasil perkalian dari berat volume tanah dengan kedalaman titik yang ditinjau, dan berat volume tanah yang digunakan merupakan berat volume tanah.

$$\sigma = \gamma t \cdot z \quad (2.6)$$

b. Tegangan Efektif

Merupakan gaya per satuan luas yang dipikul oleh butir-butir tanah yang pertama kali diperkenalkan oleh Terzaghi 1925, berdasarkan hasil percobaan. Aplikasikan pada tanah yang jenuh air dan berhubungan dengan dua tegangan :

- Tegangan normal total ( $\sigma$ ) yaitu tegangan yang diakibatkan oleh berat tanah total termasuk air pori persatuan luas dengan arah tegak lurus.
- Tekanan air pori ( $\mu$ ) atau tekanan netral yang bekerja segala arah sama besar, yaitu tekanan air yang mengisi rongga antar butiran padat.
- Tegangan normal efektif ( $\sigma'$ ) pada suatu bidang di dalam massa tanah, yaitu tegangan yang dihasilkan dari beban berat butiran tanah per satuan luas bidangnya.

$$\sigma' = \sigma - \mu \quad (2.7)$$

$$\mu = \gamma_w \cdot z \quad (2.8)$$

$$\sigma' = \gamma t. z - \gamma w. z = \gamma'. z \quad (2.9)$$

### 2.2.1 ~~h~~

### 2.2.3 Kuat Geser Tanah ~~h~~

#### 2.2.2 ~~h~~

Kekuatan geser tanah (*soil shear strength*) dapat didefinisikan sebagai kemampuan maksimum tanah untuk bertahan terhadap usaha perubahan bentuk pada kondisi tekanan (*pressure*) dan kelembapan tertentu. Menurut Mohr (1910) keruntuhan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi tersebut dinyatakan (Wesley, 2017)

$$\tau = f(\sigma) \quad (2.10)$$

dengan;

$\tau$  = tegangan geser (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = tegangan normal (kN/m<sup>2</sup>)

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya dengan gesekan antar butir tanah,

●  
Coulomb (1776) mendefinisikan-;

$$\tau = c + \sigma \tan \Theta \quad (2.11)$$

$\tau$  = kuat geser tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$\sigma$  = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m<sup>2</sup>)

$c$  = kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>)

$\Theta$  = sudut geser dalam tanah (°)

### 2.2.2 ~~h~~

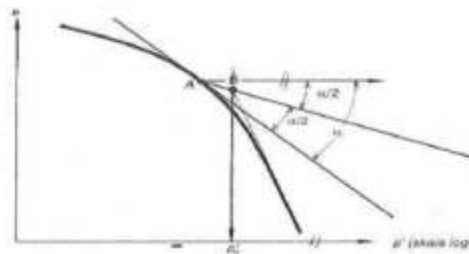
### 2.2.4 Konsolidasi

### 2.2.3 Konsolidasi

Konsolidasi adalah proses terdispasinya air tanah akibat bekerjanya beban, yang terjadi sebagai fungsi waktu karena kecilnya permeabilitas tanah. Proses ini berlangsung terus sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total yang telah benar-benar hilang. Peristiwa konsolidasi umumnya dipicu oleh adanya beban di atas tanah. Muatan tersebut dapat berupa tanah atau konstruksi bangunan yang berdiri di atas tanah. Bila lapisan tanah mengalami beban di atasnya, maka air pori akan mengalir keluar dari lapisan tersebut dan volumenya akan berkurang atau dengan kata lain akan mengalami konsolidasi (Wesley, 2017)

#### a.A. Perhitungan Penentuan Tekanan Prakonsolidasi

Tegangan maksimum yang pernah dialami tanah disebut tekanan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure*) ( $\sigma_p'$ ) atau ( $p_c'$ ).



Gambar 2. 5 Prosedur Penentuan Tekanan Prakonsolidasi  $p_c'$  (Casagrande, 1936)

Menurut riwayat pembebanannya, tanah dibedakan atas :

1. *Normally consolidated*, dimana  $OCR \leq 1$

Adalah kondisi jika tekanan overbuden diatas tanah lebih besar dari yang pernah membebaninya

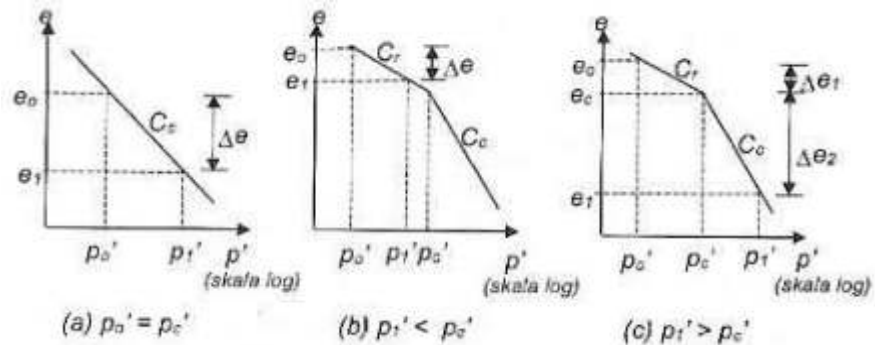
2. *Over consolidated*, dimana  $OCR > 1$

Atau kondisi *prakonsolidasi* adalah jika riwayat tegangan yang mempengaruhi keadaan tegangan lebih besar dari tekanan overburden saat ini terjadi akibat perubahan tegangan total yang terjadi karena erosi, penggalian saluran dan pengeringan lapisan permukaan (Bowles, 1997).

Dimana,

$$OCR = \text{Overconsolidation ratio} = \sigma_p' / \sigma_o' \rightarrow p_1' / p_o'$$

$\sigma_p'$  = Preconsolidation pressure (kN/m<sup>2</sup>);  $\sigma_o'$  = Effective overburden pressure (kN/m<sup>2</sup>)



Gambar 2. 6 (a) Lempung *normally consolidated* (b) dan (c) Lempung *overconsolidated*

Dari Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa (Casagrande, 1936) menyarankan suatu cara mudah untuk menentukan besarnya tekanan prakonsolidasi,  $P_c$ , dari grafik  $e$  versus  $\log p$  yang digambar dari hasil percobaan konsolidasi di laboratorium.

#### b.B. Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal

Koefisien konsolidasi vertikal ( $C_v$ ) menentukan kecepatan peng pada arah vertikal dalam tanah. Karena pada umumnya konsolidasi ke satu arah saja, yaitu arah vertikal, maka koefisien konsolidasi sangat be terhadap kecepatan konsolidasi yang akan terjadi (M.Das, 2010).



Harga  $C_v$  dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

$$C_v = \frac{T_v \times H^2}{t} \quad (2.12)$$

$C_v$  = Koefisien konsolidasi arah vertikal ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

$T_v$  = Faktor waktu konsolidasi arah vertikal

$t$  = Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi  $U\%$

$H$  = Panjang maksimum lintasan drainase

#### ~~e. Koefisien Konsolidasi Arah Horizontal~~

~~Untuk material tanah jenis lempung homogen maka nilai konsolidasi horizontal ( $C_h$ ) (Larsson, 2013)~~

$$C_h = 1 - 2 * C_v \quad (2.16)$$

d. Koefisien Konsolidasi Arah Vertikal Gabungan

$C_v$  gabungan didapat dari nilai  $C_v$  dan tebal lapisan tanah setiap pengujian yang didapatkan dari borehole (Larsson, 2013), rumus untuk mencari  $C_v$  gabungan adalah sebagai berikut:

$$C_v \text{ Gabungan} = \frac{(H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5)^2}{\left[ \left( \frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} \right) + \left( \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} \right) + \left( \frac{H_3}{\sqrt{C_{v3}}} \right) + \left( \frac{H_4}{\sqrt{C_{v4}}} \right) + \left( \frac{H_5}{\sqrt{C_{v5}}} \right) \right]^2} \quad (2.17)$$

e. Derajat Konsolidasi Arah Vertikal

Menentukan nilai derajat konsolidasi arah vertikal dapat dinyatakan dengan dua formula berikut (M.Das, 2010):

Jika  $U_v < 60\%$ , Maka  $U_v$ :

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4T_v}{\alpha}}}{\left( 1 + \left( \frac{4T_v}{\alpha} \right)^{2.8} \right)^{0.179}} \quad (2.17)$$

• Jika  $U_v > 60\%$ , Maka  $U_v$ :

$$U_v = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{(2m+1)^2} \text{EXP} \left[ -\frac{\pi^2(2m+1)^2}{4} T_v \right] \quad (2.18)$$

Dimana:

$U_v$  = Derajat konsolidasi arah vertikal

$T_v$  = Faktor waktu konsolidasi arah vertikal

$m$  = Bilangan integer = 0

Exp = Bilangan eksponen = 2,7182818

f. Derajat Konsolidasi Arah Radial

Dengan menggunakan metode equal strain consolidation (M.Das, 2010), maka untuk menentukan nilai derajat konsolidasi arah radial,

$U_r$ :

$$U_r = 1 - \frac{U_{av}}{U_r} = 1 - \exp\left(\frac{-8T_r}{m}\right) \quad (2.19)$$

Dimana :

$U_r$  = Derajat konsolidasi arah radial

$T_r$  = Faktor waktu konsolidasi arah radial

$$m = \frac{n^2}{n^2 - S_z^2} \ln\left(\frac{n}{S_z}\right) - \frac{3}{4} + \frac{S_z^2}{4n^2} + \frac{k_r}{k_s} \left(\frac{n^2 - S_z^2}{n^2}\right) \ln S_z$$

$$S_z = \frac{r_s}{r_w}$$

$$n = \frac{d_e}{d_w}$$

$$\frac{k_r}{k_s} = 2$$

$d_e$  = Diameter ekivalen (cm)

$d_w$  = Diameter ekivalen PVD (cm)

$r_s$  = Jari jari smear zone (cm)

$r_w$  = jari jari ekivalen PVD (cm)

$k_s$  = Koefisien permeabilitas tanah arah radial pada smear zone =  
(1-15) $k_r$

$k_r$  = Koefisien permeabilitas tanah arah radial = (1-15) $k_{va}$

#### g. Derajat Konsolidasi Rata-Rata

Derajat konsolidasi tanah (U) adalah perbandingan penurunan tanah pada waktu tertentu dengan penurunan total. Persamaan derajat konsolidasi pada tanah yang distabilisasi dengan menggunakan sistem PVD (M.Das, 2010), adalah sebagai berikut:

$$U = 1 - (1 - U_r)(1 - U_v) \quad (2.20)$$

Dimana :

U = Derajat konsolidasi rata-rata

$U_r$  = Derajat konsolidasi arah radial

$U_v$  = Derajat konsolidasi arah vertikal

Tabel 2. 6 Variasi faktor waktu terhadap derajat konsolidasi

Uav%	0	10	20	30	40	50	55	60
------	---	----	----	----	----	----	----	----

T <sub>v</sub>	0	0.008	0.0314	0.0707	0.126	0.196	0.239	0.286
----------------	---	-------	--------	--------	-------	-------	-------	-------

U <sub>av</sub> %	65	70	75	80	85	90	95	100
T <sub>v</sub>	0.304	0.403	0.477	0.567	0.684	0.848	1.129	∞

### h.C. Waktu Konsolidasi

Perhitungan lamanya waktu konsolidasi di lapangan mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$T_v = \frac{C_v \times t}{H^2} \quad (2.13)$$

- $T_v$  = Faktor waktu konsolidasi arah vertikal  
 $H$  = Panjang maksimum lintasan drainase (cm)  
 $C_v$  = koefisien konsolidasi arah vertikal (cm<sup>2</sup>/s)  
 $t$  = Waktu konsolidasi (s)

### i.D. Faktor Waktu Konsolidasi Arah Radial

Menentukan faktor waktu radial, T<sub>r</sub>:

$$T_r = \frac{C_h \cdot t}{d_e^2} \quad (2.14)$$

- $T_r$  = Faktor waktu konsolidasi arah radial  
 $C_h$  = Koefisien konsolidasi arah horizontal (cm<sup>2</sup>/s)  
 $t$  = Waktu konsolidasi (s)  
 $d_e$  = Diameter ekivalen (cm)

### j.E. Perhitungan Besarnya Penurunan Konsolidasi

Besarnya penurunan konsolidasi dapat dicari dengan mempergunakan persamaan sebagai berikut:

$$S_c = \frac{\Delta e}{1+e_0} H = \frac{e_1 - e_0}{1+e_0} H \quad (2.15)$$

Besarnya penurunan pada kondisi tanah lempung yang terkonsolidasi:

Apabila  $(P_o) = P_c \rightarrow$  *Normally Consolidated* (Gambar 2.6 (a))

$$\Delta_e = C_c \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad (2.16)$$

$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_o} H \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad (2.17)$$

Apabila  $(P_o) < P_c \rightarrow$  *Over Consolidated* (Gambar 2.6 (b))

$$\Delta_e = C_r \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad (2.18)$$

$$S_c = \frac{C_r}{1 + e_o} H \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad (2.19)$$

Apabila  $(P_o) < P_c < P_1 \rightarrow$  *Over Consolidated* (Gambar 2.6 (c))

$$\Delta_e = C_r \log \frac{P_c}{P_o} + C_c \log \frac{P_o + \Delta P}{P_c} \quad (2.20)$$

$$S_c = \frac{C_r}{1 + e_o} H \log \frac{P_c}{P_o} + \frac{C_c}{1 + e_o} H \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad (2.21)$$

$$P_1 = P_o + \Delta P$$

S = Penurunan akibat proses konsolidasi (m)

$C_r$  = Indeks kompresi tanah

$C_c$  = Indeks pengembangan tanah

$P_o$  = Tegangan *overburden* efektif ( $t/m^2$ )

$P_c$  = Tegangan prakonsolidasi efektif ( $t/m^2$ )

$\Delta P$  = Penambahan tegangan ( $t/m^2$ )

$e_o$  = Angka pori

H = Tebal lapisan tanah (m)

Persamaan empiris untuk korelasi nilai  $C_c$  sebagai berikut (Holtz dan Kovacs, 1986):

- Untuk tanah Undisturbed Clays of Low to Medium Sensitivity

$$C_c = 0,009 * (LL - 10)$$

- Untuk tanah Remolded Clays

$$C_c = 0,007 * (LL - 7)$$

± Rekompresi dan Pengembangan (*Recompression and Swell*) Bagian rekompresi dari kurva konsolidasi menunjukkan tingkah laku tanah jika

mengalami tambahan beban kembali setelah sebelumnya mengalami penurunan tegangan, sedangkan jika tanah mengalami penurunan tegangan, tidak seluruhnya volume tanah kembali, dari bagian kurva ini dapat dihitung Indeks Pengembangan (*Swelling Index*),  $C_s$ , dan Index Rekompresi (*Recompression Index*).

2. Koefisien Konsolidasi ( $C_v$ ) Koefisien konsolidasi menunjukkan kecepatan pengaliran air pori selama konsolidasi, secara empiris dapat ditentukan dengan 2 cara, yaitu metoda logaritma waktu (*Casagrande*) dan metoda akar waktu (*Taylor*).

#### 2.4. Metode keruntuhan geser (Pondasi dangkal) Terzaghi – Meyerhof

##### ~~2.2.4 khgghghk~~

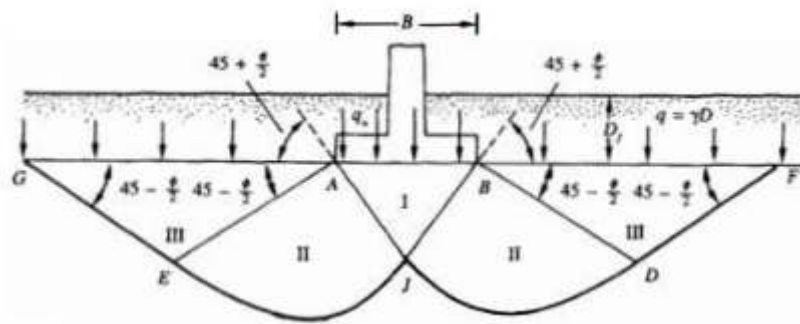
#### ~~2.4. Metode keruntuhan geser (Pondasi dangkal) Terzaghi – Meyerhof~~

Zona keruntuhan dibawah pondasi dapat dibedakan atas 3 bagian:

1. Zona I (segitiga) garis geser AJC persis dibawah pondasi
2. Zona II (geser radial) garis geser AJE dan BJD dengan garis longsor berbentuk busur JE dan JD
3. Zona III (Segitiga pasif) garis geser AEG dan BDF atau disebut juga Segitiga *Rankine passive* (M.Das, 2011). Berdasarkan pada tipe mekanisme keruntuhan inilah, daya dukung batas pondasi lajur dapat dievaluasi dengan menggunakan metode superposisi dan hasilnya sebagai berikut:

$$q_u = q_c + q_q + q_\gamma \quad (2.22)$$

Dengan  $q_c$  adalah kontribusi kohesi,  $q_q$  untuk beban luar (surcharge), dan  $q_\gamma$  untuk berat volume tanah.



Gambar 2. 7 Daya dukung tanah dan keruntuhan geser (M.Das, 2011) p. 160

Dengan menggabungkan persamaan didapat

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \tag{2.23}$$

Besaran  $N_q, N_c$  dan  $N_\gamma$  yang didefinisikan sebagai: ~~Perbedaan-perbedaan yang ada dari faktor daya dukung biasanya kecil sekali dibandingkan dengan parameter-parameter tanah yang diketahui.~~

Tabel 2. 7 Faktor Daya Dukung (M.Das, 2011)

$\psi$	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Secara umum persamaan memasukan faktor-faktor berikut:

$$q_u = c\lambda_{cs}\lambda_{cd}\lambda_{ci}N_c + q\lambda_{qs}\lambda_{qd}\lambda_{qi}N_q + \frac{1}{2}\lambda_{\gamma s}\lambda_{\gamma d}\gamma BN_\gamma \tag{2.24}$$

- a) Faktor kedalaman untuk memasukan perlawanan geser yang terjadi sepanjang permukaan bidang runtuh dalam tanah yang berada diatas dasar pondasi. ( $\lambda_{cd}, \lambda_{qd}$  dan  $\lambda_{\gamma d}$ )
- b) Faktor bentuk untuk menentukan daya dukung dari pondasi yang berbentuk persegi dan lingkaran. ( $\lambda_{cs}, \lambda_{qs}$  dan  $\lambda_{\gamma s}$ )

- c) Faktor kemiringan untuk menentukan daya dukung pondasi dimana arah dari beban membentuk sudut tertentu dengan vertikal. ( $\lambda_{ci}$ ,  $\lambda_{qi}$  dan  $\lambda_{\gamma d}$ )

9Tabel 2. 8 Harga Faktor Bentuk, Kedalaman Dan Kemiringan (M.Das, 2011)

Faktor bentuk untuk pondasi bentuk persegi (B = lebar pondasi L = panjang pondasi)
$\lambda_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_a}{N_c}\right)$
$\lambda_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right) (\tan \phi)$
$\lambda_{\gamma s} = 1 - 0,4 \left(\frac{B}{L}\right)$
Faktor bentuk untuk pondasi bentuk lingkaran dan bujur sangkar
$\lambda_{cs} = 1 + \frac{N_a}{N_c}$
$\lambda_{qs} = 1 + \tan \phi$
$\lambda_{\gamma s} = 0,6$
Faktor kedalaman $\frac{D_f}{B} \leq 1$
$\lambda_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \left(\frac{D_f}{B}\right)$
$\lambda_{cd} = \lambda_{qd} - \frac{1 - \lambda_{qd}}{N_q \cdot \tan \phi}$
$\lambda_{\gamma d} = 1$
Faktor kedalaman untuk $\phi = 0$
$\lambda_{cd} = 1 + 0,4 \left(\frac{D_f}{B}\right)$
Faktor kedalaman untuk $\frac{D_f}{B} > 1$
$\lambda_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B}\right)$
$\lambda_{cd} = \lambda_{qd} - \frac{1 - \lambda_{qd}}{N_q \cdot \tan \phi}$
$\lambda_{\gamma d} = 1$
Faktor kedalaman untuk $\phi = 0$
$\lambda_{cd} = 1 + 0,4 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B}\right)$
Faktor kemiringan
$\lambda_{ci} = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}\right)^2$
$\lambda_{qi} = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{90^\circ}\right)^2$
$\lambda_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\alpha^\circ}{\phi^\circ}\right)^2$



## 2.5. Pondasi dalam

Tiang pancang adalah batang struktural yang dapat terbuat dari kayu, beton dan besi yang digunakan untuk menyalurkan beban dari permukaan ke bagian bawah tanah terkeras. Beban dapat didistribusikan secara vertikal melalui tiang pancang langsung disalurkan ke daerah tanah keras pada ujung tiang. Distribusi beban vertikal dapat berupa friksi pada permukaan pile (*floating pile*) atau aplikasi langsung ke tanah keras (*end bearing pile*) (Bowles, 1997).

Pada tanah non kohesif (pasir dan kerikil) memiliki nilai SPT > 35 atau dari hasil sondir bila nilai perlawanan konus  $S \geq 150 \text{ kg/cm}^2$  dan pada tanah kohesif memiliki nilai kuat tekan bebas (unconfined compression strength)  $3 - 4 \text{ kg/cm}^2$  atau kira-kira nilai SPT > 15 – 20 atau dari hasil pengujian sondir mendapat nilai perlawanan konus  $S \geq 70 \text{ kg/cm}^2$

### 2.4.1. Perhitungan daya dukung

Besarnya daya dukung diijinkan adalah sebagai berikut:

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} = \frac{(Q_p + Q_s)}{SF} \quad (2.25)_{[A1]}$$

$Q_a$  = daya dukung ijin pondasi

$Q_u$  = daya dukung batas pondasi

$Q_p$  = daya dukung ujung tiang pondasi

$Q_s$  = daya dukung geser dinding tiang ; SF = faktor keamanan

- Daya dukung ujung berdasarkan data laboratorium

Nilai batas untuk kapasitas daya dukung ujung tiang adalah:

$$q_p = cN_c^* + qN_q^* \leq 50N_q^* \tan \emptyset \quad (2.26)$$

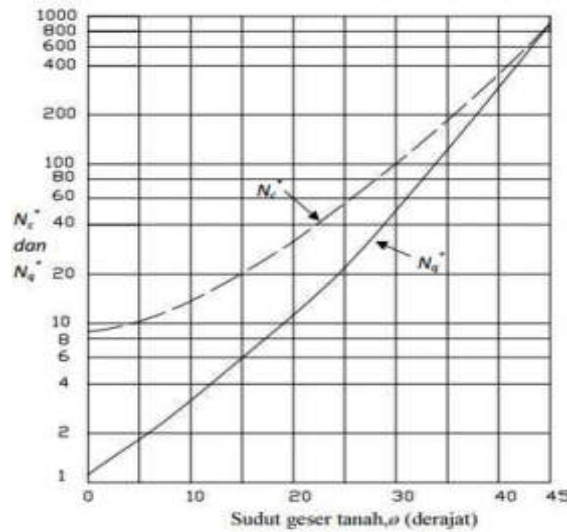
Dengan:  $\emptyset$  = sudut geser pada lapisan tanah

Untuk tiang di tanah berpasir  $c = 0$  maka persamaannya disederhanakan menjadi

$$Q_p = A_p Q' N_q^* \quad (2.27)$$

Untuk tiang pancang di dalam tanah kondisi lempung jenuh air ( $\emptyset = 0$ ),

$$\begin{aligned} \text{maka: } Q_p &= A_p Q' N_q^* \\ &= 9 C_u N_q^* \end{aligned} \quad (2.28)$$



Gambar 2. 8 Variasi nilai maksimum  $N_c^*$   $N_q^*$  - sudut geser tanah (M.Das, 2011)

- Daya dukung ujung berdasarkan data sondir (CPT)

Persamaan daya dukung batas ujung tiang berdasarkan data sondir adalah:

$$Q_p = \frac{A_p q_c}{SF} \quad (2.29)$$

$A_p$  = luas penampang ujung tiang

$q_c$  = nilai tahanan konus pada ujung tiang, diambil rata-rata nilai konus pada 3D ujung tiang dan sedalam D dibawah ujung tiang, (D= diameter tiang)

SF = faktor keamanan

- Daya dukung ujung berdasarkan data SPT

Berdasarkan pengamatan dilapangan, Meyerhof (1976) menyarankan kapasitas batas daya dukun ultimate ujung tiang ( $Q_{pu}$ ) untuk tanah homogen berbutir kasar yang diperoleh dari SPT adalah:

$$Q_{pu} = \frac{40NL}{D} \leq 400N = \frac{40NL}{D} \leq 400N \quad (2.30)$$

N = Jumlah nilai SPT rata-rata di ujung tiang (kira-kira 10 D diatas dan 4D dibawah ujung tiang)

$Q_{pu}$  = nilai kapasitas daya dukung ultimate ujung tiang

$L$  = panjang tiang ;  $D$  - diameter tiang

## 2.6. Perbaikan tanah

Sejarah perbaikan tanah sudah dimulai dari 6000 tahun yang lalu dimana orang-orang Banpo di China sudah menggunakan batu untuk menumbuk tanah sebagai support tiang kayu, 3000 tahun yang lalu di Irak menggunakan jerami dibentuk pipa kemudian dijadikan sebagai horizontal drain untuk rembesan air pori dibawah massa tanah pada struktur tinggi, dan 2000 tahun yang lalu di Roma sudah menggunakan limestone untuk konstruksi jalan (Han, 2015).

Istilah geoteknik ~~perbedaan dalam beberapa literatur yang digunakan untuk~~ tentang ground dg improvement sama dengan soil improvement, soil stabilization, ground treatment dan ground modification

Tabel 2. 9 Permasalahan Geoteknik Kemungkinan Penyebabnya (Han, 2015)

MASALAH	TEORI DASAR	KEMUNGKINAN PENYEBAB
Kegagalan daya dukung tanah	Gaya yang bekerja lebih besar dari kapasitas daya dukung ultimit tanah	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besarnya gaya yang bekerja</li> <li>• Beban yang tidak merata</li> <li>• Area pembebanan yang kecil</li> <li>• Rendahnya kekuatan tanah</li> </ul>
Besarnya penurunan ( <i>settlement</i> ) total/parsial tanah	Hukum Hooke dan penyusunan kembali partikel tanah	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besarnya gaya yang bekerja</li> <li>• Besarnya area pembebanan</li> <li>• Kompresibilitas tanah yang tinggi</li> <li>• Tanah yang tidak seragam</li> <li>• Besarnya kembang/susut tanah</li> </ul>
Tekanan Air ( <i>Hydrocompression</i> )	Gaya yang bekerja lebih besar dari tekanan pada ambang keruntuhan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Besarnya gaya yang bekerja</li> <li>• Tanah yang mudah runtuh</li> <li>• air</li> </ul>
Daya Angkat tanah	Tekanan karena mekarnya tanah lebih besar dari gaya yang bekerja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air</li> <li>• Tanah ekspansif</li> <li>• Tanah beku</li> <li>• Temperatur rendah</li> </ul>
Ketidakstabilan ( <i>instability</i> ) Pada <i>sliding</i> , <i>over turning</i> dan <i>slope failure</i>	Tegangan geser lebih besar dari kekuatan geser; gaya yang bekerja lebih besar dari gaya penahannya termasuk gaya momen dan momen penahannya	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan tinggi</li> <li>• Lereng yang curam</li> <li>• Tekanan air yang tinggi</li> <li>• Pondasi pada tanah lunak</li> <li>• Besarnya gaya/beban diatas tanah</li> <li>• Besarnya pembebanan</li> </ul>
Likuifaksi	Tegangan efektif menjadi nol karena meningkatnya tekanan pada air pori	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gempa bumi</li> <li>• Type tanah lanau dan pasir</li> <li>• Tingginya muka air tanah</li> </ul>
Erosi ( <i>Erosion</i> )	Tegangan geser yg disebabkan air lebih besar dari pada tegangan maksimum yang diijinkan pada tanah tersebut	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Air mengalir</li> <li>• Aliran air yang tinggi/cepat</li> <li>• Tanah yang mudah erosi (lanau, pasir)</li> </ul>

Rembesan ( <i>Seepage</i> )	Hukum Darcy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tingginya muka air tanah</li> <li>• Permaebilitas tanah</li> </ul>
-----------------------------	-------------	---

## 2.7. Pemilihan metode perbaikan tanah

Perkembangan dan metode modernisasi dari perbaikan tanah dilakukan sejak tahun 1920 dimana di amerika serikat telah menggunakan vertikal drain untuk mempercepat konsolidasi dari tanah lunak kemudian dipatenkan pada tahun 1925 oleh Daniel D Moran. Tahun 1926 di Carolina Utara – Amerika Serikat telah menggunakan kain katun untuk perkuatan konstruksi jalan. Tahun 1937 Metode vibro flotation dikembangkan di Jerman untuk memadatkan tanah berkohesi rendah, dan seterusnya pada tahun 1986 J.P. Giroud mengklaim kemajuan geotekstil sebagai bahan geosintetis dalam revolusi ilmu geoteknik (Han, 2015)

### Metode Perbaikan Tanah

1. *Kategori Densification*
  - a. *Shallow Compaction*
    - 1) *Traditional Compaction*
    - 2) *High-Energy Impact Roller Compaction*
    - 3) *Rapid Impact Compaction*
    - 4) *Intelligent Compaction*
  - b. *Deep Compaction*
    - 1) *Dynamic Compaction*
    - 2) *Vibro Compaction*
2. *Replacement*
  - a. *Shallow Replacement*
    - 1) *Overexcavation Replacement*
  - b. *Deep Replacement*
    - 1) *Sand Compaction Columns*
    - 2) *Stone Columns*
    - 3) *Rammed Aggregate Columns*
    - 4) *Vibro-Concrete Columns*

- 5) *Geosynthetic-encased Columns*
- 3. *Drainage, Dewatering and Consolidation*
  - a. *Drainage*
    - 1) *Fill Drains*
    - 2) *Drainage Geosynthetics*
  - b. *Dewatering*
    - 1) *Open Pumping*
    - 2) *Well System*
    - 3) *Electro Osmosis Method*
  - c. *Consolidation*
    - 1) *Fill Preloading*
    - 2) *Vacuum Preloading*
- 4. *Chemical Stabilization*
  - a. *Shallow Stabilization*
    - 1) *Chemical Stabilization of Subgrade and Base*
  - b. *Deep Stabilization*
    - 1) *Grouting*
    - 2) *Jet Grouting*
    - 3) *Deep Mixing*
- 5. *Reinforcement*
  - a. *Fill Reinforcement*
    - 1) *Geosynthetic-Reinforced Slopes*
    - 2) *Geosynthetic- Reinforced Embankments*
    - 3) *Geosynthetic- Reinforced Column - Supported Embankments*
    - 4) *Mechanically Stabilized Earth Wall*
    - 5) *Geosynthetic- Reinforced Foundations*
    - 6) *Geosynthetic- Reinforced Roads*
  - b. *In-Situ Ground Reinforcement*
    - 1) *Ground Anchor*
    - 2) *Soil Nails*
    - 3) *Micropiles*

## 6. Thermal and Biological Treatment

### a. Ground Freezing

### b. Biological Treating

Pada penelitian ini penulis memilih dari beberapa metode perbaikan tanah diatas menjadi hanya 4 metode untuk diteliti yaitu:

1. PVD dan *preloading*
2. PVD dan *Vacuum*
3. *Stone column*
4. Cerucuk
5. Tiang pancang

dan pada tabel berikut akan di uraikan secara jelas diuraikan sebagai berikut

Tabel 2. 10 Metode Perbaikan tanah kategori kerapatan/*densification* (Han,2015)

Metode dan tingkat keberhasilan	Deskripsi umum	Keuntungan	Aplikasi
<b>Stone Column</b> (Kolom batu)	Mengganti tanah bermasalah pada casing yang masukan kedalam tanah pada kedalaman tertentu dengan batuan dan dipadatkan dengan vibrasi	Menaikan kapasitas kekuatan tanah dan stabilitas, mengurangi penurunan, potensi likuifaksi dan mempercepat konsolidasi	Cocok untuk luasan tanah dengan kondisi (undrained shear strength > 15 kPa) pada kedalam 5-10 m (sampai lebih dari 30 m) digunakan untuk menaikan mutu pondasi
Level = 5*			
<b>Fill Preloading</b> (Urugan beban awal)	Aplikasi beban sementara diatas permukaan tanah untuk waktu tertentu kemudian menghilangkan beban tersebut saat konstruksi	Meningkatnya kekuatan tanah dan mengurangi penurunan	Cocok untuk tanah lempung dan lanau jenuh ; dipakai untuk mengurangi penurunan pada tanah pondasi
Level = 5			
<b>Vacuum Preloading</b> (Daya hisap sebagai beban awal)	Aplikasi tekanan hisap (-) pada permukaan tanah dan atau melalui saluran kedalam tanah untuk waktu tertentu kemudian menghilangkannya tekanan tersebut untuk konstruksi.	Meningkatnya kekuatan tanah dan mengurangi penurunan	Cocok untuk tanah lempung dan lanau jenuh ; dipakai untuk mengurangi penurunan pada tanah pondasi
Level = 3			
<b>Micropiles</b> (Tiang pancang Mikro)	Masukan besi tulangan dalam lubang tanah yang dibor lalu digrouting (pile kecil <30cm) menghasilkan kapasitas terhadap beban vertikal/lateral	Menambah stabilitas tanah; proteksi kondisi awal, proteksi struktur selama pergerakan tanah	Cocok untuk variasi tanah , digunakan untuk lereng, dinding dan perbaikan pondasi ter pasang.
Level = 4			

Metode dan tingkat keberhasilan	Deskripsi umum	Keuntungan	Aplikasi
<i>Vacuum Preloading</i> (Daya hisap sebagai beban awal)	Aplikasi tekanan hisap (-) pada permukaan tanah dan atau melalui saluran kedalam tanah untuk waktu tertentu kemudian menghilangkannya tekanan tersebut untuk konstruksi.	Meningkatnya kekuatan tanah dan mengurangi penurunan	Cocok untuk tanah lempung dan lanau jenuh ; dipakai untuk mengurangi penurunan pada tanah pondasi
Level=3			
<i>Micropiles</i> (Tiang pancang Mikro)	Masukan besi tulangan dalam lubang tanah yang dibor lalu digROUTING (pile kecil <30cm) menghasilkan kapasitas terhadap beban vertikal/lateral	Menambah stabilitas tanah; proteksi kondisi awal, proteksi struktur selama pergerakan tanah	Cocok untuk variasi tanah ; digunakan untuk lereng, dinding dan perbaikan pondasi terpasang.
Level=4			

## 2.8. Dasar Teori Perbaikan tanah (Pendekatan Geoteknik)

### 1. *Preloading* dan *PVD*

Penambahan beban di atas permukaan tanah lunak yang memiliki daya dukung yang rendah akan menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan yang besar serta berlangsung dalam jangka waktu yang lama, Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya keluarnya air (pemampatan konsolidasi/*consolidation settlement*) atau udara. (Athaya Zhafirah, 2019)

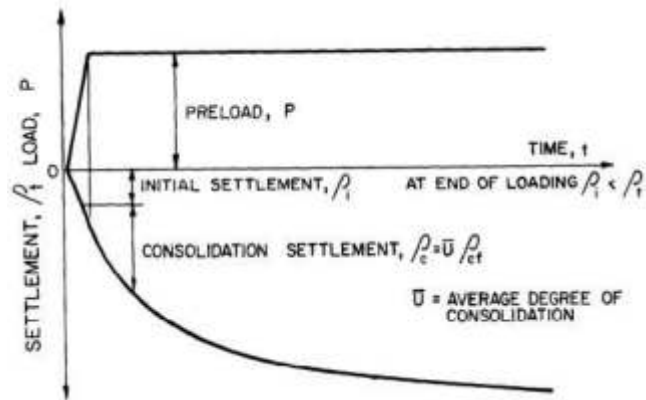


Gambar 2. 9 Vertikal Drain (Dr.Ir.H.Darwis, 2017)

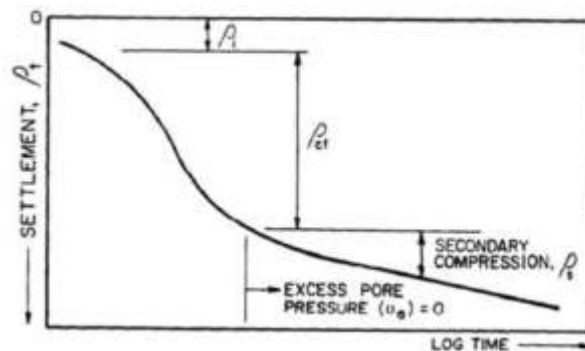
*Prefabricate Vertical Drain (PVD)* adalah sistem drainase buatan yang dipasang vertikal di dalam lapisan tanah. Sistem drainase ini mempunyai bentuk berupa sabuk berpenampang persegi panjang, terdiri dari bagian luar berupa penyaring yang terbuat dari bahan

*synthetic/geotextile*, kertas atau goni dan bagian dalam yang berfungsi sebagai media aliran air yang terbuat dari plastik atau serabut organik. oleh karena pada tanah lunak umumnya mudah ditembus dengan *PVD*, sedangkan pada lapisan tanah yang kaku diperlukan pengeboran awal (*pre-drilling*). (Hardiyatmo, 2017)

Prinsip dasar preloading atau kompresi awal mengacu pada proses kompresi pondasi pada tanah dibawahnya berupa tegangan vertikal sebelum diberikan tegangan final yang permanen, jika tegangan temporer tersebut melebihi tegangan final maka kelebihan tegangan tersebut dapat dianggap sebagai *surcharges* (US\_FHWA, 1986). Sebagai gambaran kondisi tersebut maka dapat diilustrasikan seperti:



Gambar 2. 10 Konsolidasi dan Preloading (US\_FHWA, 1986)



Gambar 2. 11 Kurva konsolidasi (US\_FHWA, 1986)



Penyaluran vertikal (*vertical drain*) biasanya digunakan untuk memperbaiki tanah yang bergradasi halus dan jenuh. Teknik ini meliputi cara vertikal drain dari bahan pabrikan, dengan grid tertentu ke dalam lapisan tanah. Pada saat tanah menerima pembebanan, maka vertikal drain akan berfungsi membantu proses evakuasi air pori ke permukaan, sehingga memungkinkan proses konsolidasi tanah berjalan dengan cepat. Biaya utama yang diperlukan pada penerapan metode ini adalah biaya untuk pemberian *pre-loading* di atas permukaan tanah. (Dr.Ir.H.Darwis, 2017) p 172-173, Tahap pekerjaan PVD adalah

**a. Penentuan tanah timbunan untuk preloading**

Penentuan penambahan tinggi timbunan pada preloading system bertahap dimulai dengan menentukan tingggi kritis ( $H_{cr}$ ) yang mampu diterima oleh tanah dasar. Berdasarkan penurunan rumus diatas maka besarnya nilai tinggi kritis dapat ditentukan dengan persamaan (2.1)

$$H_{cr} = \frac{2 \times C_u}{\gamma_t} \quad (2.31)$$

dimana :

$H_{cr}$  = tinggi timbunan kritis (m)

$C_u$  = kekuatan geser *undrained* ( $\text{kg/cm}^3$ )

$\gamma_t$  = berat volume tanah ( $\text{t/m}^3$ )

**b. Perencanaan Waktu konsolidasi dengan Vertical Drain**

Penentuan waktu konsolidasi oleh Hansbo (1979) dapat dibuat dengan persamaan (Hardiyatmo, 2017)

$$t = \left( \frac{D^2}{8 \times C_h} \right) * 2 * f(n) * \ln \left( \frac{1}{1 - U_h} \right) \quad (2.32)$$

dimana :

t = waktu yang diperlukan untuk mencapai  $U_h$

D = diameter equivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari equivalen *Vertical Drain*

$C_h$  = koefisien konsolidasi tanah akibat aliran arah horizontal

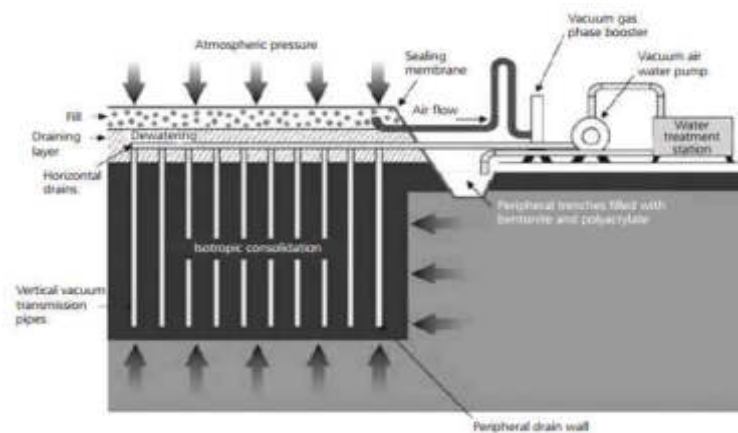
$U_h$  = derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah Horizontal

## 2.9.1401 Penentuan waktu konsolidasi dengan PVD

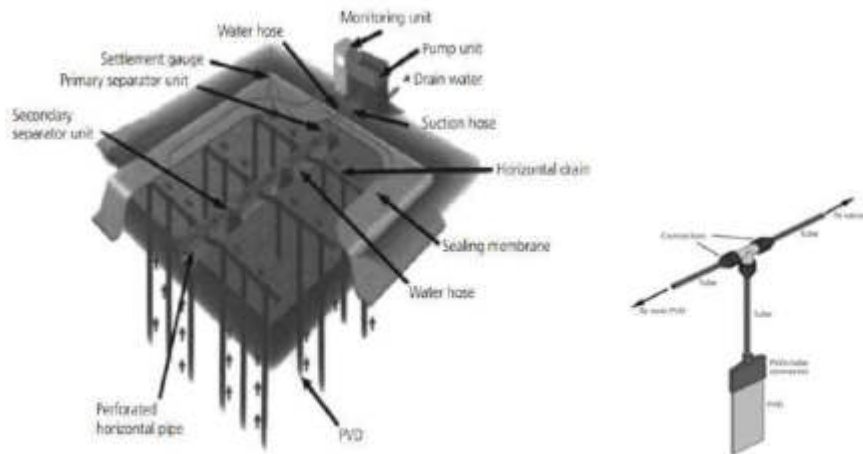
### 2. Vacuum dan PVD

Pada kondisi tanah dasar berupa tanah lempung yang sangat lunak dengan kemampuan daya dukung yang relatif terbatas, seringkali dijumpai permasalahan berupa kelongsoran pada tanah dasar pada saat pengaplikasian prabeban, sehingga harus melakukan proses penimbunan secara bertahap sesuai dengan kemampuan daya dukung tanah dan seringkali membutuhkan waktu yang lama. (Irsyam, 2012). Terkait dengan hal tersebut, pada tahun Kjellman (1952) memperkenalkan suatu metode pengganti prabeban dengan cara meletakkan lembaran material kedap air di permukaan tanah dan menyedot air dan udara di sisi dalam lembaran kedap air ini dengan menggunakan pompa vakum, yang dikenal dengan nama *vacuum consolidation* atau *vacuum preloading*. (Indraratna, 2007)

Dalam sistem ini drainase vertikal maupun horisontal terhubung dengan tepi saluran keliling dan tertutup oleh sistem membran. Saluran keliling diisi air atau larutan bentonite untuk menjaga penutupan yang sempurna dari membran di bagian tepi zona yang akan di vakum. Pompa vakum terhubung dengan sistem peralatan yang akan membuang air ke saluran tepi. (Hardiyatmo, 2017)



Gambar 2. 12 Skema Konsolidasi Vakum Dengan Penutup Membran di Permukaan (O'Kelly, 2014) (F.Masse, 2002)



Gambar 2. 13 Skema 3 Dimensi Vakum Konsolidasi dan sistim pemipaan (O'Kelly, 2014)

### 3. Stone Column

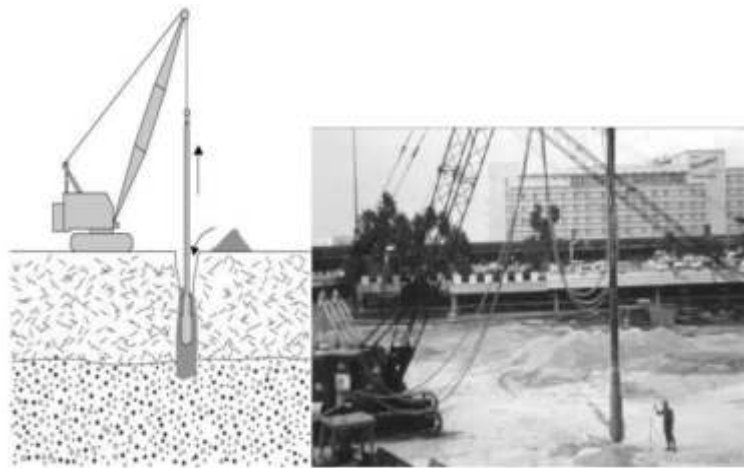
Metode perbaikan tanah ini pertama kali dikembangkan di Eropa pada tahun 1930an di Prancis dan mulai berkembang pesat pada akhir tahun 1950an. Metode ini biasanya digunakan untuk perbaikan tanah kohesif lunak untuk menaikkan daya dukung tanah dan untuk mengurangi *settlements* atau penurunan tanah yang akan terjadi. Teknik perbaikan tanah dengan menggunakan *stone column* ini sangat baik untuk digunakan pada struktur yang memiliki area yang luas seperti tanki penyimpanan minyak, timbunan, dan struktur lain yang mungkin memiliki penurunan yang besar. (Sihombing, 2010)

*Stone column* bisa berfungsi sebagai saluran pembuangan, dan membantu percepatan konsolidasi pada tanah di sekitarnya. Untuk daerah pada kawasan rawan gempa (*seismic area*), *stone column* juga dapat mengurangi risiko likuifaksi pada tanah. Teknik *stone column* dikembangkan berdasarkan acuan bahwa kolom di dalam tanah yang terbentuk dari susunan batu yang dipadatkan akan memperbaiki kinerja tanah yang lunak atau tanah lepas (*loose soils*). Batu di dalam tanah dapat dipadatkan dengan compactor atau dengan vibroflot. Metode ini digunakan untuk meningkatkan daya dukung (5 sampai 10 ksf atau 240 sampai 480 kPa), mengurangi penurunan pondasi, memperbaiki stabilitas lereng, mengurangi penurunan seismik, mengurangi potensi penyebaran dan likuifaksi lateral, sehingga memungkinkan konstruksi dapat dibuat pada tanah lepas atau

tanah lunak, atau berfungsi sebagai penutup lubang (precollapse sinkholes) pada wilayah karst. (Dr.Ir.H.Darwis, 2017) (Hussin, 2006) p.541

Dengan teknik stone column dapat memperbaiki kinerja tanah dengan dua cara, yaitu;

1. melalui proses pemadatan (densifikasi) tanah granular di sekitarnya, dan
2. melalui penguatan tanah dengan kekuatan geser yang lebih tinggi dan kaku dari kolom batu yang terbentuk (Hussin, 2006)



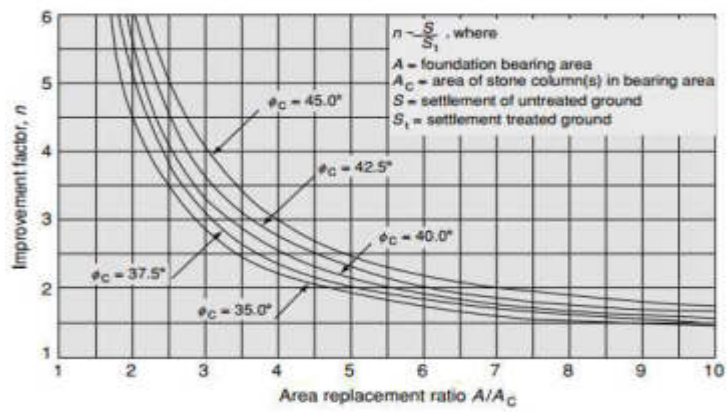
Gambar 2. 14 Skema dan Implementasi Stone Column  
(James D. Hussin, 2006); (Darwis 2010) p.204

Kerapatan atau kepadatan rencana dan perkuatan yang dapat dihasilkan dari metode perbaikan kolom batu (*stone column*) di terangkan pada tabel dan faktor keberhasilan padam beberap kondisi tanah seperti pada tabel dan grafik dibawah ini

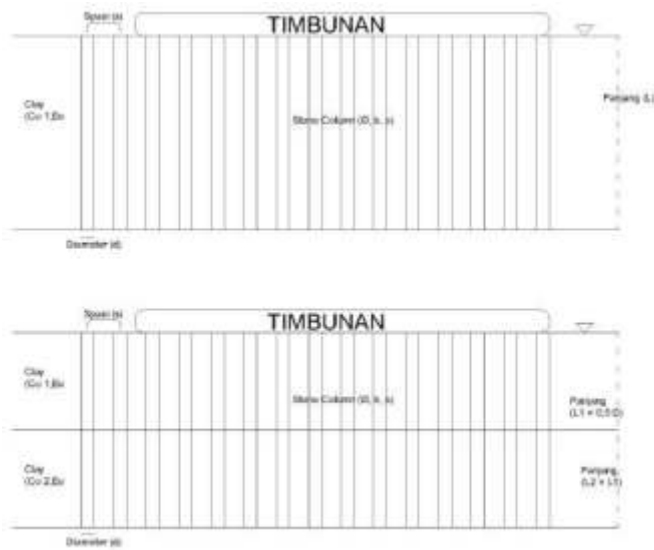
Tabel 2. 11 Metode Perbaikan Stone Column (Hussin, 2006) p.541

Expected Densification and Reinforcement Achieved with Stone Columns

Soil Description	Densification	Reinforcement
Gravel and sand <10% silt, no clay	Excellent	Very good
Sand with between 10 and 20% silt and <2% clay	Very good	Very good
Sand with >20% silt and nonplastic silt	Marginal (with large displacements)	Excellent
Clays	Not applicable	Excellent



Gambar 2. 15 Grafik Perhitungan Faktor Perbaikan Dari Stone Column (Hussin, 2006) p. 544

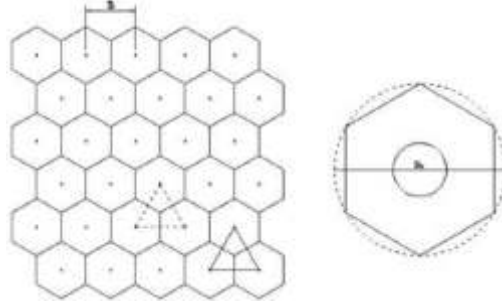


Gambar 2. 16 Sketsa Pemasangan Metode Stone Column (Han, 2015)

A. Tipe dan Pola Pemasangan Stone Column

Ada 2 tipe pemasangan *stone column*, yaitu *fixed type* dan *floating type*. Dalam contoh ini, tipe pemasangan yang digunakan adalah *fixed type*,

dimana pemasangan *stone column* diamsusikan sampai mencapai tanah yang cukup keras. Selain itu, untuk pola pemasangan *stone column* yang digunakan adalah pola segitiga sama sisi.



Gambar 2. 17 Pola Pemasangan Metode Stone Column (Han, 2015)

Dengan pola pemasangan segitiga sama sisi ini, maka diameter ekuivalen ( $D_e$ ) yang dipengaruhi oleh 1 *stone column* adalah sebesar 1,05 kali spasi pemasangan *stone column* tersebut.

#### B. *Area Replacement Ratio* (Rasio Pergantian Luas ( $a_s$ ))

Volume tanah *stone column* yang akan menggantikan tanah asli, memiliki pengaruh yang penting terhadap hasil dari perkuatan tanah, dan mempengaruhi besarnya volume tanah yang akan tergantikan. Untuk menghitung jumlah pergantian tanah yang dibutuhkan *Stone Column*, ditetapkan rasio pergantian luas ( $a_s$ ), dengan rumusan sebagai berikut:

$$a_s = \frac{A_s}{A}$$

$$a_c = \frac{A - A_s}{A}$$

Dengan  $A_s$  = luas *stone column*

$A$  = luas total unit cell

Dimana untuk pola pemasangan segitiga sama sisi, nilai

$$A_s = 0.907 \left( \frac{D}{S} \right)^2$$

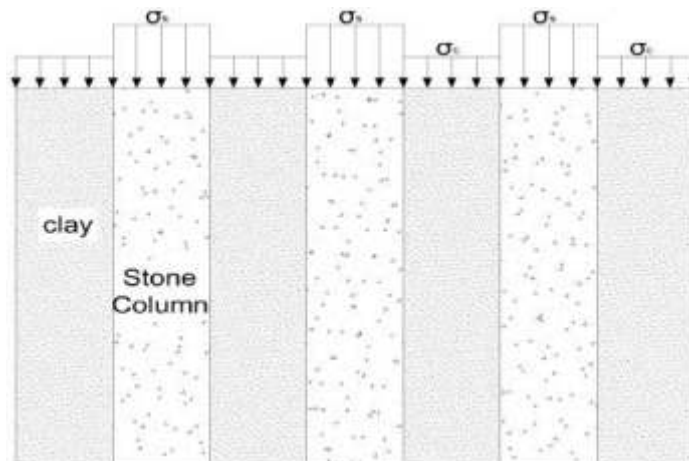
Atau dengan rumus berikut:

$$A_c = \frac{1}{4} \pi (D)^2 \quad \text{atau} \quad A = \frac{1}{4} \pi (D_e)^2$$

dimana  $D$  = Diameter *Stone column*  
 $D_e$  = Diameter Ekuivalen

### C. Konsep Penumpukan Tegangan (n)

Dalam perencanaannya, di lapangan diasumsikan penurunan yang terjadi pada *stone column* dan tanah yang diperkuatnya dianggap sama besar dan terjadi secara bersamaan, oleh karena itu akan terjadi penumpukan dan distribusi tegangan yang diterima *stone column* dan tanah yang diperkuat seperti yang diilustrasikan pada gambar 2, hal tersebut dikarenakan kekuatan dan kekakuan (*stiffness*) dari *stone column* lebih besar dibandingkan dengan kekuatan dan kekakuan (*stiffness*) tanah yang diperkuatnya, sehingga tegangan yang diterima oleh tanah yang diperkuat akan lebih kecil dari tegangan yang diterima oleh tanah keseluruhan. Berdasarkan metode *FHWA*, dan pengalaman di lapangan, Besarnya faktor penumpukan tegangan berkisar antara 2-5, sehingga pada tugas akhir ini diasumsikan  $n = 3$ .



Gambar 2. 18 Setup soil pada stone column (Hussin, 2006)

Dengan adanya faktor penumpukan tegangan ini, maka rasio tegangan yang diterima oleh tanah lempung terhadap tegangan rata-rata menjadi lebih kecil pada daerah pengaruhnya, nilai rasio ini ditentukan berdasarkan persamaan berikut,

$$\sigma = \sigma_s \chi_{as} + \sigma_c (1 - \chi_{as})$$

$$\sigma_c = \frac{\sigma}{[1 + (n - 1)as]} = \mu_c \sigma$$

$$\sigma_s = \frac{\sigma}{[1 + (n - 1)as]} = \mu_s \sigma$$

Dimana,

$\mu_c$  = rasio tegangan *stone column* dengan tegangan rata-rata pada daerah pengaruh

$\mu_s$  = rasio tegangan pada tanah yang diperbaiki terhadap tegangan rata-rata pada daerah pengaruh

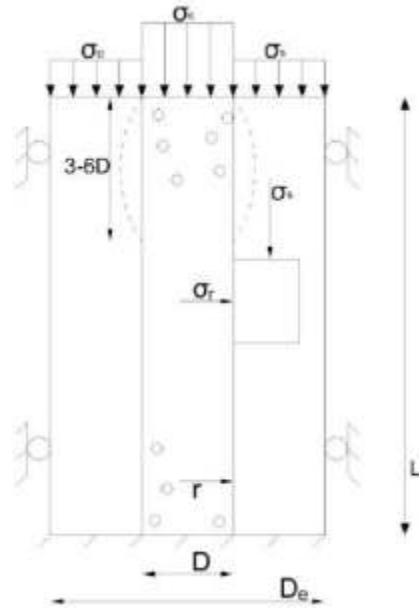
$\sigma_s$  = tegangan yang terjadi pada *Stone Column*

$\sigma_c$  = tegangan yang terjadi pada tanah

#### D. Ilustrasi Unit Cell Stone column

*Unit Cell* pada *Stone Column* adalah satu silinder dengan diameter yang meliputi satu *stone column* dengan daerah pengaruhnya. Dalam perencanaannya, konsep *Extended Unit Cell* wajib berlaku, yaitu saat sebuah grup *stone column* dengan panjang tak terbatas memikul beban merata, setiap interior kolom dapat dianggap sebagai *unit cell* seperti yang diilustrasikan pada gambar 3. Karena kesimetrisan tersebut pula tegangan geser di luar batas *unit cell* harus bernilai nol. Secara fisik *unit cell* dimodelkan seperti yang diilustrasikan pada gambar di bawah ini.





Gambar 2. 19 Unit sel stone column (Hussin, 2006)

$\sigma_0$  adalah beban timbunan atau struktur yang diterima oleh tanah.  $\sigma_c$  adalah tegangan yang akan diterima oleh *stone column* akibat beban struktur atau timbunan.  $\sigma_s$  adalah tegangan yang akan diterima tanah lempung di sekitar *stone column*.  $D$  adalah diameter dari *stone column*, sedangkan  $D_e$  adalah diameter ekuivalen (pengaruh) dari satu *stone column* terhadap daerah di sekitarnya.  $L$  adalah kedalaman dan panjang dari *stone column*.  $3-6 D$  adalah posisi daerah yang akan memungkinkan terjadinya keruntuhan deep bulging. Posisi ini berada pada kedalaman 3-6 kali diameter *stone column* dibawah permukaan tanah. Dan  $\sigma_r$  adalah tegangan radial stress column sebagai tahanan horisontal terhadap *stone column* akibat kontribusi dari tegangan vertikal yang diterima tanah di sekitar *stone column*.

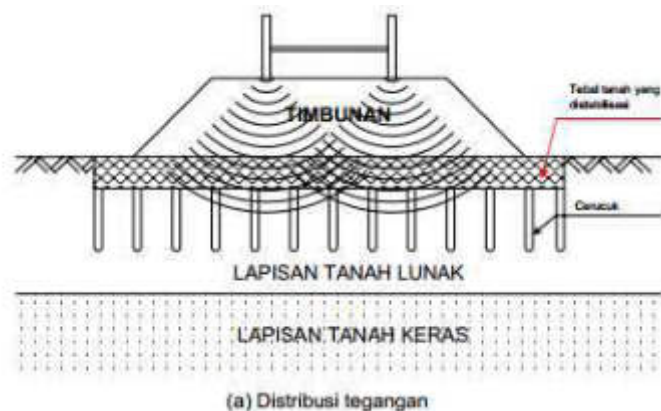
#### 4. Cerucuk

Tanah lunak memiliki daya dukung dan permeabilitas yang rendah dengan sifat kompresibel tinggi. Karena sifat-sifat tersebut, tanah ini cenderung memiliki potensi penurunan yang besar dan dalam waktu yang cukup lama.

pemakaian cerucuk pada lempung lunak dapat meningkatkan daya dukung. Kenaikan daya dukung dengan memakai cerucuk memberikan kontribusi yang cukup besar pada lempung lunak sekitar 2,2 kali daya dukung tanah tanpa dipasangi cerucuk. (Meddy, 2008)

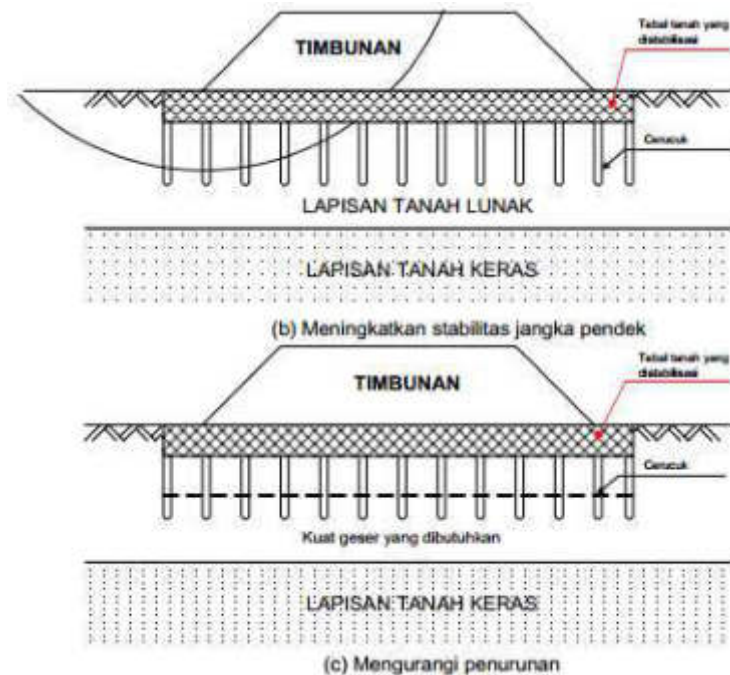
Dalam uraiannya Prof. DR. Ir. R. Roeseno pada Asian Regional Conferention On Tall Building and Urban Habitat di Kuala Lumpur, 1998, menceritakan pengalamannya saat membangun gedung Laboratorium Unair Surabaya (4 lantai) dengan cerucuk bambu berdiameter 12 cm dan panjang 4-5 meter. Sistem pemasangan cerucuk bambu betul-betul terlepas dari struktur pondasi, adapun yang diharapkan adalah peningkatan daya dukung tanah lunak yang sangat kecil menjadi lebih besar, yaitu: dari  $(q_{all}) = 0,25 \text{ kg/cm}^2$  menjadi dua kalinya. Dari hasil pengalaman bapak Prof. Roeseno tersebut ada 3 (tiga) hal penting yang perlu dicatat yaitu:

1. Dengan pemasangan cerucuk bambu kedalam tanah lunak maka cerucuk bambu tersebut akan memotong bidang longsor (*sliding plane*) sehingga kuat geser tanah secara keseluruhan akan meningkat.
2. Dalam pemasangan cerucuk bambu berdiameter 12 cm, jarak antar cerucuk bambu 40 cm dan panjang 4-5 m, daya dukung tanah yang semula  $0,25 \text{ kg/cm}^2$  dapat meningkat sampai  $0,50 \text{ kg/cm}^2$ .



~~3. Dari penulis tersebut memberikan informasi bahwa penjelasan secara ilmiah bagaimana sistem cerucuk dapat meningkatkan kapasitas daya dukung tanah lunak perlu dikaji lebih lanjut, akan tetapi dalam praktek~~

dengan jarak cerucuk tertentu dapat meningkatkan daya dukung 2 (dua) kali lipat dari aslinya.



Gambar 2. 20 Sketsa Pemasangan Cerucuk (DPU, 2005)

#### a. Type type cerucuk

- ✓ Tiang kayu cerucuk berukuran panjang 4-6 m/ diameter 10 cm.
- ✓ Tiang beton pracetak cocok untuk tanah lunak yang lebih dalam, dan bila kapasitas daya dukung beban yang lebih besar. Tiang pracetak berbentuk persegi atau segitiga dengan sisi berukuran 10- 40 cm, akan memberikan kapasitas daya dukung yang cukup besar. (DPU, 2005)

#### b. Daya dukung tanah

**b.c.** 

Untuk menghitung besarnya daya dukung tanah dapat menggunakan persamaan:

$$Q_u = cN_c + \gamma DN_q + 0,5BN_\gamma$$

$Q_u$  adalah daya dukung tanah (kPa)

$c$  adalah kohesi (kPa)

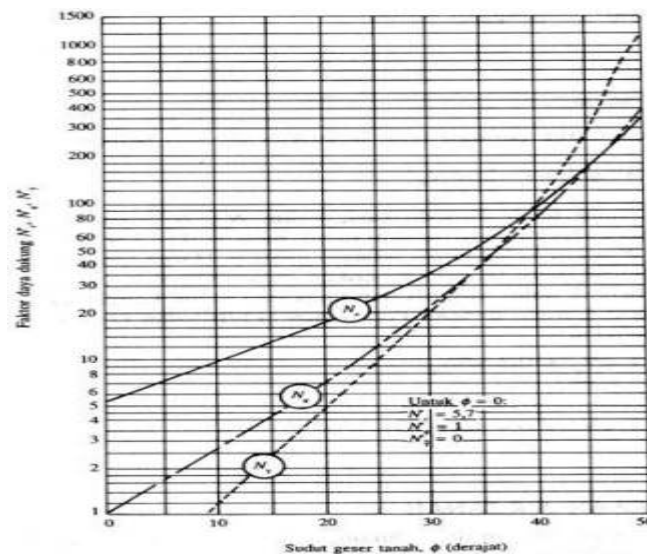
$\gamma$  adalah berat isi tanah ( $\text{kN/m}^3$ )  
 D adalah kedalaman tanah yang ditinjau (m)  
 B adalah lebar fondasi atau timbunan (m)  
 $N_c, N_q, N_\gamma$  adalah faktor daya dukung

Faktor daya dukung berdasarkan besarnya sudut geser dalam tanah ( $\phi$ ) diperoleh dari grafik (Gambar 2) dan Tabel 2 yang dikembangkan oleh Terzaghi berikut ini.

Tabel 2. 12 Faktor Daya Dukung Tanah Terzaghi

(DPU, 2005) p.7

$\phi$	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_c'$	$N_q'$	$N_\gamma'$
0	5,7	1	0	5,7	1	0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35	23,7	11,7	9
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1



Gambar 2. 21 Faktor Daya Dukung Tanah (DPU, 2005) p.7 , (M.Das, 1995)

Untuk menghitung besarnya daya dukung tiang cerucuk dapat menggunakan persamaan:

- Daya dukung tiang cerucuk tunggal:

$$Q_v = Q_s * + Q_b *$$

$$Q_s * = \Sigma F_c K_c^R C_m C_p L_i$$

$$Q_b * = N_c C_m * A_b$$

$Q_v$  adalah daya dukung vertical rencana

$Q_s *$  adalah daya dukung oleh tahanan sekeliling tiang

$Q_b *$  adalah daya dukung oleh tahanan ujung tiang

$F_c$  adalah koefisien terganggu

$K_c^R$  adalah factor reduksi kekuatan

$C_m$  adalah kuat geser undrained tanah (kPa, kg/cm<sup>2</sup>)

$C_p$  adalah keliling efektif tiang (m, cm)

$L_i$  adalah panjang tiang (m, cm)

$N_c$  adalah faktor daya dukung

$C_m *$  adalah kuat geser undrained tanah (kPa, kg/cm<sup>2</sup>)

$A_b$  adalah luas penampang ujung tiang (m<sup>2</sup>, cm<sup>2</sup>)

- Daya dukung kelompok tiang cerucuk

Jika  $S \geq 3,5D$  maka  $Q_v K = Q_v * n * \eta$  di mana  $\eta = \frac{Q_v K}{\Sigma Q_v}$

Jika  $S < 3,5D$  maka  $Q_v K = Q_v * n$

$S$  adalah jarak antar tiang

$D$  adalah diameter tiang

$Q_v K$  adalah daya dukung kelompok cerucuk

$n$  adalah jumlah tiang

$\eta$  adalah faktor efisiensi kelompok cerucuk

#### e. 5.3. h

#### d. Batasan penggunaan teknik stabilisasi dangkal

Teknik stabilisasi dangkal mempunyai keterbatasan dalam aplikasinya yaitu bahwa teknik ini tidak ditujukan untuk menghilangkan penurunan secara keseluruhan, tetapi hanya berfungsi sebagai memperkecil penurunan. Hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa teknik stabilisasi dangkal dapat mengurangi penurunan total dan meminimalisasi perbedaan penurunan serta membantu meningkatkan stabilitas fondasi sehingga didapat timbunan yang lebih tinggi dalam waktu yang lebih cepat.

#### e. 5.4 Mekanisme teknik stabilisasi dangkal

Teknik stabilisasi dangkal mempunyai prinsip untuk memanfaatkan distribusi tegangan dangkal di bawah beban lalu lintas, yaitu meningkatkan kekuatan lapisan tanah untuk mendapatkan kapasitas dukung yang lebih baik. Stabilisasi dangkal juga berpengaruh terhadap peningkatan stabilitas kemiringan lereng timbunan badan jalan atau jalan kereta api yang dibangun pada tanah lunak. Sistem stabilisasi dengan menggunakan kombinasi antara stabilisasi semen dengan tiang cerucuk, juga akan memperkecil penurunan dengan cara menyalurkan tegangan ke lapisan tanah yang lebih dalam. Gambar 4 menggambarkan mekanisme teknik stabilisasi dangkal.

#### 5.5.f. Penurunan Timbunan

Teori konsolidasi Terzaghi banyak digunakan dalam memperkirakan penurunan jangka panjang pada timbunan yang dibangun di atas tanah lunak. Apabila besarnya penurunan konsolidasi melebihi kriteria yang ditetapkan oleh perencana, maka kemungkinan stabilisasi dangkal dibutuhkan untuk mengurangi penurunan tersebut. Persamaan untuk menentukan besarnya penurunan konsolidasi telah dibahas pada sub bab konsolidasi pada persamaan 2.4, 2.5 dan 2.6. diatas

## 2.9. Dasar Teori perhitungan depo petikemas

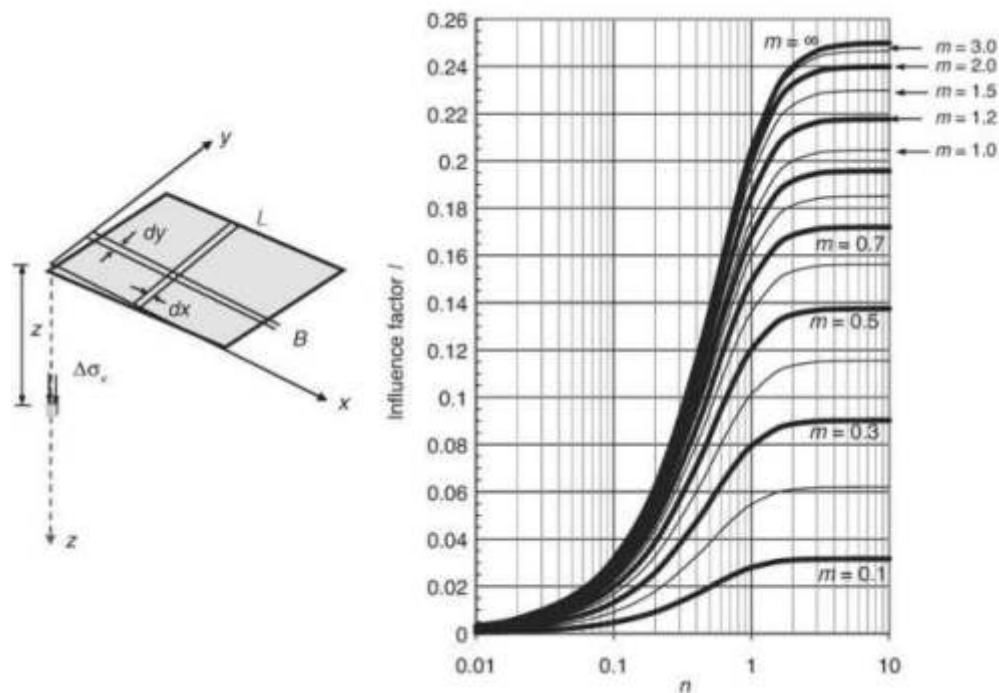
Diperlukan perhitungan pada struktur dibawah lapis perkerasan (subgrade dan lapis pondasi), untuk mendapatkan hasil struktur perkerasan yang lebih optimal dan efisien dalam pembangunan lahan penumpukan petikemas dan membandingkan semua beban beban yang terjadi pada lapisan permukaan perkerasan

Beban yang diasumsikan bekerja dan sangat menentukan atau terbesar menjadi acuan perhitungan dan kemudian di analisis untuk tiap lapisan tanah terhadap penurunan parsial

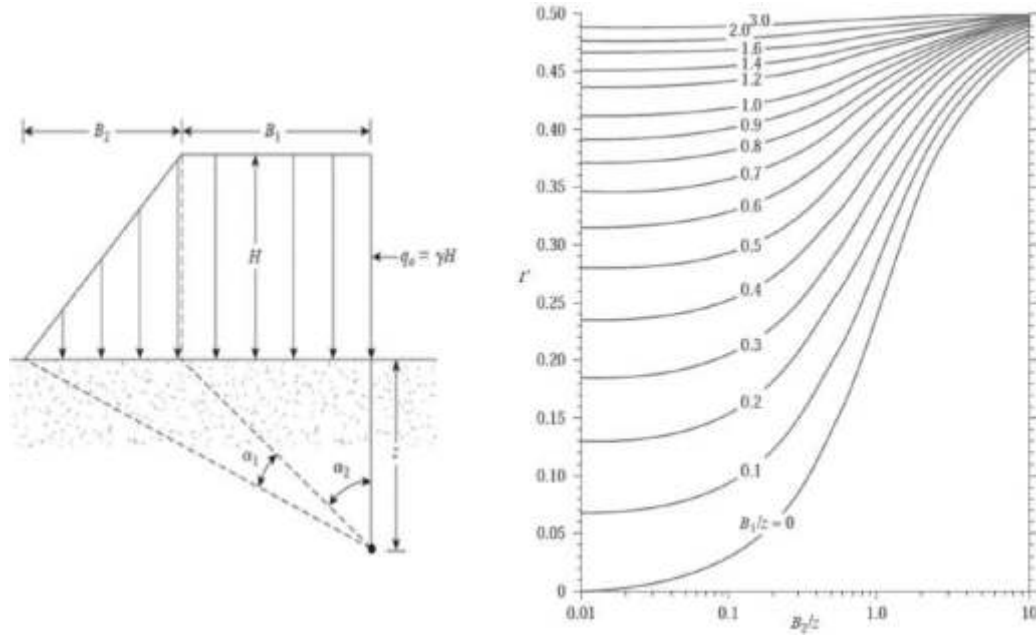
*Influence factor* merupakan konsep dalam menentukan pengaruh beban pada bidang kontak terhadap beberapa kedalaman lapisan dan mengalami penurunan baik karena initial dan konsolidasi.

*Influence faktor* beban yang terkait dengan hal ini adalah

### 1. Beban merata pada bidang kontak



Gambar 2. 22 Beban urugan tanah (faktor pengaruh) (M. Das, 2015)



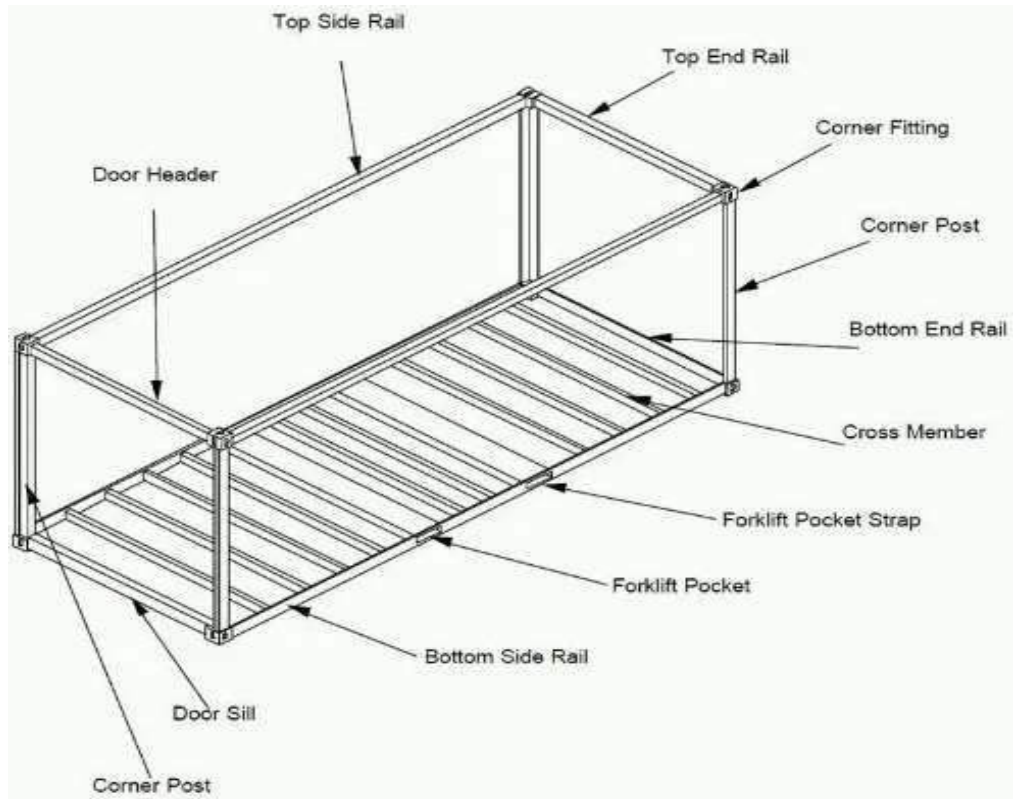
Gambar 2. 23a Beban urugan tanah (kasus PVD dan preloading) (M. Das, 2015)

## 2.8. \_\_\_\_\_

### 2.9.2.10. \_\_\_\_\_ Petikemas


Peti kemas (*container*) adalah peti atau kotak yang memenuhi persyaratan teknis sesuai dengan *International Organization for Standardization* (ISO) sebagai alat atau perangkat pengangkutan barang yang bisa digunakan diberbagai moda, mulai dari moda jalan dengan truk peti kemas, kereta api dan kapal petikemas laut. (PERMENHUB\_N0\_14, 2007)





Gambar 2. 24 Komponen teknis petikemas (portagent, 2013)


Berbagai variasi bentuk peti kemas digunakan untuk barang-barang yang spesifik namun menggunakan ukuran yang standar untuk mempermudah handling dan perpindahan moda angkutan. (ISO\_668, 2013) . Secara umum ukuran peti kemas dan berat standar ditampilkan dalam tabel berikut (ISO\_668, 2013) :



**General Purpose 40' x 8' x 8'6"**

		Steel	
		Millimetres	Feet
Internal Dimensions	Length	12,024	39'5.7"
	Width	2,352	7'8.5"
	Height	2,390	7'10"
Door Opening	Width	2,340	7'8"
	Height	2,280	7'5.8"
		Kilograms	Pounds
Weight	Max Gross	30,480	70,040
	Tare	3,830	8,450
	Max Payload	26,650	58,750
		Cube Metres	Cube Feet
Internal Capacity		67.7	2,390

Tabel 2. 13 Spesifikasi teknis petikemas 40 feet (portagent, 2013)



**General Purpose 20' x 8' x 8'6"**

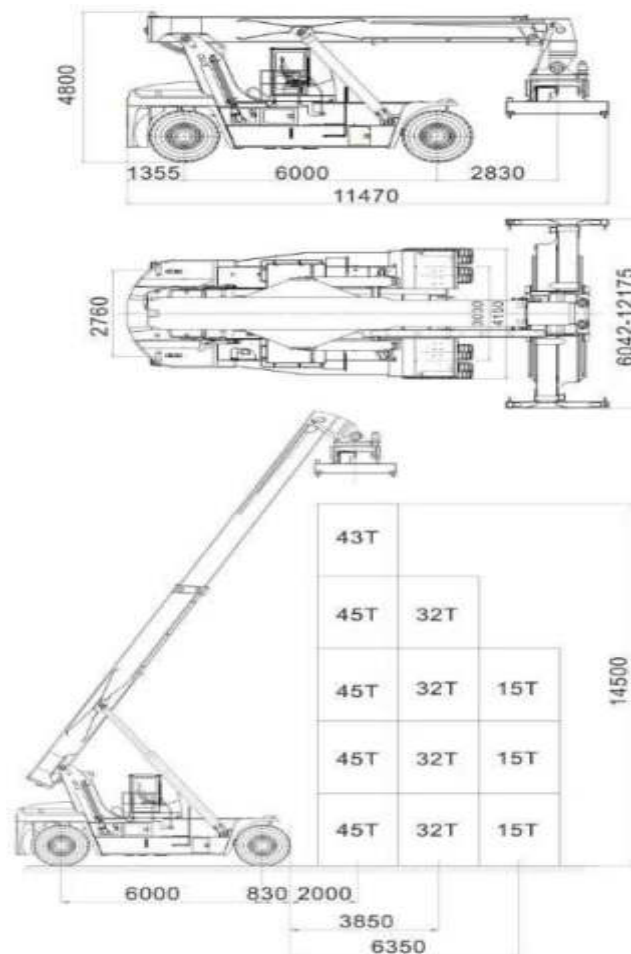
		Steel	
		Millimetres	Feet
Internal Dimensions	Length	5,898	19'4.2"
	Width	2,352	7'8.6"
	Height	2,391	7'10"
Door Opening	Width	2,340	7'8"
	Height	2,280	7'5.8"
		Kilograms	Pounds
Weight	Max Gross	24,000 / 30,480	52,910 / 67,200
	Tare	2,280 / 2,280	5,030 / 5,030
	Max Payload	21,720 / 28,200	47,880 / 62,170
		Cube Metres	Cube Feet
Internal Capacity		33.2	1,171

Tabel 2. 14 Spesifikasi teknis petikemas 20 feet (portagent, 2013)

## 2.10.2.11. Kendaraan angkut petikemas

### 2.10.1 Reach Stacker

*Reach stacker* merupakan salah satu tipe pesawat pengangkat dimaksudkan untuk keperluan mengangkat dan memindahkan barang dari suatu tempat ketempat yang lain yang jangkauannya relatif terbatas. *Reach stacker* merupakan peralatan pemindah bahan yang paling fleksibel yang dioperasikan pada terminal pelabuhan kecil maupun sedang. *Reach stacker* dapat mengangkat kontainer dalam jarak dekat dengan relatif cepat dan juga dapat menyusun kontainer pada berbagai posisi tergantung ruang gerak yang ada. Reach stacker dapat mengangkat beban hingga 40 ton. Terdapat beberapa keterbatasan dalam pengoperasian sudut lengan pengangkat.



Gambar 2. 25 Spesifikasi Reachstacker (Sany, 2016)

### 2.10.2 Truk Petikemas

Truk peti kemas disebut juga truk kontainer adalah kendaraan pengangkut peti kemas terdiri dari kendaraan penarik (*tractor head*) dan kereta tempelan di mana peti kemas ditempatkan.

Trend angkutan barang dengan peti kemas meningkat dengan cepat karena intermodalitinya yang tinggi sehingga mempermudah bongkar-muat/handling dari barang yang mengakibatkan biaya angkutan secara keseluruhan menurun dengan drastis.

### 2.11.2.12. Metode Scoring dan optimalisasi

Instrumen penelitian digunakan untuk mengukur nilai variabel yang diteliti. Dengan demikian jumlah instrumen yang akan digunakan untuk penelitian akan tergantung pada jumlah variabel yang diteliti.

Skala pengukuran merupakan kesepakatan yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan optimal atau tidaknya suatu proses perbaikan tanah dan akan menghasilkan data kualitatif berbobot untuk masing masing pekerjaan perbaikan tanah. Dengan skala pengukuran ini, maka nilai variabel yang diukur dengan instrumen tertentu dapat dinyatakan dalam bentuk angka, sehingga akan lebih akurat, efisien dan komunikatif.

Dalam penelitian ini digunakan pendekatan dengan metode skala Likert untuk mengukur sikap, pendapat dan persepsi seseorang atau sekelompok orang tentang fenomena. Variabel yang akan diukur dijabarkan menjadi indikator variabel. Kemudian indikator tersebut dijadikan sebagai titik tolak untuk menyusun item-item instrumen yang dapat berupa pernyataan atau pertanyaan. Jawaban setiap item instrumen yang menggunakan skala likert mempunyai gradasi dari sangat positif sampai sangat negatif. Untuk keperluan analisis kuantitatif, jawaban itu dapat diberi skor (1 – 4 atau disesuaikan dengan kebutuhan).

| -very poor- | - poor- | -good- | -very good- |

Nilai            1            2            3            4



## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan sebuah metoda, cara, peraturan, kegiatan, dan prosedur yang digunakan oleh penulis. Metodologi juga merupakan sebuah uraian teoritis mengenai suatu cara atau metode. Penelitian adalah penyelidikan yang sistematis untuk menambah pengetahuan, atau mencari dan memecahkan masalah tertentu yang memerlukan jawaban.

### 3.1 — Lokasi Studi kasus

**Objek penelitian berada dilokasi Pembangunan Depo Kontainer di Blok B1 (3,9 Ha) dan beberapa Area di Blok A22 (2,7 Ha) Kawasan Cakung dengan total luas area depo sekitar 6,6 Ha.**



Gambar 3. 1 Denah Lokasi (Laporan Pendahuluan KBN-IKA)

### 3.1 Lokasi, waktu dan permasalahan dalam penelitian Tahap Persiapan

3.2 Pada lokasi pembangunan di daerah pesisir, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan masalah geoteknik. Setelah dilakukan penyelidikan pengeboran dalam (*deep boring*), diketahui bahwa lapisan tanah bagian atas tergolong tanah lempung lanau dan lapisan bagian bawah di lokasi tersebut masuk ke dalam kategori pasir dengan nilai SPT bervariasi. Pada jenis tanah seperti ini, ada beberapa hal yang menjadi potensi masalah. Berikut adalah masalah yang berpotensi timbul di lokasi pembangunan bandara

#### A. Pendekatan dan Jenis Penelitian Daya dukung tanah dasar

A.

Hampir di seluruh lokasi pembangunan bandara, terutama bagian runway, perlu dilakukan penimbunan. Hal ini dilakukan, selain untuk memperoleh elevasi seperti dalam desain, juga sebagai dasar pada suatu struktur perkerasan. Namun tanah di lokasi tersebut memiliki nilai N-SPT yang kecil. Tanah dengan nilai N-SPT yang kecil menunjukkan bahwa tanah tidak memiliki daya dukung yang besar terhadap beban. Karena itu perlu dilakukan analisis.

## B. Sumber dan pengambilan data

~~Metode penelitian adalah strategi umum yang digunakan dalam pengumpulan data dan analisis data yang digunakan untuk menjawab masalah yang diteliti.~~

~~Metodologi penelitian merupakan salah satu faktor yang terpenting dan sangat menentukan dalam penelitian, karena berhasil tidaknya suatu penelitian sangat ditentukan oleh tepat tidaknya penentuan metode yang digunakan dalam penelitian tersebut. Dalam penelitian ini kita akan melakukan penelitian kualitatif. Yaitu penelitian yang memenuhi kriteria ilmiah, sehingga cara yang digunakan dalam mengumpulkan data diusahakan tidak menyimpang dari ketentuan-ketentuan metode yang telah digunakan.~~

### ~~B.—— Sumber dan pengambilan data~~

~~Target yang ingin dicapai pada konstruksi ini adalah proses konsolidasi dapat terselesaikan pada saat struktur sudah mulai beroperasi dengan kata lain tidak ada penurunan yang terjadi ketika bandara dipakai. Dalam penelitian ini peneliti mendapatkan data melalui buku-buku literatur, laporan, peraturan-peraturan dan informasi dari peraturan dan kode spesifikasi kemudian diolah sebagai penguat dari data yang diperoleh dari sumber yang pertama atau data primer.~~

~~Analisis penurunan dan waktu konsolidasi akan dihitung pada satu titik yang dianggap paling kritis (ketebalan tanah lempung yang paling besar) yaitu BH-06.~~



Penurunan (*settlement*) yang dianalisa pada analisis besar penurunan ini hanya yang diakibatkan oleh konsolidasi primer. Teori terzaghi akan digunakan dalam perhitungan besar penurunan dan waktu untuk mencapai 90% konsolidasi.

### C. Karakteristik tanah

Hal pertama yang dilakukan adalah membuat stratifikasi tanah berdasarkan hasil penyelidikan lapangan dan laboratorium untuk setiap titik. Penentuan lapisan tanah dilihat dari keseragaman nilai SPT serta deskripsi tanah, baik yang tercantum pada bore-log maupun pada tes distribusi ukuran partikel (*grain size analysis*)

Parameter properties tanah telah dibahas secara teori di bab 2 yang diperlukan dalam perencanaan perbaikan tanah yaitu:

- ✓ Karakteristik tanah dari ukuran butir (Pasir, Lempung atau Lanau)
- ✓ Klasifikasi plastitas dan gradasi tanah
- ✓ Kepadatan tanah
- ✓ Komposisi angka pori ( $e$ )
- ✓ Porositas ( $n$ )
- ✓ Derajat kejenuhan ( $s$ )
- ✓ Modulus elastisitas Tanah ( $E_s$ )
- ✓ *Poisson's Ratio*
- ✓ Batas konsistensi tanah (*Atterberg*)
- ✓ Tegangan tanah normal, tekanan air pori dan tegangan tanah efektif
- ✓ Kuat geser tanah
- ✓ Koefisien konsolidasi ( $C_v$ ,  $C_h$ ,  $P_c$ ,  $C_c$ ,  $P_o$ ,  $C_s$  dan  $t_v$ )

Hal pertama yang dilakukan adalah membuat stratifikasi tanah berdasarkan hasil penyelidikan lapangan dan laboratorium untuk setiap titik. Penentuan lapisan tanah dilihat dari keseragaman nilai SPT serta deskripsi tanah, baik yang tercantum pada bore-log maupun pada tes distribusi ukuran partikel (*grain size analysis*) Untuk memperoleh data yang dapat dipertanggung jawabkan kebenarannya, maka peneliti menggunakan metode sebagai berikut:

1. Observasi

Melakukan pengamatan dan pencatatan terkait dengan kegiatan perbaikan tanah. Peneliti mengamati dan mengumpulkan data, gambar proyek, desain dan kalkulasi serta aktifitas pada proyek perbaikan tanah.

Metode yang digunakan untuk mengumpulkan data yaitu:

1. Data yang berkaitan dengan observasi atau investigasi tanah
2. Data yang berkaitan dengan data beban baik beban mati dan beban hidup dan variasi beban
3. Contoh penyelesaian termasuk kalkulasi untuk beberapa type perbaikan tanah yan diselidiki.
4. Data yang berkaitan dengan spesifikasi, formula dan karateristik material termasuk faktor keamanan.

#### 2.1.2. Dokumentasi

Dokumentasi dilakukan melalui pencarian data tertulis atau data yang sesuai dengan tujuan untuk mengetahui keberadaan dan relevansi dengan pokok pembahasan dan dapat dimanfaatkan untuk menguji dan menafsirkan. Data yang didapat melalui metode ini:

- 1) Laporan data tanah sebelumnya
- 2) Laporan data tanah lokasi disekitar
- 3) Foto kondisi awal tanah
- 3) \_\_\_\_\_
- 4) ~~Gambar as built bangunan eksisting~~

### **3.33.1 Metode Pengumpulan Data**

- a. Metode pengumpulan data adalah cara yang dilakukan untuk mengumpulkan data dan dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam mencapai tujuan penelitian.

#### A. Data curah hujan dan banjir rencana

- b. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan dari sumber-sumber yang telah ada. Data ini biasanya diperoleh dari perpustakaan atau

dari laporan-laporan peneliti terdahulu. Data sekunder disebut juga data yang tersedia. Data sekunder biasa dikatakan sebagai data yang diperoleh lewat pihak lain, tidak langsung diperoleh peneliti dari subyek penelitian. Yang merupakan data sekunder dalam tesis ini adalah:

~~B.1.~~ 1.1. Data observasi dan topografi

~~1.2.~~ 1.2. Data observasi dan investigasi tanah

~~2.~~ 2. Jurnal dan paper seminar,

3. Buku literatur

~~4.~~ 4. Pedoman dan peraturan standard Indonesia dan

~~5.4.~~ 5.4. ~~Pedoman dan peraturan standard~~ Internasional

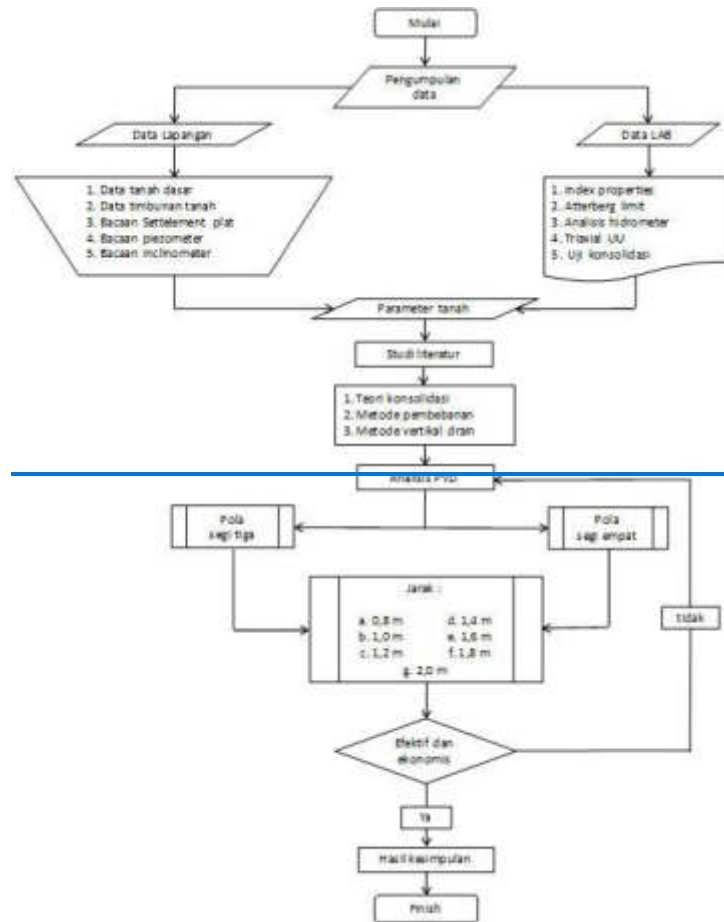
### **3.43.2 Analisis Pengolahan Data**

Analisis adalah mengelompokkan, membuat suatu uraian, memanipulasi serta meningkatkan data sehingga mudah untuk dibaca.

~~—K~~ Tujuan dari analisis ini adalah :eluaran (*output*) dari analisis data adalah

- ~~1. Menghitung perbaikan tanah lunak untuk penggunaan lapangan beban besar dengan penurunan yang sangat kecil dengan menggunakan pendekatan geoteknik yaitubahwa lokasi tersebut dapat/tidak dapat dikembangkan menjadi sebuah depo petikemas. —~~ Bila tidak dapat dikembangkan maka perencanaan akan mencoba membuat skenario perbaikan tanah yaitu dengan:

2. Preloading dan PVD



1. \_\_\_\_\_

2.3. \_\_\_\_\_ Vacum dan PVD

4. Stone column

5. Cerucuk

Tiang pancang (Struktural)

6. \_\_\_\_\_

Cerucuk

3. \_\_\_\_\_ Dynamic compaction

2. \_\_\_\_\_ Dan pendekatan struktural yaitu :

a. \_\_\_\_\_ Tiang pancang (slab on pile)

3-2. Membuat matriks hasil dari semua faktor pada item-1 dengan komparasi atau perbandingan pada properties tanah sebelum dan setelah perbaikan tanah kemudian dibuat di analisa dengan sistim scoring dengan parameter sebagai berikut:

1. Besar kenaikan parameter tanah –(nilai positif, seperti kenaikan daya dukung, kenaikan Cu, dsb)
2. Besar konsolidasi yang terjadi
3. Tingkat kesulitan
4. Lama pekerjaan
5. Tenaga kerja
6. Pengadaan material

7. Harga

7. —

8.3. — Tingkat keberhasilan (*establishment factor*)

Membuat pendekatan dan scoring terhadap masing masing parameter tanah dasar berdasarkan beberapa metode scoring

4. —

### **3.53.3 Cara Analisis**

Alur perhitungan:

1. Menghitung beban rencana (data beban, beban petikemas isi, beban alat angkut petikemas, truk trailer petikemas, dan sebagainya)
2. Menghitung daya dukung tanah dasar
3. Menghitung ~~kondisi saat beban rencana bekerja pada~~ daya dukung ultimit tanah dasar dengan menggunakan asumsi pondasi tapak atau pondasi dangkal kemudian dihitung daya dukung ijin dan dibandingkan dengan tegangan pada beban yang terjadi dengan SF = 3
4. Membuat tabel dan mencatat kondisi tanah pada beban rencana tanpa perbaikandaya dukung tanah untuk masing masing BoreHole yakni untuk BH 1. BH 2. BH 3. BH 4. BH 5 dan BH 6.
5. Menghitung penurunan tanah akibat konsolidasi karena beban kerja atau beban 5 tier petikemas dengan kondisi sebagai berikut:
  - 5.1. Terdapat 3 lapisan tanah dengan ketebalan rata rata sama untuk setiap BH (Boreholes) dengan parameter tanah yang berbeda
  - 5.2. Beban kerja berupa berat 5 tumpuk petikemas dibagi dengan luas sisi bawah/dasar petikemas dan dalam kondisi berbaris dan saling

membelakangi, sehingga terjadi 4 titik konsentrasi berat yang berpengaruh pada faktor pengaruh beban untuk tiap tiap lapisan tanah

5.3. Menghitung besar penurunan akibat penambahan beban untuk tiap titik BH, waktu dan laju penurunannya

5.4. Membuat tabel penurunan konsolidasi untuk masing masing BoreHole yakni untuk BH 1. BH 2. BH 3. BH 4. BH 5 dan BH 6.

6. Menganalisis hasil perhitungan maks penurunan dan kapasitas daya dukung tanah dan menyimpulkan kondisi tanah terhadap beban rencana ultimit

7. Menentukan perlu atau tidaknya perbaikan tanah – bila perlu maka:

4.8. Melakukan pemilihan dari beberapa metode perbaikan tanah yang dapat diaplikasikan pada kondisi karakteristik tanah dan tipe pembebanan rencana. Mencatat dan mengobservasi tanah dasar berdasarkan hasil investigasi terhadap metode perbaikan tanah yang dapat diaplikasi pada kondisi tersebut dalam hal ini kita menggunakan 6 (enam) type perbaikan tanah seperti di sebutkan di tujuan di atas

5.9. Membuat matriks atau tabel hasil parameter tanah hasil perbaikan tanah

6.10. Parameter hasil perbaikan tanah tersebut kemudian di uji terhadap beban rencana

7.11. Penilaian atas hasil dan tingkat keberhasilan merupakan nilai terbaik untuk type tanah tertentu dengan kebutuhan tertentu

8.12. Penilaian berdasarkan atas daya dukung dan konsolidasi

9.13. Membuat rencana kerja secara umum untuk masing masing perbaikan tanah

10.14. Membuat spesifikasi material secara umum yang diperlukan untuk masing masing kegiatan perbaikan tanah

11.15. Membuat daftar kebutuhan alat kerja dan alat bantu secara umum untuk masing masing kegiatan perbaikan tanah

12.16. Membuat rencana anggaran biaya khusus pada perbaikan tanah dan membuat estimasi harga secara umum pada tahun berjalan saat thesis ini dibuat

13.17. Kegiatan kegiatan lain seperti perijinan dan pembuangan slug atau air tanah akan diberikan faktor tertentu

14.18. Melihat dan membandingkan pada referensi apabila ditemukan

### 3.5. Metode perbaikan tanah

#### 3.5.1. PVD dan Preloading

Untuk metode PVD dan preloading menghitung penurunan tanah akibat konsolidasi dihitung pada beban preloading yang lebih besar 20% dari beban 5 tier petikemas ukuran 20' dengan kondisi sebagai berikut:

- Terdapat 3 lapisan tanah dengan ketebalan rata rata sama untuk setiap BH (Boreholes) dengan parameter tanah yang berbeda
- Beban yang bekerja adalah area load dengan ketinggian tanah urugan yang telah ditentukan dan ditentuka tinggi kritisnya dengan pengaruh beban pada masing masing lapisan tanah dihitung menggunakan faktor pengaruh (Iz)
- Penentuan tanah timbunan untuk preloading

Penentuan penambahan tinggi timbunan pada preloading system bertahap dimulai dengan menentukan tingggi kritis ( $H_{cr}$ ) yang mampu diterima oleh tanah dasar. Berdasarkan penurunan rumus diatas maka besarnya nilai tinggi kritis dapat ditentukan:

$$H_{cr} = \frac{2 \times C_u}{\gamma_t} \quad (3.1)$$

$H_{cr}$  = tinggi timbunan kritis (m)

$C_u$  = kekuatan geser *undrained* (kg/cm<sup>3</sup>)

$\gamma_t$  = berat volume tanah (t/m<sup>3</sup>)

- Perencanaan waktu konsolidasi dengan *vertical drain*

Penentuan waktu konsolidasi oleh Hansbo (1979) dapat dibuat dengan persamaan (Hardiyatmo, 2017)

$$t = \left( \frac{D^2}{8 * C_h} \right) * 2 * f(n) * \ln \left( \frac{1}{1 - U_h} \right) \quad (3.2)$$

$t_{\text{...}}$  = waktu yang diperlukan untuk mencapai  $U_h$

$D_{\text{...}}$  = diameter lingkaran tanah pengaruh ekuivalen *Vertical Drain*

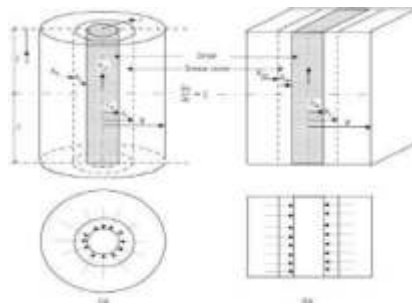
$C_{h\text{...}}$  = koefisien konsolidasi tanah akibat aliran arah horizontal

$U_{h\text{...}}$  = derajat konsolidasi tanah akibat aliran air arah Horizontal

e. Perencanaan konsolidasi PVD (*Prefabricated Vertical Drains*)

1. Menentukan type PVD dan pola susunan

Jalur air pada sel PVD dapat dilihat pada gambar 3.34



Gambar 3. 1 Asimetri Unit Sel PVD (Rujikiatkamjorn, 2014)

Pola pemasangan drainase vertical yang biasa dipakai adalah pola segitiga dan pola segi empat (Gambar 3.5). Diameter yang digunakan pada pola pemasangan PVD dapat dihitung dengan persamaan (3.3) dan (3.4).

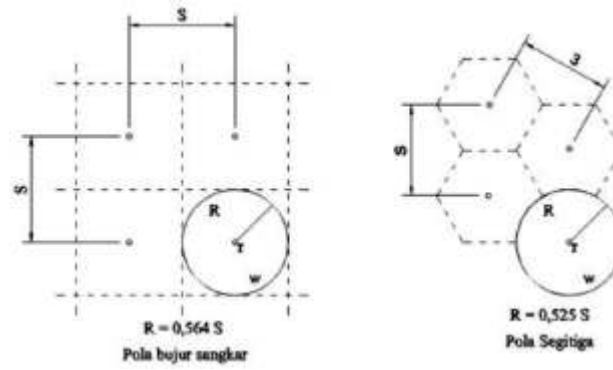
Pola Segiempat:

$$D = 1.13S \quad (3.3)$$

Pola Segitiga :

$$D = 1.05S \quad (3.4)$$





Gambar 3. 2 Pola Drainase (Rujikiatkamjorn, 2014)

f. Menentukan Koefisien konsolidasi horizontal.

Koefisien konsolidasi horizontal dapat ditentukan dari nilai koefisien konsolidasi vertikal ( $C_v$ ) dengan persamaan.

$$C_h = \left( \frac{K_h}{K_v} \right) C_v \quad (3.5)$$

Dimana perbandingan antara koefisien permeabilitas horizontal dan vertikal berkisar antara 2 sampai 5 kali koefisien konsolidasi vertikal. (Hardiyatmo, 2017)

g. Menghitung Faktor hambatan akibat jarak antar PVD ( $F(n)$ )

Perhitungan besar faktor hambatan yang diakibatkan jarak antar PVD dihitung dengan menggunakan persamaan (3.6). Pada umumnya  $n > 20$  sehingga dapat dianggap  $1/n = 0$

dan  $\left( \frac{n^2}{n^2-1} \right) \approx 1$ , jadi :

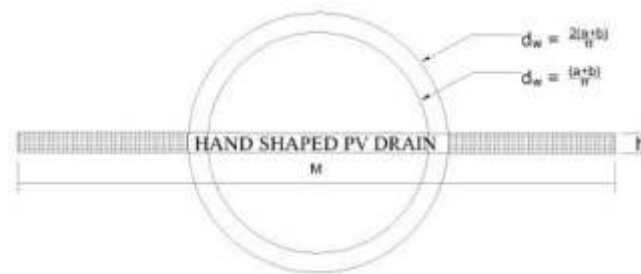
$$F(n) = \ln(n) - \frac{3}{4} \text{ atau} \quad (3.6)$$

$$F(n) = \ln\left(\frac{D}{d_w}\right) - \frac{3}{4} \text{ atau} \quad (3.7)$$

$$n = \frac{D}{d_w} \quad (3.8)$$

Dimana  $d_w$  adalah diameter dari *vertikal drain* (equivalen terhadap bentuk lingkaran seperti pada Gambar 3) yang dapat diperoleh dengan persamaan (3.9).

$$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi} \quad (3.9)$$



Gambar 3. 3 Faktor hambatan (Han, 2015)

#### h. Menghitung Derajat Konsolidasi Rata-rata

Derajat konsolidasi rata-rata dapat diperoleh dengan persamaan:

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h) \quad (3.10)$$

dimana:

$U$  = derajat konsolidasi tanah akibat aliran vertikal dan radial

$U_v$  = derajat konsolidasi vertikal

$U_h$  = derajat konsolidasi radial

#### i. Harga untuk derajat konsolidasi arah vertikal dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

Untuk  $T_v$  antara 0 s.d 60%,

$$U_v = \left[ 2 / \frac{T_v}{\pi} \right] \times 100\% \quad (3.11)$$

Untuk  $T_v > 60\%$ ,

$$U_v = (100 - 10^2)\% \quad (3.12)$$

dimana:  $a = \frac{1,781 - T_v}{0,933}$

#### j. Derajat konsolidasi horizontal

Besarnya harga derajat konsolidasi horizontal dirumuskan oleh Barron (1948) dalam Bergado (1996) dengan persamaan:

$$U_h = 1 - \exp \left| \frac{-8T_h}{F(n)} \right| \quad (3.13)$$

$$T_h = \frac{C_h * t}{D} \quad (3.14)$$

dimana :

\_\_\_\_\_  $T_h$  \_\_\_\_\_ = Faktor waktu arah horisontal

\_\_\_\_\_  $C_h$  \_\_\_\_\_ = koefisien konsolidasi horisontal

\_\_\_\_\_  $D$  \_\_\_\_\_ = Diameter tanah yang dipengaruhi PVD

k. Analisis kenaikan daya dukung tanah setelah perbaikan tanah lunak  
Hubungan antara kekuatan geser *Undrained* ( $C_u$ ) dalam  $\text{kg/cm}^3$   
dan tegangan tanah vertikal efektif ( $P_o'$ ). Peningkatan daya dukung  
tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Untuk harga Plasticity Index, PI tanah < 120%

$$C_u = 0,0737 + (0,1899 - 0,0016 PI) \sigma_o \quad (3.15)$$

Untuk harga Plasticity Index, PI tanah > 120%

$$C_u = 0,0737 + (0,0454 - 0,00004 PI) \sigma_o \quad (3.16)$$

Untuk tanah yang sedang terkonsolidasi, harga  $\sigma_o''$  berubah sesuai  
dengan waktu. Secara umum menurut Mochtar (2012), harga  $\sigma_o''$   
dapat dicari dengan persamaan:

$$\sigma_o'' = \left( \frac{P_o^t + \Delta P'}{P_o^t} \right)^U P_o^t \quad (3.17)$$

dimana :

\_\_\_\_\_  $\sigma_o''$  \_\_\_\_\_ = tegangan tanah vertikal efektif ( $\text{t/m}^2$ )

\_\_\_\_\_  $P_o^t$  \_\_\_\_\_ = tekanan overburden ( $\text{t/m}^2$ )

\_\_\_\_\_  $\Delta P'$  \_\_\_\_\_ = penambahan tegangan ( $\text{t/m}^2$ )

### 3.5.2. PVD Dengan *Vacuum Preloading*

Prosedur untuk menentukan jarak *drain* (PVD) yang diusulkan adalah sebagai berikut (Indraratna, 2007) :

- a. Tentukan Profil lapisan tanah dan sifat-sifatnya
- b. Tentukan kedalaman PVD dan waktu konsolidasi yang diinginkan
- c. Asumsikan derajat konsolidasi ( $U_t$ ) yang dibutuhkan untuk beban timbunan saja.
- d. Untuk aplikasi tekanan vakum, tentukan tekanan vakum rata-rata ( $p_o$ ), beban terbagi rata rancangan (*design surcharge*), dan tekanan beban terbagi rata timbunan (*surcharge fill pressure*), kemudian tentukan derajat konsolidasi yang dibutuhkan dari persamaan:

$$1. U_{t*v} = \left( \frac{\Delta\sigma}{p_o + \Delta p} \right) U_t$$

- e. Dari data koefisien konsolidasi vertikal ( $C_v$ ), waktu konsolidasi ( $t$ ) dan panjang PVD ( $L$ ), tentukan  $u^*$  dengan menggunakan Gambar 7 atau menggunakan persamaan:

$$1. u^* = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{8}{(2m+1)^2 \pi^2} e \left[ - \left\{ \frac{2m^2}{2^2} \right\} \pi^2 T_v \right]$$

- f. Tentukan ukuran PVD dan hitung diameter ekuivalennya :

$$1. d_w = \frac{2(a+b)}{\pi}$$

- g. Tentukan  $T_h'$  dari persamaan :

$$1. T_h' = \frac{C_h^t}{d_w^2}$$

- h. Hitunglah, untuk tekanan vacuum dan beban timbunan :

$$1. \gamma = - \frac{8T_h'}{\ln \frac{1-U_{t*v}}{U^*}}$$

- i. Tentukan diameter dan permeabilitas zona terganggu. Hitung dengan menggunakan atau menggunakan persamaan :

$$1. \partial = \left( \frac{K_h}{K_s} - 1 \right) \ln(s)$$

j. Hitung  $n$  dengan menggunakan persamaan :

$$1. n = e^{(\alpha \ln \gamma + \beta)}$$

ii. Dengan,

$$\text{iii. } \alpha = 0,3938 - (9,505 \times 10^{-4}) \partial^{1,5} + 0,03714 \partial^{0,5} \quad (12a)$$

$$\text{iv. } \beta = 0,4203 - (1,456 \times 10^{-3}) \partial^2 + 0,5233 \partial^{0,5} \quad (12b)$$

k. Hitung zona pengaruh drain,  $D = nd_w$

l. Pilihlah pola letak pemasangan drainase vertikal (PVD) dan tentukan jaraknya, dengan persamaan :

$$\text{i. } S = D/1,05 \text{ (susunan segitiga sama sisi) atau}$$

$$\text{ii. } S = D/1,13 \text{ (susunan bujursangkar)}$$

m. Menghitung Derajat Konsolidasi Rata-rata Seperti persamaan *PVD* dan *Preloading* diatas

### 3.5.3. Stone Column

Dengan perbaikan menggunakan teknik *stone column* ini, diharapkan tanah lempung dapat menghasilkan kapasitas daya dukung besar sehingga beban timbunan yang bekerja menjadi lebih besar, sehingga konsolidasi yang terjadi menjadi lebih cepat karena *stone column* sendiri juga dapat menjadi drainase tambahan untuk mengeluarkan air pori. Selain itu dengan *stone column* diharapkan pula penurunan yang terjadi akibat beban timbunan tersebut menjadi lebih kecil/berkurang.

Prosedur untuk menghitung secara jelas telah di paparkan pada bab 2 diatas dan akan langsung diaplikasikan dengan menggunakan program excel di bab 4 dengan beberapa penjelasannya

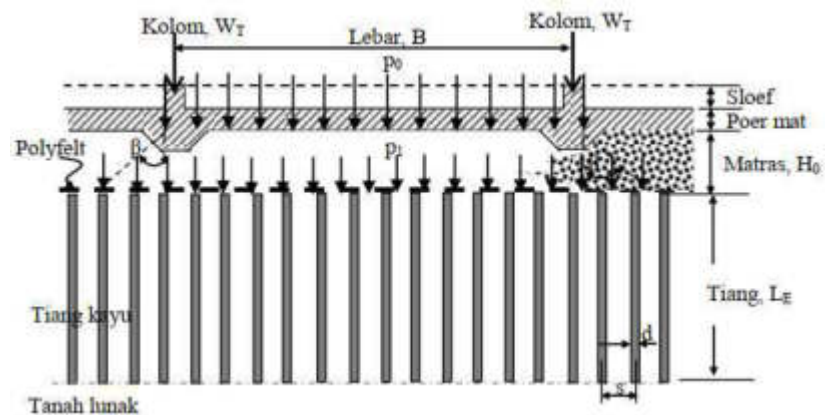
### 3.5.4. Cerucuk

Tekanan pembebanan akibat beban struktur bangunan di atas tanah lunak dengan menggunakan metode pondasi cerucuk tradisional dilaporkan bekerja baik pada tanah dasarnya yang jenuh dilaporkan mempunyai nilai kohesi  $c_u = 25 \text{ kN/m}^2$  yang berlokasi di Semarang (Roosseno, 1989). Data pembebanan struktur bangunan pada beban bertingkat dua sampai empat seperti pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Tekanan pembebanan konstruksi bangunan (Rooseno,1989)

	Bertingkat 2	Bertingkat 3	Bertingkat 4	Keterangan
Tekanan $p_0$ ( $\text{kN/m}^2$ )	27	37	47	Beban mati + beban hidup
kohesi $c$ ( $\text{kN/m}^2$ )	25	25	25	Lempung lunak
Tiang kayu $d$ (cm)	12	12	12	Kayu galam

Gambar 3.1 menunjukkan pemasangan tiang kayu yang mengikuti pola bujur sangkar dengan jarak antar tiang  $s = 3,3d$ , dipancang hingga kedalaman  $L_E = 4 - 5 \text{ m}$ . Selanjutnya, pemasangan Geotextile (*polyfelt*) diletakkan di atas permukaan tanah dasar lunak, penghamparan material granular sebagai matras dengan nilai kapasitas daya dukung yang lebih besar akan dapat menyebarkan beban. Metode konstruksi ini adalah telah diperkenalkan oleh Taylor (1948).



Gambar 3. 4 Skematik distribusi beban pada cerucuk (Darwis, 2017)

Untuk menjamin agar struktur matras bekerja dengan baik, maka penghambaran material tersebut harus dikerjakan dan dipadatkan per lapisan dengan alat mini tandem (Rooseno, 1989). Setelah sistem konstruksi pondasi rampung, maka pengerjaan superstruktur dapat dimulai dari plat poer, sloef dan kolom-kolom bangunan.

Reaksi struktur dengan asumsi ditumpu 4 kolom dibagi merata dimensi bangunan diasumsikan memiliki tegangan rata adalah  $p_0$  seperti tersebut dengan dimensi bangunan  $B$  = lebar,  $L$  = Panjang,

$$p_0 = \frac{4W_T}{B \times L} \quad (3.18)$$

sehingga intensitas tekanan beban distribusi  $p_1$  dapat ditulis,

$$P_1 = P_0 \left( \frac{B}{B + 2H_0 \tan \beta} \right) \left( \frac{L}{L + 2H_0 \tan \beta} \right) \quad (3.19)$$

Hasil distribusi tekanan beban superstruktur  $p_1$  pada permukaan tanah dasar yang diperkuat polyfelt dan cerucuk adalah harus lebih kecil atau sama dengan kapasitas dukung ijin  $q_{ijin}$ , hal ini biasanya dipertimbangkan sebagai kriteria stabilitas terhadap keruntuhan kapasitas dukung pondasi,

$$P_1 \leq q_{ijin} \quad (1.20)$$

Kapaitas dukung ijin tanah dasar diperkuat cerucuk kayu  $q_{ijin}$  adalah ditentukan dengan persamaan:

$$q_{ijin} = \frac{q_{batas} - q}{Fk} \quad (3.21)$$

Dimana  $Fk$  = faktor keamanan terhadap kapasitas dukung diambil  $Fk = 1.5 \sim 4.0$  (Das, 1999),  $q$  = tekanan akibat beban matras dalam interval:  $0.5 \text{ m} \leq H_0 \leq 3.0 \text{ m}$  (jika matras dengan tinggi  $H_0$  diletakan dibawah permukaan tanah dasar, maka  $q = H_0 \gamma_0$ ),  $\gamma_0$  = berat volume matras.

Kapasitas dukung batas tanah dasar diperkuat cerucuk kayu  $q_{ijin}$  adalah ditentukan pada permukaan tanah dengan persamaan:

$$q_{batas} = q_{cerucuk} + q_{polyfelt} \quad (3.22)$$

Di dalam kasus ini, perilaku kapasitas tarik lembaran polyfelt  $q_{polyfelt}$  dibawah matras adalah diperlakukan sebagai system pondasi telapak kaku ( $q_{polyfelt} \approx 0$ ).

Kapasitas dukung batas friksi cerucuk kayu yang terpancang mengapung didalam tanah  $q_{cerucuk}$  adalah dikembangkan dari metode static – Alfa oleh Tomlinson (1957), Burland (1973). Perkiraan luasan distribusi beban yang harus ditahan oleh kapasitas dukung tanah dasar yang terpancang tiang-tiang kayu dengan pola bujur sangkar dengan jarak antara tiang  $s$ , dan kohesi tanah rata-rata  $c_u$  sepanjang kayu terpancang (tanpa memperhitungkan efek konsolidasi akibat pembebanan) adalah dapat didefinisikan,

$$q_{crck} = \alpha_{crck} \times c_u \left[ \frac{(B + 2H_0 \operatorname{tg} \beta)(L + 2H_0 \operatorname{tg} \beta)}{S^2} \right] \quad (3.23)$$

Pada kasus ini, dimana data tekanan tanah dasar efektif  $\sigma_0'$  adalah tidak tersedia, sehingga salah satu solusi empiris menggunakan parameter indeks Plastisitas tanah sepanjang kedalaman pemancangan seperti yang telah dilaporkan oleh KolK dan Van der velde (1996) dan telah dikembangkan oleh Gavin dkk. (2010). Sehingga koefisien tahanan lekatan cerucuk kayu  $\alpha_{cerucuk}$  yang terpancang didalam tanah dapat didefinisikan bahwa.

$$\alpha_{cerucuk} = \left( 0,55 \left( \frac{L_E}{40d} \right) \right)^{-0,2} \times \left( \frac{c_u}{\sigma_0'} \right)^{-0,3} \quad (3.24)$$

Dimana nilai ratio tanah lempung jenuh air terhadap tekanan efektif tanah dasar jenuh air ( $c_u/\sigma_0'$ ) adalah dapat ditentukan berdasarkan nilai indeks Plastisitas tanah (IP) dalam satuan persen dilaporkan oleh Skempton (1954).

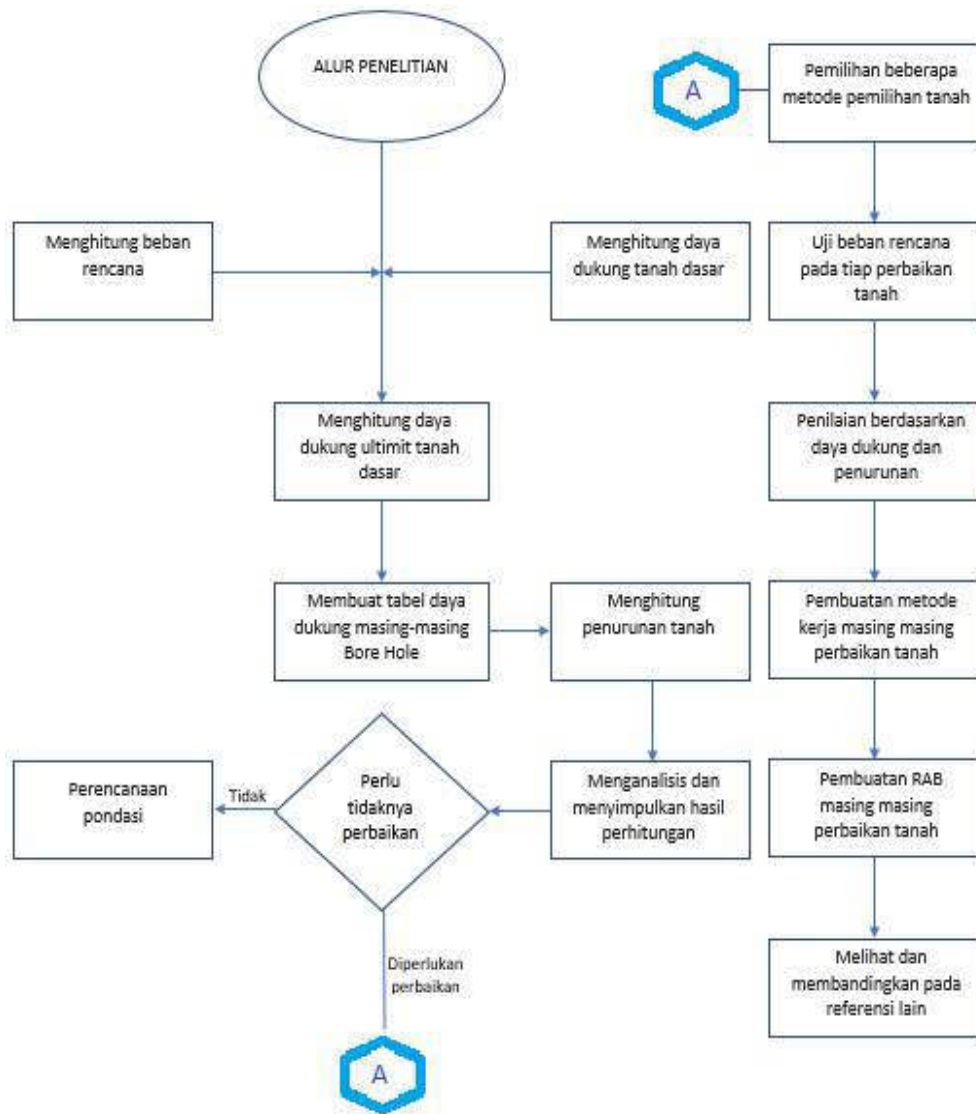
$$c_u / \sigma_0' = 0,11 + 0,0037 (IP) \quad (3.25)$$



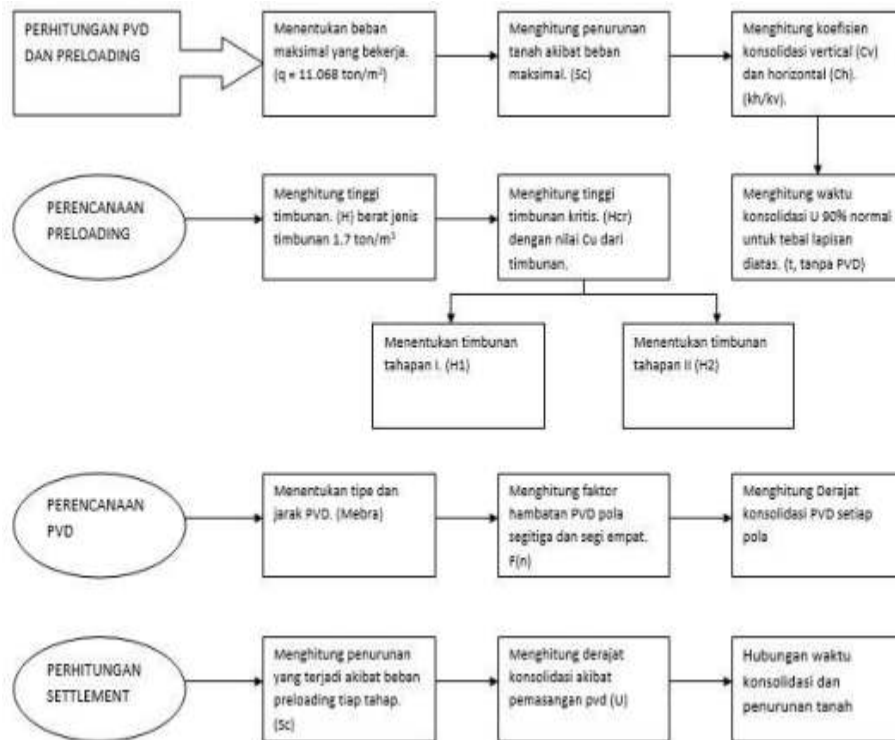
### 3-63.4 Diagram Alur (*Flowcharts*)

Untuk menggambarkan urutan logika dari suatu prosedur pemecahan masalah dapat dibuat sebuah diagram urutan pekerjaan atau diagram alur, pada sub bab ini penulis akan menyajikan jenis diagram alur konsep atau (*Conceptual flowchart*) menggambarkan alur pemecahan masalah secara global.

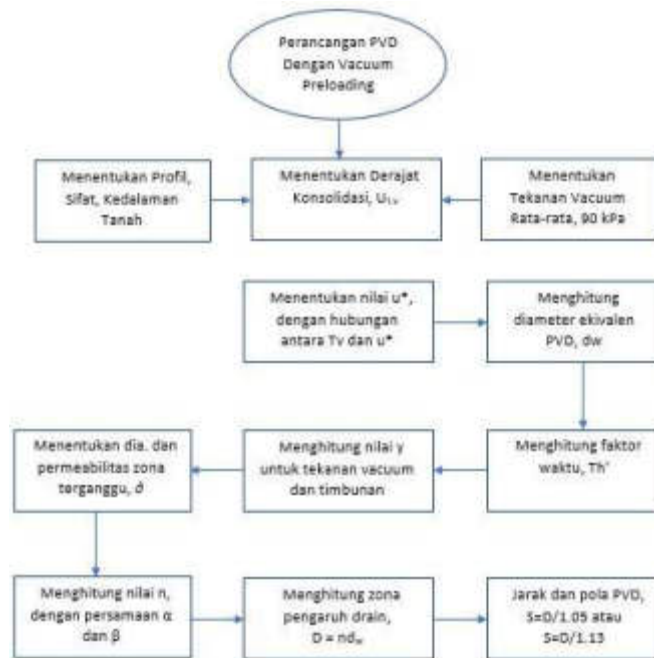
#### 3.4.1. Diagram alur konsep penelitian



Gambar 3. 5 Diagram alur konsep umum penelitian

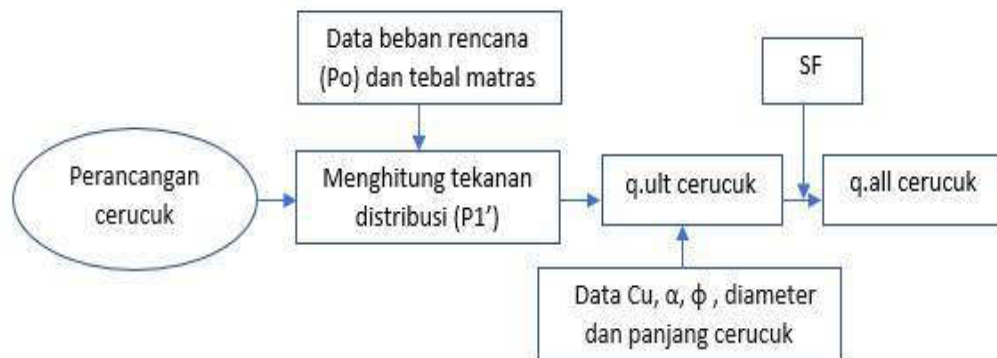
3.4.2. Diagram alur konsep *PVD* dan *Preloading*Gambar 3. 6 Diagram alur konsep *PVD* dan *Preloading*

### 3.4.3. Diagram alur konsep PVD, Preloading dan vacuum



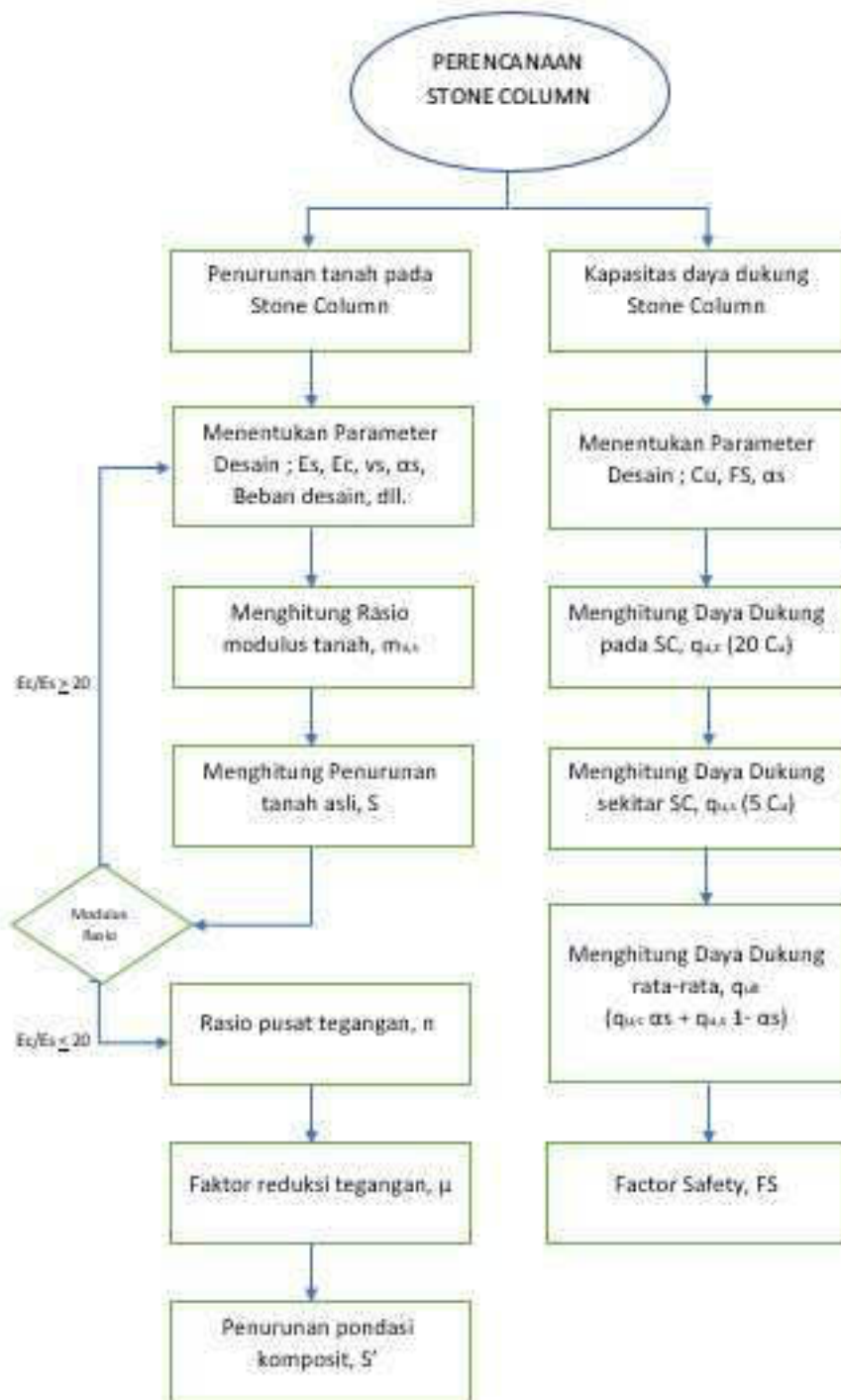
Gambar 3. 7 Diagram alur konsep PVD, Preloading dan vacuum

### 3.4.4. Diagram alur konsep cerucuk



Gambar 3. 8 Diagram alur konsep cerucuk

## 3.4.5. Diagram Alur Konsep Stone Column



Gambar 3. 9 Diagram alur konsep Stone Column

## 3.4.6. Diagram alur konsep Slab on pile



Gambar 3. 10 Diagram alur konsep Slab on Pile

### 3.73.5 Variabel pembobotan (*Scoring*)

Tabel 3. 2 Variabel Pembobotan (*Scoring*)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Metode		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	PVD + Preloading									
2	PVD + Vacuum									
3	Stone Column									
4	Cerucuk									
5	Slab on Pile									

Properties tanah

Parameter properties tanah telah dibahas secara teori di bab 2 yang diperlukan dalam perencanaan perbaikan tanah yaitu:

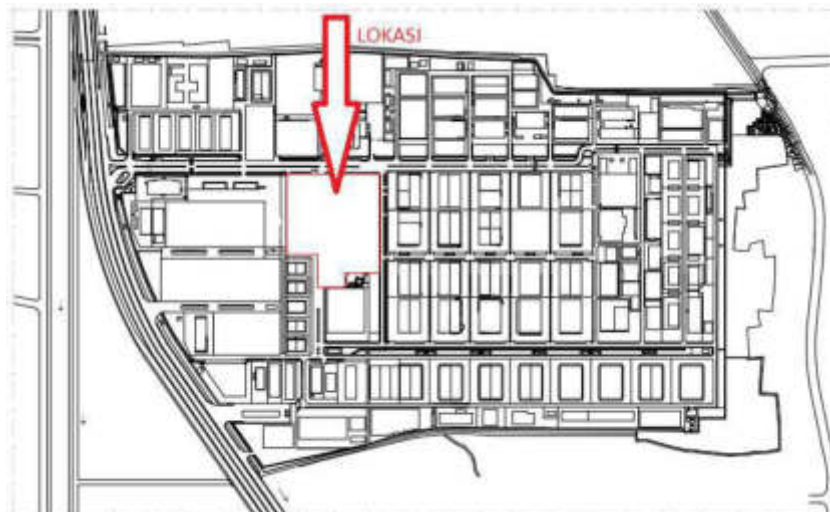
- ✓—Karakteristik tanah dari ukuran butir (Pasir, Lempung atau Lanau)
- ✓—Klasifikasi plastitas dan gradasi tanah
- ✓—Kepadatan tanah
- ✓—Komposisi angka pori ( $e$ )
- ✓—Porositas ( $n$ )
- ✓—Derajat kejenuhan ( $s$ )
- ✓—Modulus elastisitas Tanah ( $E_s$ )
- ✓—Poisson's Ratio
- ✓—Batas konsistensi tanah (Atterberg)
- ✓—Tegangan tanah normal, tekanan air pori dan tegangan tanah efektif
- ✓—Kuat geser tanah
- ✓—Koefisien konsolidasi ( $C_v$ ,  $C_h$ ,  $P_c$ ,  $C_c$ ,  $P_o$ ,  $C_s$  dan  $t_v$ )

## BAB 4

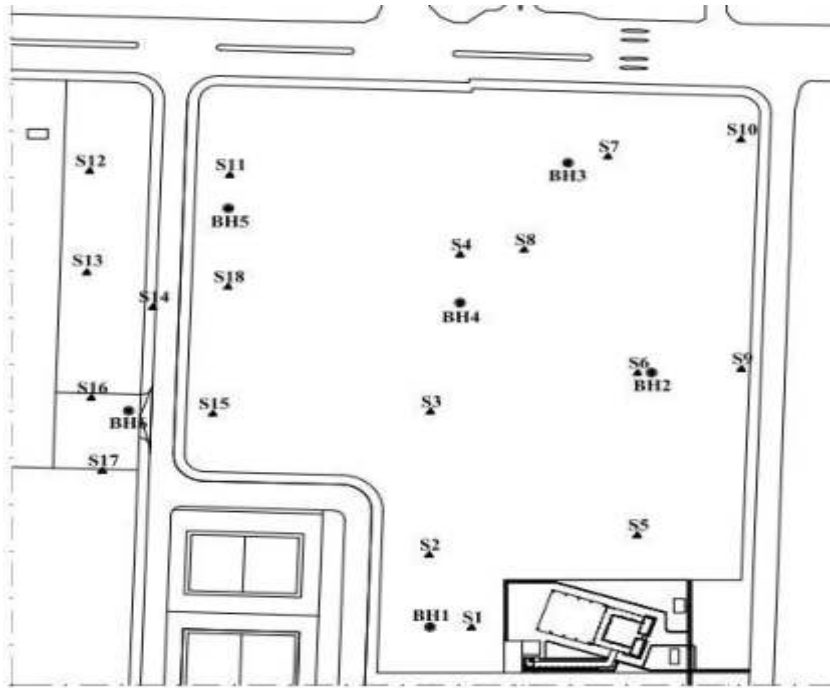
### -ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1 Lokasi dan kondisi tanah

Objek penelitian berada dilokasi Pembangunan Depo Kontainer di Blok B1 Kawasan Cakung dengan total luas area depo sekitar 6,6 Ha.

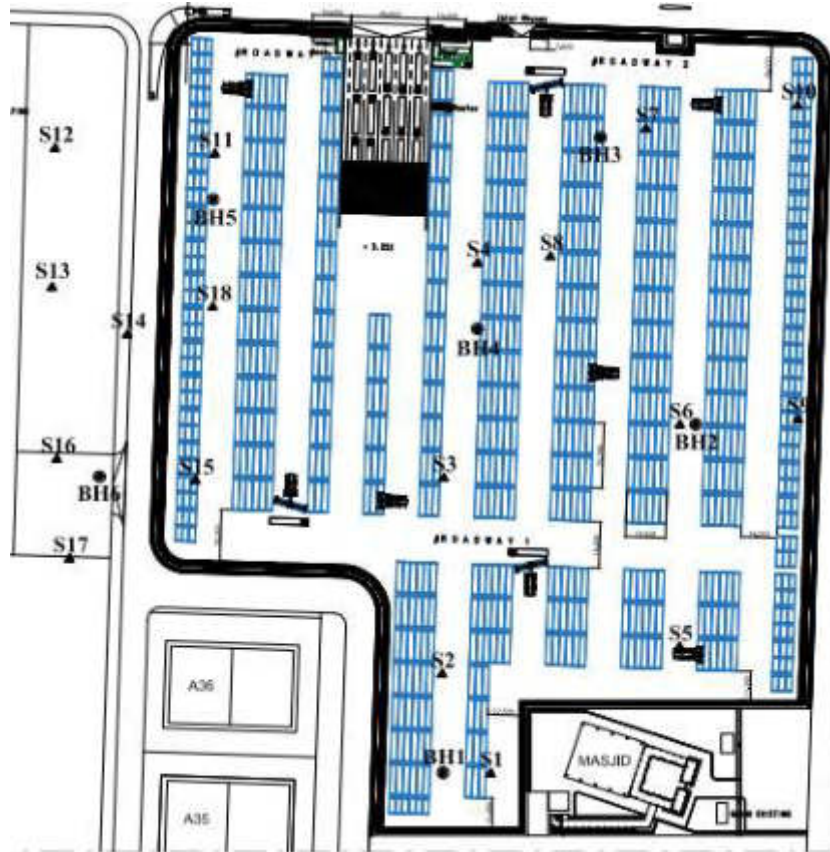


Gambar 4. 1 Lokasi penelitian (*Key Plan*) (Laporan Akhir, 2018)

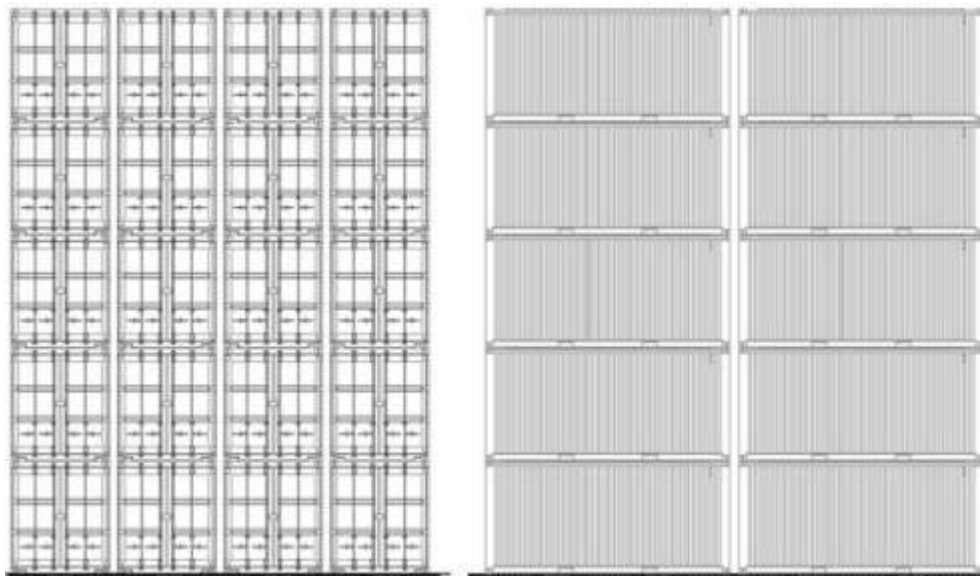


Gambar 4. 2 Lokasi titik boring dan sondir (Laporan Akhir, 2018)





Gambar 4. 3 Denah rencana depo petikemas (Laporan Akhir, 2018)



Gambar 4. 4 Ilustrasi penumpukan 5 tier petikemas 20 feet (max load)

Menggunakan beban 5 tier kontainer kapasitas 20' dengan berat mati 30.48 ton, sehingga  $5 \times 30.48 \text{ ton} = 152.4 \text{ ton}$ . Untuk analisis tegangan rencana pakai asumsi luasan petikemas ukuran 20 feet yang kemudian menghasilkan tegangan maksimal dibandingkan dengan semua rencana pembebanan yang terjadi pada depo petikemas tersebut seperti di jelaskan pada tabel dibawah ini

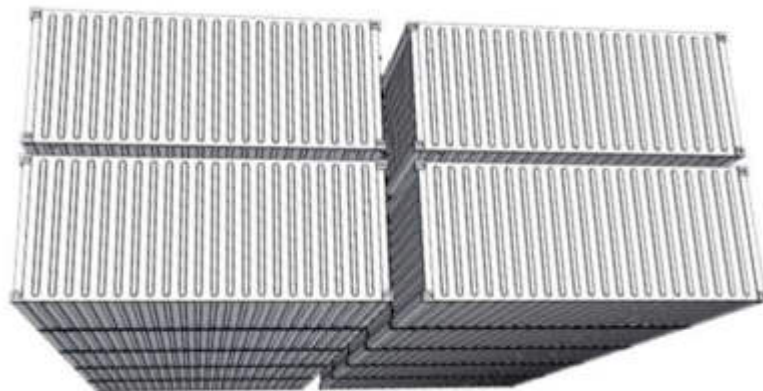
#### 4.2 Data tanah (penelitian) , spesifikasi material dan pembebanan (*Loading*)

Mengumpulkan semua beban yang terdapat dalam depo petikemas dan melakukan simulasi pembebanan dalam bentuk matriks seperti pada tabel dibawah ini

Tabel 4. 1. Skenario Pembebanan

No	deskripsi	kondisi	beban (t)	multiple	beban total (t)	Luas area tekan (m <sup>2</sup> )	Tegangan t/m <sup>2</sup>	Beban Slah t/m <sup>2</sup>	Jumlah Beban t/m <sup>2</sup>
1	Kontainer isi 20 feet	1	30.48	5	152.4	14.72	10.318213	0.75	11.06821259
2	Kontainer isi 20 feet	2	30.48	5	304.8	29.72	10.25572	0.75	11.00572005
3	Kontainer isi 20 feet	4	30.48	5	609.6	61.89	9.8497334	0.75	10.5997334
4	Kontainer isi 20 feet	6	30.48	5	914.4	94.05	9.72488	0.75	10.4748804
5	Kontainer isi 20 feet	12	30.48	5	1828.8	190.53	9.5984884	0.75	10.34848843
6	Kontainer isi 40 feet	1	32.5	5	162.5	29.72	5.4676985	0.75	6.21769852
7	Kontainer isi 40 feet	2	32.5	5	325	61.88	5.2521008	0.75	6.00210084
8	Kontainer isi 40 feet	4	32.5	5	650	128.65	5.0446255	0.75	5.794625534
9	Kontainer isi 40 feet	6	32.5	5	975	195.81	4.9793167	0.75	5.729316685
10	Kontainer isi 40 feet	12	32.5	5	1950	396.7	4.9155533	0.75	5.665553315
11	Reach Stacker	-	101.2	1	101.2	46.48	2.1772806	0.75	2.927280551
12	Kombinasi kontainer isi 20 f & R5	-	131.68	1	131.68	61.25	2.1498776	0.75	2.899877551
13	Kombinasi kontainer isi 40 f & R5	-	164.18	1	164.18	76.2	2.1545932	0.75	2.904593176
14	Truck + Containr isi	-	77.49	1	77.49	34.9975	2.21	0.75	2.964158154
15	40 Feet tarpunat	-	8.125	5	40.625				

Area tegangan atau bidang kontak petikemas adalah alas atau luas bagian bawah kontainer didapat tegangan yang terbesar ada pada tumpukan 5 (lima) petikemas 20 feet yaitu  $q_{\max} = 11.068 \text{ ton/m}^2$  dengan asumsi tegangan terbesar adalah pada kondisi 5 (lima) tumpuk dalam posisi berhadapan sehingga ada 4 sudut dalam satu titik seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 4. 5 Susunan penumpukan peti kemas

Spesifikasi Material sebagai berikut:

- a. Besi tulangan struktur grade ASTM A36 or equivalent.
- b. Tegangan leleh  $f_y$ : 3900 kg/cm<sup>2</sup>
- c. Yield Strength for Steel Structure  $f_y$ : 2400 kg/cm<sup>2</sup>
- d. Unit Weight of Reinforced Concrete  $\gamma_c$ : 2400 kg/m<sup>3</sup>

Untuk pekerjaan penyelidikan tanah di lapangan telah dilaksanakan dengan jumlah titik pengujian yang dilakukan:

- 18 (delapan belas) titik CPT/sondir
- 6 (enam) titik depth boring dengan undisturb sample

Dari pengujian CPT (sondir) didapat informasi tentang kondisi lapisan tanah hingga kedalaman lapisan tanah keras yang ditunjukkan dengan tahanan ujung konus > 100 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabel 4. 2 Hasil Sondir (CPT) (Laporan tanah Geoinvest, 2018)

<u>Titik</u>	<u>Kedalaman (m)</u> <u>qc &gt; 100 kg/cm<sup>2</sup></u>	<u>Tahanan Lekat (Tf)</u> <u>(kg/cm<sup>2</sup>)</u>
<u>1</u>	<u>- 15.80</u>	<u>1900</u>
<u>2</u>	<u>- 15.60</u>	<u>1700</u>
<u>3</u>	<u>- 15.00</u>	<u>1500</u>
<u>4</u>	<u>- 14.20</u>	<u>1000</u>
<u>5</u>	<u>- 15.80</u>	<u>1500</u>
<u>6</u>	<u>- 16.80</u>	<u>1500</u>
<u>7</u>	<u>- 17.60</u>	<u>&gt;2000</u>
<u>8</u>	<u>- 13.80</u>	<u>1400</u>
<u>9</u>	<u>- 16.80</u>	<u>&gt;2000</u>
<u>10</u>	<u>- 17.80</u>	<u>&gt;2000</u>
<u>11</u>	<u>- 14.60</u>	<u>&gt;2000</u>
<u>12</u>	<u>- 14.00</u>	<u>1800</u>
<u>13</u>	<u>- 15.00</u>	<u>&gt;2000</u>
<u>14</u>	<u>- 14.00</u>	<u>&gt;2000</u>
<u>15</u>	<u>- 14.80</u>	<u>&gt;2000</u>
<u>16</u>	<u>- 14.80</u>	<u>&gt;2000</u>
<u>17</u>	<u>- 16.00</u>	<u>&gt;2000</u>
<u>18</u>	<u>- 14.60</u>	<u>&gt;2000</u>

Tabel 4.3 Laporan penyelidikan tanah BH1 (Laporan tanah Geoinvest, 2018)

Project	Perencanaan Depo Kontainer Isi 0	Bor Hole No	BH-1
Location	Blok B Kawasan Cakung, Jakarta	Checked By	Singgih S.

ITEM OF TEST	PARAMETER	Unit	Depth	Depth	Depth
			UDS-1 1.50 - 2.00	UDS-2 3.50 - 4.00	UDS-3 5.50 - 6.00
<b>INDEX PROPERTIES</b>					
	Water Content ( Wn )	%	46.273	42.766	85.770
	Unit Weight of Soil ( $\gamma$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.705	1.732	1.494
	Unit Weight of Dry Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.165	1.213	0.804
	Specific Gravity	-	2.631	2.633	2.640
	Void Ratio ( e )	-	1.258	1.170	2.284
	Porosity ( n )	-	0.557	0.539	0.695
	Degree of Saturation ( Sr )	%	96.807	96.235	99.155
	Liquid Limit ( LL )	%	66.283	41.291	63.253
	Plastic Limit ( PL )	%	34.066	29.018	39.344
	Plastisity Index ( PI )	%	32.217	12.273	23.909
<b>GRAINED SIZE DISTRIBUTION</b>					
	Gravel	%	0.00	0.00	1.95
	Sand	%	3.00	11.65	2.65
	Silt	%	15.00	27.35	25.40
	Clay	%	82.00	61.00	70.00
	Organic Matter	%	-	-	-
<b>SHEAR STRENGTH PARAMETER</b>					
	<b>Unconfined Compression Test</b>				
	Ultimate Axial Strength ( $q_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Cohesion Undrained ( Cu )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Sensitivity ( St )	-	-	-	-
	<b>Direct Shear Test</b>				
	Cohesion Undrained ( Cu )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction ( $\phi$ )	Degree	-	-	-
	<b>Triaxial UU Test</b>				
	Cohesion Undrained ( Cu )	kN/m <sup>2</sup>	15.00	7.00	8.00
	Angle of Internal Friction ( $\phi$ )	Degree	15.48	16.10	11.22
	<b>Triaxial CU Test</b>				
	Cohesion Undrained Total ( Cu )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction Total ( $\phi$ )	Degree	-	-	-
	Cohesion Undrained Eff. ( Cu' )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction Eff. ( $\phi'$ )	Degree	-	-	-
<b>COMPRESSIBILITY</b>					
	Praconsolidation Pressure ( Pc )	Kg/cm <sup>2</sup>	1.91	1.06	1.57
	Compression Index ( Cc )	-	0.43	0.44	1.37
	Coef. Of Consolidation ( Cv )	Cm <sup>2</sup> /sec	0.48 X10 <sup>-3</sup>	0.89 X10 <sup>-3</sup>	0.33 X10 <sup>-3</sup>
	Rebound Index ( Cr )	-	0.045	0.03	0.07

Tabel 4. 4 Laporan penyelidikan tanah BH2 (Laporan tanah Geoinvest, 2018)

Project	Perencanaan Depo Kontainer Isi 0	Bor Hole No	BH-2
Location	Blok B Kawasan Cakung, Jakarta	Checked By	Singgih S.

ITEM OF TEST	PARAMETER	Unit	Depth	Depth	Depth
			UDS-1 3.00 - 3.50	UDS-2 5.00 - 5.50	UDS-3 7.00 - 7.50
<b>INDEX PROPERTIES</b>					
	Water Content ( Wn )	%	42.358	73.640	83.111
	Unit Weight of Soil ( $\gamma$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.758	1.549	1.496
	Unit Weight of Dry Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.235	0.892	0.817
	Specific Gravity	-	2.637	2.637	2.635
	Void Ratio ( e )	-	1.135	1.956	2.226
	Porosity ( n )	-	0.532	0.662	0.690
	Degree of Saturation ( Sr )	%	98.397	99.255	98.368
	Liquid Limit ( LL )	%	61.904	61.871	64.370
	Plastic Limit ( PL )	%	33.333	35.526	37.222
	Plasticity Index ( PI )	%	28.571	26.345	27.148
<b>GRAINED SIZE DISTRIBUTION</b>					
	Gravel	%	11.90	0.30	7.40
	Sand	%	12.50	4.25	5.50
	Silt	%	22.60	36.45	35.10
	Clay	%	53.00	59.00	52.00
	Organic Matter	%	-	-	-
<b>SHEAR STRENGTH PARAMETER</b>					
	<b>Unconfined Compression Test</b>				
	Ultimate Axial Strength ( $q_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Cohesion Undrained ( $C_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Sensitivity ( St )	-	-	-	-
	<b>Direct Shear Test</b>				
	Cohesion Undrained ( $C_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction ( $\phi$ )	Degree	-	-	-
	<b>Triaxial UU Test</b>				
	Cohesion Undrained ( $C_u$ )	kN/m <sup>2</sup>	17.00	6.00	6.00
	Angle of Internal Friction ( $\phi$ )	Degree	13.31	16.11	13.97
	<b>Triaxial CU Test</b>				
	Cohesion Undrained Total ( $C_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction Total ( $\phi$ )	Degree	-	-	-
	Cohesion Undrained Eff. ( $C_u'$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction Eff. ( $\phi'$ )	Degree	-	-	-
<b>COMPRESSIBILITY</b>					
	Praconsolidation Pressure ( $P_c$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	1.50	1.43	1.56
	Compression Index ( $C_c$ )	-	0.42	1.18	1.90
	Coef. Of Consolidation ( $C_v$ )	Cm <sup>2</sup> /sec	0.42 X10 <sup>-3</sup>	0.32 X10 <sup>-3</sup>	0.33 X10 <sup>-3</sup>
	Rebound Index ( $C_r$ )	-	0.04	0.05	0.1

Tabel 4. 5 Laporan penyelidikan tanah BH3 (Laporan tanah Geoinvest, 2018)

Project	Perencanaan Depo Kontainer Isi 0	Bor Hole No	BH-3		
Location	Blok B Kawasan Cakung, Jakarta	Checked By	Singgih S.		

ITEM OF TEST	PARAMETER	Unit	Depth	Depth	Depth
			UDS-1 4.00 - 4.50	UDS-2 6.00 - 6.50	UDS-3 7.50 - 8.00
<b>INDEX PROPERTIES</b>					
	Water Content ( Wn )	%	38.420	37.251	34.312
	Unit Weight of Soil ( $\gamma$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.794	1.821	1.800
	Unit Weight of Dry Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.296	1.327	1.340
	Specific Gravity	-	2.638	2.638	2.637
	Void Ratio ( e )	-	1.036	0.989	0.967
	Porosity ( n )	-	0.509	0.497	0.492
	Degree of Saturation ( Sr )	%	97.868	99.393	93.529
	Liquid Limit ( LL )	%	49.409	56.400	38.574
	Plastic Limit ( PL )	%	36.970	34.043	30.000
	Plasticity Index ( PI )	%	12.439	22.357	8.574
<b>GRAINED SIZE DISTRIBUTION</b>					
	Gravel	%	0.30	0.00	0.45
	Sand	%	6.45	5.20	7.95
	Silt	%	56.25	58.80	59.60
	Clay	%	37.00	36.00	32.00
	Organic Matter	%	-	-	-
<b>SHEAR STRENGTH PARAMETER</b>					
	<b>Unconfined Compression Test</b>				
	Ultimate Axial Strength ( $q_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Cohesion Undrained ( $C_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Sensitivity ( St )	-	-	-	-
	<b>Direct Shear Test</b>				
	Cohesion Undrained ( $C_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction ( $\phi$ )	Degree	-	-	-
	<b>Triaxial UU Test</b>				
	Cohesion Undrained ( $C_u$ )	kN/m <sup>2</sup>	32.00	54.00	23.00
	Angle of Internal Friction ( $\phi$ )	Degree	10.96	12.91	15.93
	<b>Triaxial CU Test</b>				
	Cohesion Undrained Total ( $C_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction Total ( $\phi$ )	Degree	-	-	-
	Cohesion Undrained Eff. ( $C_u'$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction Eff. ( $\phi'$ )	Degree	-	-	-
<b>COMPRESSIBILITY</b>					
	Praconsolidation Pressure ( $P_c$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	1.41	1.91	1.98
	Compression Index ( $C_c$ )	-	0.39	0.48	0.60
	Coef. Of Consolidation ( $C_v$ )	Cm <sup>2</sup> /sec	0.43 X10 <sup>-3</sup>	0.52 X10 <sup>-3</sup>	0.66 X10 <sup>-3</sup>
	Rebound Index ( $C_r$ )	-	0.04	0.05	0.03

Tabel 4. 6 Laporan penyelidikan tanah BH4 (Laporan tanah Geoinvest, 2018)

Project	Perencanaan Depo Kontainer Isi 0	Bor Hole No	BH-4
Location	Blok B Kawasan Cakung, Jakarta	Checked By	Singgih S.

ITEM OF TEST	PARAMETER	Unit	Depth UDS-1 1.00 - 1.50	Depth UDS-2 2.50 - 3.00	Depth UDS-3 4.50 - 5.00
<b>INDEX PROPERTIES</b>					
	Water Content ( Wn )	%	42.247	38.585	83.876
	Unit Weight of Soil ( $\gamma$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.717	1.775	1.494
	Unit Weight of Dry Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.207	1.281	0.813
	Specific Gravity	-	2.628	2.627	2.637
	Void Ratio ( e )	-	1.177	1.051	2.245
	Porosity ( n )	-	0.541	0.513	0.692
	Degree of Saturation ( Sr )	%	94.342	96.416	98.515
	Liquid Limit ( LL )	%	42.030	43.597	56.965
	Plastic Limit ( PL )	%	29.710	31.410	29.101
	Plasticity Index ( PI )	%	12.320	12.187	27.864
<b>GRAINED SIZE DISTRIBUTION</b>					
	Gravel	%	2.00	0.15	1.55
	Sand	%	6.90	5.05	7.15
	Silt	%	28.10	39.80	50.30
	Clay	%	63.00	55.00	41.00
	Organic Matter	%	-	-	-
<b>SHEAR STRENGTH PARAMETER</b>					
	<b>Unconfined Compression Test</b>				
	Ultimate Axial Strength ( $q_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Cohesion Undrained ( $C_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Sensitivity ( St )	-	-	-	-
	<b>Direct Shear Test</b>				
	Cohesion Undrained ( $C_u$ )	kN/m <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction ( $\phi$ )	Degree	-	-	-
	<b>Triaxial UU Test</b>				
	Cohesion Undrained ( $C_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	23.00	22.00	8.00
	Angle of Internal Friction ( $\phi$ )	Degree	13.25	14.87	10.67
	<b>Triaxial CU Test</b>				
	Cohesion Undrained Total ( $C_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction Total ( $\phi$ )	Degree	-	-	-
	Cohesion Undrained Eff. ( $C_u'$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction Eff. ( $\phi'$ )	Degree	-	-	-
<b>COMPRESSIBILITY</b>					
	Praconsolidation Pressure ( $P_c$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	1.43	1.75	0.95
	Compression Index ( $C_c$ )	-	0.48	0.37	1.00
	Coef. Of Consolidation ( $C_v$ )	Cm <sup>2</sup> /sec	0.43 X10 <sup>-3</sup>	0.47 X10 <sup>-3</sup>	0.48 X10 <sup>-3</sup>
	Rebound Index ( $C_r$ )	-	0.04	0.04	1.07

Tabel 4. 7 Laporan penyelidikan tanah BH5 (Laporan tanah Geoinvest, 2018)



Project	Perencanaan Depo Kontainer Isi 0	Bor Hole No	BH-5		
Location	Blok B Kawasan Cakung, Jakarta	Checked By	Singgih S.		

ITEM OF TEST	PARAMETER	Unit	Depth UDS-1 1.00 - 1.50	Depth UDS-2 3.00 - 3.50	Depth UDS-3 5.00 - 5.50
<b>INDEX PROPERTIES</b>					
	Water Content ( Wn )	%	42.792	46.432	74.412
	Unit Weight of Soil ( $\gamma$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.735	1.708	1.511
	Unit Weight of Dry Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.215	1.166	0.866
	Specific Gravity	-	2.622	2.635	2.640
	Void Ratio ( e )	-	1.158	1.259	2.048
	Porosity ( n )	-	0.537	0.557	0.672
	Degree of Saturation ( Sr )	%	96.909	97.168	95.935
	Liquid Limit ( LL )	%	55.088	51.213	55.493
	Plastic Limit ( PL )	%	32.510	28.125	26.860
	Plasticity Index ( PI )	%	22.578	23.088	28.633
<b>GRAINED SIZE DISTRIBUTION</b>					
	Gravel	%	2.20	0.95	1.25
	Sand	%	23.35	5.15	3.50
	Silt	%	21.45	22.90	58.25
	Clay	%	53.00	71.00	37.00
	Organic Matter	%	-	-	-
<b>SHEAR STRENGTH PARAMETER</b>					
	<b>Unconfined Compression Test</b>				
	Ultimate Axial Strength ( $q_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Cohesion Undrained ( $C_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Sensitivity ( St )	-	-	-	-
	<b>Direct Shear Test</b>				
	Cohesion Undrained ( $C_u$ )	kN/m <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction ( $\phi$ )	Degree	-	-	-
	<b>Triaxial UU Test</b>				
	Cohesion Undrained ( $C_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	7.00	12.00	3.00
	Angle of Internal Friction ( $\phi$ )	Degree	11.78	13.37	12.37
	<b>Triaxial CU Test</b>				
	Cohesion Undrained Total ( $C_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction Total ( $\phi$ )	Degree	-	-	-
	Cohesion Undrained Eff. ( $C_u'$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction Eff. ( $\phi'$ )	Degree	-	-	-
<b>COMPRESSIBILITY</b>					
	Praconsolidation Pressure ( $P_c$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	1.89	1.58	1.47
	Compression Index ( $C_c$ )	-	0.42	0.40	1.22
	Coef. Of Consolidation ( $C_v$ )	Cm <sup>2</sup> /sec	0.46 X10 <sup>-3</sup>	0.49 X10 <sup>-3</sup>	0.35 X10 <sup>-3</sup>
	Rebound Index ( $C_r$ )	-	0.07	0.03	0.04

Tabel 4. 8 Laporan penyelidikan tanah BH6 (Laporan tanah Geoinvest, 2018)

Project	Perencanaan Depo Kontainer Isi 0	Bor Hole No	BH-6
Location	Blok B Kawasan Cakung, Jakarta	Checked By	Singgih S.

ITEM OF TEST	PARAMETER	Unit	Depth UDS-1 1.00 - 1.50	Depth UDS-2 3.00 - 3.50	Depth UDS-3 5.00 - 5.50
<b>INDEX PROPERTIES</b>					
	Water Content ( Wn )	%	44.148	40.221	64.234
	Unit Weight of Soil ( $\gamma$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.723	1.754	1.537
	Unit Weight of Dry Soil ( $\gamma_d$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1.195	1.251	0.936
	Specific Gravity	-	2.624	2.629	2.633
	Void Ratio ( e )	-	1.196	1.101	1.813
	Porosity ( n )	-	0.545	0.524	0.645
	Degree of Saturation ( Sr )	%	96.892	96.021	93.263
	Liquid Limit ( LL )	%	53.019	34.721	48.753
	Plastic Limit ( PL )	%	25.221	25.670	30.620
	Plasticity Index ( PI )	%	27.798	9.051	18.133
<b>GRAINED SIZE DISTRIBUTION</b>					
	Gravel	%	3.55	0.00	0.45
	Sand	%	7.10	12.40	4.55
	Silt	%	34.35	37.60	48.00
	Clay	%	55.00	50.00	47.00
	Organic Matter	%	-	-	-
<b>SHEAR STRENGTH PARAMETER</b>					
	<b>Unconfined Compression Test</b>				
	Ultimate Axial Strength ( $q_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Cohesion Undrained ( $C_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Sensitivity ( St )	-	-	-	-
	<b>Direct Shear Test</b>				
	Cohesion Undrained ( $C_u$ )	kN/m <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction ( $\phi$ )	Degree	-	-	-
	<b>Triaxial UU Test</b>				
	Cohesion Undrained ( $C_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	12.00	1.00	3.00
	Angle of Internal Friction ( $\phi$ )	Degree	16.05	14.56	12.92
	<b>Triaxial CU Test</b>				
	Cohesion Undrained Total ( $C_u$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction Total ( $\phi$ )	Degree	-	-	-
	Cohesion Undrained Eff. ( $C_u'$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-
	Angle of Internal Friction Eff. ( $\phi'$ )	Degree	-	-	-
<b>COMPRESSIBILITY</b>					
	Praconsolidation Pressure ( $P_c$ )	Kg/cm <sup>2</sup>	1.85	1.72	1.44
	Compression Index ( $C_c$ )	-	0.46	0.41	0.94
	Coef. Of Consolidation ( $C_v$ )	Cm <sup>2</sup> /sec	0.47 X10 <sup>-3</sup>	0.62 X10 <sup>-3</sup>	0.34 X10 <sup>-3</sup>
	Rebound Index ( $C_r$ )	-	0.035	0.05	0.02

Tabel 4. 9 Kondisi tanah (Laporan tanah Geoinvest, 2018)

Kedalaman (m)	BH-01	BH-02	BH-03	BH-04	BH-05	BH-06
00.00				Timbunan Tanah		Timbunan Tanah
01.00	Lempung Kelanauan	Aspal				
02.00		Lanau	Lanau Kelempungan	Lempung	Lempung Kelanauan	Lempung Kelanauan
03.00						
04.00	Lempung bercampur Kulit Kerang	Lempung		Lanau Kelempungan		
05.00						
06.00				Lanau		
07.00					Lanau Kelempungan bercampur Kulit Kerang	Lanau Kelempungan
08.00		Lempung bercampur Kulit Kerang		Lanau		
09.00						
10.00			Lempung Kelanauan			Lempung Kelanauan
11.00	Lanau Kepasiran				Lanau Kepasiran	Lanau Membatu
12.00				Lanau Kepasiran		
13.00	Lanau Membatu	Lanau Kepasiran	Lanau Kelempungan			Lempung Kelanauan
14.00				Pasir & Batu Gravel	Lanau Membatu	Lanau Membatu
15.00	Lanau Kepasiran	Lanau Membatu	Lanau Kepasiran			
16.00		Pasir & Batu Gravel	Batu Gravel	Pasir Kelanauan		Lempung Kelanauan
17.00			Lanau Kepasiran		Pasir & Batu Gravel	
18.00				Pasir Kasar	Lanau Kepasiran	
19.00		Pasir & Batu Gravel		Pasir & Batu Gravel	Lanau Kelempungan Membatu	
20.00	Pasir & Batu Gravel			Lanau Kepasiran	Lanau & Batu Gravel	Pasir Kasar
21.00	Lanau Membatu	Pasir Kelanauan	Lanau Membatu		Lanau Kelempungan	
22.00				Pasir & Batu Gravel		
23.00	Lanau Kelempungan	Batu Gravel			Lanau Membatu	Lanau Kepasiran
24.00			Lanau Kepasiran	Pasir Halus		
25.00		Lanau Kepasiran				
26.00			Pasir Membatu	Pasir & Batu Gravel		Lanau Membatu
27.00	Lanau Membatu				Lanau Kepasiran	
28.00	Pasir Kelanauan	Lanau Membatu				
29.00	Lanau Kepasiran			Lanau Kepasiran		Lanau Kepasiran
30.00		Pasir & Batu Gravel	Pasir & Batu Gravel	Lempung Kelanauan	Lanau Membatu	Batu Gravel
31.00	Pasir & Batu Gravel					
32.00				Lanau Membatu	Pasir & Batu Gravel	Lanau Kepasiran
33.00	Lanau Kepasiran	Lanau Kepasiran		Lanau Kepasiran		
34.00	Kelempungan		Lanau Kepasiran	Lanau Kepasiran	Lanau Kelempungan Membatu	Lanau Kelempungan
35.00	Lanau Kepasiran	Lanau Kelempungan	Pasir Kelanauan	Lempung Kelanauan		Lanau Kepasiran
36.00						
37.00	Pasir Membatu	Pasir Halus bercampur Kulit Kerang	Lanau Kelempungan	Lanau Kepasiran bercampur Kulit	Lanau Kepasiran	Lempung Membatu
38.00	Pasir Halus					
39.00	Lanau Kepasiran	Pasir & Batu Gravel	Lanau Kepasiran	Lanau Kepasiran	Lanau Kelempungan Kepasiran	Pasir Kelanauan
40.00				Pasir & Batu Gravel		

|

Tabel 4. 10 Hasil Boring BH1 (Laporan tanah Geoinvest, 2018)

LOCATION		Blk B, Kawasan Cakung Jakarta		ELEVATION : m		Thin Wallied / Shelby Tube		Date of Tested							
BORE HOLE NO		BH-01		GWL from GS ± 5.00 m		SPT Automatic Hammer		14 to 16 Aug 18							
DEPTH		40.00 meter		DRILLING MACHINE TYPE		YBM 05D		Checked : Geoinves							
				TYPE OF CORING BARREL				Page : 1 / 2							
D E P T H  M	L O G	S P T	USCS	DESCRIPTION	U.D Sample Depth(m)	N - SPT				N - SPT DIAGRAM					
						1	2	3	4	10	20	30	40	50	60
0.00						0-15	15-30	30-45	Value						
-1.00	SSW		CH		1,00 - 1,50										
-2.00	SSW			SILTY CLAY, Brown Coloured soft consistency			2	2	2	4					
-3.00	SSW														
-4.00	SSW		CH	CLAY & ORGANIC SHELL, Brown Coloured soft consistency	3,00 - 3,50		1	2	2	4					
-5.00	SSW							1	1	2	3				
-6.00	SSW		CH		5,00 - 5,50			1	1	2	3				
-7.00	SSW			very soft consistency				1	1	2	3				
-8.00	SSW		CH					1	1	1	2				
-9.00	SSW							1	1	1	2				
-10.00	SSW							1	1	1	2				
-11.00	Ww		MH	SANDY SILT, Brown Coloured very stiff consistency				5	7	10	17				
-12.00	Ww														
-13.00	Ww		ML	CEMENTED SILT, Brownish Grey Coloured very stiff consistency				7	13	15	26				
-14.00	Ww														
-15.00	Ww			SANDY SILT, Brown Coloured very hard consistency				15	27	30	57				
-16.00	Ww		ML	very stiff consistency				9	13	15	26				
-17.00	Ww														
-18.00	Ww			hard consistency				11	17	24	41				
-19.00	Ww														
-20.00	Ww		SP	GRAVELLY SAND, Blackish Grey Coloured											
-21.00	Ww		ML	CEMENTED SILT, Brown Coloured very hard consistency				10	25	30	55				
-22.00	Ww														
-23.00	Ww		ML	CLAYEY SILT, Grey Coloured very hard consistency				13	27	33	60				
-24.00	Ww			very stiff consistency				9	11	14	25				
-25.00	Ww		ML	CLAYEY SILT, Grey Coloured											
-26.00	Ww														
-27.00	Ww		ML	CEMENTED SILT, Light Grey Coloured very stiff consistency				10	13	16	29				
-28.00	Ww		SP	SILTY SAND, Grey Coloured											
-29.00	Ww		ML	SANDY SILT, Grey Coloured hard consistency				13	20	27	47				
-30.00	Ww														
-31.00	Ww		SP	GRAVELLY SAND, Black Coloured very hard consistency				18	25	35	60				
-32.00	Ww														
-33.00	Ww		ML	SANDY CLAYEY SILT, Blackish Brown Coloured very hard consistency				21	30	30	59				
-34.00	Ww														
-35.00	Ww		ML	SANDY SILT, Brown Coloured hard consistency				11	13	17	30				
-36.00	Ww														
-37.00	Ww		SP	GRAVELLY SAND, Brownish Black Coloured hard consistency				13	15	35	50				
-38.00	Ww		SP	FINE SAND, Brown Coloured											
-39.00	Ww		ML	SANDY SILT, Black Coloured hard consistency				10	20	25	45				
-40.00	Ww							13	19	26	47				

Tabel 4. 11 Hasil Boring BH2 (Laporan tanah Geoinvest, 2018)

LOCATION		Blk B, Kaesah Cakung Jakarta		ELEVATION : m	Thin Walled / Shelby Tube		Date of Tested		16 to 18 Aug 18												
BORE HOLE NO		BH-02		GWL from GS ± 2.00 m	SPT Automatic Hammer		Checked : Georives														
DEPTH		40,00 meter		TYPE OF CORING BARREL		Page : 1 / 2															
D E P T H (m)	L O G	S P T	USCS	DESCRIPTION	U.D Sample Depth(m)	N - SPT				N - SPT DIAGRAM											
						I	II	III	N	10	20	30	40	50	60						
						0-15	15-30	30-45	Value												
0.00																					
-1.00				ASPHALT FILLED																	
-2.00	WWS		MH	SILT, Brown Coloured soft consistency		1	1	2	3												
-3.00	WWS																				
-4.00	WWS			CLAY, Brownish Grey Coloured	3.00 - 3.50																
-5.00	WWS		CH	CLAY, Grey Coloured medium consistency		2	2	4	6												
-6.00	WWS				5.00 - 5.50																
-7.00	WWS			soft consistency		1	1	2	3												
-8.00	WSW			CLAY & ORGANIC SHELL, Grey Coloured soft consistency	7.00 - 7.50	1	1	2	3												
-9.00	WSW		CH			1	1	2	3												
-10.00	WSW					1	1	2	3												
-11.00	WSW					1	1	2	3												
-12.00	WSW					1	2	2	4												
-13.00	WWS		MH	SANDY SILT, Brown Coloured soft consistency		1	2	2	4												
-14.00	WWS																				
-15.00	WWS		ML	CEMENTED SILT, Brown Coloured hard consistency		10	17	20	37												
-16.00	WSW		SP	GRAVELLY SAND, Blackish Brown Coloured																	
-17.00	WWS		ML	SANDY SILT, Brown Coloured hard consistency		13	20	23	43												
-18.00	WWS																				
-19.00	WSW		SP	GRAVELLY SAND, Black Coloured very hard consistency		15	20	30	50												
-20.00	WSW																				
-21.00	WSW		SP	SILTY SAND, Black Coloured very hard consistency		20	27	33	60												
-22.00	WSW																				
-23.00	WSW		GP	GRAVEL, Grey Coloured hard consistency		12	19	23	42												
-24.00	WSW																				
-25.00	WWS		ML	SANDY SILT, Brownish Black Coloured very hard consistency		18	27	30	57												
-26.00	WWS																				
-27.00	WWS		ML	CEMENTED SILT, Blackish Grey Coloured very hard consistency		13	20	35	55												
-28.00	WWS																				
-29.00	WWS					17	23	37	60												
-30.00	WSW		SP	GRAVELLY SAND, Greyish Black Coloured hard consistency		15	19	27	46												
-31.00	WSW																				
-32.00	WWS		ML	SANDY SILT, Brown Coloured hard consistency		10	15	19	34												
-33.00	WWS																				
-34.00	WWS																				
-35.00	WWS		ML	CLAYEY SILT, Grey Coloured hard consistency		13	17	25	42												
-36.00	WWS																				
-37.00	WSW		SP	FINE SAND & ORGANIC SHELL, Black Coloured hard consistency		15	19	21	40												
-38.00	WSW																				
-39.00	WSW		SP	GRAVELLY SAND, Blackish Grey Coloured hard consistency		13	17	23	40												
-40.00	WSW					15	24	36	60												
				very hard consistency																	

Tabel 4. 12 Hasil Boring BH3 (Laporan tanah Geoinvest, 2018)

LOCATION		Blok B. Kawasan Cawang Jakarta		ELEVATION : m	Thin Wallied / Shelby Tube		Date of Test												
BORE HOLE NO		BH-03		GWL from GS ± 3.00 m	SPT Automatic Hammer		06 to 07 Aug 18												
DEPTH		40,00 meter		DRILLING MACHINE TYPE		YBM 05D		Checked : Geowis											
				TYPE OF CORING BARREL				Page : 1 / 2											
D E P T H (m)	L O G	S P T	USCS	DESCRIPTION	U.D Sample Depth(m)	N - SPT				N - SPT DIAGRAM									
						I	II	III	N	10	20	30	40	50	60				
						0-15	15-30	30-45	Value										
0.00																			
-1.00	WWW		MH	CLAYEY SILT, Greyish Brown Coloured soft consistency															
-2.00	WWW																		
-3.00	WWW																		
-4.00	WWW					3.50 - 4.00													
-5.00	WWW		MH		SILT, Greyish Brown Coloured medium consistency														
-6.00	WWW				5.50 - 6.00														
-7.00	WWW																		
-8.00	WWW		MH	SILT, Grey Coloured medium consistency	7.50 - 8.00														
-9.00	WWW																		
-10.00	WWW		OH	SILTY CLAY, Brownish Grey Coloured medium consistency															
-11.00	WWW																		
-12.00	WWW																		
-13.00	WWW		ML	CLAYEY SILT, Greyish Brown Coloured hard consistency															
-14.00	WWW																		
-15.00	WWW		ML	SANDY SILT, Brown Coloured very hard consistency															
-16.00	WWW		GP	GRAVEL, Black Coloured very hard consistency															
-17.00	WWW																		
-18.00	WWW		SP	COARSE SAND, Black Coloured very hard consistency															
-19.00	WWW																		
-20.00	WWW		ML	CEMENTED SILT, Blackish Grey Coloured very hard consistency															
-21.00	WWW																		
-22.00	WWW																		
-23.00	WWW																		
-24.00	WWW		ML	SANDY SILT, Dark Grey Coloured hard consistency															
-25.00	WWW		SP	CEMENTED SAND, Blackish Grey Coloured very hard consistency															
-26.00	WWW		SP																
-27.00	WWW																		
-28.00	WWW		SP	GRAVELLY SAND, Brown Coloured hard consistency															
-29.00	WWW																		
-30.00	WWW																		
-31.00	WWW		SP	very hard consistency															
-32.00	WWW																		
-33.00	WWW		ML	SANDY SILT, Blackish Grey Coloured very hard consistency															
-34.00	WWW																		
-35.00	WWW		SP	SILTY SAND, Black Coloured hard consistency															
-36.00	WWW																		
-37.00	WWW		ML	CLAYEY SILT, Grey Coloured hard consistency															
-38.00	WWW																		
-39.00	WWW		ML	SANDY SILT, Blackish Grey Coloured hard consistency															
-40.00	WWW																		

Tabel 4. 13 Hasil Boring BH4 (Laporan tanah Geoinvest, 2018)

LOCATION		Blak B, Kawasan Cakung Jakarta		ELEVATION : m		Thin Walled / Shelby Tube		Date of Tested											
BORE HOLE NO		BH-04		GWL from GS ± 4.00 m		SPT Automatic Hammer		12 to 14 Aug 18											
DEPTH		40.00 meter		DRILLING MACHINE TYPE		YBM 05D		Checked : Geoinves											
				TYPE OF CORING BARREL				Page : 1 / 2											
D E P T H  H	L O G	S P T	USCS	DESCRIPTION	U.D Sample Depth(m)	N - SPT				N - SPT DIAGRAM									
						I	II	III	N	10	20	30	40	50	60				
0.00				SOIL FILLED															
-1.00																			
-2.00		②	CH	CLAY, Brown Coloured soft consistency	1,00 - 1,50	1	2	2	4										
-3.00		②		Greyish Brown Coloured	3,00 - 3,50														
-4.00		②																	
-5.00		②	MH	CLAYEY SILT, Brownish Black Coloured soft consistency	5,00 - 5,50	1	2	2	4										
-6.00		②																	
-7.00		②		SILT, Grey Coloured soft consistency		2	2	2	4										
-8.00		②																	
-9.00		②	MH	Brownish Coloured		1	1	2	3										
-10.00		②																	
-11.00		②																	
-12.00		②	MH	SANDY SILT, Brown Coloured soft consistency		1	1	2	3										
-13.00		②																	
-14.00		②	SP	GRAVELLY SAND, Brown Coloured hard consistency		15	23	27	50										
-15.00		②																	
-16.00		②	SP	SILTY SAND, Black Coloured hard consistency		10	21	24	45										
-17.00		②																	
-18.00		②	ML	SANDY SILT, Blackish Grey Coloured															
-19.00		②	SP	GRAVELLY SAND very dense consistency		7	13	15	28										
-20.00		②																	
-21.00		②	ML	SANDY SILT, Blackish Grey Coloured hard consistency		10	17	23	40										
-22.00		②	SP	GRAVELLY SAND, Black Coloured very hard consistency		15	23	37	60										
-23.00		②																	
-24.00		②	SP	FINE SAND, Grey Coloured															
-25.00		②	SP	GRAVELLY SAND, Brown Coloured very hard consistency		21	27	33	60										
-26.00		②	SP																
-27.00		②																	
-28.00		②	ML	SANDY SILT, Brown Coloured hard consistency		13	19	25	44										
-29.00		②																	
-30.00		②	CL	SILTY CLAY, Grey Coloured very stiff consistency		8	13	16	29										
-31.00		②																	
-32.00		②	ML	CEMENTED SILT, Grey Coloured															
-33.00		②																	
-34.00		②	ML	SANDY SILT, Grey Coloured very hard consistency		17	25	30	55										
-35.00		②																	
-36.00		②	CL	SILTY CLAY, Light Grey Coloured hard consistency		10	15	21	36										
-37.00		②																	
-38.00		②	ML	SANDY SILT & ORGANIC SHELL, Brownish Coloured very stiff consistency		9	13	15	28										
-39.00		②	ML	SANDY SILT, Brown Coloured hard consistency		13	17	25	42										
-40.00		②	SP	GRAVELLY SAND, Greyish Black Coloured very hard consistency		21	27	33	60										

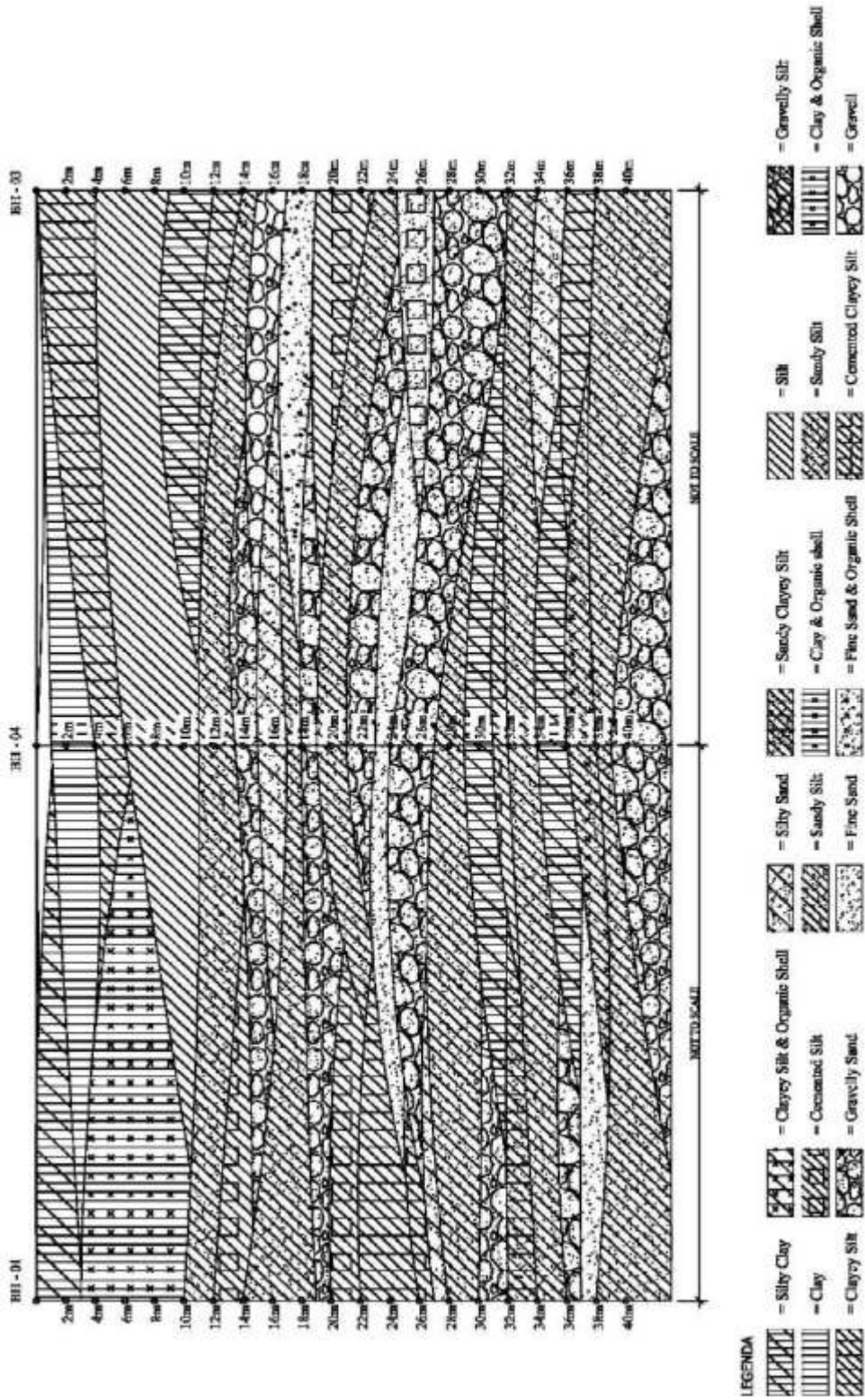


Tabel 4. 14 Hasil Boring BH5 (Laporan tanah Geoinvest, 2018)

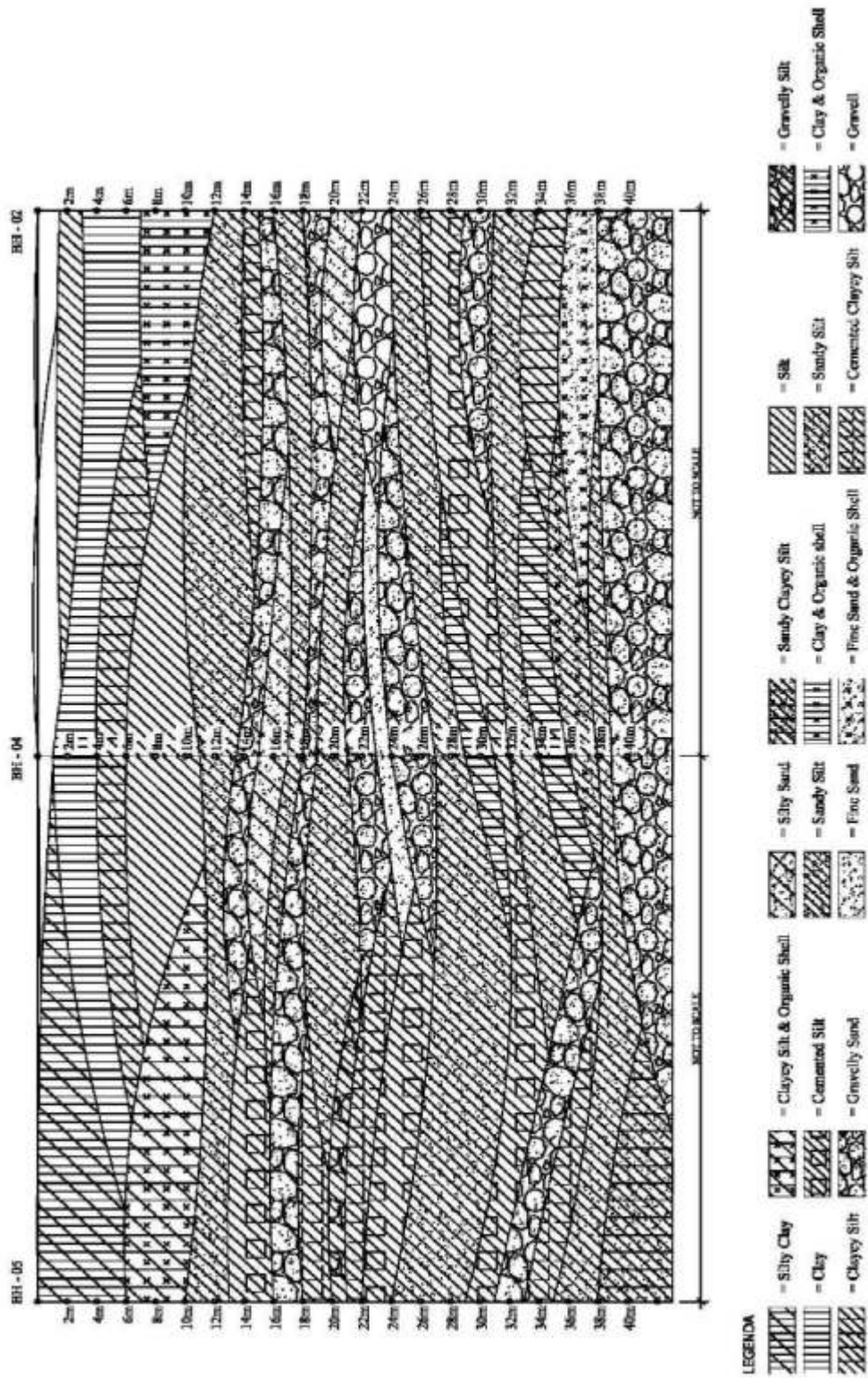
LOCATION		Blak Bl, Kawasan Cakung Jakarta		ELEVATION : m	Thin Walled / Shelby Tube	Date of Tested		08 to 09 Aug 18											
BORE HOLE NO		BH-05		GWL from OS ± 4.50 m	SPT Automatic Hammer	Checked : Geolives													
DEPTH		40,00 meter		TYPE OF CORING BARREL		Page : 1 / 2													
D E P T H (m)	L O G	S P T	USCS	DESCRIPTION	U.D Sample Depth(m)	N - SPT				N - SPT DIAGRAM									
						I	II	III	N	10	20	30	40	50	60				
						0-15	15-30	30-45	45-60										
0.00																			
-1.00				SILTY CLAY, Reddish Brown Coloured	1,00 - 1,50														
-2.00				Brownish Grey Coloured soft consistency															
-3.00			CH	Grey Coloured	3,00 - 3,50														
-4.00				Brown Coloured soft consistency															
-5.00					5,00 - 5,50														
-6.00																			
-7.00				CLAYEY SILT & ORGANIC SHELL, Grey Coloured medium consistency															
-8.00			MH	soft consistency															
-9.00																			
-10.00																			
-11.00				SANDY SILT, Brown Coloured soft consistency															
-12.00			MH	medium consistency															
-13.00																			
-14.00				CEMENTED SILT, Brown Coloured very hard consistency															
-15.00			ML																
-16.00																			
-17.00			SP	GRAVELLY SAND, Greyish Black Coloured very hard consistency															
-18.00																			
-19.00			ML	CEMENTED CLAYEY SILT, Brownish Grey Coloured very hard consistency															
-20.00																			
-21.00			ML	GRAVELLY SILT, Grey Coloured hard consistency															
-22.00				CEMENTED CLAYEY SILT, Brownish Grey Coloured															
-23.00			ML	CEMENTED SILT, Blackish Grey Coloured very hard consistency															
-24.00																			
-25.00				SANDY SILT, Brownish Grey Coloured															
-26.00			ML	SANDY SILT, Brownish Grey Coloured hard consistency															
-27.00				Blackish Grey Coloured															
-28.00																			
-29.00																			
-30.00			ML	CEMENTED SILT, Dark Grey Coloured very hard consistency															
-31.00																			
-32.00			SP	GRAVELLY SAND, Brown Coloured very hard consistency															
-33.00																			
-34.00			ML	CEMENTED CLAYEY SILT, Grey Coloured hard consistency															
-35.00																			
-36.00			ML	SANDY SILT, Grey Coloured very hard consistency															
-37.00																			
-38.00																			
-39.00			ML	SANDY CLAYEY SILT, Greyish Black Coloured hard consistency															
-40.00																			

Tabel 4. 15 Hasil Boring BH6 (Laporan tanah Geoinvest, 2018)

LOCATION		Blok II, Kawasan Cakung Jakarta		ELEVATION : m		Thin Wall / Shelby Tube		Date of Tested											
BORE HOLE NO		BH-06		IGWL from GS ± 3.00 m		SPT Automatic Hammer		10 to 11 Aug 18											
DEPTH		40.00 meter		DRILLING MACHINE TYPE		YBM 05C		Checked : Geotimes											
				TYPE OF CORING BARREL				Page : 1 / 2											
D E P T H	L O G	S P T	USCS	DESCRIPTION	U.D Sample Depth(m)	N - SPT				N - SPT DIAGRAM									
						I	II	III	N	10	20	30	40	50	60				
0.00				FILLED SOIL - CLAY, Red Coloured															
-1.00	#####																		
-2.00	#####			SILTY CLAY, Brownish Grey Coloured soft consistency	1,00 - 1,50														
-3.00	#####	①	CH			1	1	2	3										
-4.00	#####	②			3,00 - 3,50	1	1	2	3										
-5.00	#####	③				1	2	2	4										
-6.00	#####	④		CLAYEY SILT, Grey Coloured soft consistency	5,00 - 5,50	1	2	2	4										
-7.00	#####	⑤				2	2	2	4										
-8.00	#####	⑥	CH			1	2	2	4										
-9.00	#####	⑦				2	2	2	4										
-10.00	#####	⑧				1	2	2	4										
-11.00	#####	⑨	CH	SILTY CLAY, Brown Coloured soft consistency		2	2	2	4										
-12.00	#####			CEMENTED SILT, Brown Coloured															
-13.00	#####	⑩	CH	SILTY CLAY, Brown Coloured stiff consistency Grey Coloured		4	4	6	10										
-14.00	#####																		
-15.00	#####	⑪	ML	CEMENTED SILT, Brown Coloured very Hard consistency		14	25	27	53										
-16.00	#####	⑫																	
-17.00	#####	⑬	CL	SILTY CLAY, Grey Coloured hard consistency		13	15	17	32										
-18.00	#####			CEMENTED SILT, Brown Coloured hard consistency															
-19.00	#####	⑭	ML			15	20	25	45										
-20.00	#####																		
-21.00	#####	⑮	SP	COARSE SAND, Brown Coloured very hard consistency		18	27	33	60										
-22.00	#####																		
-23.00	#####	⑯	ML	SANDY SILT, Black Coloured hard consistency		13	17	20	37										
-24.00	#####																		
-25.00	#####	⑰	ML	CEMENTED SILT, Blackish Grey Coloured hard consistency		15	20	25	45										
-26.00	#####																		
-27.00	#####	⑱	ML	CEMENTED SILT, Blackish Grey Coloured very hard consistency		20	25	30	55										
-28.00	#####																		
-29.00	#####	⑲	ML	SANDY SILT, Black Coloured very hard consistency		27	30	30	>60										
-30.00	#####																		
-31.00	#####	⑳	GP	GRAVELL, Brown Coloured very hard consistency		20	30	35	>60										
-32.00	#####																		
-33.00	#####	㉑	ML	SANDY SILT, Grey Coloured hard consistency		10	15	21	36										
-34.00	#####																		
-35.00	#####	㉒	ML	CLAYEY SILT, Brownish Grey Coloured very stiff consistency		9	13	15	26										
-36.00	#####																		
-37.00	#####	㉓	CL	CEMENTED CLAY, Grey Coloured hard consistency		13	19	21	40										
-38.00	#####																		
-39.00	#####	㉔	SP	SILTY SAND, Greyish Black Coloured hard consistency		15	20	25	45										
-40.00	#####																		
						15	21	27	48										



Gambar 4. 6 Statigrafi BH 1-4-3 ((Laporan tanah Geoinvest, 2018)



Gambar 4. 7 Statigrafi BH 1-4-3 ((Laporan tanah Geoinvest, 2018)

#### 4.1.1. Analisis Tanah

Dari hasil penelitian laboratorium secara umum lokasi depo petikemas berada didaerah tanah yang bersifat lempung. Dengan kapasitas daya dukung yang cukup besar di bagian atas melemah setelah kedalaman rata-rata 4 meter kemudian merambat naik dan akhirnya sampai pada batuan keras di kedalaman diatas 15 meter, dapat disimpulkan bahwa lokasi kemungkinan besar berada diatas tanah urugan atau reklamasi. Perkiraan yang umum pada daerah pesisir, untuk selanjutnya peneliti akan menganalisis tanah berdasarkan kapasitas daya dukung dan penurunan dengan menggunakan data-data tanah yang tersedia.

e.l. Analisis daya dukung dengan metode keruntuhan

Asumsi pondasi dangkal dengan  $q_u$  rata rata berada pada lapisan tebal 1.5 meter dengan kedalaman  $z = 75$  cm dan luas area tegangan adalah dimensi dasar petikemas yaitu  $B = 2,44$  meter dan  $L = 6,06$  meter dengan formula pada persamaan (2.13) sebagai berikut :  $q_u = c\lambda_{cs}\lambda_{cd}\lambda_{ci}N_c + q\lambda_{qs}\lambda_{qd}\lambda_{qi}N_q + \frac{1}{2}\lambda_{\gamma s}\lambda_{\gamma d}\lambda_{\gamma i}BN_{\gamma}$

Tabel 4. 16 Kapasitas daya dukung ultimit

No. BH	Tebal Lapisan m	z m	Cu kN/m <sup>2</sup>	Ø	N <sub>c</sub>	N <sub>γ</sub>	γ kN/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh Beban		q <sub>u</sub> kN/m <sup>2</sup>	q (Beban) kN/m <sup>2</sup>	q <sub>all</sub> kN/m <sup>2</sup>	Remarks
								B	L				
								m	m				
1	1.50	0.75	15.00	15.48	12.90	2.50	17.05	2.44	6.06	264.64	110.68	88.21	NOT OK
2	1.50	0.75	17.00	13.31	12.90	2.50	17.58	2.44	6.06	295.04	110.68	98.35	NOT OK
3	1.50	0.75	32.00	10.96	9.60	1.20	17.94	2.44	6.06	368.42	110.68	122.81	OK
4	1.50	0.75	23.00	13.25	12.90	2.50	17.17	2.44	6.06	380.64	110.68	126.88	OK
5	1.50	0.75	7.00	11.78	9.60	1.20	17.35	2.44	6.06	98.65	110.68	32.88	NOT OK
6	1.50	0.75	12.00	16.05	12.90	2.50	17.23	2.44	6.06	221.77	110.68	73.92	NOT OK

Hasil analisis dengan metode ini menunjukkan kapasitas daya dukung pada 4 dari 6 titik tidak mampu menahan beban ultimit. Untuk selanjutnya BH3 dan BH 4 tidak dihitung sebagai tanah lunak yang perlu perbaikan tanah, sementara itu titik BH 5 adalah titik yang memiliki daya dukung terlemah.

a. Analisis besar penurunan konsolidasi

Asumsi beban merata maksimal sebesar 11.06 ton/m<sup>2</sup> (Tabel 4.1) pada sisi dasar petikemas dan berada pada 4 buah susunan petikemas (gambar 4.5) beban tersebut berpengaruh terhadap 3 lapisan tanah dibawah beban tersebut.

Tabel 4. 17 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-01

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh Beban				I	$\Delta e$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Po'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m	m	n					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16		17	18	19
1	1.50	0.75	0.96	0.37	0.05	1.71	1.28	21.05	11.07	2.44	6.06	3.25	8.08	0.23	0.35	10.03	11.31	0.26
2	2.00	2.50	1.03	0.32	0.03	1.73	4.29	11.68	11.07	2.44	6.06	0.98	2.42	0.20	0.16	8.96	13.25	0.15
3	11.50	9.25	2.02	0.85	0.07	1.49	19.73	17.31	11.07	2.44	6.06	0.26	0.65	0.07	0.05	3.04	22.76	0.20
<i>Penurunan Total Akibat Beban 5 Tumpuk Container 20 ft.</i>																		0.61977

BH-01

Tabel 4. 18 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-02

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh Beban				I	$\Delta e$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Po'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m	m	n					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16		17	18	19
1	1.50	0.75	0.81	0.30	0.04	1.76	1.32	16.53	11.07	2.44	6.06	3.25	8.08	0.23	0.28	10.03	11.35	0.23
2	2.00	2.50	1.63	0.79	0.05	1.55	4.19	15.76	11.07	2.44	6.06	0.98	2.42	0.20	0.39	8.96	13.15	0.30
3	11.50	9.25	1.94	1.08	0.10	1.50	19.61	17.20	11.07	2.44	6.06	0.26	0.65	0.07	0.07	3.04	22.65	0.26
<i>Penurunan Total Akibat Beban 5 Tumpuk Container 20 ft.</i>																		0.79477

BH-02

Tabel 4. 19 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-05

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh Beban				I	$\Delta e$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Po'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m	m	n					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16		17	18	19
1	1.50	0.75	1.00	0.38	0.07	1.74	1.30	20.83	11.07	2.44	6.06	3.25	8.08	0.23	0.36	10.03	11.33	0.27
2	2.00	2.50	1.04	0.30	0.03	1.71	4.31	17.42	11.07	2.44	6.06	0.98	2.42	0.20	0.15	8.96	13.27	0.14
3	11.50	9.25	1.99	0.88	0.04	1.51	19.91	16.20	11.07	2.44	6.06	0.26	0.65	0.07	0.05	3.04	22.95	0.21
<i>Penurunan Total Akibat Beban 5 Tumpuk Container 20 ft.</i>																		0.62078

Tabel 4. 20 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-06

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh Beban				I	$\Delta e$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Po'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m	m	n					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	16		17	18	19
1	1.50	0.75	1.18	0.38	0.04	1.72	1.29	20.39	11.07	2.44	6.06	3.25	8.08	0.23	0.36	10.03	11.32	0.25
2	2.00	2.50	1.04	0.33	0.05	1.75	4.34	18.96	11.07	2.44	6.06	0.98	2.42	0.20	0.16	8.96	13.30	0.16
3	11.50	9.25	1.62	0.61	0.02	1.54	20.10	15.87	11.07	2.44	6.06	0.26	0.65	0.07	0.04	3.04	23.14	0.16
<i>Penurunan Total Akibat Beban 5 Tumpuk Container 20 ft.</i>																	0.56802	

BH-06

Hasil analisis dengan metode ini menunjukkan terjadi penurunan akibat konsolidasi rata diatas 50 centimeter. Titik BH 2 adalah titik yang memiliki penurunan yang terbesar yakni mencapai 79.48 centimeter

b. Analisis laju penurunan konsolidasi (waktu)

Asumsi waktu yang dipakai dalam analisis adalah pertahun, dengan menggunakan rumus  $t_v$  pada persamaan (2.15) yaitu:

$$t_v = \frac{T_v \times H^2}{C_v}$$

Dengan waktu dalam  $t_v$  dikonversi dari detik ke tahun, untuk masing lokasi boring didapat tabel laju penurunan pertahun sebagai berikut:

Tabel 4. 21 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-01

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh Beban				Sc m	Tv	Cv m <sup>2</sup> /det	t tahun	Penurunan /tahun Cm
										B m	L m	m	n					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	19	20	21	22	22
1	1.50	0.75	0.96	0.37	0.05	1.71	1.28	21.05	11.07	2.44	6.06	3.25	8.08	0.26	0.85	4.8E-08	1.26	20.99
2	2.00	2.50	1.03	0.32	0.03	1.73	4.29	11.68	11.07	2.44	6.06	0.98	2.42	0.15	0.85	8.9E-08	1.21	12.76
3	11.50	9.25	2.02	0.85	0.07	1.49	19.73	17.31	11.07	2.44	6.06	0.26	0.65	0.20	0.85	3.3E-08	107.76	0.19
<i>Penurunan Total Akibat Beban 5 Tumpuk Container 20 ft.</i>															0.61977			

BH-01

Tabel 4. 22 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-02

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh Beban				Sc m	Tv	Cv m <sup>2</sup> /det	t tahun	Penurunan /tahun Cm
										B m	L m	m	n					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	19	20	21	22	22
1	1.50	0.75	0.81	0.30	0.04	1.76	1.32	16.53	11.07	2.44	6.06	3.25	8.08	0.23	0.85	4.2E-08	1.45	15.94
2	2.00	2.50	1.63	0.79	0.05	1.55	4.19	15.76	11.07	2.44	6.06	0.98	2.42	0.30	0.85	3.2E-08	3.37	8.85
3	11.50	9.25	1.94	1.08	0.10	1.50	19.61	17.20	11.07	2.44	6.06	0.26	0.65	0.26	0.85	3.3E-08	106.79	0.25
<i>Penurunan Total Akibat Beban 5 Tumpuk Container 20 ft.</i>															0.79477			

BH-02

Tabel 4. 23 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-05

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh Beban				Sc m	Tv	Cv m <sup>2</sup> /det	t tahun	Penurunan /tahun Cm
										B	L	m	n					
										m	m	m	m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	19	20	21	22	22
1	1.50	0.75	1.00	0.38	0.07	1.74	1.30	20.83	11.07	2.44	6.06	3.25	8.08	0.27	0.85	4.6E-08	1.30	20.57
2	2.00	2.50	1.04	0.30	0.03	1.71	4.31	17.42	11.07	2.44	6.06	0.98	2.42	0.14	0.85	4.9E-08	2.21	6.52
3	11.50	9.25	1.99	0.88	0.04	1.51	19.91	16.20	11.07	2.44	6.06	0.26	0.65	0.21	0.85	3.6E-08	100.17	0.21
Penurunan Total Akibat Beban 5 Tumpuk Container 20 ft.														0.62078				

BH-05

Tabel 4. 24 Tabel Laju Penurunan Konsolidasi BH-06

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh Beban				Sc m	Tv	Cv m <sup>2</sup> /det	t tahun	Penurunan /tahun Cm
										B	L	m	n					
										m	m	m	m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	19	20	21	22	22
1	1.50	0.75	1.18	0.38	0.04	1.72	1.29	20.39	11.07	2.44	6.06	3.25	8.08	0.25	0.85	4.7E-08	1.28	19.28
2	2.00	2.50	1.04	0.33	0.05	1.75	4.34	18.96	11.07	2.44	6.06	0.98	2.42	0.16	0.85	6.2E-08	1.73	9.11
3	11.50	9.25	1.62	0.61	0.02	1.54	20.10	15.87	11.07	2.44	6.06	0.26	0.65	0.16	0.85	3.4E-08	104.59	0.16
Penurunan Total Akibat Beban 5 Tumpuk Container 20 ft.														0.56802				

BH-06

Hasil analisis dengan metode ini menunjukkan terjadi laju penurunan akibat konsolidasi terbesar adalah pada titik BH 1 yakni mencapai 20.99 cm/tahun

c. Hasil analisis dan rekomendasi awal

Setelah mempelajari dan menghitung berdasarkan data tanah didapatkan kapasitas daya dukung yang tidak cukup, penurunan akibat konsolidasi yang besar serta laju penurunan tanah pertahun yang besar membuktikan bahwa tanah yang teliti tidak dapat digunakan untuk keperluan depo petikemas. Namun apabila dilakukan pekerjaan perbaikan tanah (*soil improvement*) maka tanah tersebut dapat diperbaiki sehingga mampu digunakan untuk keperluan depo petikemas atau kepentingan lainnya.

Telah di sampaikan diatas bahwa penulis akan menghitung dan mendisain dengan menggunakan 4 (empat) macam metode perbaikan tanah dan 1 (satu) metode struktur (pondasi) yaitu:

1. PVD dan Preloading
2. PVD dan Vacuum
3. *Stone column*
4. Cerucuk
5. Slab on pile



### 4.3 Perbaikan Tanah

Dari hasil analisis diatas disimpulkan bahwa untuk dibangun depo petikemas perlu dilakukan pekerjaan perbaikan tanah seperti:

#### 4.3.1. Preloading dan PVD

Analisis dan perhitungan secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

##### 1. Perencanaan PVD

a. Menghitung faktor hambatan PVD ( $F(n)$ )

b. Menghitung derajat konsolidasi rata rata pola segitiga dan segiempat

Perhitungan derajat konsolidasi rata-rata dapat dilihat pada tabel 4.24 untuk pola pemasangan segitiga dengan jarak 0.8 m, sedangkan untuk pola pemasangan segiempat dapat dilihat pada tabel 4.25

Tabel 4. 25 Perhitungan faktor hambatan PVD pola segitiga

Jarak PVD (m)	D (mm)	a (mm)	b (mm)	Dw (mm)	n = D/Dw	F(n)
0.8	840	98	2.5	63.98	13.129103	1.8248314
1	1050	98	2.5	63.98	16.411379	2.0479749
1.25	1312.5	98	2.5	63.98	20.514223	2.2711185
1.5	1575	98	2.5	63.98	24.617068	2.45344
1.75	1837.5	98	2.5	63.98	28.719912	2.6075907

Tabel 4. 26 Perhitungan faktor hambatan PVD pola segiempat

Jarak PVD (m)	D (mm)	a (mm)	b (mm)	Dw (mm)	n = D/Dw	F(n)
0.8	904	98	2.5	63.98	14.129415	1.8982588
1	1130	98	2.5	63.98	17.661769	2.1214024
1.25	1412.5	98	2.5	63.98	22.077212	2.3445459
1.5	1695	98	2.5	63.98	26.492654	2.5268675
1.75	1977.5	98	2.5	63.98	30.908096	2.6810182

Diasusikan tipe Prefabricated Vertical Drain (PVD) yang digunakan adalah tipe Mebra						
Keterangan :						
D = Diameter <i>equivalen</i> tanah yang menjadi daerah pengaruh PVD						
1.13 x S untuk pola pemasangan segitiga						
Dw = diameter <i>equivalen</i> dari <i>vertical drain</i>						
a = Panjang Band Shaped PVD						
b = Lebar Band Shaped PVD						
n = rasio jarak						
F(n) = faktor hambatan akibat jarak PVD						

Setelah dilakukan perhitungan didapatkan pola segitiga dengan jarak 80 cm merupakan jarak optimum dari pola pvd yang efisien sehingga dalam perhitungan akan hanya ditampilkan pola tersebut.

Berikut akan disajikan data data hasil perhitungan derajat konsolidasi rata rata vertikal dan horizontal untuk masing masing BH dengan pola segitiga kemudian atas hasil tersebut ditentukan lama preloading dan mekanisme pembebanan dalam hal ini dilakukan 2 kali pembebanan sebagai berikut:

Tabel 4. 27 Derajat konsolidasi (U) pola segitiga jarak 0.8 m BH 1

Pola segi tiga dengan jarak (S) 0.8 m					
t	Tv	Th	Uv	Uh	U tot
minggu			(%)	(%)	(%)
1	0.00003	0.059400	0.006182	0.2292627	23.4027313
2	0.00007	0.118800	0.0094431	0.4059639	41.1573474
3	0.0001	0.178200	0.0112867	0.5421542	54.7321766
4	0.00013	0.237600	0.0128688	0.6471212	65.1662271
5	0.00016	0.297000	0.0142766	0.7280231	73.1906004
6	0.0002	0.356400	0.0159617	0.7903772	79.3723185
7	0.00023	0.415800	0.0171171	0.8384359	84.1201412
8	0.00026	0.475200	0.0181992	0.8754765	87.7742747
<b>9</b>	<b>0.00029</b>	<b>0.534600</b>	<b>0.0192205</b>	<b>0.9040251</b>	<b>90.5869788</b>
10	0.00033	0.594000	0.0205032	0.9260286	92.7545216
11	0.00036	0.653400	0.0214149	0.9429875	94.420837
12	0.00039	0.712800	0.0222894	0.9560583	95.7037731
BH-01					

Tabel 4. 28 Derajat konsolidasi (U) pola segitiga jarak 0.8 m BH 2

Pola segi tiga dengan jarak (S) 0.8 m					
t	Tv	Th	Uv	Uh	U tot
minggu			(%)	(%)	(%)
1	0.00003	0.057420	0.006182	0.2225433	22.7349535
2	0.00007	0.114840	0.0094431	0.3955611	40.1268903
3	0.0001	0.172260	0.0112867	0.530075	53.5378853
4	0.00013	0.229680	0.0128688	0.6346537	63.9355211
5	0.00016	0.287100	0.0142766	0.715959	72.0014191
6	0.0002	0.344520	0.0159617	0.7791705	78.2695292
7	0.00023	0.401940	0.0171171	0.8283146	83.1253357
8	0.00026	0.459360	0.0181992	0.866522	86.8951237
9	0.00029	0.516780	0.0192205	0.8962267	89.8221249
<b>10</b>	<b>0.00033</b>	<b>0.574200</b>	<b>0.0205032</b>	<b>0.9193207</b>	<b>92.0974923</b>
11	0.00036	0.631620	0.0214149	0.9372754	93.8618613
12	0.00039	0.689040	0.0222894	0.9512343	95.2321274
BH-02					

Tabel 4. 29 Derajat konsolidasi (U) pola segitiga jarak 0.8 m BH 5

Pola segi tiga dengan jarak (S) 0.8 m					
t	Tv	Th	Uv	Uh	U tot
minggu			(%)	(%)	(%)
1	0.00003	0.063900	0.006182	0.2443186	24.899023
2	0.00007	0.127800	0.0094431	0.4289457	43.4338203
3	0.0001	0.191700	0.0112867	0.5684649	57.3335486
4	0.00013	0.255600	0.0128688	0.673897	67.8093512
5	0.00016	0.319500	0.0142766	0.75357	75.7088204
6	0.0002	0.383400	0.0159617	0.8137775	81.6749892
7	0.00023	0.447300	0.0171171	0.8592751	86.1683892
8	0.00026	0.511200	0.0181992	0.8936568	89.5592172
<b>9</b>	<b>0.00029</b>	<b>0.575100</b>	<b>0.0192205</b>	<b>0.9196384</b>	<b>92.1183024</b>
10	0.00033	0.639000	0.0205032	0.9392723	94.0517379
11	0.00036	0.702900	0.0214149	0.9541092	95.509193
12	0.00039	0.766800	0.0222894	0.9653212	96.6094133
BH-05					

Tabel 4. 30 Derajat konsolidasi (U) pola segitiga jarak 0.8 m BH 6

Pola segi tiga dengan jarak (S) 0.8 m					
t	Tv	Th	Uv	Uh	U tot
minggu			(%)	(%)	(%)
1	0.00003	0.061200	0.006182	0.2353207	24.0047925
2	0.00007	0.122400	0.0094431	0.4152656	42.0787288
3	0.0001	0.183600	0.0112867	0.5528657	55.7912356
4	0.00013	0.244800	0.0128688	0.6580857	66.2485682
5	0.00016	0.306000	0.0142766	0.7385452	74.227788
6	0.0002	0.367200	0.0159617	0.8000709	80.3262139
7	0.00023	0.428400	0.0171171	0.8471184	84.973526
8	0.00026	0.489600	0.0181992	0.8830946	88.5222172
<b>9</b>	<b>0.00029</b>	<b>0.550800</b>	<b>0.0192205</b>	<b>0.9106049</b>	<b>91.2323071</b>
10	0.00033	0.612000	0.0205032	0.9316414	93.3042955
11	0.00036	0.673200	0.0214149	0.9477276	94.8846991
12	0.00039	0.734400	0.0222894	0.9600284	96.0919306
BH-06					

## 2. Perencanaan Preloading

### a. Menentukan beban rencana

$$q_{\text{load}} = 1.2 \times q_{\text{load}} = 1.2 \times 11.068 \times 10 = 132.82 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tinggi timbunan (Hf)} = 132.82/18 = 7.38 \text{ meter}$$

### b. Menentukan tinggi kritis

Data tanah timbunan:  $c_u = 38 \text{ kN/m}^2$ ,  $\gamma_{\text{timb}} = 1.8 \text{ kg/m}^3$  maka:

No. BH	Tebal Lapisan	z	Cu	$\gamma$ .timb	Hcr
	m	m	kN/m <sup>2</sup>		
	1	2	3	4	5
1	1.50	0.75	38.00	18.00	4.22
2	1.50	0.75	38.00	18.00	4.22
3	1.50	0.75	38.00	18.00	4.22
4	1.50	0.75	38.00	18.00	4.22
5	1.50	0.75	38.00	18.00	4.22
6	1.50	0.75	38.00	18.00	4.22

Rencana pembebanan dilakukan 2 tahap dengan  $H_0 = 4$  m (tahap 1) dan  $H_1 = 3.38$  m (tahap 2)

c. Penurunan tanah akibat timbunan pada tiap lapisan

1. penurunan dalam 2 tahap

Tabel 4. 31 Penurunan akibat preloading tahap 1 BH1

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh		I	$\Delta e$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	P'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	17	18	19	20
1	1.50	0.75	0.96	0.37	0.05	1.71	1.28	21.05	8.64	2.44	6.06	0.23	0.31	7.83	9.11	0.24
2	2.00	2.50	1.03	0.32	0.03	1.73	4.29	11.68	8.64	2.44	6.06	0.20	0.13	6.99	11.28	0.13
3	11.50	9.25	2.02	0.85	0.07	1.49	19.73	17.31	8.64	2.44	6.06	0.07	0.04	2.37	22.10	0.16
<i>Penurunan Total Akibat Beban timbunan 4 m dengan pemadatan</i>																0.53

Tabel 4. 32 Penurunan akibat preloading tahap 2 BH1

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh		I	$\Delta e$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	P'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	17	18	19	20
1	1.50	0.75	0.96	0.37	0.05	1.71	7.25	21.05	7.30	2.44	6.06	0.23	0.10	6.62	13.86	0.08
2	2.00	2.50	1.03	0.32	0.03	1.73	16.22	11.68	7.30	2.44	6.06	0.20	0.04	5.91	22.13	0.04
3	11.50	9.25	2.02	0.85	0.07	1.49	55.53	17.31	7.30	2.44	6.06	0.07	0.01	2.00	57.53	0.05
<i>Penurunan Total Akibat Beban timbunan 2.15 m dengan pemadatan</i>																0.171

Total penurunan BH1 = 70 cm > 62 cm (Penurunan akibat beban rencana)

Tabel 4. 33 Penurunan akibat preloading tahap 1 BH2

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh		I	$\Delta e$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	P'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	17	18	19	20
1	1.50	0.75	0.81	0.30	0.04	1.76	1.32	16.53	8.64	2.44	6.06	0.23	0.25	7.83	9.15	0.21
2	2.00	2.50	1.63	0.79	0.05	1.55	4.19	15.76	8.64	2.44	6.06	0.20	0.34	6.99	11.18	0.26
3	11.50	9.25	1.94	1.08	0.10	1.50	19.61	17.20	8.64	2.44	6.06	0.07	0.05	2.37	21.98	0.21
<i>Penurunan Total Akibat Beban timbunan 4 m dengan pemadatan</i>																0.674

Tabel 4. 34 Penurunan akibat preloading tahap 2 BH2

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh		I	$\Delta e$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	P'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	17	18	19	20
1	1.50	0.75	0.81	0.30	0.04	1.76	7.47	16.53	7.30	2.44	6.06	0.23	0.08	6.62	14.09	0.07
2	2.00	2.50	1.63	0.79	0.05	1.55	16.49	15.76	7.30	2.44	6.06	0.20	0.11	5.91	22.40	0.08
3	11.50	9.25	1.94	1.08	0.10	1.50	56.53	17.20	7.30	2.44	6.06	0.07	0.02	2.00	58.53	0.06
<i>Penurunan Total Akibat Beban timbunan 2.15 m dengan pemadatan</i>																0.212

Total penurunan BH2 = 88.7 cm > 79.5 cm (Penurunan akibat beban rencana)

Tabel 4. 35 Penurunan akibat preloading tahap 1 BH5

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh		I	$\Delta e$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	P'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	17	18	19	20
1	1.50	0.75	1.00	0.38	0.07	1.74	1.30	20.83	8.64	2.44	6.06	0.23	0.32	7.83	9.13	0.24
2	2.00	2.50	1.04	0.30	0.03	1.71	4.31	17.42	8.64	2.44	6.06	0.20	0.13	6.99	11.30	0.12
3	11.50	9.25	1.99	0.88	0.04	1.51	19.91	16.20	8.64	2.44	6.06	0.07	0.04	2.37	22.28	0.17
<i>Penurunan Total Akibat Beban timbunan 4 m dengan pemadatan</i>																0.53

Tabel 4. 36 Penurunan akibat preloading tahap 2 BH5

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh		I	$\Delta e$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	P'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	17	18	19	20
1	1.50	0.75	1.00	0.38	0.07	1.74	7.37	20.83	7.30	2.44	6.06	0.23	0.11	6.62	13.99	0.08
2	2.00	2.50	1.04	0.30	0.03	1.71	16.46	17.42	7.30	2.44	6.06	0.20	0.04	5.91	22.37	0.04
3	11.50	9.25	1.99	0.88	0.04	1.51	56.35	16.20	7.30	2.44	6.06	0.07	0.01	2.00	58.35	0.05
<i>Penurunan Total Akibat Beban timbunan 2.15 m dengan pemadatan</i>																0.17

Total penurunan BH5 = 70.0 cm > 62.1 cm (Penurunan akibat beban rencana)

Tabel 4. 37 Penurunan akibat preloading tahap 1 BH6

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh		I	$\Delta e$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	P'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	17	18	19	20
1	1.50	0.75	1.18	0.38	0.04	1.72	1.29	20.39	8.64	2.44	6.06	0.23	0.32	7.83	9.12	0.22
2	2.00	2.50	1.04	0.33	0.05	1.75	4.34	18.96	8.64	2.44	6.06	0.20	0.14	6.99	11.33	0.14
3	11.50	9.25	1.62	0.61	0.02	1.54	20.10	15.87	8.64	2.44	6.06	0.07	0.03	2.37	22.47	0.13
<i>Penurunan Total Akibat Beban timbunan 4 m dengan pemadatan</i>																0.487

Tabel 4. 38 Penurunan akibat preloading tahap 2 BH6

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pe' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh		I	$\Delta c$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	P'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	17	18	19	20
1	1.50	0.75	1.18	0.38	0.04	1.72	7.32	20.39	7.30	2.44	6.06	0.23	0.11	6.62	13.94	0.07
2	2.00	2.50	1.04	0.33	0.05	1.75	16.40	18.96	7.30	2.44	6.06	0.20	0.04	5.91	22.31	0.04
3	11.50	9.25	1.62	0.61	0.02	1.54	56.28	15.87	7.30	2.44	6.06	0.07	0.01	2.00	58.29	0.04
Penurunan Total Akibat Beban timbunan 2.15 m dengan pemadatan																0.157

Total penurunan BH5 = 64.4 cm > 56.8 cm (Penurunan akibat beban rencana)

### 3. Hasil Analisis teknis PVD Preloading

Tabel 4. 39 Hasil analisis perbaikan PVD dan Preloading

Pola segi tiga dengan jarak (S) 0.8 m				Total m	remarks
t minggu	U tot (%)	Penurunan yang terjadi (m)			
		Tahap I (40 m)	Tahap II (3.28 m)		
BH1					
9.00		0.53	0.17	0.701	Preloading
	90.59	0.48	0.15	0.635	PVD + Preloading
				0.620	Beban rencana
BH2					
10.00		0.67	0.21	0.887	Preloading
	92.10	0.62	0.20	0.817	PVD + Preloading
				0.795	Beban rencana
BH5					
9.00		0.53	0.17	0.700	Preloading
	92.12	0.49	0.16	0.645	PVD + Preloading
				0.621	Beban rencana
BH6					
9.00		0.49	0.16	0.644	Preloading
	92.12	0.45	0.14	0.593	PVD + Preloading
				0.568	Beban rencana

### 4. Analisis biaya dan waktu pekerjaan PVD dan Preloading

Anggaran biaya berikut dibuat berdasarkan atas kegiatan utama pada pekerjaan instalasi PVD dan Preloading, sumber informasi didapat dari vendor dan jurnal harga tahun 2019 seperti tabel dibawah ini

Tabel 4. 40 Analisis rencana anggaran biaya dan waktu

Metode PVD + Preloading							
No.	Jenis Pekerjaan	Qty	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga	Waktu Pelaksanaan	
1	Stripping dan Perataan Lahan	62370	m2	Rp 15,000.00	Rp 935,550,000.00	12.47	Hari
2	Lapisan drainase Batu Split	54458.3655	m3	Rp 354,900.00	Rp 19,327,273,915.95	31.52	Hari
3	Pemasangan PVD	1089167.31	m	Rp 8,500.00	Rp 9,257,922,135.00	60.00	Hari
4	Pemasangan Lapisan Geotextile	36305.577	m2	Rp 15,000.00	Rp 544,583,655.00	6.30	Hari
5	Preloading 7.38 m	267935.1583	m3	Rp 70,000.00	Rp 18,755,461,078.20	20.50	Hari
6	Kupas Timbunan Sementara	36305.577	m2	Rp 15,000.00	Rp 544,583,655.00	29.04	Hari
7	Surplus Tanah timbunan ex.preloading 5 m	181527.885	m3	-Rp 70,000.00	Rp -	10.00	Hari
8	Mobilisasi dan Demobilisasi	1	lot	-	Rp 2,468,268,721.96		
9	Lama Waktu Penurunan					70.00	Hari
10	Basecourse Aggregate . B 10 cm	6237	m3	Rp 325,000.00	Rp 2,027,025,000.00	20.00	Hari
11	Pasir beton 5 cm	3118.5	m3	Rp 327,600.00	Rp 1,021,620,600.00	10.00	Hari
12	Paving Block T. 8 cm + Abu Batu	62370	m2	Rp 240,240.00	Rp 14,983,768,800.00	43.66	Hari
<b>Total Harga</b>					<b>Rp 69,866,057,561.11</b>	<b>222.70</b>	<b>Hari</b>
						<b>7.42</b>	<b>Bulan</b>

## 5. Analisis faktor perbandingan dan scoring

Scoring atau penilain seperti disinggung pada bab 3 adalah dengan skala 4 yaitu

Sangat Kurang	Kurang	Baik	Sangat Baik
1	2	3	4

Selain daya dukung, penurunan dan anggaran biaya, beberapa data penting yang harus dilengkapi untuk membuat perbandingan dalam melakukan penilaian, sumber penilaian didapat dari wawancara dengan vendor dan owner termasuk pengalaman rekan konsultan, dan hasilnya adalah:

a. Kemudahan pekerjaan (*Workability*) dengan:

nilai = 2.4

## 1. Pengadaan alat penunjang

Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3

## 2. Ijin kerja Analisis dampak lingkungan (AMDAL)

Penilaian: perijinan konsistensi tanah, pengurusan ijin yag rumit tapi masih bisa dikerjakan, pengadaan rumit nilai = 2

3. Ijin transportasi pengadaan tanah urugan (*Cut/fill*)

Penilaian: surat jalan, rekayasa lalintas, lalulintas padat, pengadaan tanah urugan dari luar daerah, pengadaan rumit nilai = 2

## 4. Mobilisasi dan demobilisasi alat berat

Penilaian: Lokasi di jakarta, pengadaan mudah nilai = 3

## 5. Pembuatan parit dan pembuangan air surplus

Penilaian: Lokasi daerah banjir, pengadaan sulit nilai = 2

- |  |   |
|--|---|
| b. Pengadaan Material  | <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">nilai = 4</span>   |
| 1. Material PVD type Mebra   |   |
| Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah  | nilai = 3   |
| 2. Pengadaan geotextile dan membran  |   |
| Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah  | nilai = 3   |
| 3. Pengadaan alat penunjang  |   |
| Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah  | nilai = 3   |
| c. Pengaruh eksternal dan internal   | <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">nilai = 3</span>   |
| 1. Lokasi dan kondisi lapangan   |   |
| Penilaian: Lokasi lahan bekas kantor, dalam lingkungan industri, kabel dan pipa bawah tanah, pengadaan sulit | nilai = 2   |
| 2. Cuaca   |   |
| Penilaian: lokasi luas dan progres proyek tergantung dengan cuaca, pengadaan sulit                           | nilai = 2   |
| 3. Pembuangan lumpur   |   |
| Penilaian: area luas dan lumpur, pengadaan sulit   | nilai = 2   |
| d. Pekerja (rasio dalam 10 Orang)  | <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">nilai = 3.6</span> |
| 1. Pekerja terlatih  |   |
| Pengadaan: $(3 / 10) \times 3$   | nilai = 0.9   |
| 2. Pekerja kasar   |   |
| Pengadaan: $(6/10) \times 4$   | nilai = 2.4   |
| 3. Pekerja teknis ( <i>engineering</i> )   |   |
| Pengadaan: $(1/10) \times 2$   | nilai = 0.2   |

#### 4.2.1. Vacum dan PVD

Analisis dan perhitungan secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

##### 1. Perencanaan PVD

Perhitungan dan disain sama dengan diatas

##### 2. Perencanaan *pompa vacuum*



Pompa vacum kapasitas 90 kPa diasumsikan akan menghasilkan daya hisap 90 kPa sama dengan 90 kN/m<sup>2</sup> bila  $\gamma_{\text{timbunan}} = 18 \text{ kN/m}^3$  maka kapasitas tersebut setara dengan 5.0 meter urugan tanah.

Untuk ketinggian tanah yang dibutuhkan  $h_f = 7.38$  meter, dicoba untuk diberikan tekanan 90 kPa dengan timbunan 2 meter, sehingga di masukan nilai  $\Delta p' = 90 \text{ kN/m}^2 + 2 \times 18 \times 1.2 \text{ kN/m}^2 = 133.2 \text{ kN/m}^2 = \underline{13.32 \text{ kg/m}^2}$

Berikut akan di sajikan perhitungan penurunan tanah akibat PVD, urugan 2.0 meter dan vacuum sebagai berikut:

Tabel 4. 41 Penurunan akibat PVD, preloading 2 m dan vacuum BH1

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pe' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh		I	$\Delta e$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	P'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	17	18	19	20
1	1.50	0.75	0.96	0.37	0.05	1.71	1.28	21.05	13.32	2.44	6.06	0.23	0.37	12.07	13.35	0.28
2	2.00	2.50	1.03	0.32	0.03	1.73	4.29	11.68	13.32	2.44	6.06	0.20	0.17	10.78	15.07	0.17
3	11.50	9.25	2.02	0.85	0.07	1.49	19.73	17.31	13.32	2.44	6.06	0.07	0.06	3.65	23.38	0.24
<i>Penurunan Total Akibat Beban timbunan 1 m dengan vacuum 90 kpa</i>																0.695

Total penurunan BH1 = 69.5 cm > 62 cm (Penurunan akibat beban rencana)

Tabel 4. 42 Penurunan akibat PVD, preloading 2 m dan vacuum BH2

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pe' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh		I	$\Delta e$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	P'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	17	18	19	20
1	1.50	0.75	0.81	0.30	0.04	1.76	1.32	16.53	13.32	2.44	6.06	0.23	0.30	12.07	13.39	0.25
2	2.00	2.50	1.63	0.79	0.05	1.55	4.19	15.76	13.32	2.44	6.06	0.20	0.44	10.78	14.97	0.33
3	11.50	9.25	1.94	1.08	0.10	1.50	19.61	17.20	13.32	2.44	6.06	0.07	0.08	3.65	23.26	0.31
<i>Penurunan Total Akibat Beban timbunan 1 m dengan vacuum 90 kpa</i>																0.896

Total penurunan BH2 = 89.6 cm > 79.5 cm (Penurunan akibat beban rencana)

Tabel 4. 43 Penurunan akibat PVD, preloading 2 m dan vacuum BH5

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pe' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh		I	$\Delta e$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	P'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	17	18	19	20
1	1.50	0.75	1.00	0.38	0.07	1.74	1.30	20.83	13.32	2.44	6.06	0.23	0.38	12.07	13.37	0.29
2	2.00	2.50	1.04	0.30	0.03	1.71	4.31	17.42	13.32	2.44	6.06	0.20	0.16	10.78	15.09	0.16
3	11.50	9.25	1.99	0.88	0.04	1.51	19.91	16.20	13.32	2.44	6.06	0.07	0.06	3.65	23.57	0.25
<i>Penurunan Total Akibat Beban timbunan 1 m dengan vacuum 90 kpa</i>																0.697

Total penurunan BH5 = 69.7 cm > 62.1 cm (Penurunan akibat beban rencana)

Tabel 4. 44 Penurunan akibat PVD, preloading 2 m dan vacuum BH6

No	Tebal Lapisan m	z m	e	Cc	Cr	$\gamma'$ t/m <sup>3</sup>	Po' (site) t/m <sup>2</sup>	Pc' t/m <sup>2</sup>	q t/m <sup>2</sup>	Faktor Pengaruh		I	$\Delta e$	$\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	P'+ $\Delta P$ t/m <sup>2</sup>	Sc m
										B m	L m					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	17	18	19	20
1	1.50	0.75	1.18	0.38	0.04	1.72	1.29	20.39	13.32	2.44	6.06	0.23	0.39	12.07	13.36	0.27
2	2.00	2.50	1.04	0.33	0.05	1.75	4.34	18.96	13.32	2.44	6.06	0.20	0.18	10.78	15.12	0.18
3	11.50	9.25	1.62	0.61	0.02	1.54	20.10	15.87	13.32	2.44	6.06	0.07	0.04	3.65	23.75	0.19
<i>Penurunan Total Akibat Beban timbunan 1 m dengan vacuum 90 kpa</i>																0.636

Total penurunan BH5 = 63.6 cm > 56.8 cm (Penurunan akibat beban rencana)

### 3. Hasil analisis perbaikan PVD. Preloading dan Vacuum

Tabel 4. 45 Hasil analisis perbaikan PVD. Preloading dan Vacuum

Pola segi tiga dengan jarak (S) 0.8 m			Total	remarks
t	U tot	Settlement (m)		
minggu	(%)	Tahap I (4.0 m)		
BH1				
9.00		0.70	0.695	Vacuum
	90.59	0.63	0.630	PVD +Preloading+Vacuum
			0.620	Beban rencana
BH2				
10.00		0.90	0.896	Vacuum
	92.10	0.83	0.825	PVD +Preloading+Vacuum
			0.795	Beban rencana
BH5				
9.00		0.70	0.697	Vacuum
	92.12	0.64	0.642	PVD +Preloading+Vacuum
			0.621	Beban rencana
BH6				
9.00		0.64	0.636	Vacuum
	92.12	0.59	0.585	PVD +Preloading+Vacuum
			0.568	Beban rencana

4. Analisis biaya dan waktu pekerjaan *PVD*, *Preloading* dan *Vacuum*Tabel 4. 46 Analisis biaya dan waktu pekerjaan *PVD*, *Preloading* dan *Vacuum*

Metode Vacuum Preloading							
No.	Jenis Pekerjaan	Qty	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga	Waktu Pelaksanaan	
1	Stripping dan Perataan Lahan	62370	m2	Rp 15,000.00	Rp 935,550,000.00	12.47	Hari
2	Pemasangan PVD	1089167.31	m	Rp 8,500.00	Rp 9,257,922,135.00	60.00	Hari
3	Pekerjaan galian PHD	31700.21456	m3	Rp 40,000.00	Rp 1,268,008,582.30	15.00	Hari
4	Pemasangan PHD	217833.462	m	Rp 35,000.00	Rp 7,624,171,170.00	60.00	Hari
5	Pemasangan Pipa Drainase	7925.053639	m	Rp 195,000.00	Rp 1,545,385,459.68	15.00	Hari
6	Pemasangan Pipa Vacuum	181.527885	m	Rp 195,000.00	Rp 35,397,937.58	15.00	Hari
7	Dinding Kedap Geotextile	10891.6731	m2	Rp 15,000.00	Rp 163,375,096.50	15.00	Hari
8	Lapisan Geotextile Non-Woven	36305.577	m2	Rp 15,000.00	Rp 544,583,655.00	6.30	Hari
9	Lapisan Geomembrane	36305.577	m2	Rp 18,000.00	Rp 653,500,386.00	15.00	Hari
10	Instalasi / reinstall Sistem Vacuum	36305.577	m2	Rp 750,000.00	Rp 27,229,182,750.00	15.00	Hari
11	Lapisan Geotextile Non-Woven	36305.577	m2	Rp 12,000.00	Rp 435,666,924.00	15.00	Hari
12	Preloading 2 m	72611.154	m3	Rp 70,000.00	Rp 5,082,780,780.00	3.33	Hari
13	Kupas Timbunan Sementara	36305.577	m2	Rp 15,000.00	Rp 544,583,655.00	14.52	Hari
14	Mobilisasi dan Demobilisasi	1	lot	-	Rp 2,766,005,426.55		
15	Lama Waktu Penurunan					70.00	Hari
16	Basecourse Agg. B 10 cm	6237	m3	Rp 325,000.00	Rp 2,027,025,000.00	20.00	Hari
17	Pasir beton 5 cm	3118.5	m3	Rp 327,600.00	Rp 1,021,620,600.00	10.00	Hari
18	Paving Block T. 8 cm + Abu Batu	62370	m2	Rp 240,240.00	Rp 14,983,768,800.00	43.66	Hari
<b>Total Harga</b>					<b>Rp 76,118,528,357.61</b>	<b>268.18</b>	<b>Hari</b>
						<b>8.94</b>	<b>Bulan</b>

## 5. Analisis faktor pembandingan dan scoring

Selain daya dukung, penurunan dan anggaran biaya, beberapa data penting yang harus dilengkapi untuk membuat perbandingan dalam melakukan penilaian, sumber penilaian didapat dari wawancara dengan vendor dan owner termasuk pengalaman rekan konsultan, dan hasilnya adalah:

a. Kemudahan pekerjaan (*Workability*) dengan: nilai = 2.6

## 1. Pengadaan alat penunjang

Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3

## 2. Ijin kerja Analisis dampak lingkungan (AMDAL)

Penilaian: perijinan konsistensi tanah, pengurusan ijin yang rumit tapi masih bisa dikerjakan, pengadaan rumit nilai = 2

3. Ijin transportasi pengadaan tanah urugan (*Cut/fill*)

Penilaian: surat jalan, rekayasa lalintas, lalulintas padat, pengadaan tanah urugan dari luar daerah, pengadaan sedang nilai = 3

## 4. Mobilisasi dan demobilisasi alat berat

Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3

## 5. Pembuatan parit dan pembuangan air surplus

Penilaian: Lokasi daerah banjir, pengadaan sulit nilai = 2

b. Pengadaan Material nilai = 3

1. Material PVD type Mebra  
 Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3
2. Pengadaan geotextile dan membran  
 Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3
3. Pengadaan alat penunjang  
 Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3
- d. Pengaruh eksternal dan internal nilai = 3
  1. Lokasi dan kondisi lapangan  
 Penilaian: Lokasi lahan bekas kantor, dalam lingkungan industri, kabel dan pipa bawah tanah, pengadaan sulit nilai = 2
  2. Cuaca  
 Penilaian: lokasi luas dan progres proyek tergantung dengan cuaca, pengadaan sulit nilai = 2
  3. Pembuangan lumpur  
 Penilaian: area luas dan lumpur, pengadaan sulit nilai = 2
- e. Pekerja (rasio dalam 10 Orang) nilai = 3.30
  4. Pekerja terlatih  
 Pengadaan:  $(3/10) \times 3$  nilai = 0.9
  5. Pekerja kasar  
 Pengadaan:  $(5/10) \times 4$  nilai = 2.0
  6. Pekerja teknis (*engineering*)  
 Pengadaan:  $(2/10) \times 2$  nilai = 0.4

#### 4.2.2. Stone column

Diketahui data tanah sebagai berikut:

Tabel 4. 47 Data *compressibility* tanah

Location	Cu	Cu av	$\gamma_{\text{tanah}}$		Es lempung lunak	
	kN/m <sup>2</sup>		Kpa	kg/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
BH1, UDS1	15	10.00	1.71	17.05	30	2.94
BH1, UDS2	7		1.73	17.32	30	2.94
BH1, UDS3	8		1.49	14.94	30	2.94
BH2, UDS1	17	9.67	1.76	17.58	30	2.94
BH2, UDS2	6		1.55	15.49	30	2.94
BH2, UDS3	6		1.50	14.96	30	2.94
BH3, UDS1	32	36.33	1.79	17.94	30	2.94
BH3, UDS2	54		1.82	18.21	30	2.94
BH3, UDS3	23		1.80	18.00	30	2.94
BH4, UDS1	23	17.67	1.717	17.17	30	2.94
BH4, UDS2	22		1.775	17.75	30	2.94
BH4, UDS3	8		1.494	14.94	30	2.94
BH5, UDS1	7	7.33	1.735	17.35	30	2.94
BH5, UDS2	12		1.708	17.08	30	2.94
BH5, UDS3	3		1.511	15.11	30	2.94
BH6, UDS1	12	5.33	1.723	17.23	30	2.94
BH6, UDS2	1		1.754	17.54	30	2.94
BH6, UDS3	3		1.537	15.37	30	2.94

- a.  $E_s = 30 \text{ kg/cm}^2$  (tabel 2.2) tanah lempung lunak rata rata
  - b. Tinggi matras agregate = 1.5 meter
  - c.  $P_o = 108.47 \text{ kN/m}^2 \rightarrow P_1' = 53.82 \text{ kN/m}^2 = 53.82 \text{ kPa}$
  - d.  $SF = 2$
  - e.  $D = 80 \text{ cm}$
  - f.  $S = 1 \text{ m}$  (Triangular)
  - g.  $L_e = 14 \text{ m}$
  - h. Penurunan yang diijinkan adalah pada slope 1:10 untuk panjang kontainer 20 feet = 6.64m m maka settlement ijin adalah 6.64 cm
1. Perhitungan daya dukung dan *settlement* untuk BH1, BH2, BH5 dan BH6 dengan menggunakan program excel buatan vendor sebagai berikut

Tabel 4. 48 Tabel *stone column* BH1 (Laporan struktur KBN,2018)

Stone Column Calculation		PT GEOTEKINDO	v2.2
Project = KBN			
Location = Depo Petikemas KBN			
Notes = BH-01			
<b>Design Parameter</b>		<b>Project Requirement</b>	
Improvement Thickness [m]	= 2	min Factor of Safety	= 3
Soil Cu average [kPa]	= 15	Allowable Settlement [cm]	= 6.0038
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	= 14.94	Surface Design Load [kPa]	= 44.81
$\nu_s$	= 0.3	<b>Stone Column Design</b>	
$E_s$ [MPa]	= 1	Diameter [m]	= 0.6
$E_c$ [MPa]	= 60	Spacing [m]	= 1.1
Remark: Average UD51 UD52 UD53		Length [m]	= 20
		Installation Pattern [m]	Triangular
<b>Settlement of Stone Column :</b>		<b>Ultimate bearing Capacity of Stone Column :</b>	
constrain modulus soil $m_{c,s} = \frac{1}{D_s} \cdot \frac{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)}{E_s(1 - \nu_s)}$	$m_{c,s}$ [kPa <sup>-1</sup> ] = 2.486E-04	$q_{u,c} = 20 \cdot C_u$	$q_{u,c}$ [kPa] = 300.0
settlement of natural ground $S = m_{c,s} \Delta \sigma_v b$	S [m] = 0.023	$q_{u,s} = 5 \cdot C_u$	$q_{u,s}$ [kPa] = 75.0
modulus ratio (max 20 for design)	$E_c/E_s = 20.0$	replacement ratio	$\alpha_r = 0.230$
stress concentration ratio $n = 1 + 0.217 \left( \frac{E_c}{E_s} - 1 \right)$	n = 5.123	$q_{u,r} = q_{u,c} \cdot \alpha_r + q_{u,s} \cdot (1 - \alpha_r)$	$q_{u,r}$ [kPa] = 135.7
stress reduction factor $\mu = \frac{1}{1 + \alpha_r(n - 1)}$	$\mu = 0.47$	factor of safety	FoS = 3.03 = 3
composite foundation settlement $S' = \mu S$	S' [cm] = 1.05 = 6.6638		

Source : Hart, Jn, 1964 - Principles and Practice of Ground Improvement

Tabel 4. 49 Tabel *stone column* BH2 (Laporan struktur KBN,2018)

Stone Column Calculation		PT GEOTEKINDO	v2.2
Project = KBN			
Location = Depo Petikemas KBN			
Notes = BH-02			
<b>Design Parameter</b>		<b>Project Requirement</b>	
Improvement Thickness [m]	= 2	min Factor of Safety	= 3
Soil Cu average [kPa]	= 17	Allowable Settlement [cm]	= 6.0038
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	= 14.96	Surface Design Load [kPa]	= 44.81
$\nu_s$	= 0.3	<b>Stone Column Design</b>	
$E_s$ [MPa]	= 1	Diameter [m]	= 0.6
$E_c$ [MPa]	= 60	Spacing [m]	= 1.3
Remark:		Length [m]	= 14
		Installation Pattern [m]	Triangular
<b>Settlement of Stone Column :</b>		<b>Ultimate bearing Capacity of Stone Column :</b>	
constrain modulus soil $m_{c,s} = \frac{1}{D_s} \cdot \frac{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)}{E_s(1 - \nu_s)}$	$m_{c,s}$ [kPa <sup>-1</sup> ] = 2.486E-04	$q_{u,c} = 20 \cdot C_u$	$q_{u,c}$ [kPa] = 340.0
settlement of natural ground $S = m_{c,s} \Delta \sigma_v b$	S [m] = 0.023	$q_{u,s} = 5 \cdot C_u$	$q_{u,s}$ [kPa] = 85.0
modulus ratio (max 20 for design)	$E_c/E_s = 20.0$	replacement ratio	$\alpha_r = 0.193$
stress concentration ratio $n = 1 + 0.217 \left( \frac{E_c}{E_s} - 1 \right)$	n = 5.123	$q_{u,r} = q_{u,c} \cdot \alpha_r + q_{u,s} \cdot (1 - \alpha_r)$	$q_{u,r}$ [kPa] = 134.5
stress reduction factor $\mu = \frac{1}{1 + \alpha_r(n - 1)}$	$\mu = 0.56$	factor of safety	FoS = 3.00 = 3
composite foundation settlement $S' = \mu S$	S' [cm] = 1.24 = 6.6638		

Source : Hart, Jn, 1964 - Principles and Practice of Ground Improvement

Tabel 4. 50 Tabel *stone column* BH5 (Laporan struktur KBN,2018)

Stone Column Calculation		PT GEOTEKINDO		v2.2	
Project = KBN					
Location = Depo Petikemas KBN					
Notes = BH-05					
Design Parameter			Project Requirement		
Improvement Thickness [m]	=	2	min Factor of Safety	=	3
Soil Cu average [kPa]	=	7	Allowable Settlement [cm]	=	6.0038
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	=	15.11	Surface Design Load [kPa]	=	44.01
$\nu_s$	=	0.3	Stone Column Design		
$E_s$ [MPa]	=	1	Diameter [m]	=	0.8
$E_c$ [MPa]	=	60	Spacing [m]	=	0.8
Remark:			Length [m]	=	11
			Installation Pattern [m]	=	Triangular
Settlement of Stone Column :			Ultimate bearing Capacity of Stone Column :		
constrain modulus soil $m_{c,s} = \frac{1}{D_s} \cdot \frac{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)}{E_s(1 - \nu_s)}$			$q_{u,c} = 20 \cdot C_u \cdot q_{u,s}$ [kPa] = 240.0		
$\eta_{c,s}$ [kPa] = 2.40E+04			$q_{u,r} = 5 \cdot C_u \cdot q_{u,s}$ [kPa] = 35.0		
settlement of natural ground $S = m_{c,s} \Delta \sigma_{r,b}$			replacement ratio $u_r =$ 0.907		
$S$ [m] = 0.023			$q_{u,c} = q_{u,r} \cdot u_r + q_{u,s} \cdot (1 - u_r)$		
modulus ratio (max 20 for design) $E_c/E_s =$ 20.0			$q_{u,c}$ [kPa] = 230.2		
stress concentration ratio $n = 1 + 0.217 \left( \frac{E_c}{E_s} - 1 \right)$			factor of safety FoS = 2.91 > 1		
$n =$ 5.123					
stress reduction factor $\mu = \frac{1}{1 + n_s(n - 1)}$					
$\mu =$ 0.21					
composite foundation settlement $S' = \mu S$			$S$ [cm] = 0.47 < 6.6638		
			Source : Hart, Jan, 1964 - Principles and Practice of Ground Improvement		

Tabel 4. 51 Tabel *stone column* BH6 (Laporan struktur KBN,2018)

Stone Column Calculation		PT GEOTEKINDO		v2.2	
Project = KBN					
Location = Depo Petikemas KBN					
Notes = BH-06					
Design Parameter			Project Requirement		
Improvement Thickness [m]	=	2	min Factor of Safety	=	3
Soil Cu average [kPa]	=	12	Allowable Settlement [cm]	=	6.0038
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	=	15.17	Surface Design Load [kPa]	=	44.01
$\nu_s$	=	0.3	Stone Column Design		
$E_s$ [MPa]	=	1	Diameter [m]	=	0.8
$E_c$ [MPa]	=	60	Spacing [m]	=	1.15
Remark:			Length [m]	=	11
			Installation Pattern [m]	=	Triangular
Settlement of Stone Column :			Ultimate bearing Capacity of Stone Column :		
constrain modulus soil $m_{c,s} = \frac{1}{D_s} \cdot \frac{(1 + \nu_s)(1 - 2\nu_s)}{E_s(1 - \nu_s)}$			$q_{u,c} = 20 \cdot C_u \cdot q_{u,s}$ [kPa] = 240.0		
$\eta_{c,s}$ [kPa] = 2.40E+04			$q_{u,r} = 5 \cdot C_u \cdot q_{u,s}$ [kPa] = 60.0		
settlement of natural ground $S = m_{c,s} \Delta \sigma_{r,b}$			replacement ratio $u_r =$ 0.429		
$S$ [m] = 0.023			$q_{u,c} = q_{u,r} \cdot u_r + q_{u,s} \cdot (1 - u_r)$		
modulus ratio (max 20 for design) $E_c/E_s =$ 20.0			$q_{u,c}$ [kPa] = 239.8		
stress concentration ratio $n = 1 + 0.217 \left( \frac{E_c}{E_s} - 1 \right)$			factor of safety FoS = 3.30 > 1		
$n =$ 5.123					
stress reduction factor $\mu = \frac{1}{1 + n_s(n - 1)}$					
$\mu =$ 0.36					
composite foundation settlement $S' = \mu S$			$S$ [cm] = 0.79 < 6.6638		
			Source : Hart, Jan, 1964 - Principles and Practice of Ground Improvement		

2. Analisis biaya dan waktu pekerjaan *Stone column*Tabel 4. 52 Analisis biaya dan waktu pekerjaan *stone column*

Metode Stone Column						
No.	Jenis Pekerjaan	Qty	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga	Waktu Pelaksanaan
1	Stripping dan Perataan Lahan	62,370.00	m2	Rp 15,000.00	Rp 935,550,000.00	12.47 Hari
2	Lapisan drainase Makadam	93,555.00	m3	Rp 351,000.00	Rp 32,837,805,000.00	54.14 Hari
3	Stone Column Batu Split	211,948.00	m3	Rp 210,000.00	Rp 44,509,080,000.00	122.66 Hari
4	Mobilisasi dan Demobilisasi	1.00	lot	-	Rp 3,914,121,750.00	
5	Basecourse Agg. B 10 cm	6,237.00	m3	Rp 325,000.00	Rp 2,027,025,000.00	20.00 Hari
6	Pasir beton 5 cm	3,118.50	m3	Rp 327,600.00	Rp 1,021,620,600.00	10.00 Hari
7	Paving Block T. 8 cm + Abu Batu	62,370.00	m2	Rp 240,240.00	Rp 14,983,768,800.00	43.66 Hari
<b>Total Harga</b>					<b>Rp 100,228,971,150.00</b>	<b>198.79 Hari</b>
						<b>6.63 Bulan</b>

## 3. Analisis faktor perbandingan dan scoring

Selain daya dukung, penurunan dan anggaran biaya, beberapa data penting yang harus dilengkapi untuk membuat perbandingan dalam melakukan penilaian, sumber penilaian didapat dari wawancara dengan vendor dan owner termasuk pengalaman rekan konsultan, dan hasilnya adalah:

a. Kemudahan pekerjaan (*Workability*) dengan: nilai = 3.2

## 1. Pengadaan alat penunjang

Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3

## 2. Ijin kerja Analisis dampak lingkungan (AMDAL)

Penilaian: perijinan mudah dan tidak rumit nilai = 3

3. Ijin transportasi pengadaan tanah urugan (*Cut/fill*)

Penilaian: surat jalan, rekayasa lalintas, mudah nilai = 3

## 4. Mobilisasi dan demobilisasi alat berat

Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3

## 5. Pembuatan parit dan pembuangan air surplus

Penilaian: Tidak ada surplus air nilai = 4

b. Pengadaan Material nilai = 3

## 1. Split dan batu pecah

Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3

## 2. Pengadaan geotextile dan membran

Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3

## 3. Pengadaan alat penunjang

Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3



- e. Pengaruh eksternal dan internal nilai = 3
1. Lokasi dan kondisi lapangan  
 Penilaian: Lokasi lahan bekas kantor, dalam lingkungan industri, kabel dan pipa bawah tanah, pengadaan sulit nilai = 2
  2. Cuaca  
 Penilaian: lokasi luas dan progres proyek tergantung dengan cuaca, pengadaan mudah nilai = 3
  3. Pembuangan lumpur  
 Penilaian: tidak ada lumpur nilai = 4
- f. Pekerja (rasio dalam 10 Orang) nilai = 3.1
1. Pekerja terlatih  
 Pengadaan:  $(1/10) \times 3$  nilai = 0.3
  2. Pekerja kasar  
 Pengadaan:  $(8/10) \times 4$  nilai = 3.2
  3. Pekerja teknis (*engineering*)  
 Pengadaan:  $(1/10) \times 2$  nilai = 0.2

#### 4.2.3. Cerucuk

1. Analisis dan perhitungan pekerjaan cerucuk

Diketahui untuk nilai pada area rencanna depo petikemas adalah

Cerucuk kayu dolken diameter 12 cm panjang 4 m

Tinggi Matras granular ( $H_0$ ) = 1.0 meter

Sudut penyebaran  $\beta = 26.6^\circ$

Dimensi tekanan B = 2.438 meter; L = 6.058 meter; A = 14.77 m<sup>2</sup>

Beban tegangan  $p_0 = 11.068$  Ton/m<sup>2</sup>

Tabel 4. 53 Analisis daya dukung cerucuk

	variabel tanah				variabel cerucuk dan matras										output		
	Cu	$\phi$	IP	Po	Le =	Cu/ $\sigma_c'$	d	$\beta$	Ho	B	L	s	SF	P1	$\alpha$ -crck	q-crck	q-all crck
	kN/m2	°	(%)	kN/m2	cm	-	cm	°	m	m	m	m	-	kN/m2	-	kN/m2	kN/m2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>BH1</b>																	
UDS 1	15.00	15.48	32.22	108.47	400.00	0.2292	12.00	26.60	1.00	2.44	6.06	0.50	3	66.02	0.367	516.18	172.06
UDS 2	7.00	16.10	12.27	108.47	400.00	0.16	12.00	26.60	1.00	2.44	6.06	0.50	3	66.02	0.326	203.86	67.95
UDS 3	8.00	11.22	23.91	108.47	400.00	0.20	12.00	26.60	1.00	2.44	6.06	0.50	3	66.02	0.351	254.85	84.95
<b>BH2</b>																	
UDS 1	17.00	13.31	28.57	108.47	400.00	0.22	12.00	26.60	1.00	2.44	6.06	0.50	3	66.02	0.360	576.49	192.16
UDS 2	6.00	16.11	26.35	108.47	400.00	0.21	12.00	26.60	1.00	2.44	6.06	0.50	3	66.02	0.356	189.38	63.13
UDS 3	6.00	13.97	27.15	108.47	400.00	0.21	12.00	26.60	1.00	2.44	6.06	0.50	3	66.02	0.357	190.27	63.42
<b>BH5</b>																	
UDS 1	7.00	11.78	22.58	108.47	400.00	0.19	12.00	26.60	1.00	2.44	6.06	0.50	3	66.02	0.349	218.95	72.98
UDS 2	12.00	13.37	23.09	108.47	400.00	0.20	12.00	26.60	1.00	2.44	6.06	0.50	3	66.02	0.350	389.39	129.80
UDS 3	3.00	12.38	28.63	108.47	400.00	0.22	12.00	26.60	1.00	2.44	6.06	0.50	3	66.02	0.360	86.94	28.98
<b>BH6</b>																	
UDS 1	12.00	16.05	27.80	108.47	400.00	0.21	12.00	26.60	1.00	2.44	6.06	0.50	3	66.02	0.359	399.96	133.32
UDS 2	1.00	14.56	9.05	108.47	400.00	0.14	12.00	26.60	1.00	2.44	6.06	0.50	3	66.02	0.319	12.94	4.31
UDS 3	3.00	12.92	18.13	108.47	400.00	0.18	12.00	26.60	1.00	2.44	6.06	0.50	3	66.02	0.339	80.88	26.96

## 2. Analisis biaya dan waktu pekerjaan cerucuk

Tabel 4. 54 Analisis biaya dan waktu pekerjaan cerucuk

Metode Cerucuk Dolken 12 cm						
No.	Jenis Pekerjaan	Qty	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga	Waktu Pelaksanaan
1	Stripping dan Perataan Lahan	62370	m2	Rp 15,000.00	Rp 935,550,000.00	12.47 Hari
2	Pekerjaan Dolken 12 cm	283945.4695	btg	Rp 46,800.00	Rp 13,288,647,972.60	164.32 Hari
3	Matras Batu Split	54458.3655	m3	Rp 354,900.00	Rp 19,327,273,915.95	31.52 Hari
4	Basecourse Agg. B 10 cm	6237	m3	Rp 325,000.00	Rp 2,027,025,000.00	20.00 Hari
5	Pasir beton 5 cm	3118.5	m3	Rp 327,600.00	Rp 1,021,620,600.00	10.00 Hari
6	Paving Block T. 8 cm + Abu Batu	62370	m2	Rp 240,240.00	Rp 14,983,768,800.00	43.66 Hari
<b>Total Harga</b>					<b>Rp 51,583,886,288.55</b>	<b>259.49 Hari</b>
						<b>8.65 Bulan</b>

## 3. Analisis faktor perbandingan dan scoring

Selain daya dukung, penurunan dan anggaran biaya, beberapa data penting yang harus dilengkapi untuk membuat perbandingan dalam melakukan penilaian, sumber penilaian didapat dari wawancara dengan vendor dan owner termasuk pengalaman rekan konsultan, dan hasilnya adalah:

a. Kemudahan pekerjaan (*Workability*) dengan: nilai = 4

### 1. Pengadaan alat penunjang

Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 4

### 2. Ijin kerja Analisis dampak lingkungan (AMDAL)

Penilaian: perijinan konsistensi tanah, pengurusan ijin mudah, pengadaan mudah nilai = 4

### 3. Ijin transportasi pengadaan tanah urugan (*Cut/fill*)

Penilaian: surat jalan, rekayasa lalintas, lalulintas padat, pengadaan tanah urugan dari luar daerah, pengadaan sedang nilai = 4

4. Mobilisasi dan demobilisasi alat berat  
Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 4
5. Pembuatan parit dan pembuangan air surplus  
Penilaian: Lokasi daerah banjir, tidak ada parit nilai = 4
- b. Pengadaan Material nilai = 4
  1. Material kayu dolken super diameter 12 cm panjang 4 meter  
Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3
  2. Pengadaan geotextile dan membran  
Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3
  3. Pengadaan alat penunjang  
Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3
- f. Pengaruh eksternal dan internal nilai = 2
  1. Lokasi dan kondisi lapangan  
Penilaian: Lokasi lahan bekas kantor, dalam lingkungan industri, kabel dan pipa bawah tanah, pengadaan sulit nilai = 2
  2. Cuaca  
Penilaian: lokasi luas dan progres proyek tergantung dengan cuaca, pengadaan sulit nilai = 2
  3. Pembuangan lumpur  
Penilaian: area luas dan lumpur, pengadaan sulit nilai = 2
- g. Pekerja (rasio dalam 10 Orang) nilai = 3.9
  1. Pekerja terlatih  
Pengadaan:  $(2/10) \times 3$  nilai = 0.6
  2. Pekerja kasar  
Pengadaan:  $(7/10) \times 4$  nilai = 2.8
  3. Pekerja teknis (*engineering*)  
Pengadaan:  $(1/10) \times 2$  nilai = 0.2

#### 4.2.4. Slab on Pile

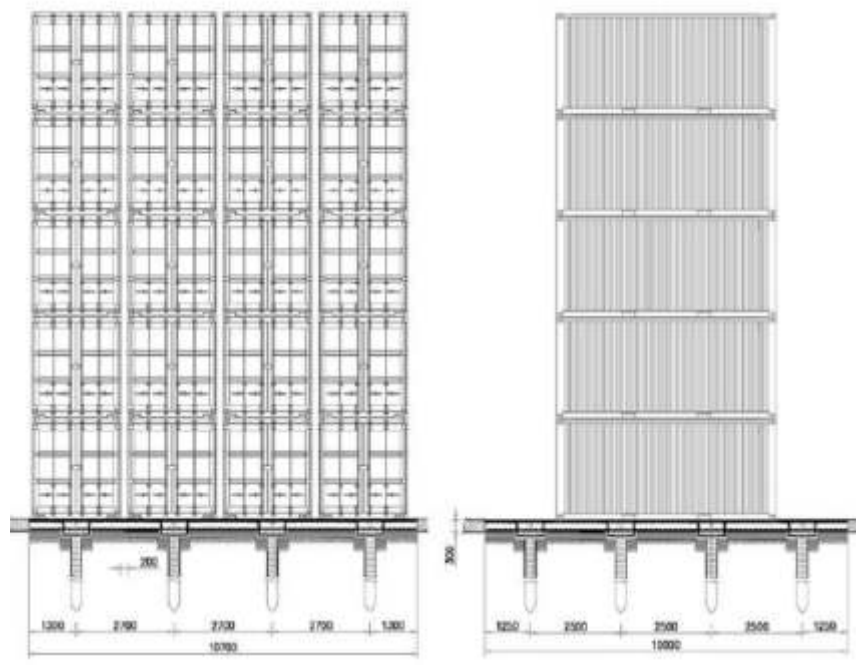
##### 1. Analisis dan perhitungan slab beton (Beban pile)

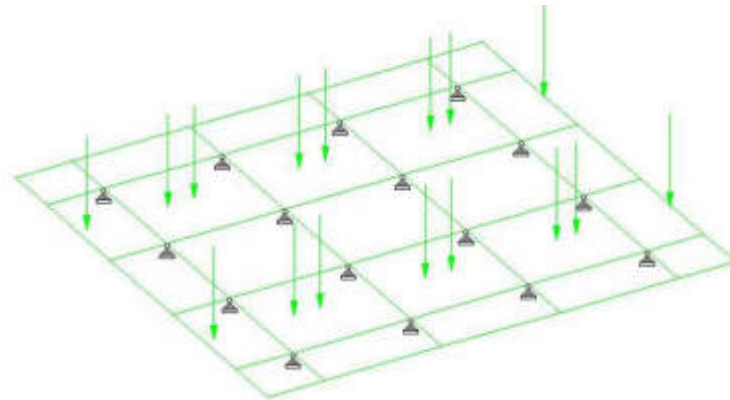
Data Struktur

1. Lantai beton bertulang dengan ketebalan 300 mm
2. 16 buah tiang pancang ukuran 30 x 30 cm jarak 2,5 m vertical dan 2,7 m horizontal
3. 16 buah pilecap ukuran 80 x 80 x 50 cm rata atas slab
4. Mutu beton K 350
5. Tulangan slab wiremesh M10 ; Tulangan Pilecap D13
6. Di tepi terdapat tulangan crosscorner dia 10 mm

Data beban :

Menggunakan beban 5 tier kontainer kapasitas 20" dengan berat mati 30.48 ton , 5x 30.48 ton = 152.4 ton dibagi 4 kaki maka didapat beban satu kaki sama dengan 38.1 ton. Beban tersebut diletakan pada posisi berderet ditengah pelat lantai beton ukuran 10 m x 10.7 m seperti ilustrasi pada gambar dibawah ini





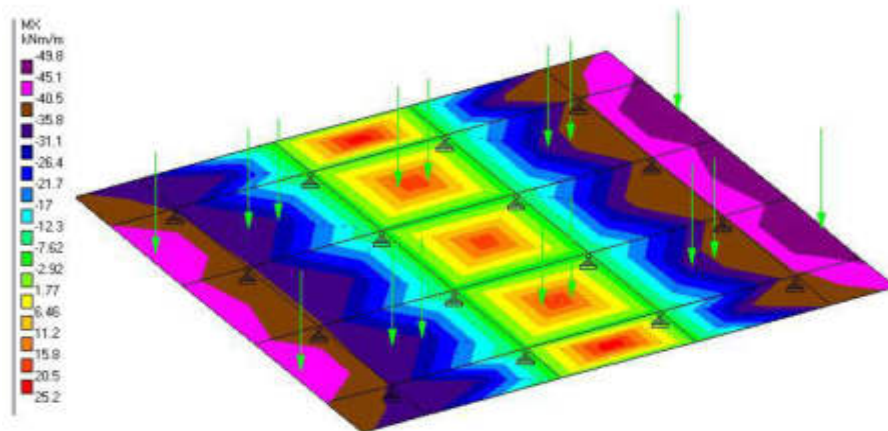
Gambar 4. 8 Permodelan Struktur Menggunakan Software

Permodelan dilakukan dengan beberapa simulasi perletakan kontainer dan kondisi tersebut menghasilkan gaya gaya dalam yang cukup besar dan dapat dijadikan acuan disain. Permodelan juga merujuk pada sistim penempatan pada rencana penumpukan dan asumsi lain apabila terjadi perubahan tataletak depo kontainer.

Alur dan distribusi beban adalah dari beban kontainer langsung pada pelat dan kemudian di distribusi ke kepala tiang kemudian ke tiang pancang untuk perkerasan tanah dibawahnya walaupun dilakukan pemadatan yang cukup baik namun tidak dihitung hanya dihitung untuk pembebanan saat pengecoran

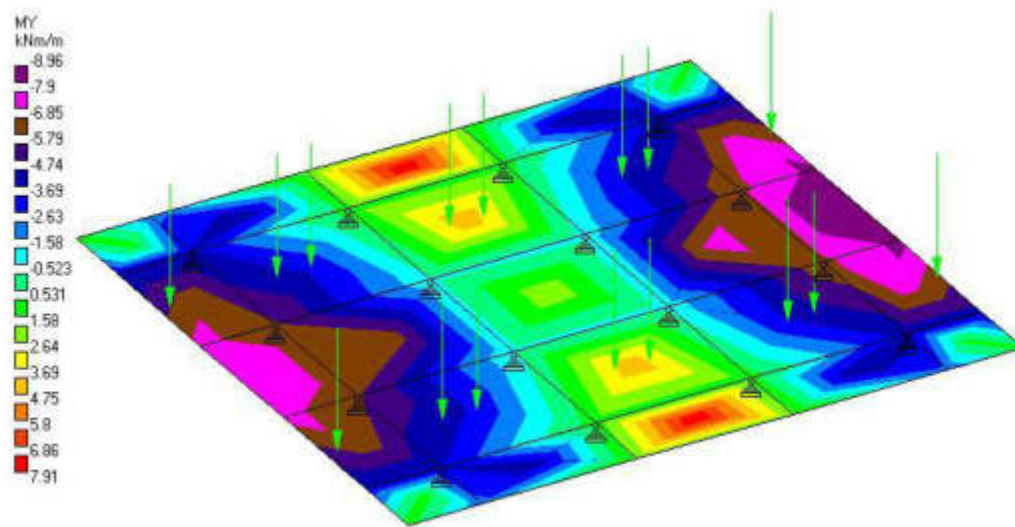
b. Hasil analisa struktur

Momen pada pelat –  $M_x \rightarrow (U = 1.2DL + 1.6LL)$



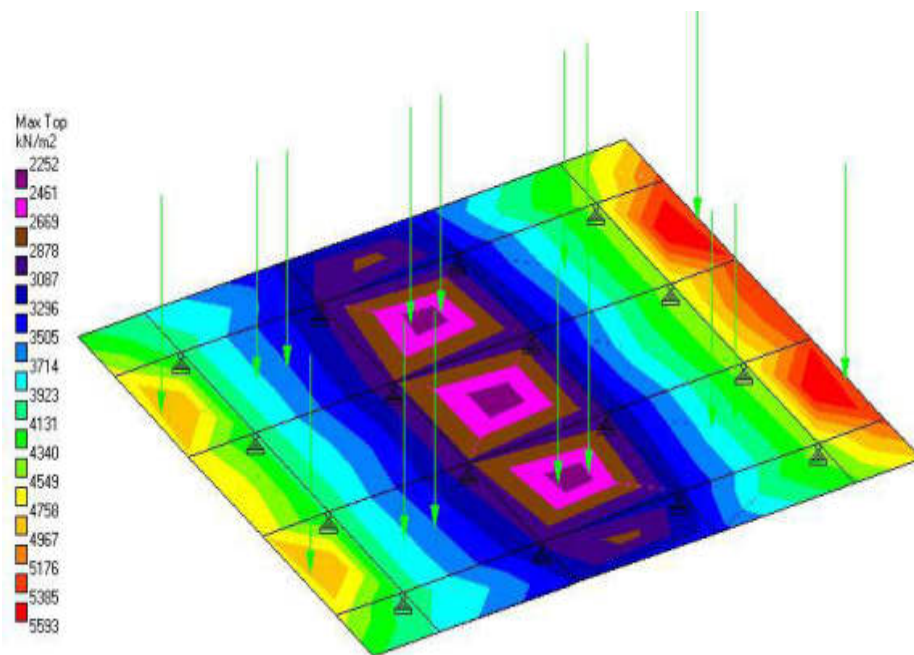
Gambar 4. 9 Momen arah X

1. Momen pada pelat –  $M_y \rightarrow (U = 1.2DL + 1.6LL)$



Gambar 4. 10 Momen arah Y

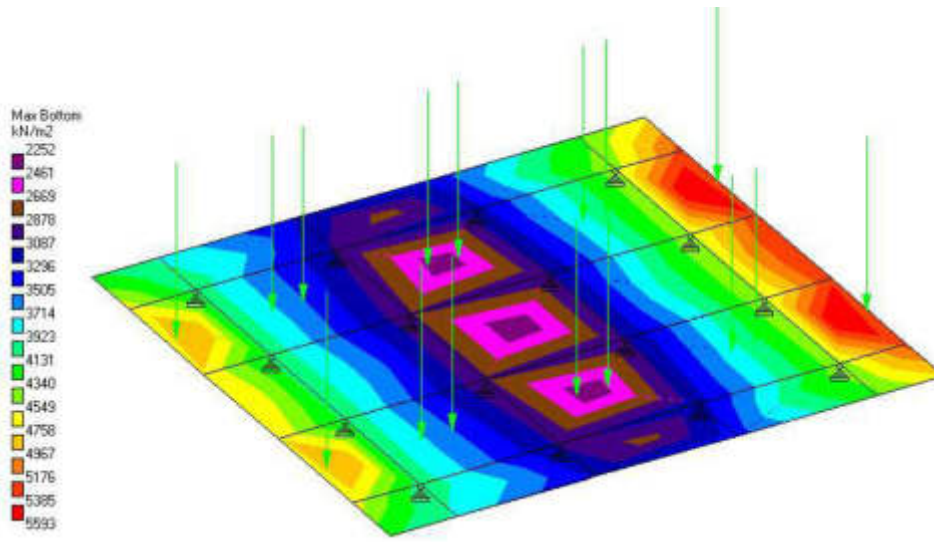
2. Tegangan pada pelat bagian atas  $\rightarrow (U = 1.2DL + 1.6LL)$



Gambar 4. 11 Tegangan pada plat bagian atas



### 3. Tegangan pada pelat bagian bawah $\rightarrow (U = 1.2DL + 1.6LL)$



Gambar 4. 12 Tegangan pada plat bagian bawah

#### Gaya dalam

Perhitungan gaya dalam menggunakan bantuan Software analisis struktur STAAD.Pro, dengan hasil summary sebagai berikut :

Tabel 4. 55 Summary Hasil Analisa

	Plate	Load Combination	Shear			Membrane			Bending Moment		
			SQX kN/m <sup>2</sup>	SQY kN/m <sup>2</sup>	SX kN/m <sup>2</sup>	SY kN/m <sup>2</sup>	SXY kN/m <sup>2</sup>	Mx kNm/m	My kNm/m	Mxy kNm/m	
Max Qx	15	4 1.2 DL + 1.6 LL	418.645	0	0	0	0	-76.40	-13.06	0.00	
Min Qx	11	4 1.2 DL + 1.6 LL	-370.492	0	0	0	0	-67.61	-11.39	0.00	
Max Qy	24	4 1.2 DL + 1.6 LL	-267.762	62.959	0	0	0	-59.81	-10.77	3.93	
Min Qy	4	4 1.2 DL + 1.6 LL	-267.762	-62.959	0	0	0	-59.81	-10.77	-3.93	
Max Sx	1	1 SELFWEIGHT	-16.616	-16.278	0	0	0	-3.07	-2.79	-0.20	
Min Sx	1	1 SELFWEIGHT	-16.616	-16.278	0	0	0	-3.07	-2.79	-0.20	
Max Sy	1	1 SELFWEIGHT	-16.616	-16.278	0	0	0	-3.07	-2.79	-0.20	
Min Sy	1	1 SELFWEIGHT	-16.616	-16.278	0	0	0	-3.07	-2.79	-0.20	
Max Sxy	1	1 SELFWEIGHT	-16.616	-16.278	0	0	0	-3.07	-2.79	-0.20	
Min Sxy	1	1 SELFWEIGHT	-16.616	-16.278	0	0	0	-3.07	-2.79	-0.20	
Max Mx	3	4 1.2 DL + 1.6 LL	12.388	19.256	0	0	0	41.86	9.92	-0.37	
Min Mx	10	4 1.2 DL + 1.6 LL	392.157	11.332	0	0	0	-83.72	-15.29	3.52	
Max My	3	4 1.2 DL + 1.6 LL	12.388	19.256	0	0	0	41.86	9.92	-0.37	
Min My	20	4 1.2 DL + 1.6 LL	392.157	-11.332	0	0	0	-83.72	-15.29	-3.52	
Max Mxy	25	4 1.2 DL + 1.6 LL	404.776	-34.324	0	0	0	-69.66	-2.09	9.46	
Min Mxy	5	4 1.2 DL + 1.6 LL	404.777	34.324	0	0	0	-69.66	-2.09	-9.46	

### c. Perhitungan tulangan

#### 1. Perhitungan tulangan bawah

##### A. Data Struktur pelat

Kuat tekan beton,	$f'_c =$	35	MPa	
Tegangan leleh baja untuk tulangan lentur,	$f_y =$	520	MPa	
Diameter tulangan yang digunakan,	$d_{ia} =$	10	mm	
Tebal bersih selimut beton,	$t_s =$	30	mm	
Tebal plat lantai,	$h =$	300	mm	
Momen $M_x$ - max	$M_x$ max =	1.56	T.m	15.29 kNm
Momen $M_y$ - max	$M_y$ max =	4.27	T.m	41.85 kNm

##### D. Perhitungan penulangan pelat

Untuk : $f'_c \leq 30$ MPa,	$b_1 =$	-	
Untuk : $f'_c > 30$ MPa,	$b_1 = 0.85 - 0.05 * (f'_c - 30) / 7 =$	0.81	
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	$b_1 =$	0.81	
Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> ,	$r_b = b_1 * 0.85 * f'_c / f_y * 600 / (600 + f_y) =$	0.0250	
Faktor tahanan momen maksimum,	$R_{max} = 0.75 * r_b * f_y * [1 - 1/2 * 0.75 * r_b * f_y / (0.85 * f'_c)] =$	8.1411	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	$f =$	0.85	
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	$d_s = t_s + dia / 2 =$	35.0	mm
Tebal efektif plat lantai,	$d = h - d_s =$	265.0	mm
Ditinjau plat lantai selebar 1 m,	$b =$	1000	mm
Momen nominal rencana,	$M_n = M_u / f =$	49.231	kNm
Faktor tahanan momen,	$R_n = M_n * 10^{-6} / (b * d^2) =$	0.70104	
	$R_n < R_{max}$	(OK)	
Rasio tulangan yang diperlukan :	$r = 0.85 * f'_c / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0.85 * f'_c)}] =$	0.001364	
Rasio tulangan minimum,	$r_{min} =$	0.0025	
Rasio tulangan yang digunakan,	$r =$	0.0025	
Luas tulangan yang diperlukan,	$A_s = r * b * d =$	663	mm <sup>2</sup>
Jarak tulangan yang diperlukan,	$s = phi / 4 * dia^2 * b / A_s =$	119	mm
Jarak tulangan maksimum,	$s_{max} = 2 * h =$	600	mm
Jarak tulangan maksimum,	$s_{max} =$	200	mm
Jarak sengkang yang harus digunakan,	$s =$	119	mm
Diamil jarak sengkang :	$s =$	110	mm
Digunakan tulangan,	<b>dia 10 - 115</b>		mm
Luas tulangan terpakai,	$A_s = p / 4 * dia^2 * b / s =$	683	mm <sup>2</sup>



## 2. Perhitungan tulangan atas

### A. Data Struktur pelat

Kuat tekan beton,	$f'_c =$	35	MPa	
Tegangan leleh baja untuk tulangan lentur,	$f_y =$	520	MPa	
Diameter tulangan yang digunakan,	$dia =$	10	mm	
Tebal bersih selimut beton,	$t_s =$	30	mm	
Tebal plat lantai,	$h =$	500	mm	
Momen $M_x$ - max	$M_x \text{ max} =$	1.56	T.m	15.29 kNm
Momen $M_y$ - max	$M_y \text{ max} =$	8.45	T.m	82.81 kNm

### D. Perhitungan penulangan pelat

Untuk : $f'_c \leq 30$ MPa,	$b_1 =$	-	
Untuk : $f'_c > 30$ MPa,	$b_1 = 0.85 - 0.05 * (f'_c - 30) / 7 =$	0.81	
Faktor bentuk distribusi tegangan beton,	$b_1 =$	0.81	
Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> ,	$r_b = b_1 * 0.85 * f'_c / f_y * 600 / (600 + f_y) =$	0.0250	
Faktor tahanan momen maksimum,	$R_{max} = 0.75 * r_b * f_y * [1 - \frac{1}{4} * 0.75 * r_b * f_y / (0.85 * f'_c)] =$	8.1411	
Faktor reduksi kekuatan lentur,	$f =$	0.85	
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	$d_s = t_s + dia / 2 =$	35.0	mm
Tebal efektif plat lantai,	$d = h - d_s =$	465.0	mm
Ditinjau plat lantai selebar 1 m,	$b =$	1000	mm
Momen nominal rencana,	$M_n = M_u / f =$	97.424	kNm
Faktor tahanan momen,	$R_n = M_n * 10^{-6} / (b * d^2) =$	0.45057	
	$R_n < R_{max}$	(OK)	
Rasio tulangan yang diperlukan :	$r = 0.85 * f'_c / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0.85 * f'_c)}] =$	0.000873	
Rasio tulangan minimum,	$r_{min} =$	0.0025	
Rasio tulangan yang digunakan,	$r =$	0.0025	
Luas tulangan yang diperlukan,	$A_s = r * b * d =$	1163	mm <sup>2</sup>
Jarak tulangan yang diperlukan,	$s = phi / 4 * dia^2 * b / A_s =$	68	mm
Jarak tulangan maksimum,	$s_{max} = 2 * h =$	1000	mm
Jarak tulangan maksimum,	$s_{max} =$	200	mm
Jarak sengkang yang harus digunakan,	$s =$	68	mm
Diambil jarak sengkang :	$s =$	60	mm
Digunakan tulangan,	<b>dia 10</b>	- 150	mm
Luas tulangan terpakai,	$A_s = p / 4 * dia^2 * b / s =$	524	mm <sup>2</sup>

Jumlah tulangan atas pada pilecap dan 300 mm ke luar adalah

Ditambah 5 D 13 maka  $A_s = 663.27$  sehingga total tulangan menjadi  $1190.27 > 1163$  ok..!

#### d. Perhitungan geser

##### 1. Perhitungan geser pada pile cap

$V_u \text{ maks} = 418.645 \text{ kN/m}^2$  maka untuk bidang shear  $1\text{m} \times (0.50-0.03) \text{ m} = 196.46 \text{ kN}$

Gaya geser ultimit rencana,	$V_u =$	196.46	kN
Faktor reduksi kekuatan geser,	$f =$	0.60	
Tegangan leleh tulangan geser,	$f_y =$	390	MPa
Kuat geser beton,	$V_c = (\sqrt{f'_c}) / 6 * b * d * 10^{-3} =$	495.424	kN
Tahanan geser beton,	$f * V_c =$	297.254	kN
<i>Hanya perlu tul.geser min</i>			
Tahanan geser sengkang,	$f * V_s = V_u - f * V_c =$	-	kN
Kuat geser sengkang,	$V_s =$	196.460	kN
Digunakan sengkang berpenampang :	2 P	13	mm
Luas tulangan geser sengkang,	$A_v = n_s * p / 4 * P^2 =$	265.46	mm <sup>2</sup>
Jarak sengkang yang diperlukan :	$s = A_v * f_y * d / (V_s * 10^3) =$	247.68	mm
Jarak sengkang maksimum,	$s_{max} = d / 2 =$	235.00	mm
Jarak sengkang maksimum,	$s_{max} =$	250.00	mm
Jarak sengkang yang harus digunakan,	$s =$	235.00	mm
Diambil jarak sengkang :	$s =$	230	mm
Digunakan sengkang,	2 P	13	230 mm

Dipakai 2 dia 13 jarak 170 → ok !

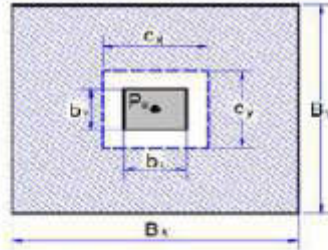
##### 2. Perhitungan geser pada plat

$V_u \text{ maks} = 370.492 \text{ kN/m}^2$  maka untuk bidang lentur  $1\text{m} \times (0.3-0.03) \text{ m} = 100.03\text{kN}$

Gaya geser ultimit rencana,	$V_u =$	100.03	kN
Faktor reduksi kekuatan geser,	$f =$	0.60	
Tegangan leleh tulangan geser,	$f_y =$	390	MPa
Kuat geser beton,	$V_c = (\sqrt{f'_c}) / 6 * b * d * 10^{-3} =$	495.424	kN
Tahanan geser beton,	$f * V_c =$	297.254	kN

Plat beton mampu menahan geser

### 3. Perhitungan punching shear pada slab



Punching Shear (Geser pons)

terpanjang  $b_x = 0.25$  m

$b_y = 0.2$  m

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton,

$d' = 0.03$  m

Tebal efektif foot plat,

$d = h - d' = 0.27$  m

Lebar bidang geser pons arah x,

$c_x = b_x + 2 * d = 0.310$  m

Lebar bidang geser pons arah y,

$c_y = b_y + 2 * d = 0.260$  m

Gaya geser pons yang terjadi,

$V = 38.1$  Ton

$V_{ult} = 41.91$  Ton = 410.718 kN

Luas bidang geser pons,

$A_c = 2 * (c_x + c_y) * d = 0.308$  m<sup>2</sup>

Lebar bidang geser pons,

$b_c = 2 * (c_x + c_y) = 1.140$  m

Rasio sisi panjang thd. sisi pendek kolom,

$\beta_c = b_x / b_y = 1.2500$

Tegangan geser pons, diambil nilai terkecil dari  $f_c$  yang diperoleh dari pers.sbb.:

$f_1 = [1 + 2 / \beta_c] * \sqrt{f'_c} / 6 = 2.56$  MPa

$f_2 = [\alpha_s * d / b_c + 2] * \sqrt{f'_c} / 12 = 5.66$  MPa

$f_3 = 1 / 3 * \sqrt{f'_c} = 1.97$  MPa

Tegangan geser pons yang disyaratkan,

$f_c = 1.972$  MPa

Faktor reduksi kekuatan geser pons,

$\phi = 0.75$

Kuat geser pons,

$\phi * V_{ns} = \phi * A_c * f_c * 10^3 = 455.24$  kN

Syarat :

$\phi * V_{ns} \geq V_{ns}$   
455.242

$\geq 410.718$

→ AMAN (OK)

### 4. Perhitungan punching shear pada pile cap

Punching Shear (Geser pons) terpanjang  $b_x = 0.25$  m  
 $b_y = 0.2$  m

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton,  $d' = 0.03$  m  
 Tebal efektif foot plat,  $d = h - d' = 0.47$  m  
 Lebar bidang geser pons arah x,  $c_x = b_x + 2 * d = 0.310$  m  
 Lebar bidang geser pons arah y,  $c_y = b_y + 2 * d = 0.260$  m  
 Gaya geser pons yang terjadi,

$V = 38.1$  Ton       $V_{ult} = 41.91$  Ton      =      410.718 kN

Luas bidang geser pons,  $A_o = 2 * (c_x + c_y) * d = 0.536$  m<sup>2</sup>  
 Lebar bidang geser pons,  $b_o = 2 * (c_x + c_y) = 1.140$  m  
 Rasio sisi panjang thd. sisi pendek kolom,  $\beta_c = b_x / b_y = 1.2500$   
 Tegangan geser pons, diambil nilai terkecil dari  $f_s$  yang diperoleh dari pers. sbb. :

$f_s = [1 + 2 / \beta_c] * \sqrt{f'_c} / 6 = 2.56$  MPa  
 $f_s = [\alpha_s * d / b_o + 2] * \sqrt{f'_c} / 12 = 9.12$  MPa  
 $f_s = 1 / 3 * \sqrt{f'_c} = 1.97$  MPa

Tegangan geser pons yang disyaratkan,  $f_s = 1.972$  MPa  
 Faktor reduksi kekuatan geser pons,  $\phi = 0.75$   
 Kuat geser pons,  $\phi * V_{no} = \phi * A_o * f_s * 10^3 = 792.46$  kN

Syarat :  $\phi * V_{no} \geq V_{up}$

**792.459 > 410.718 → AMAN (OK)**

Punching shear juga aman terhadap kapasitas tiang pancang tanpa factor 78.9 ton → ok!

#### e. Hasil analisa

##### 1. Hasil analisa lendutan

Tabel 4.56 Lendutan

	Node	L/C	Horizontal	Vertical	Horizontal	Resultant
			X	Y	Z	
			m	m	m	m
Max X	1	1 SELFWEIGHT	0	0	0	0
Min X	1	1 SELFWEIGHT	0	0	0	0
Max Y	34	2 BEBAN KONTAINER 20 FEET	0	0	0	0
Min Y	12	4 1.2 DL + 1.6 LL	0	-0.004	0	0.004
Max Z	1	1 SELFWEIGHT	0	0	0	0
Min Z	1	1 SELFWEIGHT	0	0	0	0
Max rX	6	4 1.2 DL + 1.6 LL	0	-0.003	0	0.003
Min rX	36	4 1.2 DL + 1.6 LL	0	-0.003	0	0.003
Max rY	1	1 SELFWEIGHT	0	0	0	0
Min rY	1	1 SELFWEIGHT	0	0	0	0
Max rZ	7	4 1.2 DL + 1.6 LL	0	-0.004	0	0.004
Min rZ	12	4 1.2 DL + 1.6 LL	0	-0.004	0	0.004
Max Rst	12	4 1.2 DL + 1.6 LL	0	-0.004	0	0.004

## 2. Hasil analisa reaksi unfactored $\rightarrow Q = DL + LL$

### Support reaction summary

Tabel 4. 57 Support reaction

	A	Horizontal	Horizontal	Vertical	Horizontal	Moment	G	H
	Node	L/C	Fx Mton	Fy Mton	Fz Mton	Mx kNm	My kNm	Mz kNm
Max Fx	8	1 SELFWEIGHT	0	6.311	0	0	0	0
Min Fx	8	1 SELFWEIGHT	0	6.311	0	0	0	0
Max Fy	11	3 1 DL + 1 LL	0	58.137	0	0	0	0
Min Fy	21	1 SELFWEIGHT	0	3.579	0	0	0	0
Max Fz	8	1 SELFWEIGHT	0	6.311	0	0	0	0
Min Fz	8	1 SELFWEIGHT	0	6.311	0	0	0	0
Max Mx	8	1 SELFWEIGHT	0	6.311	0	0	0	0
Min Mx	8	1 SELFWEIGHT	0	6.311	0	0	0	0
Max My	8	1 SELFWEIGHT	0	6.311	0	0	0	0
Min My	8	1 SELFWEIGHT	0	6.311	0	0	0	0
Max Mz	8	1 SELFWEIGHT	0	6.311	0	0	0	0
Min Mz	8	1 SELFWEIGHT	0	6.311	0	0	0	0

Didapat hasil reaksi pada pelat di nodal 11 reaksi sebesar 58.137 ton  $\leq$  85.10 ton kapasitas tiang pancang sehingga sistim struktur bekerja pada pondasi

### 1.2. Analisis dan perhitungan tiang pancang

a. Data , dari hasil sondir (tabel 4.2) didapat nilai minimal ada di titik S4 berdekatan dengan BH4 dengan data sebagai berikut:

1. B panel = 10 m
2. Lpanel = 10.7 m
3. L tiang pancang = 15.4 m
4. Data Tiang pancang persegi 30x30cm K400
5. Kapasitas aksial tiang = 861 kg
6. Data tanah CPT ujung = 120 kg/cm<sup>2</sup>

b. Daya dukung tiang tunggal

$Q_{t\ all} = (A_u \cdot q_u)/3 + (K_{eliling} \cdot T_f)/5$			
Tabel data sondir			
qu =	120.00	kg/cm <sup>2</sup>	11,760.00 kN/m <sup>2</sup>
Tf=	2,118.33	kg/cm	2,075.97 kN/m



$$Q_{all} = 851,03 \text{ kN} = 85.10 \text{ ton}$$

c. Daya dukung tiang grup

n (jumlah kolom pile (Horizontal)) =	4.00 bh													
m (jumlah baris pile (vertikal)) =	4.00 bh													
Jumlah pancang =	16.00 bh													
Jarak terluar sisi terpendek (Bg) =	7.75 m													
Jarak terluar sisi terpanjang (Lg) =	8.35 m													
Jarak terjauh t pancang La =	2.50 m													
Jarak terpendek t pancang Lb =	2.70 m													
Jarak dipakai (d) =	2.60 m													
D/d	0.12													
$\tan^{-1}(D/d)$	0.11													
PILE GROUP	Effisiensi $\eta = 0.9981$ ( <i>Converse Labarre</i> )	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"><u>Data beban</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>q wl =</td> <td>11 Ton/m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Q wl =</td> <td>1,177.00 Ton</td> </tr> <tr> <td>estimasi jumlah pancang =</td> <td>13.55 bh</td> </tr> <tr> <td>dipakai =</td> <td>16 bh</td> </tr> <tr> <td>Q wl(1) =</td> <td>73.56 Ton</td> </tr> </tbody> </table>	<u>Data beban</u>		q wl =	11 Ton/m <sup>2</sup>	Q wl =	1,177.00 Ton	estimasi jumlah pancang =	13.55 bh	dipakai =	16 bh	Q wl(1) =	73.56 Ton
<u>Data beban</u>														
q wl =	11 Ton/m <sup>2</sup>													
Q wl =	1,177.00 Ton													
estimasi jumlah pancang =	13.55 bh													
dipakai =	16 bh													
Q wl(1) =	73.56 Ton													
<u>Data pilecap/slab on pile</u>														
Panjang panel slab/pilecap (Lp) =	10.7 m													
Lebar panel slab/pilecap (Bp) =	10 m													
		<u>Kapasitas Pile grup</u>												
DD Pancang yg dipakai = $Q_{all} =$	851.03 kN	Qg = 1,386.78 Ton												
$Q_{all} =$	86.84 T	Ratio 0.85 < 1, Ok												

d. Penurunan elastis

$$S_e = S_{e1} + S_{e2} + S_{e3}$$

Didapat  $S_e$  total = 6.22 mm sangat kecil dan bersifat elastis, sehingga dalam penilaian dapat dianggap tidak ada

Asumsi bila tidak dikatakan apa2			
$E_p =$	2.10E+07	kN/m <sup>2</sup>	
$E_s =$	2.50E+04	kN/m <sup>3</sup>	
Pilih =	pancang persegi		
$Q_{ws} = Q$ friksi =	120.38	kN	
$Q_{wl}$ (working Load) =	73.56	Ton	720.9125 kN
$Q_{wp} = Q_{wl} - Q_{ws} =$	600.53	kN	load pada ujung tiang
$\mu_s =$	0.35		
$\zeta =$	0.50 - 0.67	0.5	use
$I_{wp} =$	0.85		
$p =$	1		
$se_{(1)} =$	$\frac{(Q_{wp} + \zeta Q_{ws}) * L}{A_p * E_p}$		
$se_{(1)} =$	0.0008	meter	
$se_{(2)} =$	$\frac{Q_{ws} * D * (1 - \mu_s^2) I_{wp}}{E_s}$		
$se_{(2)} =$	0.0054	meter	
$se_{(3)} =$	$\frac{Q_{wp} * (D) * (1 - \mu_s^2) I_{wp}}{p * L * E_s}$		
$se_{(3)} =$	0.00008	meter	
$se =$	0.00622	meter	
$se =$	6.22	mm	

### 2.3. Analisis biaya dan waktu pekerjaan slab on pile

Tabel 4. 58 Analisis Biaya dan Waktu Pekerjaan Slab on Pile

Metode Slab On Pile						
No.	Jenis Pekerjaan	Qty	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga	Waktu Pelaksanaan
1	Pekerjaan Persiapan	1	ls	Rp 834,532,822.93	Rp 834,532,822.93	30.00 Hari
2	Pekerjaan Tanah dan Pondasi	1	ls	Rp 7,321,435,888.85	Rp 7,321,435,888.85	60.00 Hari
3	Pekerjaan Pondasi Tiang Pancang	1	ls	Rp 38,728,243,748.76	Rp 38,728,243,748.76	60.00 Hari
4	Pekerjaan Perkerasan (Slab)	1	ls	Rp 40,868,659,769.58	Rp 40,868,659,769.58	90.00 Hari
Total Harga					Rp 87,752,872,230.12	240.00 Hari
						8.00 Bulan

### 3.4. Analisis faktor perbandingan dan scoring

Selain daya dukung, penurunan dan anggaran biaya, beberapa data penting yang harus dilengkapi untuk membuat perbandingan dalam melakukan penilaian, sumber penilaian didapat dari wawancara dengan vendor dan owner termasuk pengalaman rekan konsultan, dan hasilnya adalah:

c. Kemudahan pekerjaan (*Workability*) dengan: nilai = 3.2

1. Pengadaan alat penunjang

Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3

2. Ijin kerja Analisis dampak lingkungan (AMDAL)

- Penilaian: perijinan konsistensi tanah, pengurusan ijin yang rumit tapi masih bisa dikerjakan, pengadaan mudah nilai = 3
3. Ijin transportasi pengadaan tanah urugan (*Cut/fill*)
 

Penilaian: surat jalan, rekayasa lalu lintas, lalu lintas padat, pengadaan sedang nilai = 3
  4. Mobilisasi dan demobilisasi alat berat
 

Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 3
  5. Pembuatan parit dan pembuangan air surplus
 

Penilaian: Lokasi daerah banjir, pengadaan sulit nilai = 4
- d. Pengadaan Material nilai = 4
1. Material tiang pancang beton persegi 30x30cm
 

Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 4
  2. Pengadaan bekisting dan tulangan
 

Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 4
  3. Pengadaan alat penunjang
 

Penilaian: Lokasi di Jakarta, pengadaan mudah nilai = 4
- c. Pengaruh eksternal dan internal nilai = 3
1. Lokasi dan kondisi lapangan
 

Penilaian: Lokasi lahan bekas kantor, dalam lingkungan industri, kabel dan pipa bawah tanah, pengadaan sulit nilai = 2
  4. Cuaca
 

Penilaian: lokasi luas dan progres proyek tergantung dengan cuaca, pengadaan sulit nilai = 3
  5. Pembuangan lumpur
 

Penilaian: area luas, minim lumpur nilai = 4
- h. Pekerja (rasio dalam 10 Orang) nilai = 3.60
4. Pekerja terlatih
 

Pengadaan:  $(2/10) \times 3$  nilai = 0.6
  5. Pekerja kasar
 

Pengadaan:  $(7/10) \times 4$  nilai = 2.8
  6. Pekerja teknis (*engineering*)



Pengadaan:  $(1/10) \times 2$

nilai = 0.2



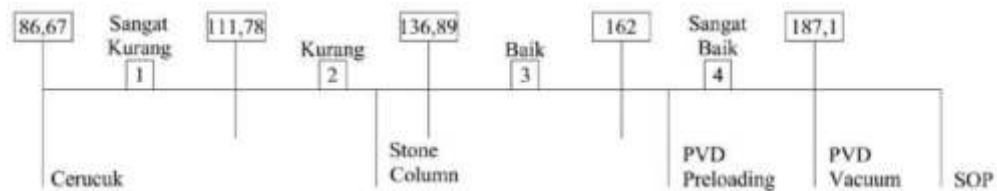
Tabel 4. 60 Resume dan data hasil perhitungan pada metode perbaikan tanah

No.	MATRIKS	PVD-PRELOADING	PVD-PRELOADING-VAKUUM	STONE COLUMN	Cerucuk	Slab On Pile
1	Daya dukung	4	4	3	1	4
2	Penurunan Konsolidasi	0.89 m tercapai	0.90 m tercapai	0.02 m tercapai	1.80 m	0 m
		4	4	4	2	4
3	Kemudahan Pelaksana	2.4	2.6	3.2	4	3.2
4	Waktu Pengerjaan (estimasi)	35 minggu	40 minggu	40 minggu	58 minggu	32 minggu
		3	2	2	1	4
5	Keterampilan Pekerja	3.5	3.3	3.1	3.9	3.6
6	Pengadaan Material	4	4	4	2	4
7	Biaya (material)	Rp 69,866,057,561	Rp 76,118,528,358	Rp 100,228,971,150	Rp 51,583,886,289	Rp 87,752,872,230
		3	2	1	4	2
8	<i>Jie Han Establishment factor</i>	4	2	2	3	4
9	Faktor Internal dan Eksternal	2.7	2.3	3	2.7	3

a. Menghitung interval dan penentuan bobot pada daya dukung

Untuk menghindari interval yang terlalu lebar karena daya dukung slab on pile sangat besar dibandingkan dengan metode lain maka nilai maksimal dipakai nilai rata rata tertinggi pada stone column dan terendah pada cerucuk kemudian dibagi banyaknya interval sehingga didapat rentang interval  $(304.17-179.32)/4 = 133.5$  Dari tabel 4.73 didapat rata rata daya dukung untuk masing masing metode perbaikan tanah sebagai berikut:

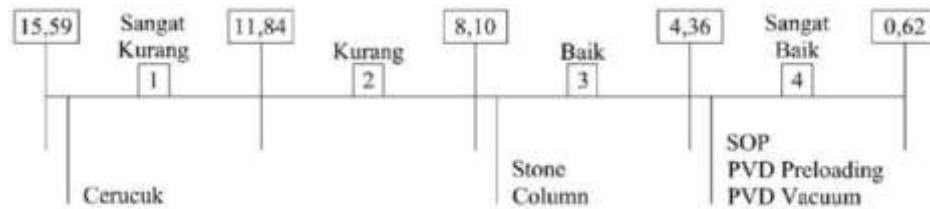
1. Daya dukung PVD Preloading = 179.32 kN/m<sup>2</sup>
2. Daya dukung PVD Vacuum = 187.11 kN/m<sup>2</sup>
3. Daya dukung Stone column = 134.81 kN/m<sup>2</sup>
4. Daya dukung Cerucuk = 86.67 kN/m<sup>2</sup>
5. Daya dukung Slab on pile (SOP) = 935.00 kN/m<sup>2</sup>



Gambar 4. 13 Bagan nilai skala interval pada Daya dukung

b. Menghitung interval dan penentuan bobot pada penurunan

Dengan menggunakan data penurunan minimum pada slab on pile yaitu 0.62 cm maksimum penurunan pada cerucuk yaitu sebesar 15.59 cm pertahun. Untuk penurunan yang akan telah terjadi seperti pada metode pvd preloading dan pvd vacuum langsung dinilai sangat baik, penilaian dilakukan pada cerucuk, stone column dan slab on pile dengan perhitungan sebagai berikut



Gambar 4. 14 Bagan nilai skala interval pada Penurunan

c. Untuk bobot lainnya telah diuraikan pada pembahasan masing masing metode dan untuk penilaian pada harga dan waktu dibuat cara yang sama dan diberi nilai pada resume diatas Tabel 4.72

#### 4.5 Hasil Pemilihan

Tabel 4. 61 Hasil Penilaian dan pemilihan Metode perbaikan tanah

	Daya Dukung	Settlement	Kemudahan Pelaksanaan	Waktu Pengerjaan	Keterampilan Pekerja	Pengadaan Material	Biaya	Establishment factor (Jie Han)	Faktor Luar dan dalam	Total Nilai (rata-rata)	Peringkat
Metode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 PVD + Preloading	4.0	4.0	2.4	3.0	3.5	4.0	3.0	4.0	2.7	<b>3.40</b>	<b>2.0</b>
2 PVD + Vacuum	4.0	4.0	2.6	2.0	3.3	4.0	2.0	2.0	2.3	<b>2.91</b>	<b>3.0</b>
3 Stone Column	3.0	4.0	3.2	2.0	3.1	4.0	1.0	2.0	3.0	<b>2.81</b>	<b>4.0</b>
4 Cerucuk	1.0	1.0	4.0	1.0	3.9	2.0	4.0	3.0	2.7	<b>2.51</b>	<b>5.0</b>
5 Slab on Pile	4.0	4.0	3.2	4.0	3.6	4.0	2.0	4.0	3.0	<b>3.53</b>	<b>1.0</b>

Peringkat perbaikan tanah untuk lokasi ini adalah:

1. Slab on pile
2. PVD dan Preloading
3. PVD preloading dan vacuum
4. Stone column
5. Cerucuk

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan data, penulis memperoleh kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian mengenai Optimalisasi Pekerjaan Perbaikan Tanah Lunak Pada Depo Petikemas Di Daerah Jakarta Utara sebagai berikut:

a. Dilakukan penelitian awal berupa perhitungan daya dukung, analisis penurunan konsolidasi dan laju penurunannya didapat:

1. Sebesar lebih dari 65% luas area rencana depo petikemas memiliki kapasitas daya dukung tanah yang tidak mampu menahan beban 5 tier petikemas.
2. Terjadi penurunan karena konsolidasi sebesar 79.48 cm dengan laju penurunan terbesar setinggi 20.99 cm pertahun

Dari analisis diatas membuktikan bahwa tanah yang teliti tidak dapat digunakan untuk keperluan depo petikemas. Sehingga perlu dilakukan pekerjaan perbaikan tanah agar tanah tersebut dapat diperbaiki sehingga mampu digunakan untuk keperluan depo petikemas.

b. Pemilihan metode perbaikan tanah berdasarkan pada metode yg umum dipakai dalam proyek di daerah ini yakni 4 (empat) metode perbaikan tanah dengan pendekatan geoteknik dan 1 (satu) metode pendekatan struktur yakni metode pancang dimana beban disalurkan langsung ke tanah keras melalui pile, berikut metode yang dipakai adalah:

1. *PVD dan Preloading (PVD+PR)*
2. *PVD preloading dan vacuum (PVD+VACUUM)*
3. *Stone column (SC)*
4. *Cerucuk (CRCK)*
5. *Slab on pile (SOP)* sebagai pendekatan struktural

Pemilihan metode harus melalui beberapa uji dan perbandingan yakni dalam hal daya dukung, penurunan, kemudahan pelaksanaan, waktu pengerjaan, keterampilan pekerja, pengadaan material, biaya, faktor luar/dalam.

- c. Hasil analisis dan perbandingan untuk penilaian daya dukung, didapat nilai terendah yakni pada metode cerucuk ( $q_{all} = 86.67 \text{ kN/m}^2$ ) dan tertinggi pada metode PVD+Vakum ( $q_{all} = 187.11 \text{ kN/m}^2$ ) memiliki daya dukung sangat tergantung dengan nilai kohesi dan pada tanah dengan nilai kohesi tanah rendah,  $c_u < 3 \text{ kN/m}^2$  tidak dapat diperbaiki dengan metode cerucuk dan metode stone column dimana metode stone column memiliki rentang ke dua terbesar.
- d. Beberapa hasil analisis dan perbandingan untuk penurunan konsolidasi  
Penurunan konsolidasi masih terjadi pada perbaikan tanah metode cerucuk dan mencapai 15.59 cm pertahun, pada stone column penurunan dapat didisain dengan mengatur jarak dan diameter stone column sehingga menjadi catatan bahwa pada metoda cerucuk yang masih rentan terhadap penurunan.
- e. Hasil dari penelitian ini menunjukkan dengan data yang didapat dan syarat disain maka metode slab on pile adalah pilihan yang optimal
- f. Variabel kemudahan pelaksanaan, waktu pengerjaan, keterampilan pekerja, pengadaan material, biaya, faktor luar/dalam menjadi faktor penilaian dan dinilai dengan skala interval kemudian disimpulkan bahwa:
- |  |             |
|--|-------------|
| 1. <i>Slab on pile (SOP)</i>                     | Nilai: 3.53 |
| 2. <i>PVD dan Preloading (PVD+PR)</i>            | Nilai: 3.40 |
| 3. <i>PVD preloading dan vacuum (PVD+VACUUM)</i> | Nilai: 2.91 |
| 4. <i>Stone column (SC)</i>                      | Nilai: 2.81 |
| 5. <i>Cerucuk</i>                                | Nilai: 2.51 |
- Direkomendasikan untuk menggunakan 3 (tiga) metode terbaik diatas dengan beberapa pertimbangan dari daya dukung, waktu penyelesaian, kesulitan, harga, penurunan konsolidasi dan kemudahan pekerjaan serta perijinan.
- g. Metode perbaikan tanah berlaku hanya untuk kondisi tanah ditempat ini dan tidak dapat dijadikan acuan untuk pembangunan depo petikemas didaerah lain karena perbedaan data tanah, namun cara dan analisis ini dapat dipakai dalam proses perhitungan optimalisasi pemilihan metode perbaikan

## 5.2. Saran

Adapun Saran untuk hasil penelitian ini diantara lain adalah:

- a. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan pengetahuan terkait dengan metode perbaikan tanah yang umum dilakukan di Indonesia dan pola kerja yang selalu mencari hal yang optimal dan berguna dalam pengambilan keputusan strategis
- b. Pengembangan dalam langkah langkah dalam membuat kalkulasi dan analisis metode perbaikan tanah harus di tingkatkan, spesifikasi bahan dan kemudahan dalam aplikasi harus menjadi pertimbangan untuk mendapatkan hasil optimal
- c. Dalam upaya menciptakan sebuah rekayasa konstruksi hendaknya selalu dibuat metode optimalisasi terutama pada pekerjaan perbaikan tanah yang bervariasi sesuai dengan teknologi modern dan yang lazim dipakai di daerah tersebut dan yang mampu menjelaskan bahwa sebuah pilihan terbaik telah dipilih terhadap sebuah metode perbaikan tanah

## DAFTAR PUSTAKA

- Athaya Zhafirah, D. A. (2019). Perencanaan Preloading Dengan Penggunaan Prefabricated Vertical Drain Untuk Perbaikan Tanah Lunak Pada Jalan Tol Pejagan - Pemalang. *Vol.21*, 1-9.
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design*: McGraw Hill.
- DPU. (2005). Stabilisasi Dangkal Tanah Lunak Untuk Konstruksi Timbunan Jalan (dengan semen dan cerucuk) *Pedoman Konstruksi dan Bangunan* (Vol. Pd T-11-2005-B).
- Dr.Ir.H.Darwis, M. S. (2017). *Dasar - Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Yogyakarta: Pustaka AQ.
- F.Masse, K. Y., D.Jullienne, & S.Varaksin. (2002). *Successful application of the Vacuum Consolidation Method on Bangkok Clay to Road Embankment*. Paper presented at the Proceedings of the Institution of Engineers Singapore Conference on Cases Studies in Geotechnical Engineering, Nanyang Technological University, Singapore.
- Han, J. (2015). *Principles And Practice Of Ground Improvement*. Canada.
- Hardiyatmo, H. C. (2017). Metode Vacuum Preloading Sebagai Salah Satu Alternatif Solusi Pembangunan Timbunan Di Atas Tanah Lunak.
- Hikam, H. A. A. (2019). Mengintip Peluang Bisnis Perkapalan di 2019. from <https://finance.detik.com/berita-ekonomi-bisnis/d-4375226/mengintip-peluang-bisnis-perkapalan-di-2019>
- Hussin, J. D. (2006). *Methods of Soft Ground Improvement*.
- Indraratna, C. R. B. (2007). Analytical solutions and design curves for vacuumassisted consolidation with both vertical and horizontal drainage: *Canadian Geotechnical Journal*.
- Irsyam, A. S. M. (2012). Studi Aplikasi Vacuum Preloading Sebagai Metode Alternatif Percepatan Proses Konsolidasi Pada Tanah Lempung Lunak Jenuh Air: Trial GVS Pada Perumahan Pantai Indah Kapuk Jakarta. *Civil Engineering*.
- ISO\_668. (2013). PETIKEMAS\_Klasifikasi, dimensi dan massa. SWISS.
- M.Das, B. (1993). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)* (I. B. M. Noor Endah, Trans. Jilid 2 ed.). Jakarta: Erlangga.
- M.Das, B. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)* (I. B. M. Noor Endah, Trans. Jilid 1 ed.). Jakarta: Erlangga.
- M.Das, B. (2010). *Principles Of Geotechnical Engineering* (Seventh Edition ed.). USA: Cengage Learning.
- M.Das, B. (2011). *Principles Of Foundation Engineering* (Seventh Edition ed.). USA: Cengage Learning.



- Maulana, R. (2018). Arus Peti Kemas Pelabuhan Tumbuh 7,89% Tertinggi 4 Tahun. from <https://www.bisnis.com>
- Meddy, S. H. H. (2008). Alternatif Perkuatan Tanah Lempung Lunak (Soft Clay), Menggunakan Cerucuk *Rekayasa sipil, Vol 2, No 1*.
- Menard. (2016). *The Ground Improvement Specialist*.
- O'Kelly, H. G. B. C. (2014). Ground improvement by vacuum consolidation. *Review Journal, 167(G14)*, 18.
- PERMENHUB\_N0\_14. (2007). PERMENHUB NO 14  
*KENDARAAN PENGANGKUT PETI KEMAS DI JALAN* (Vol. NO. 14).  
JAKARTA.
- Rujikiatkamjorn, J. C. B. I. S. Y. C. (2014). Overview of preloading methods for soil improvement. *167(G13)*.
- Sihombing, I. H. S. M. (2010). *Studi Parameter Perencanaan Stone Column Untuk Perbaikan Bearing Capacity Settlement Pada Tanah Lempung*. ITB, Bandung.
- Taufiq, M. (2016). Kualitas Struktur Tanah Di Pesisir Pantai dan Perkuminan Penduduk *Prosiding Seminar Nasional Biologi 2016*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Tedy Herdian, S. K., M.M. (2018). Alur Logistik Peti Kemas (Bagian 1 dari 2 tulisan). from [supplchainindonesia.com/new/alur-logistik-peti-kemas-bagian-1-dari-2-tulisan/](http://supplchainindonesia.com/new/alur-logistik-peti-kemas-bagian-1-dari-2-tulisan/)
- US\_FHWA. (1986). *Prefabricated Vertical Drains*. Virginia USA: Turner Fairbank Higway Reseach center.
- Wesley, I. D. (2017). *Mekanika Tanah*.
- Zainuddin Hasan, (2011). Pondasi Kayu Galam. Antara Foto. Banjarmasin 1/7  
<https://www.antarafoto.com/spektrum/v1309522228/pondasi-kayu-galam>