

ANALISA DAN USULAN KOREKSI STRUKTUR TANAH PADA SUPERMARKET KEBUMEN AKIBAT PENURUNAN BANGUNAN

Oleh : Basuki

Abstraksi

Penurunan bangunan merupakan permasalahan yang melibatkan penurunan daya dukung / kuat geser tanah, fenomena alam gempa yang sulit diprediksi dan kegagalan desain struktur. Analisa dibuat untuk mendapatkan jawaban mekanisme terjadi penurunan dan mendapatkan solusi menghentikan penurunan dengan melakukan serangkaian perbaikan struktur tanah bawah bangunan maupun solusi lain yang dimungkinkan untuk dilaksanakan. Kata Kunci: Penurunan Bangunan.

A. LATAR BELAKANG

Tulisan ini bertujuan untuk mendapatkan jawaban terhadap permasalahan penurunan bangunan yang terjadi pada sebuah bangunan tinggi. Penurunan bangunan terjadi nyata dan cukup signifikan terlihat setelah gempa Jogjakarta terjadi, penurunan terjadi tidak seragam dengan penurunan terbesar 6 cm. Kolom kolom tengah mengalami penurunan yang lebih besar dibanding kolom tepi bangunan. Penurunan tersebut menimbulkan gejala yang tidak wajar dan membahayakan pengguna bangunan. Penurunan permukaan lantai dasar pada area sekitar kolom kolom tengah merupakan gejala yang paling jelas terlihat. Dinding luar façade bangunan mengalami perubahan sudut yang sedikit akan tetapi menimbulkan retak dengan celah sudut hingga 2 cm.

1. Perumusan Masalah

Terjadi penurunan pada kelompok kolom tengah struktur dikarenakan kesalahan perencanaan/ pelaksanaan atau pondasi dimungkinkan tidak direncanakan dengan benar. Penyelidikan Daya Dukung tanah dimungkinkan tidak dilakukan dengan prosedur yang benar.

Dalam uraian selanjutnya masalah hanya dibatasi pada daya dukung tanah dan bagaimana menemukan solusi yang mungkin bisa diambil untuk menghentikan laju penurunan bangunan.

2. Tujuan Penelitian

- a) Untuk mengevaluasi data awal keadaan fisik bangunan baik dokumen perencanaan dan pelaksanaan maupun hasil uji laboratorium tanah yang ada.

- b) Untuk mengetahui besar, letak dan kemungkinan penyebab penurunan bangunan serta dampak yang ditimbulkannya.
- c) Untuk mengetahui dan memberikan gambaran alternatif pengendalian penurunan yang mungkin bisa dilaksanakan berdasarkan kaidah ilmu pengetahuan dari disiplin ilmu teknik sipil.

3. Manfaat Penelitian

1. Bagi masyarakat, Penelitian ini akan memberikan gambaran-gambaran yang jelas tentang resiko yang mungkin timbul akibat kesalahan perencanaan yang berkait dengan kesalahan penyelidikan daya dukung tanah
2. Bagi Praktisi Teknik Sipil, hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan khususnya dalam hal perencanaan dan pelaksanaan bangunan ditinjau dari aspek metoda konstruksi. Penelitian ini juga akan memberikan gambaran menganalisis permasalahan dan memberi alternative menghentikan laju penurunan bangunan.

B. LANDASAN TEORI

1. Uraian umum

Lapisan Subgrade Lunak seperti tanah dengan kelembaban sensitip seperti tanah expansive, tanah mudah beku, dan tanah mudah runtuh menyajikan satu tantangan konstruksi seperti halnya satu tantangan kinerja perkerasan. Perlakuan sesuai dari masalah tanah dan persiapan dari fondasi hal ini penting untuk memastikan satu struktur perkerasan tahan lama dan tidak memerlukan pemeliharaan berlebihan. Tanah demikian dapat distabilkan untuk membentuk satu bantalan konstruksi atau satu lapisan jangka panjang di bawah permukaan tanah untuk memperoleh kekerasan isi tanah yang terap.

Di semua kasus, ketetapan untuk satu tanah seragam sehubungan dengan klasifikasi textural, kelembaban, dan kepadatan pada bagian bagian atas dari subgrade tidak dapat selesai ditekankan. Keseragaman ini dapat dicapai melalui tampang sub tanah atau ilmu pengetahuan tentang teknik lain. Ada lima teknik dalam ilmu pengetahuan untuk meningkatkan kekuatan dan mengurangi variasi iklim dari fondasi pada kinerja perkerasan: stabilisasi dengan lemah atau tanah dengan kelembaban sensitip, lapisan tebal berisi butir kecil, sistem drainase di bawah permukaan tanah, geosynthetics, dan encapsulation tanah. Lapisan tebal berisi butir kecil umumnya lebih besar dibandingkan 18 inci di ketebalan dan hingga siap didapat, agregat kualitas baik. (H.-G. Kempfert)

- a) **Perlakuan kapur.** Perlakuan atau modifikasi ini terdiri dari aplikasi dari 1 hingga 3% kapur hidrat untuk membantu pengeringan tanah dan penyuntikan pemadatan, ini berguna pada satu pekerjaan mempercepat konstruksi pondasi. Modifikasi dengan kapur juga bisa dipertimbangkan ke kondisi suatu tanah untuk tindak lanjut stabilisasi dengan semen atau aspal. Perlakuan kapur dari tanah subgrade dimaksudkan untuk mempercepat konstruksi, dan tidak ada pengurangan pada ketebalan perkerasan yang harus dilakukan.
- b) **Stabilisasi kapur.** Stabilisasi kapur pada tanah meningkatkan karakteristik kekuatan dan mengubah susunan kimia sebagian tanah. Kekuatan dari tanah bertekstur halus dapat ditingkatkan dan berpengaruh significant dengan stabilisasi kapur, sementara kekuatan dari tanah kasar biasanya ditingkatkan sedang. Kapur telah ditemukan paling efektif dengan pengaruh sangat tinggi pada tanah lempung plastik yang mengandung montmorillonite (mineral lempung expansive). (H.-G. Kempfert)

2. Struktur Pondasi Dalam

Daya dukung pondasi dalam merupakan penggabungan dua kekuatan daya dukung, yaitu daya dukung ujung (q_e) dan daya dukung lekatan (q_s)

- Rumus Daya Dukung ujung tiang

$$P = \frac{q_c \times A}{3} + \frac{JHF \times O}{5}$$

P = Daya Dukung Tiang

q_c = Nilai Konus

A = Luas Penampang Tiang

JHF = Nilai Hambatan Lekat per pias

O = Keliling Tiang

$3 \ \& \ 5$ = Koefisien Keamanan

- Rumus Daya Dukung ujung tiang metode LCPC, 1991

q_e = $q_c \cdot K_c \cdot A_p$

q_e = Daya Dukung ujung tiang

q_c = Nilai Konus

K_c = Faktor Nilai Konus (lihat tabel 2.2.1)

A_p = Luas penampang ujung tiang

a. Rumus Daya Dukung lekatan (q_s)

q_s = $JH_p \cdot A_s$

- qs = Daya Dukung lekatan
- JHP = Nilai Hambatan Pelekat (dari uji Sondir)
- As = Selimut tiang

b. Rumus Daya Dukung Batas dan Daya dukung ijin

- qult = $q_e + q_s$
- qult = Daya Dukung Tanah Ultimit
- qe = Daya Dukung Ujung Tiang
- qs = Daya Dukung Lekatan

Setelah kita mendapatkan nilai daya dukung Ultimit Tanah (qult), Langkah selanjutnya menghitung daya dukung ijin tanah yaitu :

- q = q_{ult} / S_f
- q = Daya Dukung ijin tanah
- Sf = Faktor Keamanan biasanya nilainya diambil 3

Tabel.1. Nilai Kc (Titi dan Abu Farsakh 1991)

Jenis Tanah	Faktor qonus Ujung Tiang	
	Drilling Pile	Driven Pile
Clays dan Silts	0,375	0,600
Sands dan Gravels	0,15	0,375
Chalk	0,200	0,400

3. **Perbaikan Tanah (Soil Impruvement)**

Perbaikan tanah dikelompokan menjadi dua yakni perbaikan sebelum konstruksi bangunan dilaksanakan dan perbaikan tanah setelah bangunan berdiri atau biasa disebut koreksi struktur tanah. dalam tulisan ini akan hanya disinggung perbaikan tanah yang merupakan koreksi atau usaha meningkatkan kekuartan tanah pada bangunan yang telah berdiri. teknik perbaikan tanah yang tidak dimungkin kan dilaksanakan tidak dibahas di sini.

a) **Metode perbaikan tanah dengan menggunakan teknik kolom**

Prinsip dasar dari teknik ini adalah untuk meringankan beban pada tanah lunak tanpa mengubah struktur tanah secara substansial. Hal ini dicapai dengan menginstal struktur kolom-atau tumpukan-gelembung pola grid ke lapisan bantalan, di atas yang sering transfer beban tika terdiri dari bala geotekstil atau geogrid dibangun. The menghilangkan tegangan hasil tanah lunak dari redistribusi beban di tambak melalui

melengkung, yang (jika ada) distabilkan oleh geotextil di / penguatan geogrid (efek membran) tambahan. Sebagai hasilnya, kompresibilitas tanah diperbaiki atau komposit dapat dikurangi dan daya dukung dan kekuatan geser meningkat. Konsolidasi dari tanah lunak dapat juga dipercepat dan dengan demikian permukaan setelah konstruksi dapat diminimalisasi jauh, sejak paling kolom-jenis struktur bertindak sebagai drainase vertikal. Teknik Kolom- untuk perbaikan tanah juga akan digunakan untuk pondasi tangki dan gudang. (H.-G. Kempfert)

b) Kolom batu dan tumpukan Pematatan pasir

Kolom Batu dan tumpukan padatan pasir (atau komposisi tumpukan) merupakan tipe teknik kolom paling dikenal untuk meningkatkan mutu tanah lunak. Banyak metode instalasi yang digunakan di seluruh dunia, sebagai contoh metode penggantian vibro (gbr. 1) dan metode komposer vibro. (H.-G. Kempfert) Metoda ini akan sulit dilakukan untuk koreksi sub struktur bangunan di perkotaan, getaran vibro yang ditimbulkan merupakan gangguan yang cukup serius bagi lingkungan bangunan sekitar.



Gb.1. Grouting dan jet grouting

Ground improvement methods with special emphasis on column-type techniques
(H-GKempfert@ Institute of Geotechnique, University of Kassel, Germany)

c) Grouting

Grouting adalah memompa material grouting lembek kedalam tanah dengan tekanan untuk mengubah karakteristik tanah asli , metoda ini praktis digunkan pada koreksi subsruktur akibat daya dukung tanah yang menurun atau kesalahan perencanaan.

Groting untuk Pematatan (*Compaction Grouting*) dilakukan :

1. Ketika material groting yang lembek di injeksikan ke tanah berbutir (pasir), gelembung groting terbetuk yang akan menggantikan mengisi dan memadatkan tanah lembek di sekelilingnya.

2. Digunakan untuk memperbaiki struktur yang mengalami penurunan berlebihan
(Sina Kazemian Bujang. B. K. Huat)

4. Penurunan Bangunan

Penurunan bangunan lazim dijumpai ketika struktur bangunan mulai didirikan dan memberi beban ke tanah penurunan ini hampir tidak bisa dilihat dengan kasat mata, penurunan ini sepanjang tidak menyolok bukan merupakan masalah. Penurunan bangunan menjadi bermasalah manakala laju penurunan seketika, tidak merata, eksessiv dan cukup dalam dan berlangsung terus.

Sumber penurunan bangunan:

1. Penurunan Segera (pasir dan tanah liat) Terjadi seketika beban diterapkan
2. Konsolidasi (tanah liat jenuh) Sebuah proses yang lambat dengan memeras keluar air dari pori-pori di tanah liat lunak saat diberi muatan
3. Likuifakasi (pasir jenuh) Kehilangan Sementara kekuatan geser dalam tanah pasir lepas disebabkan oleh dampak peningkatan tekanan air pori selama pembebanan siklik seperti gempa
4. Densifikasi seismik (kering / pasir lembab) Densifikasi pasir lepas di atas level air tanah akibat getaran tanah (Hadi J. Yap, PhD, PE, GE. 2008.SEAONC Spring Seminar)

Penurunan bangunan yang tidak seragam tidak diijinkan terjadi karena akan mengakibatkan struktur bangunan dalam keadaan yang tidak stabil beberapa patokan berkait defleksi struktur balok bisa menjadi ukuran untuk menentukan tingkat keamanan bangunan.

Penurunan tidak seragam Bangunan yang Diijinkan

Distorsi Sudut = Penurunan tidak seragam / besar limit perbedaan sudut (Bjerrum, 1963):

- 1/500 – Batas aman ketika retak tidak diijinkan
- 1/300 – Batas keretakan pertama pada dinding diijumpai.
- 1/150 – Batas terjadi kehancuran umum struktur bangunan yang membahayakan

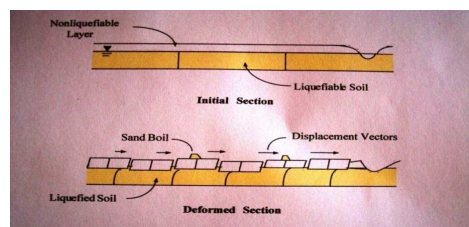
Penurunan bangunan yang tidak merata pada bangunan yang sudah berdiri lama jarang disebabkan oleh factor konsolidasi tanah, proses ini biasanya berlangsung hingga 2 tahun

saja. Untuk daerah rawan gempa seperti Indonesia barangkali gejala liquifraksi tanah menjadi factor yang patut diperhatikan ketika merencanakan bangunan

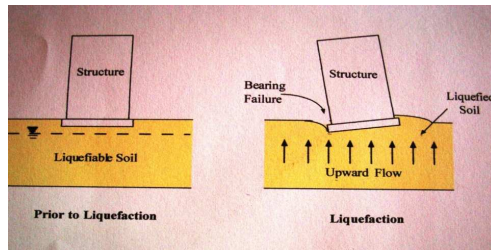
Liquifraksi (*liquefaction*) tanah adalah satu penurunan kekuatan mendadak akibat lepasnya butiran tanah berisi butir kecil pasir sehubungan dengan pengguncang lapisan dasar yang diikuti oleh naiknya tekanan secara mendadak pori-pori tanah. Guncang lapisan bumi, normal sehubungan dengan gempa atau tegangan geser horisontal berpengaruh nyata dan eksitasi dari tanah yang berbutir lepas, momen ini menyebabkan perubahan letak dari gentingnya kontak butir-butir tanah dan antar butir tanah sendiri.

Satu fenomena berbeda pada tanah lunak dan tanah dengan ikatan sangat lunak, di masa lalu terjadi kekeliruan karena fenomena ini dianggap seperti pencairan tanah, yang sebenarnya adalah mekanisme lain disebabkan oleh geser siklis besar berulang dari tanah. Terutama di tanah sangat sensitif, gangguan siklis menyebabkan hilangnya besar kuat geser tanah yang berpengaruh nyata dan dapat menghasilkan ketidakstabilan atau kegagalan daya dukung tanah.

Peningkatan cepat tekanan air pori secara normal menyertai guncangan tanah ini. Sehubungan dengan perubahan ini, beban superimposed itu selanjutnya ditransfer ke air pori tanah oleh karenanya tanah kehilangan kekuatan. ini sehubungan dengan menurunnya kontak antar butiran. peningkatan ini berlangsung sesaat selanjutnya transfer air pori memaksa pada zona pemenuhan selanjutnya berusaha menjaga butir-butir tanah tetap terapung. Efek mengapung menyebabkan struktur tanah roboh total pada satu pencairan bersama ("*liquefied mass*") yang mana tanah menjadi tidak memiliki samasekali kekuatan tegangan geser atau kapasitas daya dukung tanah. (Emilio M. Morales, MSCE1]Mark K. Morales, M.Sc.2])



Gb.3. Skema terjadinya keruntuhan tanah akibat liquifraksi



Gb.4. Skema terjadinya keruntuhan bangunan akibat liquifaksi

Hadi J. Yap, PhD, PE, GE AN INTRODUCTION TO BUILDING FOUNDATIONS AND SOIL IMPROVEMENT METHODS
SEAONC 2008 Spring Seminar, San Francisco, 16 April 2008

C. ANALISA DATA

Bangunan supermarket tiga lantai ini terletak di tengah pusat kota yang cukup ramai dengan luas lantai dasar bangunan 1000 m². Bangunan ini secara khusus tidak ada data pendukung yang bisa diperoleh selain gambar pra rencana yang meliputi denah, tampak dan potongan bangunan. Data utama penyelidikan tanah tidak dapat diperoleh, demikian juga detail stuktur bangunan. Minimnya data menjadikan upaya perencanaan pengatasan terhadap penurunan bangunan menjadi sulit dilakukan.

Penurunan yang signifikan terjadi 6 tahun terakhir dan paling mencolok terjadi setelah gempa besar Bantul tahun 2008. Tahun 2009 penurunan kolom bangunan baru terlihat jelas di lantai dasar berupa penurunan kolom dan lantai sekitar kolom gejala belum terlihat di lantai 2 maupun 3 (survey 2009 PT Artikanagara). Data terakhir menunjukkan penurunan terus berlangsung, hal ini terlihat jelas dengan banyak retak lantai di lantai 2 maupun 3. sebagian dinding interior sudah mengalami keretakan yang serius, walaupun dinding luar tampak utuh tanpa retakan.



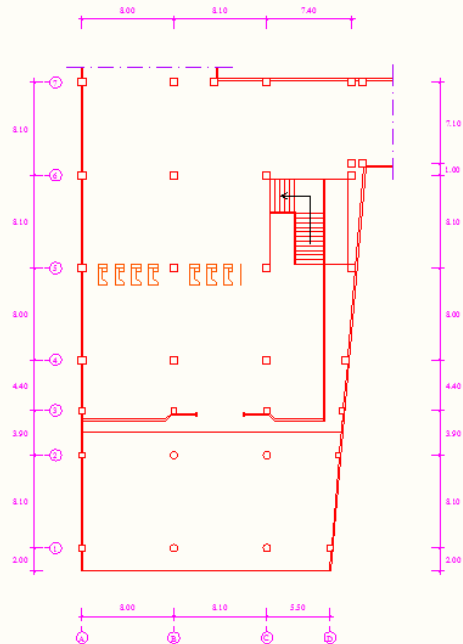
Gb.5. Tingkat Penurunan Kolom dan lantai sekitar kolom Lantai 1 C1



Gb.6. Retak Balok sekitar kolom B5

Gambaran Umum Penurunan Kolom R P

TITIK	DALAM PENURUNAN (cm)
A1	0.00 cm
A2	0.00 cm
A3	0.00 cm
A4	0.00 cm
A5	0.00 cm
A6	0.00 cm
A7	0.00 cm
B1	3.20 cm
B2	1.30 cm
B3	1.50 cm
B4	1.60 cm
B5	5.60 cm
B6	1.50 cm
B7	0.00 cm
C1	4.30 cm
C2	1.50 cm
C3	1.20 cm
C4	1.30 cm
C5	2.00 cm
C6	1.50 cm
C7	0.00 cm
D1	0.00 cm
D2	0.00 cm
D3	0.00 cm
D4	0.00 cm
D5	0.00 cm
D6	0.00 cm
D7	0.00 cm



Tabel.2. Penurunan Kolom

Gb.8. Letak kolom dalam Denah

Dari tabel diatas jelas terlihat penurunan kolom yang sangat tidak merata dan memiliki kecenderungan penurunan pada kolom tengah bangunan tidak pada kolom tepi. Dari hasil wawan cara diperoleh data bangunan dibuat 1995 hingga sekarang telah mencapai usia diatas 15 tahun.

Bentang antar kolom 8 m hingga defleksi antar kolom diijinkan 1,6 cm dari tabel untuk arah melintang maupun memanjang akan diperoleh angka yang sangat bervariasi hingga penurunan bisa disimpulkan sangat beragam.

No	No Kolom	Penurunan Cm	Bentang Balok	Angka deflksi
1	A1	3,2	800	250
2	A2	1,3	800	615,3846
3	A3	1,5	800	533,3333
4	A4	1,6	800	500
5	A5	5,6	800	142,8571
6	A6	1,5	800	533,3333
7	A7	0	800	
8	B1	4,3	800	186,0465
9	B2	1,5	800	533,3333

Dari angka - angka tersebut diatas pada balok yang terhubung dengan **kolom A5** memiliki sudut defleksi terbesar dan sudah dalam taraf keruntuhan (berbahaya) hingga upaya penyelamatan menjadi keharusan agar tidak berlanjut kerusakan struktur masif.

10	B3	1,2	800	666,6667
11	B4	1,3	800	615,3846
12	B5	2	800	400
13	B6	1,5	800	533,3333
14	B7	0	800	

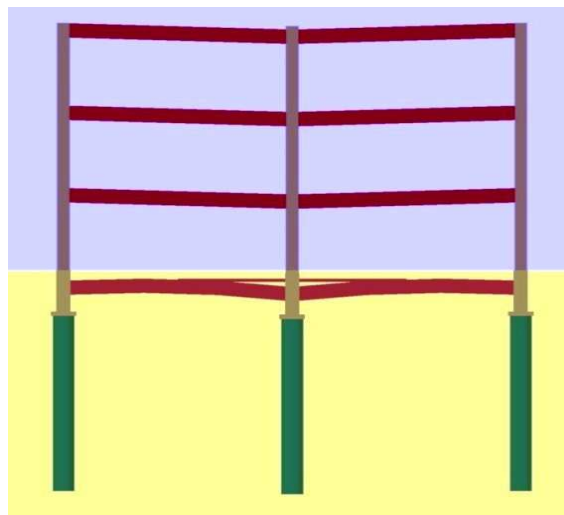
Tabel.3. Angka defleksi balok

1. Struktur Tanah

Tidak ada data pendukung yang pasti diperoleh menyangkut kekuatan daya dukung tanah dibawah bangunan. Sulit dipastikan tanah mampu memikul beba akibat berat bangunan penurunan menjadi hal yang logis terjadi. Dari data sondir disekitar lokasi umumnya tanah keras berada 20 m dibawah muka tanah dan struktur /susunan tanag juga tidak diketahui dengan pasti. data tanah dalam hal ini menjadi tidak bisa menjadi patokan analisa dan penyelesaian masalah sampai denagn dilakukan uji kekuatan selanjutnya.

2. Liquifraksi

Dari data pemakai (wawancara) bangunan penurunan yang paling signifikan setelah gempa besar Bantul terjadi (2008). gejala ini sangat mungkin berkait dengan efek liquifraksi tanah akibat goncangan gempa. penelitian lebih lanjut diperlukan untuk membuktikan dugaan ini



Gb.9. Skema penurunan kolom tengah akibat penurunan daya dukung Tanah di R P Kebumen

3. Kesalahan Perencanaan

Gambar perencanaan (bestek) sama sekali tidak menunjukkan detail yang memang seharusnya ada untuk melaksanakan pembangunan sebuah gedung. Gambar struktur yang ada kemungkinan besar tidak didahului dengan survey hingga sangat mungkin desain yang ada sama sekali tidak pas dengan keadaan tanah .

Tidak ditemukan gambar *as build drawing* menunjukkan kecerobohan pelaksanaan pekerjaan hingga ketika akan dilakukan perbaikan menjadi berhenti pada data yang tidak dapat diperoleh.

Pondasi yang digunakan berdasar gambar potongan bangunan menggunakan sumuran dngan kedalaman total dari muka tanah 7-8 m. Jika ditilik dari kedalaman tanah keras sekitar kota pada kisaran 20 m maka sumuran bukan merupakan pilihan yang tepat.

Saat bangunan mulai operasional hingga 9 tahun berjalan penurunan tidak terjadi atau tidak terlihat gejala penurunan, jadi sistem pondasi masih mampu menopang berat bangunan dalam keadaan ini struktur pondasi tidak ada masalah.

D. USULAN PENYELAMATAN BANGUNAN

1. Perbaikan Struktur Tanah

Perbaikan struktur dan kekuatan daya dukung tanah menjadi solusi pilihan yang paling mungkin, dalam hal ini untuk mengembalikan keadaan menjadi sangat tidak mungkin. Penghentian laju penurunan dan penyelamatan struktur bangunan agar tidak roboh ketengah menjadi satu keharusan yang segera harus dilakukan. Perbaikan kekuatan tanah dengan injeksi pada tanah sekitar pondasi sumuran menjadi pilihan yang mungkin bisa dilaksanakan

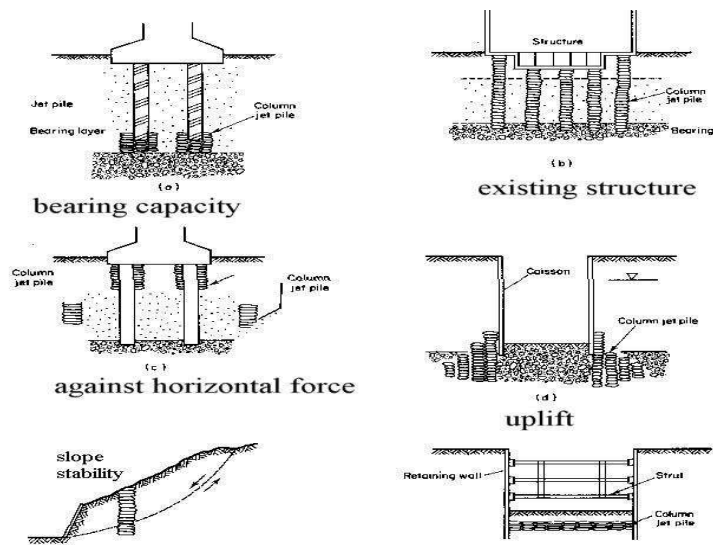
Jet Grouting

Perlakuan grouting ini digunakan secara luas untuk tanah lempung maupun berpasair menggunakan sement portlan yang dicairkan. Matrial grouting yang diinjeksikan dengan tekanan 20-70 Mpa akan memotong dan mengisi rongga tanah asal hingga membentuk campuran semen tanah yang memiliki kekuatan tinggi.. Gambar bawah ini menunjukkan potensi yang dimiliki jet grouting untuk memperbaiki kekutan tanah dalam berbagai keadaan.

Aplikasi yang luas meliputi :

- a. Mengontrol masalah air dengan cara mengisi retakan dan pori.

- b. Pencegahan perubahan kepadatan pasir dibawah struktur saat pile dimasukan.
- c. Underpinning
- d. Mengurangi getaran
- e. Mengurangi penurunan
- f. Stabilisasi gesertanah
- g. Pengaku galian saat pemotong tanah galian.
- h. Stabilisasi terowongan

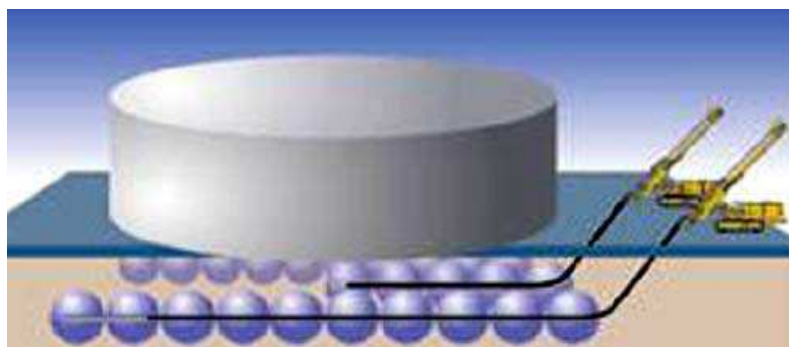


Gb.10. Potensi yang dimiliki jet grouting untuk memperbaiki kekuatan tanah

State of Practice in Soil Liquefaction Mitigation and Engineering Countermeasures

(Emilio M. Morales, MSCE1]Mark K. Morales, M.Sc.2])

Pada umumnya pemilik bangunan menghendaki tetap beroperasionalnya bangunan hingga grouting harus dilakukan diluar area bangunan ini bisa dilakukan dari area ruang luar seperti tempat parker dan halaman bangunan menggunakan bur terkendali (navigation drilling) untuk memasukan material grouting.



Gb.11. Metoda grouting dengan navigation drilling. (Ratio, 2006)

2. Perbaiki Struktur bangunan

Struktur balok yang telah terindikasikan retak perlu dilakukan perbaikan baik dengan cara grouting maupun penambahan struktur baru jika di perkirakan baja didalamnya telah melampaui tegangan lelehnya. Jika tidak dilakukan stabilitas rangka bangunan sepenuhnya terganggu dan kemungkinan runtuh struktur menjadi ancaman yang serius.

E. Kesimpulan

Beberapa hal menjadi catatan yang perlu dilakukan sebagai tindak lanjut penyelamatan bangunan:

- 1) Penyelidikan tanah
- 2) Review desain struktur
- 3) Struktural traking (*laser pasitioning*)
- 4) Pengurangan beban bangunan di tengah
- 5) Perbaiki struktur tanah
- 6) Perbaiki dan penambahan Struktur Bangunan yang Rusak

DAFTAR PUSTAKA

http://www.kup-geotechnik.de/kup/Veroeffentlichungen/2003/2003_Kempfert_SCMEP.pdf

<http://www.zetas.com.tr/pdf/paperno58.pdf>

<http://www.maa.com.tw/common/publications/1986/1986-001.pdf>

<http://www.zetas.com.tr/pdf/paperno62.pdf>

<http://www.subsurfaceconstructors.com/pdfs/specs/StoneColumnSpecification.pdf>

<http://www.groupdelta.com/Papers/Soil%20Improvement%20by%20PreCompression.pdf>

<http://www.ceteau.com/attachments/article/130/2002->

[Ground%20Improvement%20and%20its%20Numerical%20Analysis-StoneColumns-Vibro.pdf](#)

http://www.mandikdasmen.depdiknas.go.id/docs/dok_22.pdf

<http://www.ceteau.com/attachments/article/130/2007->

[Soft%20clay%20foundation%20improvement%20with%20drainage%20and%20geo-inclusions,%20with%20special%20reference%20to%20the%20performance%20of%20embankments%20and%20transportation%20systems-Wick%20Drain\(PVD\).pdf](#)

<http://people.chu.edu.tw/~ycp/files/paper1/p1-1.doc>
<http://people.chu.edu.tw/~ycp/files/paper1/1-11.doc>
<http://www.tp-sekkei.com/pdf/dissertation06.pdf>
<http://www.treadwellrollo.com/files/FileUpload/63/HJY%20-%20SEAONC%20Presentation%20-%20PowerPoint.pdf>
http://www.binder-riha.com/what_is_perf_analysis.pdf
http://www2.egr.uh.edu/~civeb1/CIGMAT/03_poster/12.pdf
[http://www.bachy-soletanche.com/SBF/sitev4_uk.nsf/technique/condamine-breakwater/\\$file/A348.pdf](http://www.bachy-soletanche.com/SBF/sitev4_uk.nsf/technique/condamine-breakwater/$file/A348.pdf)
[http://www.delftcluster.nl/website/files//119_comp_grouting_\(plaatsen_NA_13_APRIL\).pdf](http://www.delftcluster.nl/website/files//119_comp_grouting_(plaatsen_NA_13_APRIL).pdf)
[http://www.delftcluster.nl/website/files//119_comp_grouting_\(plaatsen_NA_13_APRIL\).pdf](http://www.delftcluster.nl/website/files//119_comp_grouting_(plaatsen_NA_13_APRIL).pdf)
<http://www.adtechnw.com/Soil%20Stabilization%20-%20Adtech%20Grouting.pdf>
http://www.kellerge.com.au/pdf/Anzac_Pde_Compaction_Grouting.pdf
<http://www.newcastle.edu.au/Resources/Research%20Centres/CGMM/Publications/Shanyong%20Wang/Effect%20of%20lateral%20earth%20pressure%2509coefficient%20on%20pressure%20controlled%20compaction%20grouting%20in%20triaxial%2509condition.pdf>