

Soil Improvement: PVD Preloading, Vacuum, Dynamic Compaction, Stone Column, Rigid Inclusion

HATTI Mengajar - 24 November 2021

Marcello Wisai Djunaidy



1

PROFIL

NAMA DAN KONTAK

- Nama : Marcello Djunaidy
- Telp / WA : 0815 1904 8800
- Email : marcello@geotekindo.com
mdjunaidy@gmail.com

PENDIDIKAN

- S1 Teknik Sipil : Universitas Parahyangan (1995-1999)
- S2 Geoteknik : Universitas Parahyangan (1999-2001)

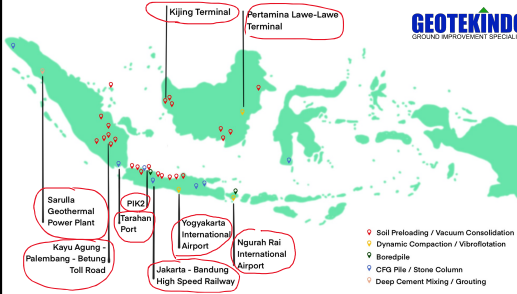
PENGALAMAN KERJA

- 2001-2007 : Terlibat dalam pelaksanaan proyek konstruksi.
- 2007-sekarang : Terlibat lebih dari 60 proyek perbaikan tanah (PT. Geotekindo & Geoharbour).

- Golf Island dan PIK2, Pantai Indah Kapuk, Jakarta.
- Tol Palindra, Sumatera Selatan.
- Bandara Kulonprogo, Yogyakarta.
- Bandara Ngurah Rai, Bali.
- Kereta Cepat Jakarta-Bandung.



2



GEOTEKINDO
GROUND IMPROVEMENT SPECIALIST

- Soil Preloading / Vacuum Consolidation
- Dynamic Compaction / Vibrofloatation
- Boredpile
- CFG Pile / Stone Column
- Deep Cement Mixing / Grouting

3

Daftar Isi

- Potensi masalah pada tanah lunak.
- Identifikasi jenis tanah.
- Pilihan metode perbaikan tanah.
- Perbaikan tanah dengan prapembebanan (preload).
 - Konsep prapembebanan dan PVD.
 - Prapembebanan dengan tanah.
 - Prapembebanan dengan vacuum.
- Perbaikan Tanah dengan Dynamic Compaction.
- Perbaikan tanah dengan Stone Column.
- Perbaikan tanah dengan Rigid Inclusion.
 - Konsep kerja Rigid Inclusion.
 - Pilihan metode pelaksanaan.

4

Daftar Isi

- Potensi masalah pada tanah lunak.
- Identifikasi jenis tanah.
- Pilihan metode perbaikan tanah.
- Perbaikan tanah dengan prapembebanan (preload).
 - Konsep prapembebanan dan PVD.
 - Prapembebanan dengan tanah.
 - Prapembebanan dengan vacuum.
- Perbaikan Tanah dengan Dynamic Compaction.
- Perbaikan tanah dengan Stone Column.
- Perbaikan tanah dengan Rigid Inclusion.
 - Konsep kerja Rigid Inclusion.
 - Pilihan metode pelaksanaan.

5

Deformasi Lateral



Pergerakan pada abutment jembatan akibat kegagalan daya dukung lateral kelompok tiang.
Kasus: Sumatera Selatan.

6

Kelongsoran



Kelongsoran terjadi pada bagian jalan yang dikonstruksi di atas tanah lunak tanpa adanya perbaikan tanah.
Kasus: Sumatera Selatan.

7


Penurunan tanah jangka panjang



Kerusakan jalan dan infrastruktur pada area industri akibat terjadinya perbedaan penurunan.
Kasus: Kalimantan Timur (atas)

8

Negative Skin Friction



Kegagalan tiang pancang akibat negative skin friction yang disebabkan oleh penurunan tanah yang terjadi sesudah seluruh konstruksi tiang selesai.

9

Likuifaksi

10

Daftar Isi

- Potensi masalah pada tanah lunak.
- Identifikasi jenis tanah.
- Pilihan metode perbaikan tanah.
- Perbaikan tanah dengan prapembebanan (preload).
 - Konsep prapembebanan dan PVD.
 - Prapembebanan dengan tanah.
 - Prapembebanan dengan vakuum.
- Perbaikan Tanah dengan Dynamic Compaction.
- Perbaikan tanah dengan Stone Column.
- Perbaikan tanah dengan Rigid Inclusion.
 - Konsep kerja Rigid Inclusion.
 - Pilihan metode pelaksanaan.

11

Identifikasi Tanah Lanau dan Lempung

CONSISTENCY	FIELD TEST	DCP (Blows/150mm)	SPT (N)	Su (kPa)	UCS peak pressure, kPa	CPT q_c (kPa)
Very Soft	Easily penetrated above by thumb. Excludes between thumb and fingers when squeezed.	< 1	< 2	< 12	< 25	0-180
Soft	Easily penetrated 10 mm by thumb. Can be moulded by light finger pressure.	1-1.5	2-4	12-25	25-50	180-375
Medium SOFT	Impression made by thumb with moderate effort. Can be moulded by strong finger pressure.	1.5-3	4-8	25-50	50-100	375-750
Stiff	Slight impression made by thumb, cannot be moulded by fingers.	3-6	8-15	50-100	100-200	750-1500
Very Stiff	Very tough. Really indented by thumbnail.	7-12	15-30	100-200	200-400	1500-3000
Hard	Brittle, indented with difficulty by thumbnail.	> 12	> 30	> 200	> 400	> 3000

12

Identifikasi Tanah Pasir

DENSITY	FIELD TEST	DCP (Blows/150mm)	SPT (N)	RELATIVE DENSITY (%)	CPT q_c (kPa)
Very Loose	Easily penetrated with 13mm reinforcing rod pushed by hand. Can be excavated with a spade. 50mm wooden peg can be driven easily.	0-1	< 4	< 15	0-2
Loose	Easily penetrated with 13mm reinforcing rod pushed by hand. Can be excavated with a spade. 50mm wooden peg can be driven easily.	1-3	4-10	15-35	2-5
Medium Dense	Penetrated with 13mm reinforcing rod driven with 2kg hammer - hard shoveling.	3-8	10-30	35-65	5-15
Dense	Penetrated 300mm with 13mm reinforcing rod driven with 2kg hammer, requires pick for excavation; 50mm wooden peg hard to drive.	8-15	30-50	65-85	15-25
Very Dense	Penetrated only 25-50mm with 13mm reinforcing rod driven with 2kg hammer.	> 15	> 50	> 85	> 25

13

Rasio q_c vs N

14

Jenis Tanah dan Potensi Permasalahannya

Jenis tanah dapat dibagi menjadi 2 kelompok :

- Tanah dengan kondisi alami.
- Tanah timbunan.

Potential Problems	NATURAL SOIL				FILL	
	Soft soil	Clayey soil	Silt	Loose Sand	Compacted material	Recycle material
Low strength	x	x	x	x	x	x
High compressibility	x	x	x	x	x	x
Low permeability	x	x	x	x	x	x
High water content	x	x	x	x	x	x
High shrinkage potential	x	x	x	x	x	x
High swellability	x	x	x	x	x	x
Large volume change	x	x	x	x	x	x
High undrained potential	x	x	x	x	x	x
Instabilities	x	x	x	x	x	x
High water content	x	x	x	x	x	x
High variability of properties	x	x	x	x	x	x
High shrinkage potential	x	x	x	x	x	x

15

Jenis Tanah dan Potensi Permasalahannya

PROBLEM	THEORETICAL BASIS	POSSIBLE CAUSES
Bearing Capacity Failure	Applied pressure is higher than ultimate bearing capacity of soil	Large overloads Small loading area High applied pressure Inclined load
Large total and differential settlements	Particle re-arrangement or low soil stiffness	High applied pressure Large loading area Large cross deformation Nonuniform soil
Instability (sliding, overturning, rope failure)	Shear stress is higher than shear strength, driving force is higher than resisting force, driving moment is higher than resisting moment	Steep slope Soft foundation soil High surcharge High loading rate High water pressure
Liquefaction	Effective stress becomes zero due to increase of excess pore water pressure	Earthquake Loose soil and sand High ground water table
Ground heave	Swelling pressure is higher than applied pressure	Water Expansive soil
Erosion	Shear stress induced by water is higher than maximum allowable shear strength of soil	Running water High speed of water flow High erodible soil and sand
Seepage	Darcy's law	High water head Permeable soil

16

Daftar Isi

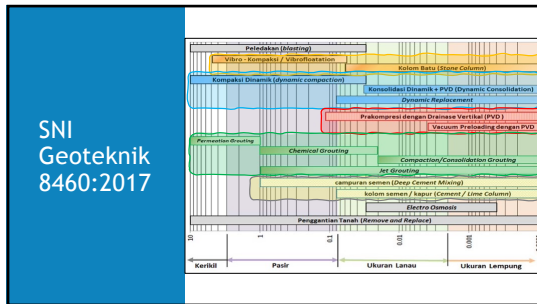
- Potensi masalah pada tanah lunak.
- Identifikasi jenis tanah.
- Pilihan metode perbaikan tanah.
- Perbaikan tanah dengan prapembebanan (preload).
 - Konsep prapembebanan dan PVD.
 - Prapembebanan dengan tanah.
 - Prapembebanan dengan vakuum.
- Perbaikan Tanah dengan Dynamic Compaction.
- Perbaikan tanah dengan Stone Column.
- Perbaikan tanah dengan Rigid Inclusion.
 - Konsep kerja Rigid Inclusion.
 - Pilihan metode pelaksanaan.

17

Kategori Perbaikan Tanah

- Pemilihan metode perbaikan tanah tergantung dari jenis dan sifat tanah, biaya, ketersediaan material setempat dan pengalaman di masa lampau.
- Metode perbaikan tanah secara luas dapat dibagi dalam 2 kelompok :
 - Kategori Pertama** adalah teknik yang membutuhkan material lain atau penguatan perkakuan.
 - Konsumsi dengan material granular (stone column, dynamic replacement).
 - Elemen tiang yang tidak mencapai lapisan keras (rigid inclusion, creep piles).
 - Pencampuran dengan bahan kimia atau semen (deep cement mixing, lime stabilization).
 - Kategori Kedua** adalah teknik yang memperkuat tanah itu sendiri :
 - Prapembebanan tanah (Soil Preloading).
 - Prapembebanan vakuum (Vacuum Preloading).
 - Dewatering Consolidation.
 - Electro Osmosis.
 - Vibroflotation.
 - Dynamic Compaction.

18

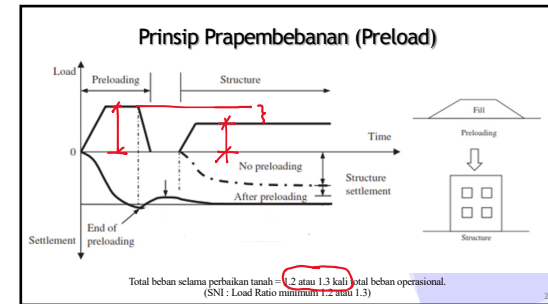


19

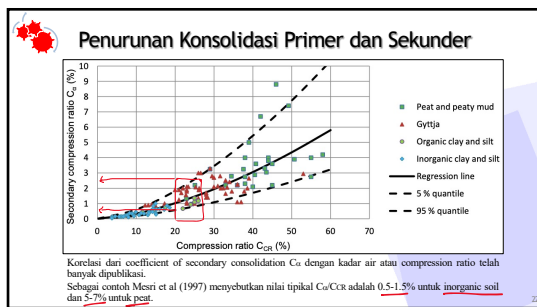
Daftar Isi

- Potensi masalah pada tanah lunak.
- Identifikasi jenis tanah.
- Pilihan metode perbaikan tanah.
- Perbaikan tanah dengan prapembebanan (preload).
- Perbaikan Tanah dengan Dynamic Compaction.
- Perbaikan tanah dengan Stone Column.
- Perbaikan tanah dengan Rigid Inclusion.

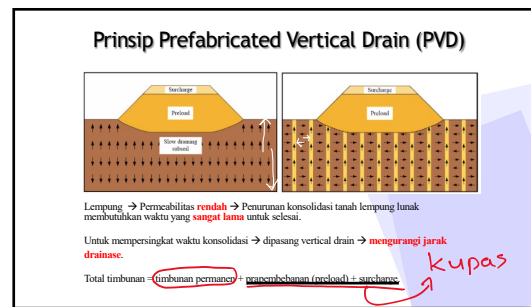
20



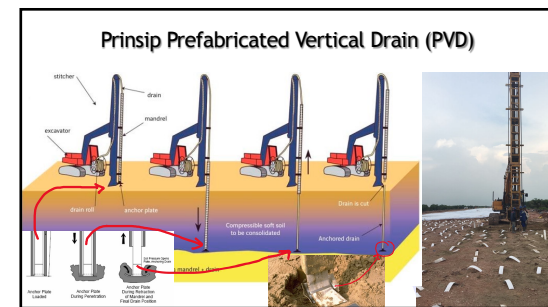
21



22



23



24

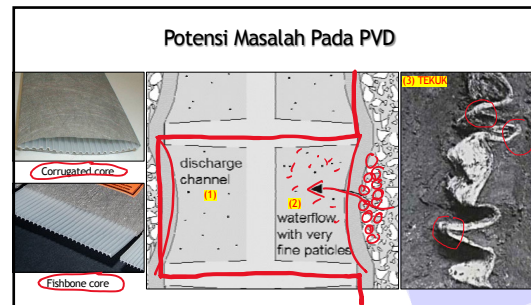
SNI Geoteknik 8460:2017

Peraturan pelaksanaan geoteknik

4.8.4.3.1. Benda drain

Benda drain atau alat drain adalah PVD yang berpenampang empat persegi panjang, terbuat dari anyam kawat (wire mesh) yang dilapisi atau dilapisi dengan anyam kawat lain yang membentuk sel yang berfungsi sebagai filter. Lapisan drain harus memiliki ketebalan 100 mm dengan ketebalan minimum tidak < 2 mm setiap 10 mm. Rigitas sel harus memiliki rigitas 100 mm, dengan sel yang paling banyak berbentuk silang beraturan. Rigitas sel lain harus merupakan struktur yang memungkinkan kebacaan elemen filter.

25



26



27

Aplikasi Prapembebanan dengan Tanah

2. Menurangi perbedaan penurunan pada yang diperbaiki.

Tanah asli

Deep Cement Mixing Pile (LTP tidak cukup tebal, terjadi punching).

Prapembebanan vacuum

Wujiang Municipal Road Projects, China

28

Aplikasi Prapembebanan dengan Vacuum

3. Meningkatkan kuat geser tanah:

- Meningkatkan stabilitas ealan.

PLTU III, Teluk Naga, Tangerang, Banten (2009)

Sebelum perbaikan tanah

Sesudah perbaikan tanah

29

Aplikasi Prapembebanan dengan Vacuum dan Tanah

3. Meningkatkan kuat geser tanah:

- Meningkatkan stabilitas timbunan.

Konstruksi final (Lake Area, PIK2, Jakarta Utara)

Tanah asli

Tanpa perbaikan tanah

Dengan perbaikan tanah

30

Aplikasi Prapembebanan dengan Vacuum dan Tanah

3. Meningkatkan kuat geser tanah:

- Kapasitas lateral tiang pancang yang lebih baik.

PLTU Teluk Naga, Banten.

Backfill soil

Original marine clay

31

Aplikasi Prapembebanan dengan Vacuum

4. Meningkatkan parameter material urug dari hasil dredging.

Dalian International Port, China

Ujung pasir 40 cm

Geotekstil dan bambu sebagai separator

Hasil dredging yang sudah dipadatkan

32

Daftar Isi

- Potensi masalah pada tanah lunak.
- Identifikasi jenis tanah.
- Pilihan metode perbaikan tanah.
- Perbaikan tanah dengan prapembebanan (preload).
 - Konsep prapembebanan dan PVD.
 - Prapembebanan dengan tanah.
 - Prapembebanan dengan vacuum.
- Perbaikan Tanah dengan Dynamic Compaction.
- Perbaikan tanah dengan Stone Column.
- Perbaikan tanah dengan Rigid Inclusion.
 - Konsep kerja Rigid Inclusion.
 - Pilihan metode pelaksanaan.

33

Konsep Prapembebanan dengan Tanah

Type	Total stress	Initial boundary condition	Process	Effect
Vertical drain with surcharge	$\sigma \uparrow (\Delta\sigma)$	$u \uparrow (\Delta u)$ σ'	$\Delta u \rightarrow \sigma'$	$\sigma' \uparrow$ $(\Delta u = \Delta\sigma)$

$\sigma = u + \sigma'$

34

Konsep Prapembebanan dengan Tanah

Pro:

- Mudah dikonstruksi dan dipahami.
- Tanah sebagai preload.
- Minim biaya tambahan pada konsolidasi yang lama.

Cons:

- Materi tanah yang banyak sebagai timbunan sementara (preload dan surcharge).
- Timbunan di atas tanah lunak menghadapi masalah stabilitas lereng -> timbunan bertahap dan beban-kontra/counterweight.
- Materi timbunan yang hilang sebagai kompensasi atas pergerakan lateral.

35

Daftar Isi

- Potensi masalah pada tanah lunak.
- Identifikasi jenis tanah.
- Pilihan metode perbaikan tanah.
- Perbaikan tanah dengan prapembebanan (preload).
 - Konsep prapembebanan dan PVD.
 - Prapembebanan dengan tanah.
 - Prapembebanan dengan vacuum.
- Perbaikan Tanah dengan Dynamic Compaction.
- Perbaikan tanah dengan Stone Column.
- Perbaikan tanah dengan Rigid Inclusion.
 - Konsep kerja Rigid Inclusion.
 - Pilihan metode pelaksanaan.

36

Kendala Prapembebanan dengan Tanah

- Menggunakan material tanah yang sangat banyak sebagai timbunan sementara (preload dan surcharge).
→ Sumber Material Terbatas
- Timbunan di atas tanah lunak akan menghadapi masalah stabilitas lereng.
→ Umumnya tinggi timbunan lebih dari tinggi kritis.
- Ada material timbunan yang hilang sebagai kompensasi atas pergerakan lateral.
→ Volume timbunan bertambah.

37

Konstruksi Prapembebanan dengan Vacuum

Prapembebanan dengan vacuum pertama diperkenalkan oleh Kjellman pada tahun 1952 pada uji coba skala kecil.

Pada metode ini beban tanah digantikan oleh tekanan udara.

$$\sigma = u + \sigma'$$

Type	Total stress	Initial /boundary condition	Process	Effect
Vacuum	σ	$-u$ (boundary) σ'	$u \downarrow$ $(\Delta u = -u^*)$	$\sigma' \uparrow$ $(\Delta \sigma' = -u^*)$

38

Aplikasi Prapembebanan dengan Vacuum

- Menggantikan material tanah sebagai timbunan sementara (preload dan surcharge).
→ Beban vacuum minimum 8t/m².
- Timbunan di atas tanah lunak beresiko lebih rendah terhadap masalah stabilitas lereng.
→ Aplikasi tekanan negatif.
- Pergerakan lateral ke arah luar minimum.
→ Volume timbunan optimal.
- Timbunan di atas area vacuum dapat dilakukan dengan relatif cepat.
→ Suction bekerja selama proses vacuum.

Improvement Area	Soil Preloading 8kPa	Soil Preloading 10kPa	Soil Preloading 12kPa
1	0.00 - 0.20 Pa	0.00 - 0.20 Pa	0.00 - 0.20 Pa
2	0.20 - 0.40 Pa	0.20 - 0.40 Pa	0.20 - 0.40 Pa
3	0.40 - 0.60 Pa	0.40 - 0.60 Pa	0.40 - 0.60 Pa
4	0.60 - 0.80 Pa	0.60 - 0.80 Pa	0.60 - 0.80 Pa
5	0.80 - 1.00 Pa	0.80 - 1.00 Pa	0.80 - 1.00 Pa
6	1.00 - 1.20 Pa	1.00 - 1.20 Pa	1.00 - 1.20 Pa
7	1.20 - 1.40 Pa	1.20 - 1.40 Pa	1.20 - 1.40 Pa
8	1.40 - 1.60 Pa	1.40 - 1.60 Pa	1.40 - 1.60 Pa
9	1.60 - 1.80 Pa	1.60 - 1.80 Pa	1.60 - 1.80 Pa
10	1.80 - 2.00 Pa	1.80 - 2.00 Pa	1.80 - 2.00 Pa
11	2.00 - 2.20 Pa	2.00 - 2.20 Pa	2.00 - 2.20 Pa
12	2.20 - 2.40 Pa	2.20 - 2.40 Pa	2.20 - 2.40 Pa

39

Kombinasi Prapembebanan dengan Vacuum

Prapembebanan Vacuum (8t/m²)

40

Kombinasi Prapembebanan dengan Vacuum

Prapembebanan Vacuum + Tanah

41

Kombinasi Prapembebanan dengan Vacuum

Prapembebanan Vacuum + Tanah + Air

42

Perbandingan Prapembebanan Tanah dengan Vacuum

Prapembebanan TANAH

Prapembebanan VACUUM

43

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum:

1. Kondisi awal

Pantai Indah Kaokuk 2, Jakarta Utara

Tol Palindra, Sumatera Selatan

44

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum:

2. Persiapan Lahan

- Pengelaran geotextile separator.
- Urugan platform kerja berupa pasir atau tanah.
- Persiapan jalan akses.

STIA 2-6000

Tol KAPB, Sumatera Selatan

45

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum:
3. Drainase Vertikal (PVD)

- Spesifikasi dapat mengacu SNI Geoteknik.
- Jarak PVD yang optimal adalah antara 0,7-1,3m (China Code)

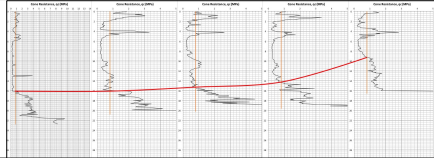


Tol KAPB, Sumatera Selatan

46

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum:
3. Drainase Vertikal (PVD)

Jarak CPT atau SPT harus **cukup dekat** untuk menggambarkan kondisi perlapisan tanah.





47

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum:
4. Drainase Horizontal (PHD)

3 pilihan sistem PHD:

- Ada lapisan pasir **sebelah 40-50cm** dengan permeabilitas tidak kurang dari 5*10⁻¹⁰ cm/s dengan kandungan lumpur < 5%.
 → PHD dengan grid 3-6m x 20-30m.






Pelabuhan Trisakti, Kalimantan Selatan
 Sinarmas Pulp & Paper, Sumatera Selatan
 PLTU Teluk Naga, Serang
 Tol Palindra, Sumatera Selatan

48

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum:
4. Drainase Horizontal (PHD)

- Material pasir **sulit diperoleh** dan atau memiliki **kehadiran lempung yang tinggi**.
 → Sand ditch PHD dengan grid 1m (jarak PVD) x 6m (setiap 6 titik PVD)

PLTU Babelan, Bekasi
 Pantai Indah Kapuk 2, Jakarta Utara

49

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum:
4. Drainase Horizontal (PHD)

- Material pasir **tidak tersedia**.
 → Sistem PHD tertutup menggunakan selang karet perkuatan kawat baja dengan grid 2m (jarak 2 PVD) x 15-20 (setiap 15-20 titik PVD)




PLU Jawa 7, Serang
 Tol PKA, Sumatera Selatan
 Tol PBIR, Jawa Barat

50

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum:
4. Drainase Horizontal (PHD)

Dalam kondisi tertentu, PHD tetap dibutuhkan meskipun sudah ada lapisan pasir drainase.



China Project reference

51

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum:
5. Geotextile dan Geomembrane

- Geotextile digunakan untuk melindungi geomembrane dari benda di permukaan tanah yang dapat merusak geomembrane.
- Direkomendasikan menggunakan 2 lapis geomembrane sebagai antisipasi terjadinya kebocoran pada saat pelaksanaan vacuum.

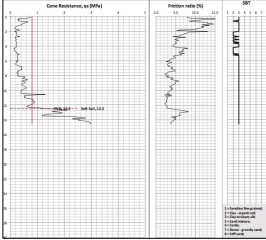



Terminal Kijing, Kalimantan Barat
 PLTU Babelan, Bekasi

52

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum:
6. Penguncian Geomembrane

- Penguncian geomembrane di sekeliling area vacuum harus dipastikan tidak mengalami kebocoran.
- Ujung geomembrane tertanam **tidak kurang dari 0,5m** dalam lapisan kedap.



53

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum:
6. Penguncian Geomembrane

- Penguncian geomembrane di sekeliling area vacuum harus dipastikan tidak mengalami kebocoran.
- Ujung geomembrane tertanam **tidak kurang dari 0,5m** dalam lapisan kedap.



Terminal Kijing, Kalimantan Barat

54

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum: 6. Penguncian Geomembrane

Apabila terdapat lensa pasir pada area vacuum maka harus dibuat dinding kedap berupa **sealing ditch** (max 6m) atau **sealing wall** untuk memotong lapisan pasir tersebut.

55

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum: 6. Penguncian Geomembrane

Apabila terdapat lensa pasir pada area vacuum maka harus dibuat dinding kedap berupa **sealing ditch** (max 6m) atau **sealing wall** untuk memotong lapisan pasir tersebut.

56

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum: 6. Penguncian Geomembrane

Apabila terdapat lensa pasir pada area vacuum maka harus dibuat dinding kedap berupa **sealing ditch** (max 6m) atau **sealing wall** untuk memotong lapisan pasir tersebut.

57

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum: 6. Penguncian Geomembrane

58

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum: 7. Instrumentasi

- Settlement plate: mengukur total penurunan.
- Vacuum gauge: mengukur tekanan vacuum pada lapisan atas.
- Piezometer: mengukur tekanan air pori pada kedalaman tanah.
- Extensometer: mengukur kompresi pada lapisan-lapisan yang di vacuum.
- Inclinometer: mengukur pergerakan tanah lateral.

59

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum: 8. Instalasi sistem vacuum & proses

- Kapasitas pompa dan area coverage-nya harus dipastikan memadai.
- Saat air-intake pompa di tutup maka tekanan vacuum pada pompa tidak boleh kurang dari 96kPa (National Code untuk Vacuum JTS 147-2-2009).

Sistem pompa desentralisasi:

- Kapasitas per pompa minimum 7.5kW
- Coverage area perpompa 900-1.100m² (National Code untuk Vacuum JTS 147-2-2009)

60

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum: 8. Instalasi sistem vacuum & proses

Sistem pompa sentralisasi:

- Coverage area per set pompa 10.000-40.000m²
- Vacuum didistribusi melalui primary dan secondary separator tank.

61

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum: 9. Timbunan saat proses vacuum

- Penimbunan tanah pilihan dapat dilakukan sesudah tekanan vacuum mencapai 80kPa dan stabil (umumnya tidak kurang dari 10 hari).
- Geomembrane harus dilindungi dengan geotextile terlebih dahulu.

62

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum: 9. Timbunan saat proses vacuum

Setiap penambahan timbunan baru akan menyebabkan penurunan yang baru sehingga proses konsolidasi akan semakin lama.

63

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum: 9. Timbunan saat proses vacuum

Deep settlement plates
Pelat penunsaan
Tanah timbunan
Tanah lunak
PVD
Inclinometer
Germ
Piezometer

Limitasi:

- Pergerakan lateral (inclinometer) tidak lebih dari 5mm/hari ke arah luar.
- Settlement tidak lebih dari 30mm/hari.

64

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum: 10. Proses Vacuum

Section 4-Zone 2
TR-ZS

Apabila ada struktur yang sensitif terhadap pergerakan lateral, analisa yang lebih detail harus dilakukan untuk menentukan jarak aman.

Gambar disamping menunjukkan retakan pada area jalan (hijau) yang paralel dengan area vacuum (merah) yang terjadi pada hari ke 68 sejak vacuum dimulai.
Jarak retakan dari batas vacuum adalah sekitar 8-9m.

PIK2, Jakarta Utara

65

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum: 11. Proses Vacuum Selesai

DEGREE OF CONSOLIDATION (%)

ZONE	REMARKS	STATUS
1	•	•
2	•	•
3	•	•

REMARKS: PERFORMA BERTAHAP (CONSIDERATION) (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19) (20) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (29) (30) (31) (32) (33) (34) (35) (36) (37) (38) (39) (40) (41) (42) (43) (44) (45) (46) (47) (48) (49) (50) (51) (52) (53) (54) (55) (56) (57) (58) (59) (60) (61) (62) (63) (64) (65) (66) (67) (68) (69) (70) (71) (72) (73) (74) (75) (76) (77) (78) (79) (80) (81) (82) (83) (84) (85) (86) (87) (88) (89) (90) (91) (92) (93) (94) (95) (96) (97) (98) (99) (100)

• Proses vacuum umumnya dianggap selesai apabila derajat konsolidasi sudah mencapai 90% dengan menggunakan metode Asaka.

• Untuk mengakomodir pengaruh dari penurunan sekunder terhadap perhitungan derajat konsolidasi, dianjurkan menggunakan kurva penurunan melebihi baseline akhir.

66

Tahap Pelaksanaan Prapembebanan Vacuum: 12. Penyelidikan tanah Pasca Vacuum

Cone resistance, qc (MPa)

• Penyelidikan tanah pasca vacuum perlu dilakukan untuk mengetahui perubahan parameter tanah.

• Uji CPT (CPTe atau CPTu) dan Uji Vane Shear (VST) umum digunakan.

• Korelasi antara nilai q_c dari CPT dan S_u dari VST dapat diidentifikasi.

PIK2, Jakarta Utara

67

Daftar Isi

- Potensi masalah pada tanah lunak.
- Identifikasi jenis tanah.
- Pilihan metode perbaikan tanah.
- Perbaikan tanah dengan prapembebanan (preload).
 - Konsep prapembebanan dan PVD.
 - Prapembebanan dengan tanah.
 - Prapembebanan dengan vacuum.
- Perbaikan Tanah dengan Dynamic Compaction.
- Perbaikan tanah dengan Stone Column.
- Perbaikan tanah dengan Rigid Inclusion.
 - Konsep kerja Rigid Inclusion.
 - Pilihan metode pelaksanaan.

68

KONSEP DASAR DYNAMIC COMPACTION

• Menjatuhkan hammer (12-40ton) dari ketinggian tertentu (10-40m) secara berulang (7-15 kali pertitik).

• Energi tumbukan akan menggeser partikel pasir sehingga menjadi lebih padat.

• Umumnya dilakukan dalam 3 phase dimana phase pertama adalah phase dengan jumlah energi terbesar dan bertujuan memadatkan bagian dalam / bawah sedangkan phase ketiga menggunakan energi kecil untuk memadatkan bagian atas.

69

Aplikasi dan Kesesuaian

Sesuai untuk :

- Material granular.
- Lanau dengan plasticity index kurang dari 8
- Lanau lempungan dengan saturasi tinggi (dikombinasikan dengan PVD atau vacuum)

Aplikasi :

- Meningkatkan daya dukung tanah
- Mengurangi penurunan tanah pasca perbaikan.
- Mitigasi likuifaksi

70

Keunggulan dan Keterbatasan

Keunggulan:

- Biaya rendah.
- Waktu konstruksi relatif singkat.
- Efektif untuk memadatkan material granular lepas dengan fine content kurang dari 15%.
- Dapat digunakan pada geomaterial yang tidak seragam untuk memperoleh lapisan yang lebih bersifat seragam dan lebih kaku.
- Peralatan sederhana : Crane khusus DC dan Hammer.

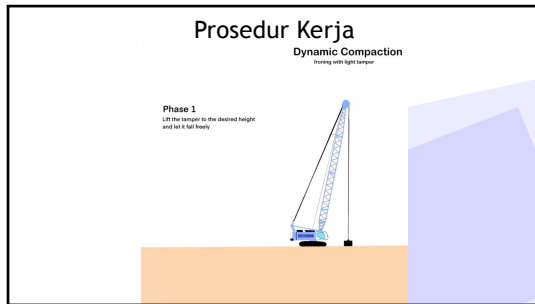
71

Keunggulan dan Keterbatasan

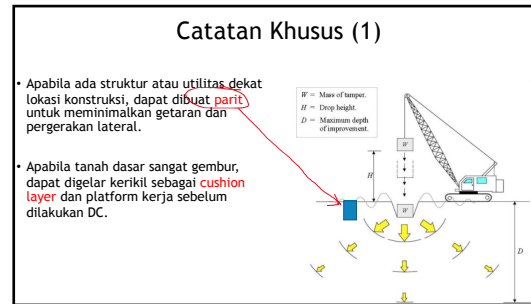
Keterbatasan:

- Kedalaman perbaikan yang terbatas (8m).
 - Untuk kedalaman lebih dari itu akan dibutuhkan peralatan khusus.
- Kurang efektif untuk memperbaiki tanah lempungan yang jenuh.
 - Perlu dipastikan excess pore water terdisipasi sebelum tumbukan berikutnya. Drainase waktu tunggu dan instrumentasi akan dibutuhkan.
- Adanya gangguan suara, vibrasi dan pergerakan lateral ke lingkungan sekitar (dalam jarak terbatas).
- Proses penumbukan dapat menyebabkan ada partikel tanah yang terlempar.

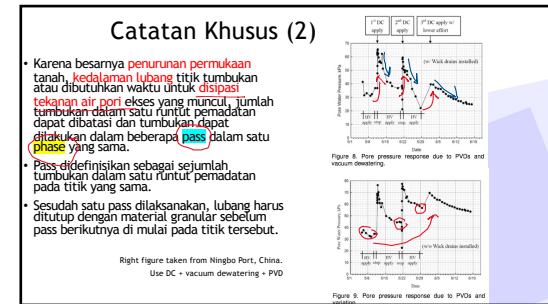
72



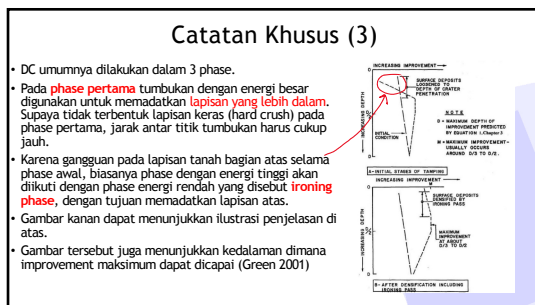
73



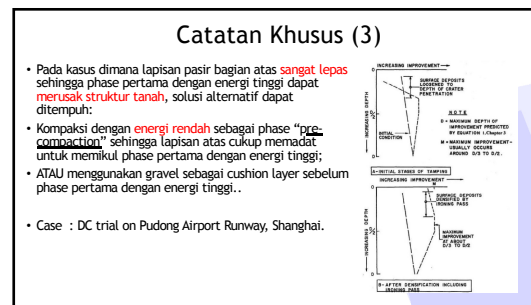
74



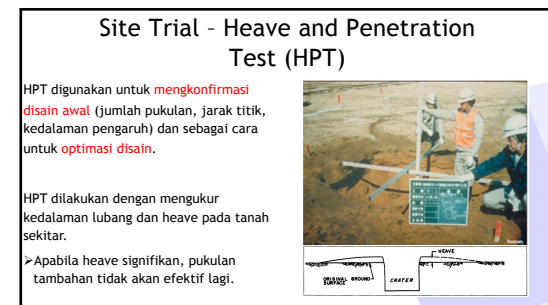
75



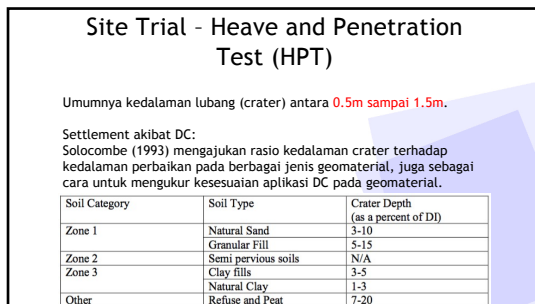
76



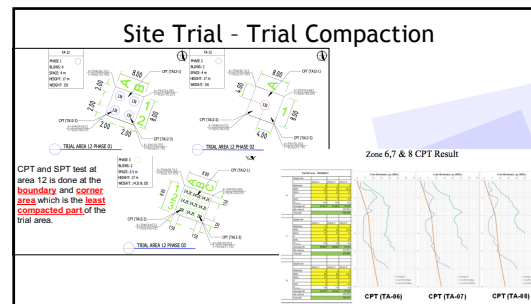
77



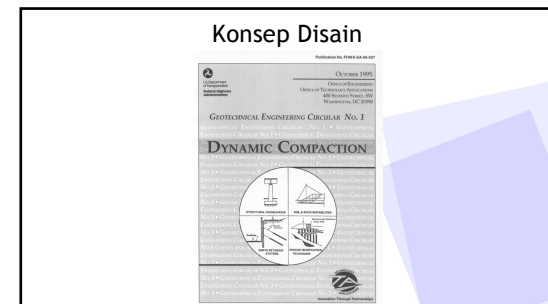
78



79



80



81

Konsep Disain

Penyelidikan tanah perlu dilakukan untuk mengevaluasi kondisi tanah seperti:

- Jenis tanah, ukuran butir, kadar halus, saturasi.
- Relative density (atau SPT CPT) dari tanah tersebut.
- Muka air tanah.
- Kemungkinan adanya void, hard lenses atau tanah yang lunak/gembur.

82

Faktor yang Berpengaruh Dalam Disain

Clayey soil
Spring Soil → atasi dengan PVD/dewatering/vacuum → waktu tunggu antar phase yang cukup.
Pengaruh ke lingkungan
DC → suara, getaran, pergerakan lateral → perhatikan bangunan, substruktur, utilitas sekitar.
Material yang terpengaruh pada saat tamping → bahaya pekerja dan fasilitas aktif dekat lokasi (case: bandara).
Lapisan permukaan yang lemah
Lapisan permukaan lemah → tidak dapat memikul beban alat DC dan menyerap energi pukulan.
Ganti atau stabilisasi dengan gravel (cushion layer).
Lapisan keras
Lapisan keras (1-2m) di permukaan tanah → energi pukulan tersebar → energi ke lapis bawah berkurang drastis.
Lapisan keras ini harus di buang atau digemburkan.
Muka Air Tanah
MAT (minimum 2m).
Bila tidak terpenuhi → dewatering atau urugan tambahan.

83

DYNAMIC COMPACTION CALCULATION SHEET

Based on Target N_{60} Value
PT. Geotekindo V.1.2

Project :
Zone :
Location :
Client :
Date :

Design Improvement Thickness (D) [m] : 5.00

STEP 1 : Selection of Tamper and Drop Height

$D \geq n \cdot (WH)^{0.5}$

Weight of Tamper → 20
Height of Drop → 17
Coefficient → 6.4

Depth of Imp. Influence → 7.40

STEP 2 : Applied Energy (AE)

AE = D · Unit-AE

Target N_{60} → 25

Min. Applied Energy → 2600
Unit Applied Energy → 320
Thickness of Soft Soil → 5.00
Average Applied Energy → 2600

84

STEP 1: Grid Spacing and Drop

AE (Grid Spacing)
W, H, P

Average Applied Energy → 265.12
Tampor Diameter → Dia. of Tampor [m] → 2.00
1.5-2.5 Dia. Tampor → Spacing Coefficient → 1.60
Main Phase Grid Spacing → Grid Spacing [m] → 4.00
Weight of Tampor → W [ton] → 20.00
Height of Drop → H [m] → 17.00
Estimate Number of Blows (N) [blow/m²] → 13.00

STEP 4: Improvement Phase and Energy Check

Phase	Phase 1	Phase 2	Ironing
Number of Blows [m ²]	20.00	20.00	15.00
Weight of Tampor [ton]	20.00	20.00	20.00
Height of Drop [m]	17.00	17.00	17.00
Grid Spacing [m]	4.00	4.00	2.00
Number of Passes	1	1	1
Average Applied Energy [J/m ²]	137.56	106.25	40.20
Total Applied Energy [J/m ²]	274.53	106.25	40.20

85

Quality Control Monitoring

- Record of Penetration
 - Jumlah pukulan per titik.
 - Diameter lubang.
 - Kedalaman yang diukur per 1 sampai 4 pukulan.
- Heave / Penetration Tests
 - Beberapa titik survey dipasang di lokasi titik tertentu untuk memeriksa potensi heaving.
- Elevation Monitoring
 - Survey topografi sebelum dan sesudah pekerjaan DC untuk mengetahui penurunan lahan secara keseluruhan.

86

Quality Control Soil Investigation

Penyelidikan tanah untuk mengetahui tingkat keberhasilan perbaikan yang diperoleh.

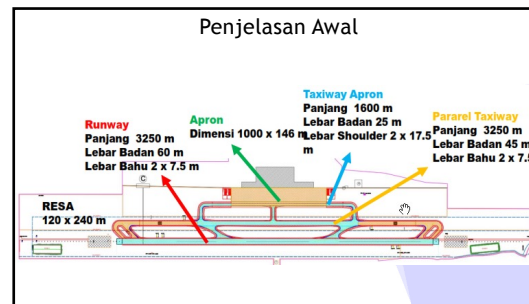
- CPT dan atau CPTu.
- SPT.
- Dilatometer tests (DMT).
- Dynamic probing (DP).
- Pressuremeter tests (PMT).

Perbandingan antara hasil uji sebelum dan sesudah perbaikan dapat digunakan sebagai indikator pencapaian perbaikan yang diperoleh.

87



88



89

Data Tanah

Depth [m]	Description
0-3	Very loose to loose Sand
3-6	Loose to Medium Sand
>6	Dense to Very Dense Sand

No	Bore Hole	Depth [m]	Sample Type	Dr	D ₅₀ [mm]	D ₁₀ [mm]	Cu	Cc	W _L [%]	W _p [%]	Particle Size Distribution (PSD)			Weight Average SPT
											Gravel	Sand	Clay	
86	08-01	0.00-0.30	DS	0.67	-	-	-	-	0.00	94.37	5.00	0.00	0.00	
87	08-01	0.30-0.60	DS	2.95	-	-	-	-	0.00	96.71	3.29	0.00	0.00	
88	08-01	0.60-0.90	DS	3.98	-	-	-	-	0.00	96.21	3.79	0.00	0.00	
89	08-01	0.90-1.20	DS	2.87	-	-	-	-	1.45	97.91	1.00	0.00	0.00	
90	08-01	1.20-1.50	DS	2.87	-	-	-	-	0.00	96.16	3.84	0.00	0.00	
91	08-01	1.50-1.80	DS	2.82	-	-	-	-	0.00	96.21	3.79	0.00	0.00	
92	08-01	1.80-2.10	DS	2.81	-	-	-	-	0.73	96.34	3.03	0.00	0.00	
93	08-01	2.10-2.40	DS	2.83	-	-	-	-	1.72	97.46	1.80	0.00	0.00	
94	08-01	2.40-2.70	DS	3.47	-	-	-	-	0.00	96.00	3.99	0.00	0.00	
95	08-01	2.70-3.00	DS	3.20	-	-	-	-	0.00	96.36	3.12	0.00	0.00	
96	08-01	3.00-3.30	DS	3.84	-	-	-	-	0.00	96.96	1.45	0.00	0.00	
97	08-01	3.30-3.60	DS	3.98	-	-	-	-	1.47	96.83	2.25	0.00	0.00	
98	08-01	3.60-3.90	DS	3.67	-	-	-	-	0.00	96.90	1.40	0.00	0.00	
99	08-01	3.90-4.20	DS	2.86	-	-	-	-	0.00	96.61	3.00	0.00	0.00	

90

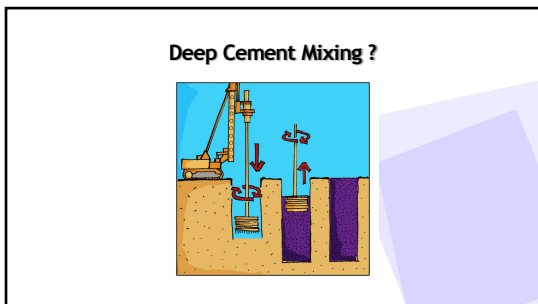


91

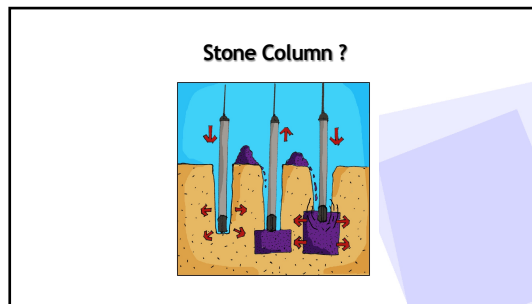
Kedalaman Perbaikan

NYA - HSPF Recap

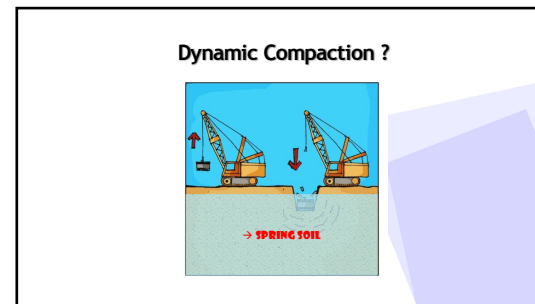
Depth	0-15	15-30	30-45	45-60	60-75	75-90	90-105	105-120	120-135	135-150	150-165	165-180	180-195	195-210	210-225	225-240	240-255	255-270	270-285	285-300	300-315	315-330	330-345	345-360	360-375	375-390	390-405	405-420	420-435	435-450	450-465	465-480	480-495	495-510	510-525	525-540	540-555	555-570	570-585	585-600	600-615	615-630	630-645	645-660	660-675	675-690	690-705	705-720	720-735	735-750	750-765	765-780	780-795	795-810	810-825	825-840	840-855	855-870	870-885	885-900	900-915	915-930	930-945	945-960	960-975	975-990	990-1005	1005-1020	1020-1035	1035-1050	1050-1065	1065-1080	1080-1095	1095-1110	1110-1125	1125-1140	1140-1155	1155-1170	1170-1185	1185-1200	1200-1215	1215-1230	1230-1245	1245-1260	1260-1275	1275-1290	1290-1305	1305-1320	1320-1335	1335-1350	1350-1365	1365-1380	1380-1395	1395-1410	1410-1425	1425-1440	1440-1455	1455-1470	1470-1485	1485-1500	1500-1515	1515-1530	1530-1545	1545-1560	1560-1575	1575-1590	1590-1605	1605-1620	1620-1635	1635-1650	1650-1665	1665-1680	1680-1695	1695-1710	1710-1725	1725-1740	1740-1755	1755-1770	1770-1785	1785-1800	1800-1815	1815-1830	1830-1845	1845-1860	1860-1875	1875-1890	1890-1905	1905-1920	1920-1935	1935-1950	1950-1965	1965-1980	1980-1995	1995-2010	2010-2025	2025-2040	2040-2055	2055-2070	2070-2085	2085-2100	2100-2115	2115-2130	2130-2145	2145-2160	2160-2175	2175-2190	2190-2205	2205-2220	2220-2235	2235-2250	2250-2265	2265-2280	2280-2295	2295-2310	2310-2325	2325-2340	2340-2355	2355-2370	2370-2385	2385-2400	2400-2415	2415-2430	2430-2445	2445-2460	2460-2475	2475-2490	2490-2505	2505-2520	2520-2535	2535-2550	2550-2565	2565-2580	2580-2595	2595-2610	2610-2625	2625-2640	2640-2655	2655-2670	2670-2685	2685-2700	2700-2715	2715-2730	2730-2745	2745-2760	2760-2775	2775-2790	2790-2805	2805-2820	2820-2835	2835-2850	2850-2865	2865-2880	2880-2895	2895-2910	2910-2925	2925-2940	2940-2955	2955-2970	2970-2985	2985-3000	3000-3015	3015-3030	3030-3045	3045-3060	3060-3075	3075-3090	3090-3105	3105-3120	3120-3135	3135-3150	3150-3165	3165-3180	3180-3195	3195-3210	3210-3225	3225-3240	3240-3255	3255-3270	3270-3285	3285-3300	3300-3315	3315-3330	3330-3345	3345-3360	3360-3375	3375-3390	3390-3405	3405-3420	3420-3435	3435-3450	3450-3465	3465-3480	3480-3495	3495-3510	3510-3525	3525-3540	3540-3555	3555-3570	3570-3585	3585-3600	3600-3615	3615-3630	3630-3645	3645-3660	3660-3675	3675-3690	3690-3705	3705-3720	3720-3735	3735-3750	3750-3765	3765-3780	3780-3795	3795-3810	3810-3825	3825-3840	3840-3855	3855-3870	3870-3885	3885-3900	3900-3915	3915-3930	3930-3945	3945-3960	3960-3975	3975-3990	3990-4005	4005-4020	4020-4035	4035-4050	4050-4065	4065-4080	4080-4095	4095-4110	4110-4125	4125-4140	4140-4155	4155-4170	4170-4185	4185-4200	4200-4215	4215-4230	4230-4245	4245-4260	4260-4275	4275-4290	4290-4305	4305-4320	4320-4335	4335-4350	4350-4365	4365-4380	4380-4395	4395-4410	4410-4425	4425-4440	4440-4455	4455-4470	4470-4485	4485-4500	4500-4515	4515-4530	4530-4545	4545-4560	4560-4575	4575-4590	4590-4605	4605-4620	4620-4635	4635-4650	4650-4665	4665-4680	4680-4695	4695-4710	4710-4725	4725-4740	4740-4755	4755-4770	4770-4785	4785-4800	4800-4815	4815-4830	4830-4845	4845-4860	4860-4875	4875-4890	4890-4905	4905-4920	4920-4935	4935-4950	4950-4965	4965-4980	4980-4995	4995-5010	5010-5025	5025-5040	5040-5055	5055-5070	5070-5085	5085-5100	5100-5115	5115-5130	5130-5145	5145-5160	5160-5175	5175-5190	5190-5205	5205-5220	5220-5235	5235-5250	5250-5265	5265-5280	5280-5295	5295-5310	5310-5325	5325-5340	5340-5355	5355-5370	5370-5385	5385-5400	5400-5415	5415-5430	5430-5445	5445-5460	5460-5475	5475-5490	5490-5505	5505-5520	5520-5535	5535-5550	5550-5565	5565-5580	5580-5595	5595-5610	5610-5625	5625-5640	5640-5655	5655-5670	5670-5685	5685-5700	5700-5715	5715-5730	5730-5745	5745-5760	5760-5775	5775-5790	5790-5805	5805-5820	5820-5835	5835-5850	5850-5865	5865-5880	5880-5895	5895-5910	5910-5925	5925-5940	5940-5955	5955-5970	5970-5985	5985-6000	6000-6015	6015-6030	6030-6045	6045-6060	6060-6075	6075-6090	6090-6105	6105-6120	6120-6135	6135-6150	6150-6165	6165-6180	6180-6195	6195-6210	6210-6225	6225-6240	6240-6255	6255-6270	6270-6285	6285-6300	6300-6315	6315-6330	6330-6345	6345-6360	6360-6375	6375-6390	6390-6405	6405-6420	6420-6435	6435-6450	6450-6465	6465-6480	6480-6495	6495-6510	6510-6525	6525-6540	6540-6555	6555-6570	6570-6585	6585-6600	6600-6615	6615-6630	6630-6645	6645-6660	6660-6675	6675-6690	6690-6705	6705-6720	6720-6735	6735-6750	6750-6765	6765-6780	6780-6795	6795-6810	6810-6825	6825-6840	6840-6855	6855-6870	6870-6885	6885-6900	6900-6915	6915-6930	6930-6945	6945-6960	6960-6975	6975-6990	6990-7005	7005-7020	7020-7035	7035-7050	7050-7065	7065-7080	7080-7095	7095-7110	7110-7125	7125-7140	7140-7155	7155-7170	7170-7185	7185-7200	7200-7215	7215-7230	7230-7245	7245-7260	7260-7275	7275-7290	7290-7305	7305-7320	7320-7335	7335-7350	7350-7365	7365-7380	7380-7395	7395-7410	7410-7425	7425-7440	7440-7455	7455-7470	7470-7485	7485-7500	7500-7515	7515-7530	7530-7545	7545-7560	7560-7575	7575-7590	7590-7605	7605-7620	7620-7635	7635-7650	7650-7665	7665-7680	7680-7695	7695-7710	7710-7725	7725-7740	7740-7755	7755-7770	7770-7785	7785-7800	7800-7815	7815-7830	7830-7845	7845-7860	7860-7875	7875-7890	7890-7905	7905-7920	7920-7935	7935-7950	7950-7965	7965-7980	7980-7995	7995-8010	8010-8025	8025-8040	8040-8055	8055-8070	8070-8085	8085-8100	8100-8115	8115-8130	8130-8145	8145-8160	8160-8175	8175-8190	8190-8205	8205-8220	8220-8235	8235-8250	8250-8265	8265-8280	8280-8295	8295-8310	8310-8325	8325-8340	8340-8355	8355-8370	8370-8385	8385-8400	8400-8415	8415-8430	8430-8445	8445-8460	8460-8475	8475-8490	8490-8505	8505-8520	8520-8535	8535-8550	8550-8565	8565-8580	8580-8595	8595-8610	8610-8625	8625-8640	8640-8655	8655-8670	8670-8685	8685-8700	8700-8715	8715-8730	8730-8745	8745-8760	8760-8775	8775-8790	8790-8805	8805-8820	8820-8835	8835-8850	8850-8865	8865-8880	8880-8895	8895-8910	8910-8925	8925-8940	8940-8955	8955-8970	8970-8985	8985-9000	9000-9015	9015-9030	9030-9045	9045-9060	9060-9075	9075-9090	9090-9105	9105-9120	9120-9135	9135-9150	9150-9165	9165-9180	9180-9195	9195-9210	9210-9225	9225-9240	9240-9255	9255-9270	9270-9285	9285-9300	9300-9315	9315-9330	9330-9345	9345-9360	9360-9375	9375-9390	9390-9405	9405-9420	9420-9435	9435-9450	9450-9465	9465-9480	9480-9495	9495-9510	9510-9525	9525-9540	9540-9555	9555-9570	9570-9585	9585-9600	9600-9615	9615-9630	9630-9645	9645-9660	9660-9675	9675-9690	9690-9705	9705-9720	9720-9735	9735-9750	9750-9765	9765-9780	9780-9795	9795-9810	9810-9825	9825-9840	9840-9855	9855-9870	9870-9885	9885-9900	9900-9915	9915-9930	9930-9945	9945-9960	9960-9975	9975-9990	9990-10005	10005-10020	10020-10035	10035-10050	10050-10065	10065-10080	10080-10095	10095-10110	10110-10125	10125-10140	10140-10155	10155-10170	10170-10185	10185-10200	10200-10215	10215-10230	10230-10245	10245-10260	10260-10275	10275-10290	10290-10305	10305-10320	10320-10335	10335-10350	10350-10365	10365-10380	10380-10395	10395-10410	10410-10425	10425-10440	10440-10455	10455-10470	10470-10485	10485-10500	10500-10515	10515-10530	10530-10545	10545-10560	10560-10575	10575-10590	10590-10605	10605-10620	10620-10635	10635-10650	10650-10665	10665-10680	10680-10695	10695-10710	10710-10725	10725-10740	10740-10755	10755-10770	10770-10785	10785-10800	10800-10815	10815-10830	10830-10845	10845-10860	10860-10875	10875-10890	10890-10905	10905-10920	10920-10935	10935-10950	10950-10965	10965-10980	10980-11000	11000-11015	11015-11030	11030-11045	11045-11060	11060-11075	11075-11090	11090-11105	11105-11120	11120-11135	11135-11150	11150-11165	11165-11180	11180-11195	11195-11210	11210-11225	11225-11240	11240-11255	11255-11270	11270-11285	11285-11300	11300-11315	11315-11330	11330-11345	11345-11360	11360-11375	11375-11390	11390-11405	11405-11420	11420-11435	11435-11450	11450-11465	11465-11480	11480-11495	11495-11510	11510-11525	11525-11540	11540-11555	11555-11570	11570-11585	11585-11600	11600-11615	11615-11630	11630-11645	11645-11660	11660-11675	11675-11690	11690-11705	11705-11720	11720-11735	11735-11750	11750-11765	11765-11780	11780-11795	11795-11810	11810-11825	11825-11840	11840-11855	11855-11870	11870-11885	11885-11900	11900-11915	11915-11930	11930-11945	11945-11960	11960-11975	11975-11990	11990-12005	12005-12020	12020-12035	12035-12050	12050-12065	12065-12080	12080-12095	12095-12110	12110-12125	12125-12140	12140-12155	12155-12170	12170-12185	12185-12200	12200-12215	12215-12230	12230-12245	12245-12260	12260-12275	12275-12290	12290-12305	12305-12320	12320-12335	12335-12350	12350-12365	12365-12380	12380-12395	12395-12410	12410-12425	12425-12440	12440-12455	12455-12470	12470-12485	12485-12500	12500-12515	12515-12530	12530-12545	12545-12560	12560-12575	12575-12590	12590-12605	12605-12620	12620-12635	12635-12650	12650-12665	12665-12680	12680-12695	12695-12710	12710-12725	12725-12740	12740-12755	12755-12770	127
-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-----



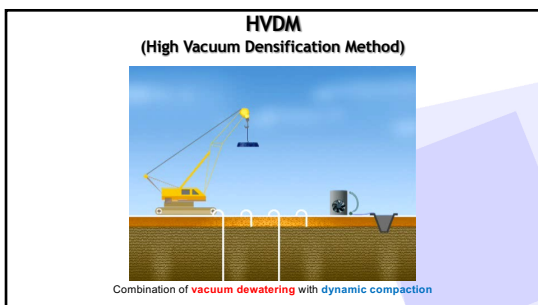
100



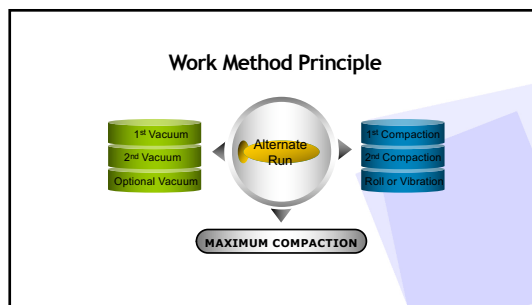
101



102



103



104

Case :

Shangyu Industrial Park
Hangzhou Bay, China

105



106



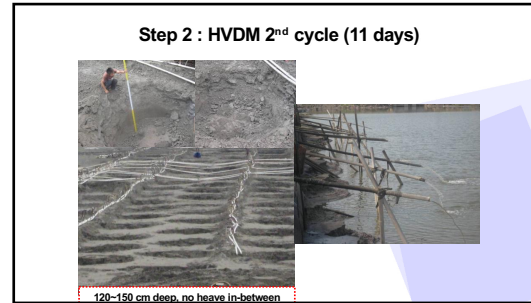
107



108



109



110



111



112



113

Daftar Isi

- Potensi masalah pada tanah lunak.
- Identifikasi jenis tanah.
- Pilihan metode perbaikan tanah.
- Perbaikan tanah dengan prapembebanan (preload).
 - Konsep prapembebanan dan PVD.
 - Prapembebanan dengan tanah.
 - Prapembebanan dengan vakuum.
- Perbaikan Tanah dengan Dynamic Compaction.
- Perbaikan tanah dengan Stone Column.
- Perbaikan tanah dengan Rigid Inclusion.
 - Konsep kerja Rigid Inclusion.
 - Pilihan metode pelaksanaan.

114

SNi
Standar Nasional Indonesia

SI 8400:2017

Peraturan perancangan geoteknik

BSN

SI 8400:2017

Standar Nasional Indonesia

115

SI 8400:2017

Standar Nasional Indonesia

Peraturan perancangan geoteknik

BSN

SI 8400:2017

Standar Nasional Indonesia

116

Aplikasi Stone Column (SC)

1. Mengurangi penurunan tanah dan meningkatkan daya dukung tanah:
 - Tambahkan kekakuan sebagai kontribusi dari SC.
 - Pematatan dari lapisan yang bisa dipadatkan (fine content <10%) selama instalasi SC.
2. Mitigasi Likuifaksi:
 - SC dan tanah akan membentuk struktur komposit dengan shear resistance dan stiffness modulus yang meningkat.
 - SC bekerja sebagai drainase vertikal dan mempercepat disipasi air pori selama gempa.

117

Pertimbangan Dalam Perencanaan (1)

Figure 5.10 Typical patterns of compaction probe points or columns: (a) rectangular, (b) triangular, and (c) radial.

Area Replacement Ratio

Area replacement ratio didefinisikan sebagai rasio dari area SC terhadap ada pengaruh satu kolom SC tersebut.

$$a_r = \frac{A_s}{A_c} = C \left(\frac{d_c}{s} \right)^2$$

where a_r = area replacement ratio
 A_s = cross-sectional area of the columns
 A_c = tributary area of the columns
 d_c = diameter of the columns
 s = center-to-center spacing between columns in a square or equilateral triangular pattern
 C = constant (1/4 or 0.25 for a square pattern or 1/3.5 or 0.286 for an equilateral triangular pattern)

118

Pertimbangan Dalam Perencanaan (2)

Possible failure modes of individual columns subjected to vertical loads (modified from Barksdale and Bachus, 1983; Han and Yeo, 1991).

FHWA-NHI-16-027 : $S_u \geq 15 \text{ kPa}$ (300psf)
 SNI 8460:2017 : $S_u \geq 20 \text{ kPa}$

119

Pertimbangan Dalam Perencanaan (3)

MATERIAL LOSS FACTOR?

120

Pertimbangan Dalam Perencanaan (4)

Since granular columns and the surrounding soil mobilize their strengths at a similar strain level, the ultimate bearing capacity (q_{ult}) of a granular column-reinforced composite foundation can be estimated as follows:

$$q_{ult} = q_{ult,c} a_r + q_{ult,s} (1 - a_r) \quad (5.17)$$

where $q_{ult,c}$ is the ultimate bearing capacity of the surrounding soil, which can be estimated as S_c as suggested by Barksdale (1987).

The ultimate bearing capacity of the individual stone column can be expressed as follows:

$$q_{ult,c} = (\sigma_{eq} + K_c \rho_{eq}) W_p = K' K_c \rho_{eq} \quad (5.15)$$

Table 5.3 shows the constants (K_c) from different researchers, which range from 12 to 25. The lower value is used for granular columns with a low friction angle (such as sand compaction columns), while the higher value is used for granular columns with a high friction angle (such as rammed aggregate columns).

c_u (kPa)	Soil Type	K_c	$K' K_c$	Reference
0-4	Clay	4.0	25.2	Hughes and Wilton (1974)
10-10	Clay	1.0	15.6-11.8	Mokashi et al. (1976)
—	Clay	6.4	20.6	Brown (1979)
—	Clay	5.0	20.0	Mora (1979)
—	Clay	5.0	20.0	Brown (1979)
15.0 to 40.0	Clay	—	14.0-24.0	Han (1992)
—	Clay	—	12.2-15.2	Go and Qian (1990)

Source: Yu et al. (1994)

121

Gradasi Material Pengisi

Sieve Size (mm)	% Passing			
	Fill Type 1	Fill Type 2	Fill Type 3	Fill Type 4
100	100	—	—	—
88	90-100	—	—	—
75	—	90-100	—	—
63	25-100	—	100	—
50	—	40-90	65-100	100
38	0-60	—	—	—
25	—	—	20-100	2
19	0-10	0-10	10-55	—
13	0-5	0-5	0-5	—

Source: Elias et al. (2004).

Daya dukung? Kapasitas drainase? Wet atau Dry Method?

122

Project Reference : Tarahan Expansion Port, Lampung

123

Kegiatan Lapangan Stone Column Wet Method

- 1- Motor gland
- 2- Motor water jacket
- 3- Vibration motor
- 4- Connecting flange
- 5- Eccentric block
- 6- Vibration spindle
- 7- Vibration head

124

Kegiatan Lapangan

Labels: Penggantian, Cakde rod (menyakit), Shock absorber, Vibrator dan motor.

125

Hasil Perbaikan

- Pengurangan settlement :
 - Requirement < 20cm.
 - (pada tahap sebelum post settlement mencapai 2m).
- Menaikkan slope stability :
 - Proteksi Jetty dari sliding.
- Mitigasi Soil Liquefaction :
 - Pemadatan dari lapisan terkompresi
 - Site turun rata-rata **1m**.
 - Daya dukung tanah meningkat
 - stone column memberikan daya dukung sampai **75 tons/point**.
 - Drainase
 - **drainage path** untuk disipasi air pori selama gempa.

126



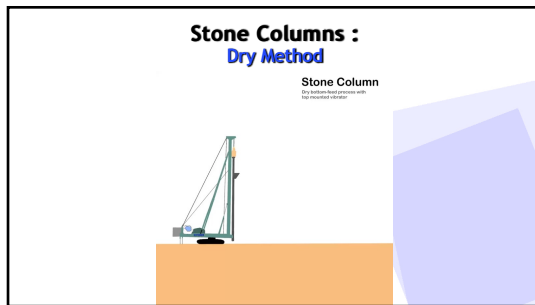
127



128



129



130



131

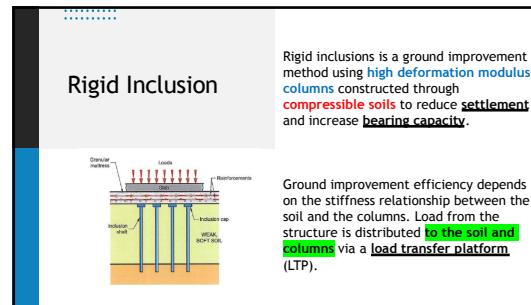
Stone Columns : Dry Method konstruksi lapangan (Soekarno Hatta Airport)

Kedalaman	SPT		Risk/Soil Description	Kedalaman	SPT	
	11-Apr	18-Apr			11-Apr	18-Apr
0.00 - 0.50			Hardly cemented silty sand	0.50 - 1.00		
0.50 - 1.00				1.00 - 1.50	11	
1.00 - 2.00	12	11	Fat Clay	1.50 - 2.00	7	28
2.00 - 3.00				2.00 - 3.00	10	30
3.00 - 4.00	11	11	Silty sand	3.00 - 4.00	11	34
4.00 - 4.50	25	35		4.00 - 4.50	11	34
4.50 - 5.00			Silt	4.50 - 5.00		
5.00 - 5.50	5	5	Silty (fine) sand	5.00 - 5.50	9	31
5.50 - 6.00				6.00 - 6.50	35	7
6.00 - 6.50	5	5	Fat Clay	6.50 - 7.00		
7.00 - 7.50	6	7		7.00 - 7.50	7	8

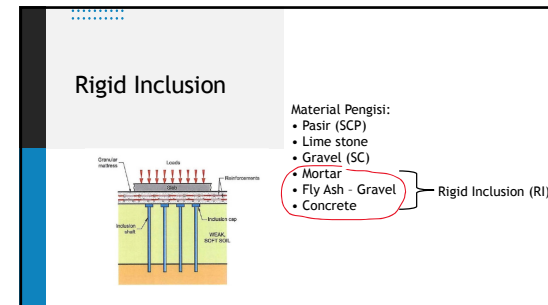
132

- Daftar Isi**
- Potensi masalah pada tanah lunak.
 - Identifikasi jenis tanah.
 - Pilihan metode perbaikan tanah.
 - Perbaikan tanah dengan prapembebanan (preload).
 - Konsep prapembebanan dan PVD.
 - Prapembebanan dengan tanah.
 - Prapembebanan dengan vacuum.
 - Perbaikan Tanah dengan Dynamic Compaction.
 - Perbaikan tanah dengan Stone Column.
 - Perbaikan tanah dengan Rigid Inclusion.
 - Konsep kerja Rigid inclusion.
 - Pilihan metode pelaksanaan.

133



134



135

Rigid Inclusion

Rigid Inclusion (RI) juga dikenal dengan nama:

- Cement-Flyash-Gravel Pile (CFG Pile^{1,2}),
- Kolom Grout Modular (KGM¹),
- Control Modulus Column (CMC¹),
- Full Displacement Column (FDC¹),
- Full Replacement Column (FRC¹),
- Full Displacement Pile¹.

1: pendekatan soil displacement.
2: pendekatan soil replacement.

136

Aplikasi Rigid Inclusion

- Meningkatkan Daya Dukung dan Stabilitas
- Mengurangi Total Settlement
- Mengontrol Differential Settlement
- Mencegah Likufaksi dengan:
 - Perkuatan (-CSR)
 - Meningkatkan kekakuan komposit tanah
 - Pemadatan (+CRR)
 - Apabila Metode dengan Pengetaran Tanah Granular

137

Konsep Load Transfer

Komponen dari Rigid Inclusion:

1. Elemen vertikal kaku (rigid inclusion).
2. Pile cap di atas rigid inclusion (flexible connection).
3. Load Transfer Platform (LTP).
4. Tanah yang berada diantara elemen vertikal.

138

Cement - Flyash-Gravel (CFG) Pile

Salah satu metode Rigid Inclusion adalah **Cement-Flyash-Gravel (CFG) Pile**.

Material pengisi: beton ready mix (K-175 s/d K300).

Memiliki 2 pendekatan konstruksi: **Displacement** dan **Replacement**.

139

Cement - Flyash-Gravel (CFG) Pile

- 2 metode konstruksi CFG Pile:
 - vibrating tube (pendekatan **displacement**).
 - Long auger (pendekatan **replacement**).
- Diameter CFG Pile antara 350-600mm, jarak instalasi antara 3-5 kali diameter.
- **Tidak ada lubang terbuka bebas** dalam proses konstruksi.

140

CFG Pile - Vibrating Tube

```

    graph TD
      A[Proses penetrasi] --> B[Pengisian material beton ke dalam penampung di atas pipa]
      B --> C[Pipa diangkat perlahan, digetarkan]
      C --> D[Pindah ke lokasi titik baru]
    
```

141

CFG Pile - Vibrating Tube

Tanah disekitar tabung akan mengalami **penampatan** akibat **soil displacement** oleh penetrasi pipa.

Kereta Cepat Jakarta-Bandung.
Volume CFG Pile: 386.735 meter

142

CFG Pile - Vibrating Tube

Pada tanah lempung lunak, perhatian khusus terkait **excess pore pressure** yang terbentuk akibat **soil displacement**, (kondisi undrained).

Masalah dalam aplikasi pada tanah lunak:

- Soil Squeezing
- Cement Bleeding
- Column Necking
- Pile Heave (and crack).

143

CFG Pile - Long Auger

```

    graph TD
      A[Proses penetrasi] --> B[Pengisian beton menggunakan pompa ke dalam auger pipe]
      B --> C[Auger diangkat perlahan sambil pengisian beton dengan pompa]
      C --> D[Pindah ke lokasi titik baru]
    
```

144

CFG Pile - Long Auger

- Sesuai untuk tanah lunak, medium stiff to stiff atau ada **soft spots**.
- Tanah akan diangkat (soil replacement) oleh auger sambil pengisian beton → excess pore pressure **minimum**.
- Kedalaman instalasi sampai 32m.

Long Auger di Lempung Lunak, Kereta Cepat Jakarta-Bandung

145

CFG Pile - Long Auger

Long Auger di medium stiff clay, Bandara Doho, Kediri, Jawa Timur

146

CFG Pile Pada Area Lereng

Kereta Cepat Jakarta-Bandung

147

IDE DESIGN

- Ide dasar DCM pada timbunan (FHWA-HRT-13-046):
 - Isolated column individual di bagian tengah timbunan (settlement).
 - Shear walls pada sayap (stabilitas).
- Alternatif aplikasi:
 - Rigid Inclusion di bagian tengah.
 - DCM pada bagian tepi sebagai shear walls.

148

Rigid Inclusion pada Kontruksi Jalan

Terjadi punching atau efek "egg cartoon" akibat LTP tidak cukup tebal

ASIRI National Project. Recommendations for the design, construction and control of rigid inclusion ground improvement.

149

PENUTUP

- Setiap proyek **unik**, memiliki kondisi tanah dan pembebanan yang berbeda sehingga perlu analisa secara khusus.
 - Pemilihan metode tidak bisa sekedar **copy-paste**.
- Metode perbaikan tanah yang **sama** memiliki berbagai variasi aplikasi yang **berbeda**.
 - Hal-hal spesifik bisa membawa konsekuensi baru.
- Dibutuhkan **tenaga ahli** dengan pengetahuan dan pengalaman yang baik.
 - Mendapat solusi yang **efektif dan efisien**.

150

Q & A

KONTAK
 Marcello Djunaidy
 0815 1904 8800
marcello@geotekindo.com
mdjunaidy@gmail.com

151