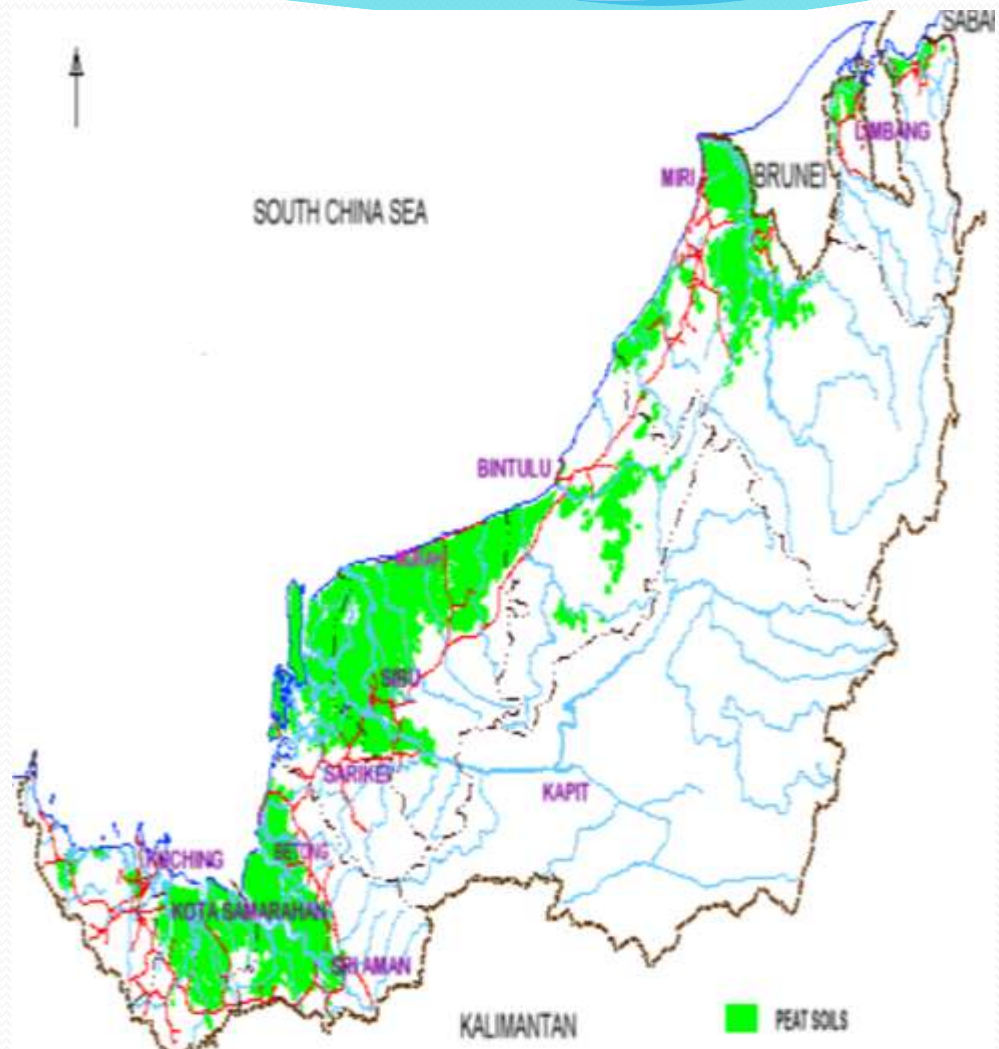
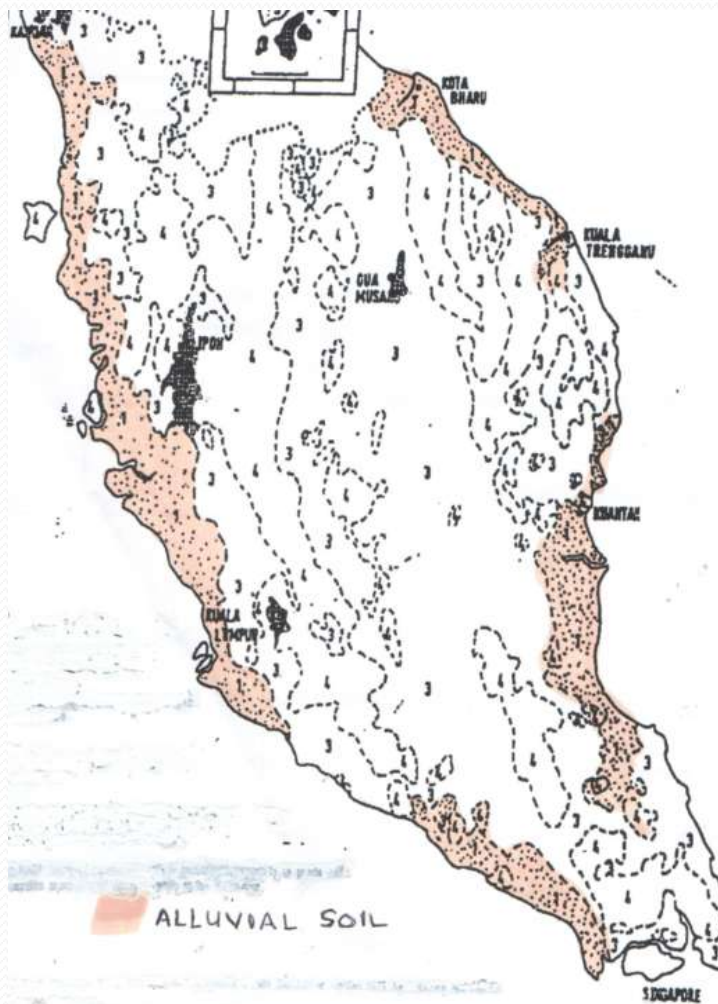


**REKABENTUK INFRASTRUKUR DALAM
PEMBINAAN PROJEK BANGUNAN
DI KAWASAN *COMPRESSIBLE SOIL***

**Cawangan Kejuruteraan Jalan dan
Geoteknik,
Ibu Pejabat JKR Malaysia
Kuala Lumpur**

Pengenalan

- ❖ ***Compressible soil*** terdiri daripada 2 jenis tanah utama iaitu **tanah liat lembut** (*alluvial marine clay*) yang terdapat di persisiran sepanjang pantai barat (Johor, Melaka, Klang, dan Alor Star) dan sebahagian persisiran pantai timur (Kuantan dan Terengganu) serta **tanah gambut** (*peat*) dimana 13% tanah di Sarawak adalah tanah gambut.
- ❖ Sebahagian besar tanah gambut di Malaysia juga didapati di beberapa negeri di Semenanjung Malaysia termasuklah di Johor, Selangor dan Perak.



Keterangan Masalah

- ❖ Rawatan tanah bagi pembinaan projek jalan di kawasan *compressible soil* selalu dititikberatkan sebelum pembinaan bermula. Walaubagaimanapun, bagi kebanyakan pembinaan projek bangunan terutamanya yang melibatkan tambakan untuk mendapat aras formasi yang dikehendaki, rawatan tanah sering diabaikan.
- ❖ Pengabaian aspek rawatan tanah ini akan mengakibatkan mendapan menyeluruh berlaku di kawasan pembinaan bangunan dan seterusnya akan menjejaskan infrastruktur yang berada di dalam kawasan projek tersebut.

Secara amnya, proses mendapan tanah boleh terjadi melalui dua proses;

- ❖ **Proses pertama ialah pemadatan tanah** (proses penyingkiran kandungan udara dalam tanah) dimana ia boleh dilakukan dengan memastikan tanah tambakan dipadatkan dengan sempurna sehingga mencapai 95% kepadatan (mengikut Piawaian *British-Standard Compaction*).
- ❖ **Proses kedua adalah pengukuhan tanah** (proses penyingkiran kandungan air dalam tanah) dimana ia akan berlaku di lapisan *compressible soil*. Dari siasatan tanah yang dijalankan di kawasan *compressible soil*, bacaan *SPT-N value* adalah diantara 0 hingga 4. Ini menunjukkan bahawa tanah tersebut sangat lembut dan mempunyai keupayaan galas tanah yang sangat rendah.

- ❖ Dengan ketiadaan rawatan tanah, bebanan dari tanah tambakan akan mengakibatkan tanah mengalami pengukuhan tanah dan seterusnya berlaku mendapan.
- ❖ Rekabentuk bangunan di kawasan *compressible soil* akan mengambil kira penggunaan sistem asas dalam iaitu menggunakan cerucuk. Akan tetapi, rekabentuk infrastruktur dan bangunan kecil di sekeliling bangunan sering dipandang remeh dan akan dibina tidak terampai (*non suspended*) dimana ia dibina terus di atas tanah.
- ❖ Sekiranya tanah mengalami mendapan, infrastruktur tersebut akan turut mengalami pergerakan ke bawah seiring dengan mendapan tanah tersebut. Ini seterusnya akan menjejaskan infrastruktur sekeliling bangunan dan mengakibatkan kerosakan kepada apron, kaki lima, lurang, longkang serta paip-paip sistem kumbahan dan sistem perparitan.

Contoh Kerosakan Infrastruktur Akibat Mendapan Tanah Di Kawasan *Compressible Soil*



Foto: Kerosakan pada *sump* dan apron di Sekolah Menengah Alor Limbat, Terengganu



Foto: Kerosakan pada *apron*, tangki septic, longkang dan paip air di Sekolah Menengah Kebangsaan Sebauh, Bintulu, Sarawak.



Foto: Kerosakan pada *apron*, *pump house*, dan paip air di IKBN Kuala Perlis

Iktibar & Pengajaran

- ❖ Sekiranya pembinaan projek bangunan akan dilaksanakan berada di kawasan *compressible soil*, dicadangkan agar infrastruktur seperti *apron*, kaki lima, *perimeter* dan *discharge drain*, lurang serta pagar direkabentuk supaya ia adalah terampai (*suspended*) dengan menggunakan samada asas cetek (asas pad atau asas rakit) ataupun asas dalam (cerucuk) mengikut kesesuaian.
- ❖ Sekiranya ia melibatkan asas dalam (cerucuk), rekabentuk asas perlu mengambil kira daya geseran negatif (*negative skin friction*). Daya geseran negatif adalah daya tarikan ke bawah (*downdrag*) yang dikenakan pada cerucuk di lapisan *compressible soil* apabila lapisan tersebut mengalami mendapan.

- ❖ Cerucuk yang digunakan perlu sekurang-kurangnya 6m panjang bagi mengelak cerucuk mengalami pergerakan lateral.
- ❖ Rekabentuk dan pembinaan infrastruktur secara terampai (suspended) dapat mengelakkan ia dari terjejas dan mengalami kerosakan sekiranya berlaku mendapan akibat pengukuhan tanah. Untuk jangka masa panjang, ia dapat menjimatkan kos pembaikan dan kos penyelenggaraan.

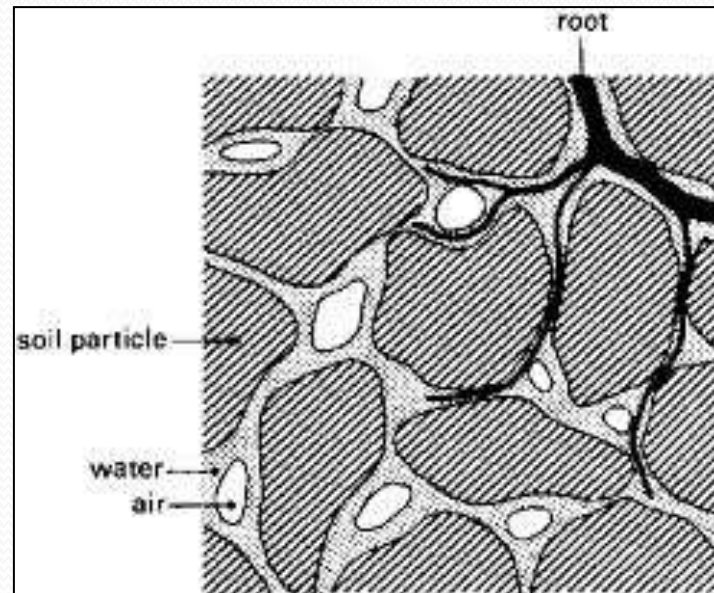
MENDAPAN TANAH

- Mendapan tanah adalah satu fenomena yang berlaku apabila tanah mengalami pengurangan isipadu secara menegak. Isipadu keseluruhan rangka tanah boleh berubah disebabkan oleh penyingkiran air dan penyusunan semula zarah tanah kepada kedudukan baru.
- Secara amnya, proses mendapan tanah boleh terjadi melalui dua proses iaitu **proses pemadatan tanah** dan **proses pengukuhan tanah**

- **Proses pemadatan tanah** ialah proses penyingkiran udara dalam tanah dan meninggalkan ruang kosong yang membolehkan mekanisme penyusunan semula zarah berlaku.
- **Proses pengukuhan tanah** ialah proses pengurangan isipadu secara beransur-ansur bagi tanah tepu sepenuhnya yang mempunyai kebolehtelapan yang rendah disebabkan oleh saluran keluar sebahagian air liang dalam tanah.

1.0 KAITAN KOMPOSISI TANAH DENGAN PROSES MENDAPAN TANAH

- Dalam keadaan semulajadi, komposisi tanah yang biasa (tidak tepu/tidak padat) terdiri daripada tiga fasa iaitu, partikel tanah, air dan udara.
- Proses pemadatan tanah bertujuan untuk menyingkirkan udara manakala proses pengukuhan tanah adalah untuk menyingkirkan kandungan air.



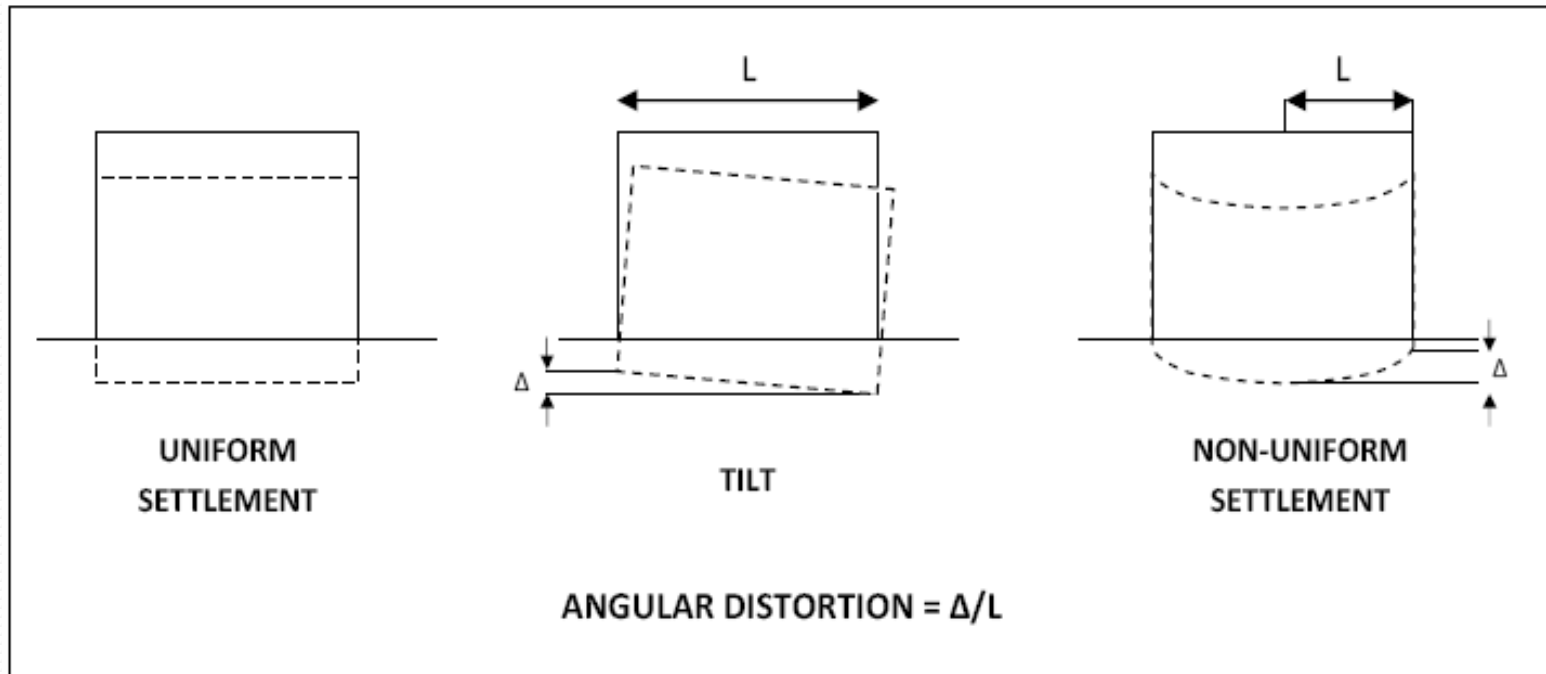
2.0 JENIS-JENIS MENDAPAN TANAH

Terdapat dua jenis mendapan tanah yaitu **mendapan seragam** dan **mendapan tidak seragam**.

- **Mendapan seragam** (*Even/Uniform Settlement*) berlaku apabila tanah turun secara seragam/serentak dan mengakibatkan perubahan pada aras tanah.
- Secara teorinya, mendapan secara seragam tidak akan menyebabkan kerosakan pada struktur bangunan. Walaubagaimanapun, ia boleh menyebabkan kerosakan pada komponen geotekstil dalam rekabentuk infrastruktur, sambungan utiliti bawah tanah dan juga perubahan pada laluan aliran '*leachate*' dalam rekabentuk '*sanitary landfill*'.

Mendapan tidak seragam (*Differential Settlement/Non-Uniform settlement*) terjadi apabila penurunan aras tanah berlaku secara tidak seragam dan berlaku pada kawasan-kawasan tertentu dan menyebabkan perbezaan aras tanah yang ketara.

- Boleh mengakibatkan kegagalan pada struktur bangunan seperti berlaku keretakan, '*tilting*', dan '*distortion*'.
- Kerosakan pada sistem aliran, perpaipan (*utility services*) dan komponen struktur.
- Selalunya berlaku pada '*transitional areas*' seperti sempadan tanah potong dan tanah tambak (sempadan tanah lembut dengan tanah berkekuatan tinggi). Oleh yang demikian, penyiasatan tapak yang terperinci harus dijalankan di kawasan ini.



Gambarajah menunjukkan corak penurunan paras tanah yang berlaku akibat proses mendapan



Kegagalan struktur disebabkan oleh pemendapan tanah yang tidak seragam.

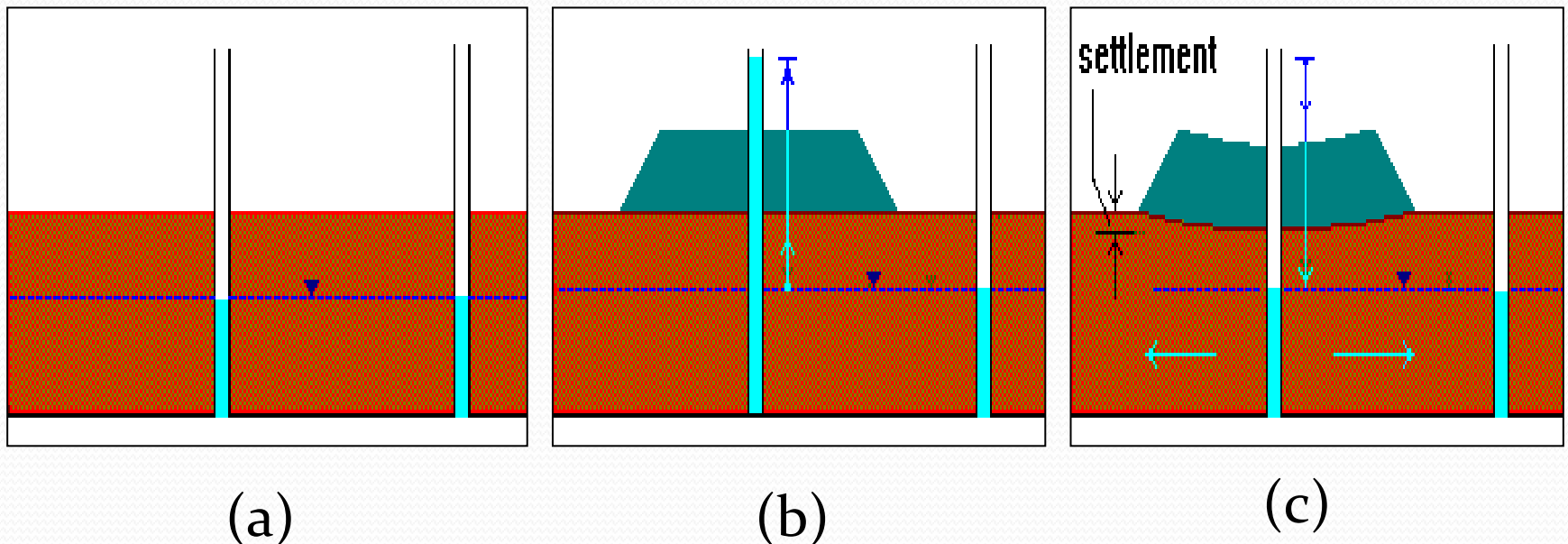


Gambarajah menunjukkan struktur pavemen jalan yang mengalami keretakan disebabkan oleh pemendapan tanah.

3.0 PROSES PENGUKUHAN (*CONSOLIDATION PROCESS*)

- Apabila sesuatu tegasan atau daya dikenakan ke atas tanah, tekanan air liang lebihan (*excess pore water pressure*) akan wujud dalam jisim tanah tersebut.
- Keadaan ini memaksa tekanan air liang lebihan mencari jalan keluar dengan cara meresap keluar daripada jisim tanah (resipan berlaku).
- Lama-kelamaan, apabila air liang semakin berkurangan, daya yang dikenakan akan dipindahkan kepada partikel-partikel tanah. Ini menyebabkan partikel-partikel tanah mengalami penyusunan semula zarah dan menjadi semakin padat.

- Apabila partikel tanah mula memadat, isipadu tanah berkurangan dan **mendapan tanah** berlaku. Proses ini dinamakan sebagai proses pengukuhan tanah.
- Prinsip pengukuhan tanah diaplikasi semasa kerja-kerja pembaikan tanah kerana apabila sesuatu tanah mengalami proses pengukuhan tegasan efektif tanah akan meningkat dan seterusnya kekuatan tanah akan bertambah



Mekanisme Pengukuhan Tanah

- a. Keadaan asal tanah. Paras air bawah tanah berada dalam keadaan seimbang (*equilibrium*).
- b. Tegasan tambahan daripada surcaj atau tanah tambak yang dikenakan ke atas permukaan tanah akan menyebabkan tekanan air liang bertambah. Proses pengukuhan berlaku pada peringkat ini di mana berlakunya resipan tekanan air liang keluar daripada jisim tanah.
- c. Berlaku mendapan tanah akibat pengurangan isipadu tanah. Bagi tanah jenis lembut, kebiasaanya proses ini mengambil jangka masa panjang untuk mencapai magnitud mendapan maksimum kerana faktor kebolehtelapannya (C_v and C_h value) yang sangat rendah.

4.0 ANALISA MENDAPAN TANAH (*CONSOLIDATION SETTLEMENT ANALYSIS*)

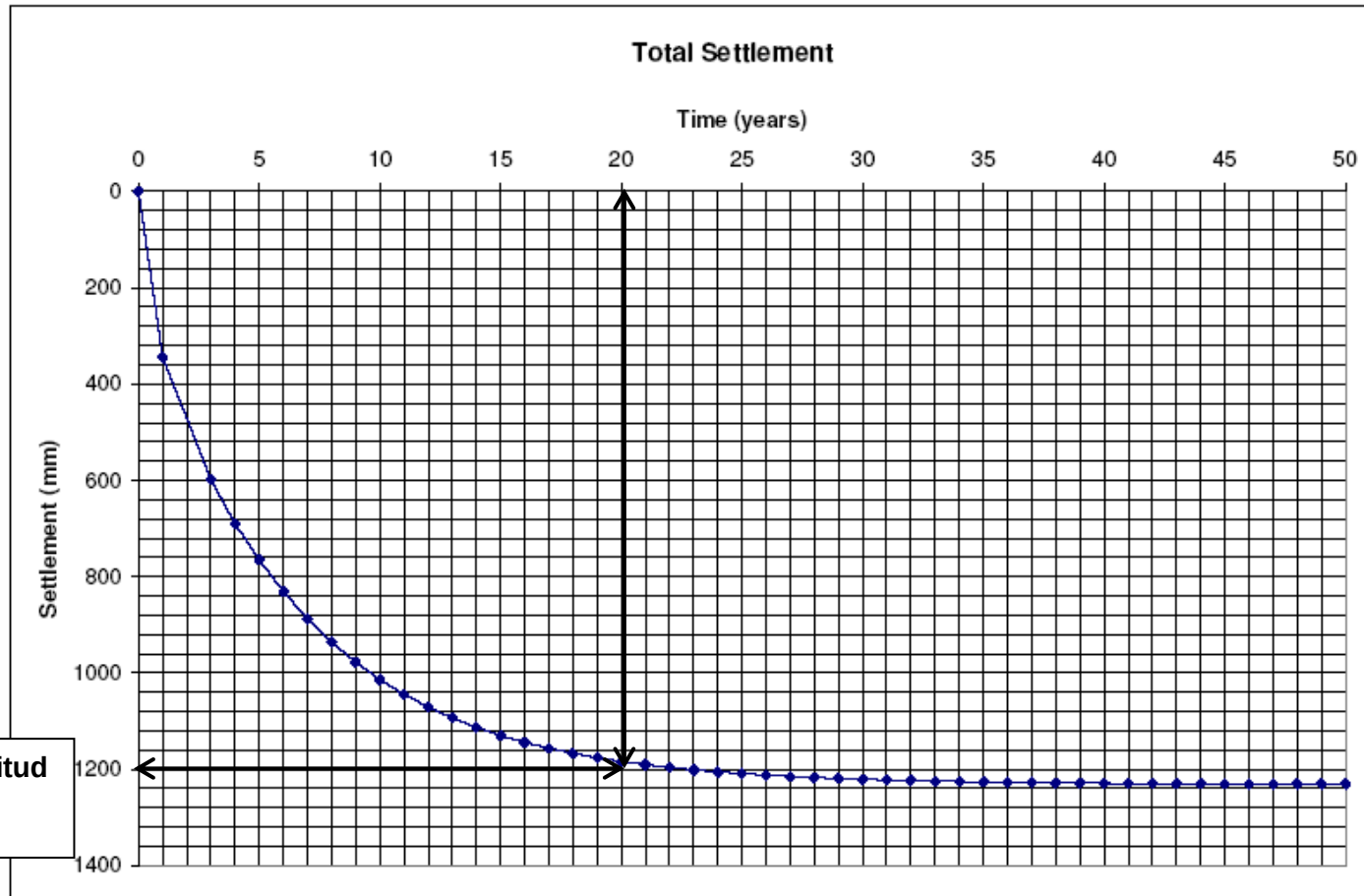
- Analisa mendapan tanah perlu dilakukan untuk mengetahui jangkaan magnitud mendapan tanah dan tempoh masa mendapan yang diperlukan berlaku. Jangkaan magnitud mendapan tanah adalah data penting untuk jurutera memantau aktiviti mendapan tanah yang berlaku di tapak. Terdapat tiga kategori analisa mendapan tanah iaitu *Immediate Settlement (Si)*, *Primary Settlement (Sc)* dan *Secondary Settlement (Ss)*.

- ***Immediate settlement*** berlaku sebaik sahaja sesuatu daya atau tegasan dikenakan ke atas permukaan tanah. Ia selalunya berlaku pada tanah jenis berpasir atau tanah liat tepu. Proses mendapan ini mengambil masa yang singkat dan akan mencapai magnitud yang maksimum di mana tiada lagi mendapan berlaku selepas kerja-kerja pembinaan dijalankan.
- ***Primary Settlement (Sc)*** mengambil waktu jangka masa panjang untuk mencapai magnitud mendapan maksimum. Ia berlaku pada tanah jenis lembut yang mempunyai kandungan air yang tinggi. Proses mendapan ini berlaku sebaik sahaja kerja-kerja pembinaan dilakukan dan akan berterusan walaupun selepas kerja-kerja pembinaan selesai sehingga keseimbangan daya dicapai. Mendapan jenis ini mengambil jangka masa yang panjang (boleh mencapai masa beratus-ratus tahun) untuk mencapai mendapan maksimum.

- ***Secondary Settlement (Ss)*** terjadi apabila pabrik zarah-zarah tanah mengalami penyusunan semula dalam keadaan plastik. Ia berlaku akibat terjadinya rayapan (*creep*) dalam tanah serta proses pereputan kandungan organik dalam tanah. Proses ini tidak melibatkan penyisipan air liang daripada tanah dan biasanya berlaku pada tanah yang berjelekitan (*cohesive material*) yang mempunyai nilai keplastikan yang tinggi dan mengandungi kandungan organik. Biasanya ia akan terus berlaku dan berlarutan selagi terdapat beban yang dikenakan ke atas tanah ataupun adanya kandungan organik dalam tanah tetapi dengan magnitud yang sangat kecil dan boleh diabaikan.

Graf Magnitud Mendapan Tanah melawan Masa

Politeknik KK - Settlement Analysis



Jumlah magnitud
mendapan

- Graf di atas merupakan graf mendapan tanah melawan masa.
- Graf ini diperolehi melalui analisa mendapan tanah.
- Melalui graf yang diplotkan, magnitud mendapan tanah yang akan berlaku dalam satu-satu masa dapat dianggarkan.
- Selain itu, melalui graf ini, jurutera dapat menganggarkan jumlah magnitud mendapan dan masa yang diambil untuk mencapai magnitud mendapan yang maksimum.

5.0 FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI MAGNITUD DAN JANGKA MASA MENDAPAN TANAH

- Ketebalan tanah – '*Soft clay*' yang lebih tebal mengambil masa yang lebih panjang untuk mencapai mendapan maksimum.
- Jumlah tegasan yang dikenakan ke atas tanah – Lebih tinggi nilai tegasan tambahan yang dikenakan lebih besar magnitud mendapan tanah.
- Perubahan paras air bawah tanah – Sifat tanah liat ialah ia mudah menjadi tepu dan lembut apabila terdedah kepada air. Apabila air meresap masuk ke dalam struktur tanah liat, perubahan kepada lembapan tanah akan berlaku. Lama kelamaan tanah akan menjadi tepu dan mengakibatkan kekuatan tanah merosot. Oleh yang demikian peningkatan paras air bawah tanah boleh mengakibatkan mendapan tanah.

6.0 LESSON LEARNT

Case Study : POLITEKNIK KOTA KINABALU, SABAH

6.1 LATAR BELAKANG TAPAK

- Politeknik Kota Kinabalu mula dibina pada tahun 1998 dan mula beroperasi pada tahun 2003, menempatkan 61 buah blok bangunan yang mempunyai pelbagai jenis fungsi seperti kediaman asrama, blok pendidikan, dewan dan bengkel.
- Kawasan ini terletak di Teluk Salut yang ditebus guna dan di bahagian utara kawasan kampus ini adalah kawasan paya air masin.
- Sebahagian besar bangunan Politeknik ini dibina di atas tanah tambak dan sebahagian kecilnya dibina di atas tanah potong.

- Ketinggian tanah tambak adalah setinggi 4 hingga 10 meter. Geologi tapak ini terletak di kawasan '*marine clay*' dan kedudukan topografinya terletak lebih kurang 50 meter dari kawasan laut.

6.2 PERMASALAHAN / HURAIAN KES

- Projek ini dikenali pasti telah mengalami mendapan tanah sejak peringkat awal pembinaan dan masalah tersebut menjadi lebih serius apabila ia mula digunakan pada tahun 2003 di mana hampir 95 peratus daripada keluasannya telah mengalami mendapan tanah.
- Masalah ini telah menjejaskan fungsi sistem infrastruktur bangunan tersebut seperti berlakunya kebocoran sistem perparitan dan sistem pembentungan serta kerosakan kabel bawah tanah.

- Apron bangunan turut mendap sehingga lompong besar terbentuk dan ia menjadikannya sebagai habitat haiwan liar seperti ular dan biawak.
- Selain daripada itu, terdapat keretakan berlaku pada beberapa bahagian bangunan yang disebabkan oleh kegagalan rekabentuk struktur asas dalam di mana cerucuk yang direkabentuk telah gagal menampung beban.
- Masalah banjir turut berlaku di beberapa kawasan disebabkan oleh kegagalan fungsi sistem perparitan sedia ada

6.3 JUSTIFIKASI PERMASALAHAN

- Berdasarkan kepada keputusan penyiasatan tanah yang dijalankan oleh IKRAM pada tahun 2009, didapati bahawa profil tanah yang ditemui di kawasan tapak adalah daripada jenis tanah liat lembut yang mempunyai ketebalan (*compressible layer*) antara 6m hingga 18m.
- Batuan pasir mendasari tanah ditemui pada kedalaman 18m daripada aras sedia ada.
- Daripada data penyiasatan tapak juga, didapati terdapat satu lapisan tanah tambak daripada jenis tanah liat/kelodak yang berkekuatan sederhana dan berpasir dengan anggaran ketebalan 6.5 m di atas lapisan tanah liat.

- **Isu Pemadatan Tanah (*Compaction*)**

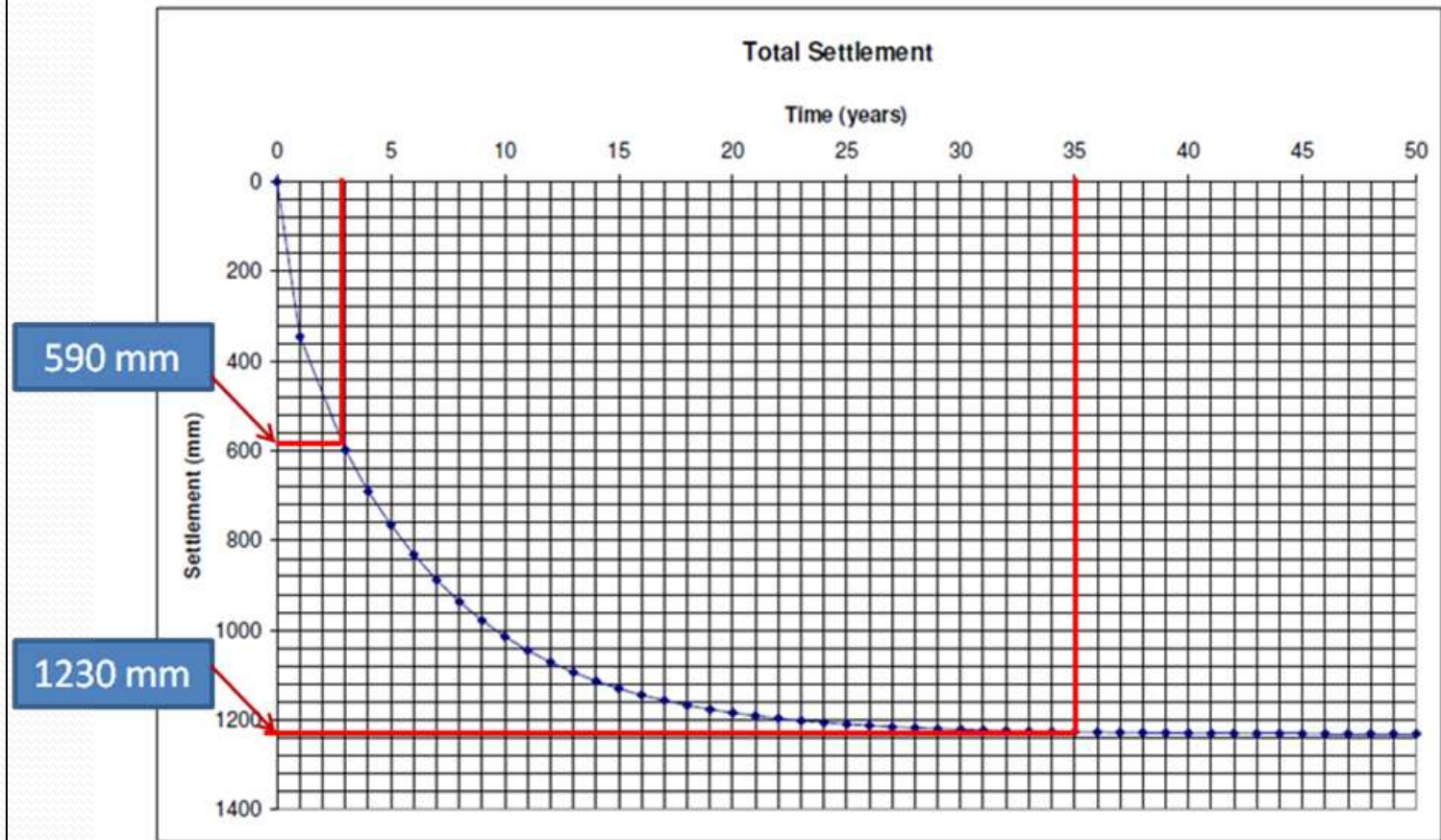
- Bagi mengenalpasti punca mendapan tanah yang berlaku di tapak, ujian pemadatan tanah secara *in situ* iaitu ujian *Sand Replacement* telah dijalankan untuk mengetahui darjah pemadatan tanah.
- Daripada keputusan yang diperolehi, darjah pemadatan yang dicapai adalah sekitar 78% hingga 82%. Mengikut spesifikasi, kerja-kerja pemadatan yang dijalankan sewaktu kerja-kerja tanah dijalankan haruslah mencapai darjah pemadatan sekurang-kurangnya 95%.
- Ini jelas menunjukkan bahawa, kerja-kerja tanah yang dilakukan tidak mencapai piawaian yang ditetapkan. Bagi kes ini, tambakan tanah yang melebihi 6m boleh diklasifikasikan sebagai '*deep fill*' dan tidak dipadatkan dengan mengikut spesifikasi mengakibatkan mengalami mendapan tanah selepas dikenakan beban.

- **Isu Pengukuhan Tanah (*Consolidation*)**

- Melalui pemerhatian di tapak, didapati bahawa secara puratanya anggaran magnitud mendapan tanah adalah lebih kurang 1 meter.
- Walaubagaimanapun, berdasarkan analisa mendapan tanah yang dijalankan, magnitud maksimum mendapan tanah daripada proses pengukuhan tanah liat adalah dianggarkan dalam lingkungan 1 meter dan tempoh masa untuk mencapai magnitud maksimum mendapan tanah ini adalah lebih kurang 35 tahun.
- Selain itu, pemantauan mendapan tanah juga telah dijalankan oleh pihak IKRAM untuk memantau aktiviti mendapan tanah di kawasan yang terlibat. Melalui keputusan yang diterima, proses mendapan tanah didapati masih lagi aktif.

- Isu Kesan '*Negative Skin Friction*'

- Kegagalan rekabentuk cerucuk untuk bangunan Politeknik Kota Kinabalu ini adalah disebabkan oleh kewujudan daya geseran negatif (*negative skin friction*) akibat berlakunya mendapan tanah.
- Mendapan tanah yang berlaku akan mengenakan daya ke atas cerucuk untuk menarik cerucuk berkenaan ke bawah (*downdrag*).
- Oleh yang demikian, keupayaan galas cerucuk akan berkurangan akibat daya geseran negatif ini.
- Daya geseran negatif ini sepatutnya diambilkira semasa peringkat rekabentuk.
- Kegagalan berbuat demikian telah mengakibatkan keupayaan cerucuk untuk menampung beban tidak mencukupi dan mengakibatkan kegagalan.



Graf Mendapan (mm) melawan Masa (tahun)

- Daripada keputusan analisa mendapan didapati, mendapan maksima sebanyak 1.23m selama 35 tahun dijangkakan berlaku.
- Parameter yang digunakan untuk menjalankan analisa diperoleh daripada ujian penyiasatan tapak yang dijalankan pada tahun 2009.
- Ini bermakna, dari tahun 2009, kawasan tersebut akan mengalami pemendapan tanah sebanyak 1.23m untuk tempoh 35 tahun iaitu dijangka akan mendap sepenuhnya pada tahun 2044.
- Secara visual, mendapan yang berlaku di tapak pada masa ini adalah dalam lingkungan 300mm – 800 mm.

6.4 GAMBAR-GAMBAR KEADAAN SEMASA DI POLITEKNIK KOTA KINABALU



- a Mendapan pada apron bangunan di Bangunan Core Facilities A



b. Banjir sering berlaku di kawasan ini disebabkan oleh kerosakan pada sistem perparitan



c. Sistem saliran yang dibina tidak mengikut keperluan kerana rekabentuk yang tidak bersesuaian.

6.5 KESIMPULAN/PENGAJARAN

- Sebagai kesimpulannya, punca utama pemendapan tanah yang berlaku di kawasan Politeknik Kota Kinabalu ini adalah disebabkan oleh tiadanya kerja-kerja rawatan tanah yang dijalankan semasa peringkat pembinaan di samping kerja-kerja pemadatan yang tidak mengikut spesifikasi.
- Kerja rawatan tanah adalah penting kerana bagi kawasan tanah lembut ianya berisiko tinggi untuk mengalami pemendapan dalam jangka masa yang panjang.
- Analisa mendapan tanah harus dilakukan sebelum pembinaan dijalankan bagi mengenalpasti risiko yang mungkin timbul semasa dan selepas pembangunan.

- Penyiasatan tapak hendaklah dilakukan untuk mendapatkan parameter tanah yang menggambarkan keadaan sebenar tapak sebelum memulakan proses rekabentuk.
- Selain daripada itu, kerja-kerja tanah yang dijalankan hendaklah dipantau secara teliti dalam memastikan kerja-kerja yang dijalankan di tapak mengikut spesifikasi dan piawaian yang telah ditetapkan.
- Pemilihan rekabentuk struktur asas juga perlu dikaji secara mendalam dan haruslah bersesuaian dengan keadaan tanah di kawasan pembinaan terutamanya isu yang melibatkan kesan geseran negatif terhadap rekabentuk asas cerucuk.

- Bagi kawasan yang berisiko tinggi, kajian terperinci dan secara menyeluruh mengenai tapak haruslah dilaksanakan dalam membantu jurutera membuat '*prediction*' yang bersesuaian semasa peringkat perancangan dan rekabentuk.



TERIMA KASIH