

## UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

BORANG PENGESAHAN  
LAPORAN AKHIR PENYELIDIKAN

TAJUK PROJEK : PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF EMBANKMENT ON  
SOFT GROUND

Saya

PROF. MADYA DR. AMINATON MARTO  
(HURUF BESAR)

Mengaku membenarkan **Laporan Akhir Penyelidikan** ini disimpan di Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut :

1. Laporan Akhir Penyelidikan ini adalah hakmilik Universiti Teknologi Malaysia.
2. Perpustakaan Universiti Teknologi Malaysia dibenarkan membuat salinan untuk tujuan rujukan sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat penjualan salinan Laporan Akhir Penyelidikan ini bagi kategori TIDAK TERHAD.
4. \* Sila tandakan ( / )

SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau Kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972).

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh Organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan).

TIDAK  
TERHAD

  
TANDATANGAN KETUA PENYELIDIK  
ASSOC. PROF. DR. AMINATON BT MARTO  
Academic Manager (Taught Course Programme)  
School of Graduate Studies  
Universiti Teknologi Malaysia  
81310 UTM Skudai, Johor

Nama & Cop Ketua Penyelidik

Tarikh : 26 FEBRUARI 2007

**CATATAN :** \* Jika Laporan Akhir Penyelidikan ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh laporan ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.

*In the memory of Assoc. Prof. Ir. Mohd Zain Bin Hj. Yusuf*

*Head of Soft Soil Research Group*

**PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF EMBANKMENT ON  
SOFT GROUND**

**(PENCIRIAN KELAKUAN TAMBAKAN DI ATAS TANAH LEMBUT)**

**AMINATON MARTO**

**FAUZIAH KASIM**

**RESEARCH VOTE NO:**

**72335**

**Jabatan Geoteknik dan Pengangkutan**

**Fakulti Kejuruteraan Awam**

**Universiti Teknologi Malaysia**

**2007**

## PENGHARGAAN

Jutaan terima kasih ditujukan buat Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar di atas pemberian peruntukan gran vot projek IRPA 72335 bagi menjalankan projek ini. Penulis juga ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada pihak Universiti Teknologi Malaysia (UTM) khususnya pihak Pusat Pengurusan Penyelidikan (RMC) yang banyak membantu di dalam pengurusan penyelidikan ini.

Penghargaan turut ditujukan kepada Juruteknik Kanan, En. Abdul Samad Salleh serta Juruteknik-Juruteknik Makmal Geoteknik, Fakulti Kejuruteraan Awam iaitu En. Zulkifly Wahid, En. Kamarulzaman Ismail dan En. Sahak Tokol kerana banyak membantu menyediakan peralatan dan juga bahan-bahan untuk menjalankan kajian.

Tidak lupa juga terima kasih diucapkan kepada Kumpulan IKRAM Sdn. Bhd. (KISB), Lembaga Lebuhraya Malaysia (LLM), PLUS Sdn. Bhd., Jabatan Kerja Raya (JKR) dan Soil Centralab Sdn. Bhd. kerana memberikan kerjasama daripada peringkat perancangan penyelidikan sehinggalah kepada pengujian sampel tanah di tapak dan di makmal.

Penulis juga ingin mengucapkan jutaan terima kasih kepada ahli keluarga dan rakan penyelidik di atas bantuan, sokongan dan galakan mereka terutama kepada En. Mohd. Khatta Marwah dan En. Saiful Azhar Ahmad Tajuddin yang telah banyak membantu menjalankan projek penyelidikan ini. Selain daripada itu, penghargaan ini juga ditujukan kepada semua yang terlibat secara langsung atau tidak langsung dalam membantu menyiapkan projek dan penulisan laporan projek ini, terutamanya En. Badrul Hisham Hasbi dan Cik Rozaini Md. Ribl.

## PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF EMBANKMENT ON SOFT GROUND

*(Keywords: Soft Ground, Embankment, Consolidation, Geotechnical  
Instrumentation, Pore Water Pressure)*

Soft clay deposits are available along the west coast and some parts of the east coast of Peninsular Malaysia. Due to the increase in population and good economic growth, a lot of projects are implemented in these areas. Constructions on soft clays are often affected by stability and settlement problems. In order to counter these problems, one has to know the engineering properties of the soft clay. Therefore, the first objective of this study is to determine the engineering characteristics of soft clay. Samples of soft clay for this study are taken at certain depth from construction sites being carried out along Peninsular Malaysia. This study is carried out to identify the engineering properties of soft clay such as soil index, consolidation characteristics, shear strength parameters, mineralogy and microstructure of the soil. Correlations and brief catalogues are produced to assist in the preliminary design process. X-rays diffraction (XRD) and X-rays fluorescence (XRF) are used to determine the mineralogy of soft clay. Scanning electron microscopy (SEM) is used to study the microstructure of clay. From this study, it can be concluded that the soft clays in the research area have high moisture content which reaches 139%. Whereas, the specific gravity ( $G_s$ ) is between 2.42 – 2.65, compressibility index ( $C_c$ ) is between 0.09 – 1.36, coefficient of consolidation ( $c_v$ ) is between 1.24 – 8.72 m<sup>2</sup>/years and coefficient of volume compressibility ( $m_v$ ) is between 0.056 – 2.084 m<sup>2</sup>/MN. The effective cohesion ( $c'$ ) values are in the range of 0 – 2 kN/m<sup>2</sup>, while the effective friction angle ( $\phi'$ ) are in the range of 17° – 31°. Tests using XRD concludes that the primary mineral in soft clay is quartz and the secondary mineral is kaolinite. On the other hand, XRF tests shows that the quantity of silica oxide and aluminium oxide are quite high in soft clay, which are due to the presence of kaolinite mineral. Test using SEM verified the presence of kaolinite mineral and pyrite in soft clay. From the correlation derived, it shows that the compressibility index increases with natural moisture content, Atterberg limit, initial void ratio and organic content. On the other hand, the effective friction angle is found to be influenced by the natural moisture content and plasticity index. The correlation obtained shows that the effective friction angle decreases with increasing natural moisture content and plasticity index.

Soft clay is a sediment which can be found in abundance along the coastal areas of Peninsular Malaysia. The soft clay has created a challenge in construction industry, particularly in the road construction. In such circumstances, settlement is very important because it governs the serviceability of the overlying structure i.e. roadways, because low shear strength, excess pore water pressures and lateral deflections affected stability of an embankment. In order to understand the behaviour of soft clay beneath the embankment, Malaysian Highway Authority had led constructions of 14 trial embankments in Muar Flat site in 1986 – 1988 by using various methods for determining the most effective method in terms of cost and time beside knowing the suitable prediction methods for simulation of the actual condition behaviour. The main objective for this research is to determine the soft clay behaviour beneath the Muar Trial Embankment via laboratory testing and simulation of consolidation and slope stability using finite element method. Three embankments selected for the study were Embankment Built to Failure (Scheme 3/5), 3 m Control Embankment (Scheme 3/2) and 6 m Control Embankment (Scheme 6/6). Laboratory works conducted were tests for basic characteristics, compressibility and shear strength of soils. Comparisons between the current laboratory results and the previous results show that there are reductions in moisture content up to 49 %. For compressibility parameters, pre-consolidation pressure ( $p_c$ ) increased up to 160 % while initial void ratio ( $e_o$ ) and vertical consolidation coefficient ( $c_v$ ), decreased above 44 % and 74 %, respectively. On the other hand, the undrained shear strength increases up to 160 % for upper clay layer and 116 % for lower clay layer. Three soil constitutive model such as Linear Elastic, Elastic Plastic and Modified Cam Clay Model were used in simulation of consolidation analysis. The comparison of simulation results from analysis of SIGMA/W, SEEP/W and SLOPE/Ws software showed a small variation between previous works and current findings. Analysis of slope stability simulation showed that the prediction of failure thickness and slip surface depth for Scheme 3/5 are 5.25 m and 7.9 m, respectively. The values are much closer to the actual measurement compared to previous predictions by other researchers. The safety factor for the 3 m embankment obtained is much smaller compared to the safety factor of the 6 m embankment. This is due to the construction of berms for the 6 m embankment. From the simulation analysis consolidation, it can be seen that the result of excess pore water pressure using the Modified Cam Clay Model over estimated the actual readings in the range of 20 % to 80 % for all embankments. Hence, a good prediction shown by this model was on the settlement behaviour and lateral deflection, where the differences with the actual measurements are about 10 % to 30 % and 20 % to 40 %, respectively. For Elastic Plastic and Linear Elastic Models, the result of simulation analysis showed the excess pore water pressure and settlement behaviour were under estimated about 80 % and 70 % respectively.

**Key Researcher:**

Assoc. Prof. Ir. Mohd Zain Hj. Yusof (Head)

Assoc. Prof. Dr. Aminaton Marto

Assoc. Prof. Za`aba Ismail

Ms Fauziah Kasim

Mr. Mohd. Khatta Marwah

Mr. Saiful Azhar Ahmad Tajuddin

Email: [aminaton@utm.my](mailto:aminaton@utm.my), [fauziah@fka.utm.my](mailto:fauziah@fka.utm.my)

Tel. No.: 07-5537781 / 31586

Vot No.: 72335

## PENCIRIAN KELAKUAN TAMBAKAN DI ATAS TANAH LEMBUT

*(Kata Kunci:: Tanah Lempu, Tambakan, Pengukuhan, Instrumentasi, Tekanan Air Liang)*

Mendapan tanah liat terdapat di sepanjang dataran pantai barat dan pantai timur di Semenanjung Malaysia. Dengan pertumbuhan penduduk dan ekonomi yang pesat, kebanyakan projek-projek utama yang dilaksanakan lebih tertumpu di kawasan ini. Pembinaan di atas kawasan tanah liat lembut sering mengalami masalah kestabilan dan enapan. Kefahaman mengenai sifat-sifat kejuruteraan adalah penting untuk mengatasi masalah ini. Oleh itu, objektif pertama kajian adalah menentukan ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut. Sampel tanah liat lembut bagi kajian ini diambil mengikut kedalaman tertentu di kawasan-kawasan projek yang sedang dilaksanakan di atas tanah liat lembut di beberapa tempat sekitar Semenanjung Malaysia. Kajian ini dijalankan untuk menentukan ciri-ciri kejuruteraan seperti indeks tanah, ciri-ciri pengukuhan, parameter-parameter kekuatan ricih tanah, mineralogi dan mikrostruktur tanah. Korelasi dan katalog ringkas dihasilkan untuk tujuan rekabentuk dan sumber maklumat yang berguna pada masa akan datang. Mineralogi tanah liat ditentukan menggunakan teknik pembelauan sinar-X (XRD) dan pendafklour sinar-X(XRF). Kajian mikrostruktur tanah ditentukan menggunakan kaedah Mikroskop Elektron Pengimbas (SEM). Hasil kajian yang diperolehi mendapati kandungan lembapan bagi kawasan kajian adalah tinggi iaitu mencapai sehingga 139%. Nilai graviti tentu ( $G_s$ ) adalah di antara 2.42 – 2.65, indeks mampatan ( $C_c$ ) adalah di antara 0.09 – 1.36, pekali pengukuhan ( $c_v$ ) di antara 1.24 – 8.72 m<sup>2</sup>/tahun dan pekali kebolehmampatan isipadu ( $m_v$ ) di antara 0.056 – 2.084 m<sup>2</sup>/MN. Bagi penentuan kekuatan ricih, nilai kejelekitan berkesan ( $c'$ ) dan sudut rintangan ricih berkesan ( $\phi'$ ) adalah masing-masing berjulat di antara 0 – 2 kN/m<sup>2</sup> dan 17° – 31°. Ujian menggunakan XRD mendapati mineral primer adalah kuarza dan mineral sekunder adalah kaolinit. Ujian menggunakan XRF pula menunjukkan kandungan silika oksida dan alumina oksida dalam tanah liat adalah tinggi yang disebabkan kehadiran mineral koalinit. Ujian menggunakan SEM membuktikan kehadiran mineral koalinit dan pirit dalam tanah liat. Dari korelasi yang diterbitkan, didapati indeks mampatan meningkat dengan kandungan lembapan semulajadi, had Atterberg, nisbah lompong asal dan kandungan organik. Sudut geseran dalam berkesan pula didapati dipengaruhi oleh kandungan lembapan semulajadi dan indeks keplastikan. Korelasi yang diperolehi menunjukkan sudut geseran dalam berkesan berkurangan apabila kandungan lembapan semulajadi dan indeks keplastikan meningkat.



Tanah liat lembut merupakan endapan yang banyak ditemui di sekitar pesisir pantai Semenanjung Malaysia. Ia telah memberikan cabaran kepada industri pembinaan khususnya pembinaan jalanraya kerana enapan yang besar sering memberi masalah kepada struktur jalanraya. Manakala kekuatan ricih yang rendah, tekanan air liang lebihan dan anjakan sisi banyak mempengaruhi kestabilan tambakan. Bagi memahami perlakuan tanah liat lembut di bawah tambakan, pihak Lembaga Lebuhraya Malaysia telah mengetuai pembinaan 14 buah tambakan cubaan di Muar pada tahun 1986 – 1988 dengan menggunakan pelbagai kaedah pembaikan tanah untuk mencari kaedah pembinaan dengan kos yang efektif dan kaedah ramalan yang sesuai untuk simulasi keadaan perlakuan sebenar. Objektif utama kajian ini adalah untuk menentukan perlakuan tanah liat lembut di bawah tambakan khususnya Tambakan Cubaan Muar melalui ujian semula sampel-sampel tanah di makmal dan membuat analisis simulasi pengukuhan dan kestabilan cerun menggunakan kaedah unsur terhingga. Tiga tambakan yang dipilih ialah Tambakan Dibina Untuk Gagal (Skim 3/5), Tambakan Kawalan 3 m (Skim 3/2) dan Tambakan Kawalan 6m (Skim 6/6). Ujian makmal yang dilakukan melibatkan penentuan ciri-ciri asas tanah, parameter-parameter kebolehmpatan dan kekuatan ricih bagi tanah liat terseut. Perbandingan keputusan ujian makmal terkini dengan yang lepas menyaksikan pengurangan terhadap kandungan lembapan sehingga 49 %. Bagi parameter keboleh-mpatan, nilai tekanan pra-pengukuhan ( $p_c$ ) telah meningkat sehingga 160 %. Manakala nisbah lompong asal ( $e_o$ ) dan pekali Pengukuhan tegak ( $c_v$ ) masing-masing menurun sehingga 44 % dan 74 %. Bagi kekuatan ricih tak tersalir pula, peningkatan yang berlaku adalah sehingga 160 % bagi lapisan tanah liat atas dan 116 % bagi lapisan tanah liat bawah. Tiga model juzuk tanah yang terdiri daripada Model Linear Elastik, Elastik Plastik dan Tanah Liat-Cam Terubahsuai telah digunakan dalam analisis simulasi pengukuhan. Perbandingan hasil simulasi kajian ini yang menggunakan perisian SIGMA/W, SEEP/W dan SLOPE/W, menunjukkan tiada banyak perbezaan dengan penyelidik lain. Analisis simulasi kestabilan cerun menunjukkan ramalan terhadap ketebalan cerun gagal dan kedalaman permukaan gelinciran bagi Skim 3/5 masing-masing adalah 5.25 m dan 7.9 m iaitu lebih hampir dengan keadaan sebenar berbanding ramalan penyelidik terdahulu. Nilai faktor keselamatan bagi tambakan 3 m didapati lebih kecil berbanding nilai faktor keselamatan tambakan 6 m. Ini disebabkan oleh faktor binaan tanggaaan bagi tambakan 6 m tersebut. Analisis simulasi pengukuhan menunjukkan analisis simulasi bagi Tekanan air liang lebihan yang menggunakan Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai bagi semua tambakan telah terlebih anggar dengan julat antara 20 % hingga 80 %. Ramalan yang agak baik ditunjukkan oleh model ini adalah untuk kelakuan enapan dan anjakan sisi, yang mana julat perbezaan ramalan dengan ukuran sebenar masing-masing adalah lebih kurang 10 % hingga 30 % dan 20 % hingga 40 %. Bagi Model Elastik Plastik dan Linear Elastik, keputusan analisis simulasi menunjukkan kelakuan tekanan air liang lebihan dan enapan telah berkurang sehingga 80 % dan 70%.

**Para Penyelidik:**

Prof. Madya Ir. Mohd Zain Hj. Yusof (Head)

Prof. Madya Dr. Aminaton Marto

Prof. Madya Za`aba Ismail

Ms Fauziah Kasim

Mr. Mohd. Khatta Marwah

Mr. Saiful Azhar Ahmad Tajuddin

Email: [aminaton@utm.my](mailto:aminaton@utm.my), [fauziah@fka.utm.my](mailto:fauziah@fka.utm.my)

Tel. No.: 07-5537781 / 31586

Vot No.: 72335

**KANDUNGAN**

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKA SURAT</b>
	<b>PENGHARGAAN</b>	i
	<b>ABSTRACT</b>	ii
	<b>ABSTRAK</b>	v
	<b>KANDUNGAN</b>	viii
	<b>SENARAI JADUAL</b>	xvii
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xxi
	<b>SENARAI SIMBOL</b>	xxii
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xxxvii
<b>BAB 1</b>	<b>Pengenalan</b>	1
	1.1 Pendahuluan	1
	1.2 Definasi Tanah Liat Lembut	3
	1.3 Kenyataan Masalah	6
	1.4 Matlamat Kajian	7
	1.5 Skop Kajian	8
	1.6 Kepentingan Kajian	9

<b>BAB 2</b>	<b>KAJIAN LITERATUR</b>	<b>11</b>
2.1	Pengenalan	11
2.2	Pembentukan Asal dan Mineralogi Tanah Liat	12
2.3	Persekitaran Mendapan Tanah Liat Lembut	13
2.3.1	Persekitaran Sungai	14
2.3.2	Persekitaran Delta	14
2.3.3	Tanah Liat Pantai dan Lagun	15
2.4	Sejarah Pembentukan Mendapan Tanah Liat Lembut di Semenanjung Malaysia	16
2.5	Profil Tanah Liat Lembut di Semenanjung Malaysia	16
2.6	Ciri-ciri Indeks Tanah Liat Lembut di Semenanjung Malaysia	18
2.6.1	Kandungan Lembapan Semulajadi	19
2.6.2	Taburan Saiz Zarah	20
2.6.3	Berat Unit dan Graviti Tentu	21
2.6.4	Had Atterberg	23
2.6.5	Kekonsistenan dan Sensitiviti	25
2.7	Ciri-ciri Pengukuhan Tanah Liat Lembut di Semenanjung Malaysia	26
2.8	Ciri-ciri Kekuatan Ricih Tanah Liat Lembut di Semenanjung Malaysia	29
2.9	Ciri-ciri Kelakuan Tanah Liat Lembut Muar	31
2.9.1	Profil Tanah Liat Lembut Muar	31
2.9.2	Keadaan Piezometrik dan Tegasan Berkesan di-Situ	32
2.9.3	Ciri-ciri Asas	32
2.9.4	Ciri-ciri Pengukuhan	33
2.9.5	Kekuatan Ricih	34
2.10	Perlakuan Tanah Liat di Bawah Tambakan	35
2.10.1	Tekanan Air Liang	36
2.10.2	Kestabilan Tambakan	37
	2.10.2.1 Faktor Keselamatan Ketika Ubah Bentuk Meningkatkan	38

2.10.3	Enapan	39
2.10.3.1	Ubah Bentuk Menegak Pada Dan di Luar Hilir Tambakan	39
2.10.4	Anjakan Sisi	40
2.10.4.1	Anjakan Sisi Permukaan di Hilir Tambakan	40
2.10.4.2	Anjakan Sisi Dengan Kedalaman	41
2.10.4.3	Ramalan Profil Anjakan Sisi Ternormal	43
2.11	Analisis Tambakan Ujian Muar Oleh Penyelidik Terdahulu	44
2.11.1	Ramalan Beban Kegagalan	45
2.11.2	Ramalan Permukaan Kegagalan	46
2.11.3	Ramalan Tekanan Air Liang	46
2.11.4	Ramalan Anjakan	47
2.11.5	Perbandingan Ramalan Keadaan Ketika Gagal	48
2.12	Kajian Lepas Analisis Tambakan Cubaan Muar Terpilih	48
2.12.1	Analisis Tambakan Ujian Tanpa Pembaikan (Skim 3/5)	49
2.12.2	Analisis Tambakan Kawalan Tanpa Pembaikan (Skim 3/2 dan 6/6)	50
2.13	Ciri-ciri Ubah Bentuk Umum Bagi Tambakan Cubaan Muar	51
2.13.1	Enapan Ternormal Dengan Kedalaman	51
2.13.2	Anjakan Sisi Ternormal Dengan Kedalaman	52

### **BAB 3 PROGRAM MAKMAL 101**

3.1	Pengenalan	101
3.2	Peralatan Ujian Indeks Tanah	102
3.2.1	Ujian Taburan Saiz Zarah	102

3.2.2	Ujian Had Atterberg	103
3.2.3	Ujian Graviti Tentu	103
3.3	Peralatan Ujian Pengukuhan Tanah	103
3.4	Peralatan Ujian Kekuatan Ricih Tanah	104
3.4.1	Sistem Digital Geoteknik (GDS)	104
3.4.2	Perisian GDSLAB Versi 2	107
3.5	Kalibrasi Peralatan di Makmal	108
3.5.1	Kalibrasi Alat Hidrometer	109
3.5.2	Kalibrasi Botol Piknometer	110
3.5.3	Kalibrasi Tolok Dial	111
3.5.4	Kalibrasi Peralatan GDS	112
3.6	Pensampelan Tanah dan Ujikaji di Tapak	112
3.6.1	Pemilihan Lokasi Pensampelan	112
3.6.2	Teknik-Teknik Pensampelan di Tapak	113
3.6.3	Penyiasatan dan Ujikaji di Tapak	113
3.6.4	Penyelenggaraan dan Penyimpanan Sampel	114
3.7	Ujikaji Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah di Makmal	114
3.7.1	Prosedur Ujian Indeks Tanah	115
3.7.2	Prosedur Ujian Pengukuhan Tanah	116
3.7.3	Prosedur Ujian Kekuatan Ricih Tanah	116
	3.7.3.1 Penyediaan Alat Radas	117
	3.7.3.2 Prosedur Ujian Tiga Paksi	120
	3.7.3.3 Pengujian Sampel Ujian Tiga Paksi	122

**BAB 4 KAJIAN KES KELAKUAN TAMBAKAN DI ATAS  
TANAH LEMBUT DAN SIMULASI PENGUKUHAN  
TAMBAKAN 133**

4.1	Pengenalan	133
4.1.1	Latar Belakang Tapak Kajian	134
4.2	Analisis Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah	
	Liat Lembut Muar	135
4.2.1	Pensampelan	136

	4.2.1.1	Lokasi Pensampelan	136
	4.2.1.2	Pensampelan dan Gangguan	136
	4.2.2	Ujian Spesifikasi dan Indeks	137
	4.2.3	Ujian Kekuatan Ricih Tak Tersalir	138
	4.2.3.1	Ujian Ricih Bilah Di Situ	138
	4.2.3.2	Ujian Tiga Paksi Terkukuh Tak Bersalir	139
	4.2.4	Ujian Kebolehmampatan	139
4.3		Data Instrumentasi Tambakan Cubaan Muar	140
	4.3.1	Pengukur Enapan	141
	4.3.2	Pengukur Tekanan Air Liang	142
	4.3.3	Pengukur Anjakan Sisi dan Permukaan Tegak (Lambung)	142
4.4		Analisa Simulasi Pengukuhan Terganding	143
	4.4.1	Keperluan Umum Pemodelan Tambakan	143
	4.4.1.1	Model Geometri	144
	4.4.1.2	Pemilihan Model Juzuk Tanah	145
	4.4.1.3	Parameter-parameter Tanah	146
	4.4.1.4	Keadaan Awalan dan Sempadan	147
	4.4.1.5	Kriteria Penumpuan	148
	4.4.2	Tambakan Cubaan Dibina Untuk Gagal (Skim 3/5)	148
	4.4.2.1	Pendiskretan Unsur-unsur dan Penempatan Tambakan	149
	4.4.2.2	Analisa Keputusan	149
	4.4.3	Tambakan Kawalan (Skim 3/2 dan Skim 6/6)	150
	4.4.3.1	Pendiskretan Unsur-unsur Dan Penempatan Tambakan	150
	4.4.3.2	Analisa Keputusan	151





5.8	Katalog Ringkas Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Liat Lembut	206
<b>BAB 6</b>	<b>KEPUTUSAN DAN ANALISIS UJIKAJI MAKMAL BAGI KAJIAN KES</b>	<b>237</b>
6.1	Pengenalan	237
6.2	Ciri-ciri Asas	238
6.2.1	Kandungan Lembapan dan Graviti Tentu	238
6.2.2	Had-had Atterberg	239
6.2.3	Taburan Saiz Zarah	240
6.2.4	Ringkasan	241
6.3	Ciri-ciri Kebolehmampatan	241
6.3.1	Tekanan Prapengukuhan ( $p_c$ ) dan Nisbah Terkukuh Lebih ( $OCR$ )	242
6.3.2	Nisbah Lompang Awal ( $e_o$ )	243
6.3.3	Indeks Mampatan ( $C_c$ )	244
6.3.4	Pekali Pengukuhan Menegak ( $c_v$ ) Dan Mengufuk ( $c_h$ )	245
6.4	Kekuatan Ricih	246
6.4.1	Ujian Ricih Bilah	246
6.4.2	Ujian Tiga Paksi TerkukuhTak Bersalir ( $CU$ )	248
6.5	Ringkasan	248
<b>BAB 7</b>	<b>KEPUTUSAN DAN ANALISIS SIMULASI TAMBAKAN</b>	<b>266</b>
7.1	Pengenalan	266
7.2	Penentuan Tebal KegagalanTambakan Dibina Untuk Gagal	267
7.2.1	Analisis Kaedah Unsur Terhingga	267
7.2.2	Analisis Kaedah Keseimbangan Had	268

7.2.3	Perbincangan	269
7.3	Penentuan Faktor Keselamatan	270
7.4	Simulasi Pengukuhan Tanah Liat Lembut Di Bawah Tambakan Cubaan Muar	271
7.4.1	Kelakuan Tekanan Air Liang Lebihan	272
	7.4.1.1 Tambakan Dibina Untuk Gagal (Skim 3/5)	272
	7.4.1.2 Tambakan Kawalan 3m (Skim 3/2) dan 6m (Skim 6/6)	274
7.4.2	Kelakuan Anjakan Tegak (Enapan dan Lambung)	277
	7.4.2.1 Tambakan Dibina Untuk Gagal (Skim 3/5)	277
	7.4.2.2 Tambakan Kawalan 3m (Skim 3/2) dan 6m (Skim 6/6)	278
7.4.3	Kelakuan Anjakan Sisi	279
	7.4.3.1 Tambakan Dibina Untuk Gagal (Skim 3/5)	279
	7.4.3.2 Tambakan Kawalan 3 m (Skim 3/2) dan 6 m (Skim 6/6)	281
7.5	Ringkasan	284
<b>BAB 8</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	<b>334</b>
8.1	Kesimpulan	334
	8.1.1 Ciri-ciri kejuruteraan Tanah Liat Lembut	334
	8.1.2 Ujian Makmal Bagi Kajian Kes	337
	8.1.3 Tebal Kegagalan Tambakan di Bina Untuk Gagal	339
	8.1.4 Faktor Keselamatan Cerun Tambakan Kawalan 3m dan 6m	339
	8.1.5 Simulasi Pengukuhan Tanah Liat Lembut di Bawah Tambakan Cubaan di Pilih	340

8.1.5.1	Tambakan di Bina Untuk Gagal (Skim 3/5)	340
8.1.5.2	Tambakan Kawalan 3m dan 6m (Skim 3/2 dan Skim 6/6)	341
8.2	Cadangan	342
8.2.1	Analisis Simulasi Tambakan	342
8.2.2	Simulasi Kajian Kes	343
	<b>RUJUKAN</b>	<b>344</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	<b>362</b>
	Lampiran A	362
	Lampiran B	363
	Lampiran C	364
	Lampiran D	365
	Lampiran E	369
	Lampiran F	391

## SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Kadar endapan tanah liat lembut di beberapa kawasan sedunia (Leroueil, et al., 1990)	53
2.2	Ketebalan tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia (Abdullah & Chandra, 1987)	54
2.3	Julat kedalaman atas dan bawah bagi endapan di kawasan pantai barat Semenanjung Malaysia (Aziz, 1993)	54
2.4	Pengelasan lapisan tanah liat di Malaysia (Balasubramaniam, et al., 1985)	55
2.5	Klasifikasi tanah liat lembut ( Brand & Brenner, 1981)	56
2.6	Ciri-ciri pengelasan tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia	57
2.7	Julat kandungan lembapan semulajadi di beberapa kawasan di Semenanjung Malaysia (Ting & Ooi, 1977)	58
2.8	Peratus kandungan lempung, kelodak dan pasir (Abdullah & Chandra, 1987)	58
2.9	Nilai graviti tentu zarah di pantai Semenanjung Malaysia daripada beberapa pengkaji	58
2.10	Takrifan had Atterberg (Smith, 1984)	59
2.11	Nilai Aktiviti bagi mineral lempung tanah liat lembut di Malaysia (Ramli, et al., 1994)	59
2.12	Pengelasan julat Aktiviti (Head, 1992)	59
2.13	Kekonsistenan tanah liat (Terzaghi, et al., 1996)	60
2.14	Kekonsistenan Bahan (BS 5930, 1981)	60
2.15	Pengelasan sensitiviti, $S_t$ (Brand & Brenner, 1981)	61

2.16	Faktor-faktor yang mempengaruhi sensitiviti (Quigley, 1979)	62
2.17	Ciri-ciri kebolehmampatan tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia (Hussein, 1995)	63
2.18	Korelasi indeks mampatan dengan parameter-parameter tanah Oleh beberapa pengkaji (Balasubramaniam & Brenner, 1981)	64
2.19	Pengelasan pekali kebolehmampatan isipadu tanah (Head, 1992)	65
2.20	Pengelasan kekuatan ricih tak tersalir (BS 8004:1986)	65
2.21	Kaedah umum untuk penilaian kekuatan ricih tak tersalir (Lambe & Whitman, 1979)Parameter-parameter kekuatan ricih tanah liat lembut diSemenanjung Malaysia	66
2.22	Parameter-parameter kekuatan ricih tanah liat lembut Di Semenanjung Malaysia	67
2.23	Perbandingan Keputusan Analisis Kegagalan Bagi Tambakan Skim 3/5 (Brand & Premchitt, 1989)	68
2.24	Analisis Para Penyelidik dan Nilai-nilai Tekanan Air Liang Lebihan Yang Diukur di Bawah Tambakan Skim 3/5 (Brand & Premchitt, 1989)	69
2.25	Analisis-analisis Peramal dan Nilai-nilai Ukuran Anjakan Tanah Di bawah (Brand & Premchitt, 1989)	70
2.26	Keadaan Kegagalan Ramalan dan Sebenar bagi Tambakan Ujian Muar (Brand & Premchitt, 1989)	71
2.27	Perbandingan keputusan ramalan dan sebenar Tambakan Kawalan 3 m (Skim 3/2) (Tan, 1994)	72
2.28	Perbandingan keputusan ramalan dan sebenar Tambakan Kawalan 6 m (Skim 6/6) (Tan, 1994)	72
3.1	Program perlaksanaan ujikaji makmal yang dijalankan	123
4.1	Ujian Sampel-sampel Tanah Liat Lembut Muar Mengikut Kedalaman	156
4.2	Parameter tanah bagi analisis tegasan di-situ dan model Linear Elastik.	157

4.3	Parameter tanah Model Elastik-Plastik (selepas Bergado dan Chai, 1993)	157
4.4	Parameter tanah Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai (Selepas Bergado dan Chai, 1993)	157
4.5	Parameter tanah tambak : Model Linear-Elastik	157
4.6	Ciri-ciri kebolehtelapan tanah (selepas Tan, 1994)	157
4.7	Peringkat pembinaan bagi Tambakan Skim 3/2	158
4.8	Peringkat pembinaan bagi Tambakan Skim 6/6	158
4.9	Faktor pembetulan bagi setiap kedalaman	158
4.10	Parameter kekuatan ricih tak tersalir bagi analisis kesimbangan had.	159
4.11	Parameter kekuatan ricih bagi analisis unsur terhingga.	159
5.1	Ketepatan korelasi (Marto, 1996)	207
5.2	Keputusan ujian ricih bilah di-situ	207
5.3	Kandungan lembapan semulajadi dan sifat-sifat keplastikan tanah	208
5.4	Berat unit, graviti tentu, kandungan zarah tanah dan pengelasan tanah	209
5.5	Parameter-parameter pengukuhan tanah	210
5.6	Parameter-parameter kekuatan ricih tanah	211
5.7	Ringkasan korelasi yang diterbitkan	211
6.1	Pertambahan tegasan di bawah Tambakan Cubaan Muar yang dikaji	249
6.2	Nilai kandungan lembapan semulajadi dan graviti tentu	250
6.3	Ciri-ciri keplastikan tanah	250
6.4	Kandungan zarah dan pengelasan tanah	251
6.5	Perbezaan nilai purata ciri-ciri asas tanah liat di bawah Tambakan Cubaan Muar bagi kajian terkini dan lepas	252
6.6	Parameter-parameter pengukuhan tanah liat lembut Muar	253
6.7	Perbezaan nilai purata ciri-ciri pengukuhan tanah liat di bawah Tambakan Cubaan Muar bagi kajian terkini & lepas	254
6.8	Keputusan ujian ricih bilah di-situ	255
6.9	Kekuatan ricih tak tersalir dinormalkan	255
6.10	Parameter-parameter kekuatan ricih berkesan tanah	256

6.11	Perbezaan nilai purata parameter-parameter kekuatan ricih berkesan tanah bagi kajian terkini dan lepas	256
7.1	Keputusan ketebalan gagal ramalan Skim 3/5 bagi analisis kaedah keseimbangan had tanpa kesan enapan	286
7.2	Keputusan ketebalan gagal ramalan Skim 3/5 bagi analisis kaedah keseimbangan had yang ada kesan enapan	287
7.3	Perbandingan peratusan enapan tanah liat atas bagi Tambakan Kawalan 3 m	288
7.4	Perbandingan peratusan enapan tanah liat atas bagi Tambakan Kawalan 6 m	288
7.5	Peratus perbezaan kelakuan sebenar dengan model simulasi Tambakan Dibina Untuk Gagal (Skim 3/5)	288
7.6	Perbandingan keputusan analisis kegagalan bagi Tambakan Skim 3/5	289
7.7	Perbandingan analisis tekanan air liang lebihan yang diukur di bawah Tambakan Skim 3/5	290
7.8	Perbandingan nilai sebenar dan ramalan anjakan tanah di bawah Tambakan Skim 3/5	291
7.9	Perbandingan keadaan kegagalan ramalan dan sebenar bagi Tambakan Skim 3/5	292
7.10	Peratus perbezaan kelakuan sebenar dengan model simulasi Tambakan Kawalan 3 m	293
7.11	Peratus perbezaan kelakuan sebenar dengan model simulasi Tambakan Kawalan 6 m	293
7.12	Perbandingan antara peramal bagi kelakuan Tambakan Kawalan 3 m (Skim 3/2)	293
7.13	Perbandingan antara peramal bagi kelakuan Tambakan Kawalan 6 m (Skim 6/6)	294

## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Tanah Liat Marin dan Sungai di Asia Tenggara dan Semenanjung Malaysia (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)	10
2.1	Genesis tanah liat (Aziz, 1993)	73
2.2	Profil tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia (Abdullah & Chandra, 1987)	74
2.3	Kandungan lembapan dengan kedalaman (Hussein, 1995)	74
2.4	Kandungan lembapan dengan kandungan organik (Hussein, 1995)	75
2.5	Pengaruh kandungan organik dalam ciri-ciri pengelasan tanah liat organik Juturnaiba, Brazil (Coutinho & Lacerda, 1987)	76
2.6	Berat unit dengan kedalaman (Ramli, <i>et al.</i> , 1994)	77
2.7	Berat unit dengan kandungan lembapan semulajadi (Aziz, 1993)	77
2.8	Carta keplastikan oleh pengkaji-pengkaji lepas di Semenanjung Malaysia (Hussein, 1995)	78
2.9	Had Atterberg dengan kedalaman (Hussein, 1995)	78
2.10	Korelasi indeks mampatan dengan kandungan lembapan semulajadi dan had cecair (Aziz, 1993)	79
2.11	Korelasi indeks mampatan ternormal dengan kandungan lembapan semulajadi dan had cecair (Aziz, 1993)	79
2.12	Profil Tanah Dari Lubang Jara Paling Dalam	80
2.13	a) Turus piezometrik maksimum dan minimum bagi semua titik rujukan, b) Tegasan di-situ berkesan maksimum	81



	dan minimum (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)	
2.14	Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Liat Lembut Muar (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)	82
2.15	Profil kekuatan ricih bilah (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)	83
2.16	Gabungan Keputusan Ujian Ricih Bilah (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)	84
2.17	a) $\frac{S_u}{P_o' maks}$ , b) $\frac{S_u}{P_o' min}$ (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)	84
2.18	Hubungan di antara kepekaan dan indeks kecairan bagi tanah liat Skandinavia, British, Kanada dan beberapa tanah liat A.S. (Holtz dan Kovacs, 1981)	85
2.19	Laluan tegasan berkesan di bawah tambakan (Lerouiel et al., 1990)	86
2.20	Hubungan antara tekanan air liang dan tegasan jumlah pugak yang disebabkan oleh tambakan (Lerouiel et al., 1990)	86
2.21	Hubungan antara kedalaman dan pekali tekanan air liang $\bar{B}_1$ . (Lerouiel et al., 1990)	87
2.22	Perubahan tekanan air liang lebihan di bawah pusat Tambakan Cubaan Kalix, Sweden semasa pembinaan (Selepas Holtzs dan Holm, 1979)	87
2.23	Taburan tekanan air liang di bawah pusat tambakan melawan beban tambakan diguna (Hunter dan Fell, 2003)	88
2.24	Faktor Keselamatan melawan tinggi tambakan relatif (Fell dan Hunter, 2003)	89
2.25	Perubahan biasa beban tambakan dan enapan dengan masa (Lerouiel et al., 1990)	89
2.26	Anjakan tegak di hilir tambakan melawan tinggi tambakan relatif. Lambung adalah negatif (Hunter dan fell, 2003)	90
2.27	Anjakan tegak di luar hilir tambakan melawan tinggi tambakan relatif. Lambung adalah negatif (Hunter dan fell, 2003)	90
2.28	Hubungan Biasa antara anjakan sisi maksimum $y_m$ dan enapan $s$ di bawah tambakan (Lerouiel et al., 1990)	91

2.29	Anjakan sisi permukaan di hilir tambakan melawan tinggi tambakan relatif (Hunter dan Fell, 2003)	91
2.30	Kesan $L_o/B$ terhadap profil anjakan sisi ternormal (Selepas Marche dan Chapuis, 1974)	92
2.31	Gambaran skematik keadaan ubahbentuk dan tegasan di bawah tambakan (selepas Tavenas et al., 1979)	92
2.32	Profil anjakan sisi dan tegasan berkesan pada akhir pembinaan di bawah tambakan; (a) Cubzac les Ponts A dan (b) Saint Alban B (selepas Tavenas et al. 1979).	93
2.33	Profil anjakan sisi ternormal pada masa berbeza selepas pembinaan di bawah Tambakan Cubzac les Ponts B dan Saint-Alban B (selepas Tavenas et al., 1979)	94
2.34	Nilai kekuatan ricih bilah yang dipilih oleh setiap penyelidik (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989b)	95
2.35	Perbandingan permukaan dan tinggi kegagalan diramal dengan yang sebenar (Brand & Premchitt, 1989)	95
2.36	Taburan peratus enapan mengikut kedalaman bagi Tambakan 3 m (dari Sivaneswaran, 1993)	96
2.37	Taburan peratus enapan mengikut kedalaman bagi Tambakan 6 m (dari Sivaneswaran, 1993)	97
2.38	Taburan nisbah anjakan sisi dengan anjakan sisi maksimum mengikut kedalaman bagi Tambakan 3 m (dari Sivaneswaran, 1993)	98
2.39	Taburan nisbah anjakan sisi dengan anjakan sisi maksimum mengikut kedalaman bagi Tambakan 6 m (dari Sivaneswaran, 1993)	99
2.40	Taburan nisbah anjakan sisi dengan anjakan sisi maksimum mengikut kedalaman bagi Tambakan 6 m (dari Sivaneswaran, 1993)	100
3.1	Carta alir metodologi kajian	124
3.2	Set ayakan untuk ujian ayakan	125
3.3	Peralatan ujian hidrometer	125
3.4	Peralatan ujian had Atterberg	126
3.5	Set peralatan ujian pengukuhan tanah	126

3.6	Keratan rentas alat oedometer	127
3.7	Sel ujian tiga paksi dan pengawal tekanan dalam GDS3.8:	127
3.8	Komputer yang digunakan untuk menjalankan perisian GDSLAB	128
3.9	Gambarajah skematik peralatan GDS	128
3.10	Pengukuran bagi kalibrasi alat hidrometer	129
3.11	Lokasi pensampelan tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)	130
3.12	Tiub sampel tanah tak terganggu dikeluarkan dengan menggunakan mesin gerudi	131
3.13	Alat penyemperit hidraulik mendatar	131
3.14	Alat radas yang digunakan dalam ujian tiga paksi	132
3.15	Kedudukan kertas penapis pada sampel	132
4.1	Carta Aliran Skop Metodologi Kajian	160
4.2	Carta Aliran Bagi Program Pengujian Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Liat Lembut.	161
4.3	Aliran Pemodelan Analisa Simulasi	162
4.4	Lokasi Tambakan Cubaan Muar di km 153 Lebuhraya Utara-Selatan (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989a)	163
4.5	Kedudukan skim-skim dan kerja-kerja penyiasatan tapak (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989a)	164
4.6	Pandangan pelan dan keratan bagi titik lubang jara dan sampel tanah yang diambil di setiap tambakan terpilih.	165
4.7	Kerja-kerja penggerudian dengan menggunakan kaedah Putar Basuh ( <i>Wash Boring</i> )	166
4.8	Pensampel Omboh Pegun	166
4.9	Peringkat Pensampelan Omboh Pegun	167
4.10	Sampel Tanah Liat Lembut Yang Telah Diambil Oleh Pensampel Omboh Pegun Dalam Kerja-kerja Pensampelan	167
4.11	Sampel tanah yang telah ditutupi lilin.	168
4.12	Pandangan sisi dan hujung bilah berbentuk prisma	168
4.13	Tiga Saiz Bilah Yang Digunakan Dalam Ujian Ricih Bilah In-Situ	168
4.14	Set radas ujian ricih bilah jenis Acker termasuk kepala kilas	169

4.15	Ujian Ricih Bilah Yang Sedang Dijalankan Oleh Kontraktor	170
4.16	Ciri-ciri Dimensi Keratan Garis Melintang Model Tambakan (Mestat, 2001)	170
4.17	Kemasukan data parameter tanah model Tanah Liat-Cam Terubahsuai di dalam analisis ubah bentuk.	171
4.18	Kemasukan data pekali kebolehtelapan di dalam analisis resipan	171
4.19	Kedaan sempadan piawai bagi analisis ubah bentuk.	172
4.20	Keadaan sempadan piawai bagi analisis resipan	172
4.21	Tegasan tegak berkesan piawai melawan kedalaman	173
4.22	Perbandingan keputusan penumpuan	173
4.23	Mekanisme kegagalan tambakan Skim 3/5 berdasarkan pengukuran meter condong dan tinjauan topografi.	174
4.24	Pendiskretan dan rekabentuk jejaring Tambakan Skim3/5	174
4.25	Simulasi penempatan tambak	175
4.26	Perbandingan penempatan tambak simulasi dengan sebenar bagi Tambakan Skim 3/5	175
4.27	Pendiskretan dan rekabentuk jejaring Tambakan Skim 3/2	176
4.28	Perbandingan penempatan tambak simulasi dengan sebenar bagi Tambakan Skim 3/2	176
4.29	Pendiskretan dan rekabentuk jejaring Tambakan Skim 6/6	177
4.30	Perbandingan penempatan tambak simulasi dengan sebenar bagi Tambakan Skim 6/6	177
4.31	Rekabentuk model analisis keseimbangan had Tambakan Skim 3/5	178
4.32	Rekabentuk model analisis keseimbangan had Tambakan Skim 3/2	178
4.33	Rekabentuk analisis keseimbangan had Tambakan Skim 6/6	179
4.34	Parameter dipilih bagi ujian tiga paksi tak terkukuh tak tersalir ( $UU$ ) dan terkukuh tak tersalir ( $CK_oU$ )	179
4.35	Parameter dipilih bagi; (a) Tekanan prapenguhan, $p_c$ dan (b) Ujian ricih bilah di-situ.	180
4.36	Model analisis unsur terhingga Tambakan Skim 3/5	180

4.37	Model analisis unsur terhingga Tambakan Skim 3/2	181
4.38	Model analisis unsur terhingga Tambakan Skim 6/6	181
4.39	Lakaran skematik lokasi instrumentasi piawai (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)	182
4.40	Tolok Enapan (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)	183
4.41	a) Pizometer Pneumatik, b) Piezometer paip tegak (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)	184
5.1a	Profil Tanah di Muara Sungai Kuantan	212
5.1b	Profil Tanah dan Keputusan Ujian Ricih Bilah Di-Situ di Tanjung Karang, Selangor	212
5.1c	Profil Tanah dan Keputusan Ujian Ricih Bilah Di-Situ di Air Putih, Kemaman	213
5.1d	Profil Tanah dan Keputusan Ujian Ricih Bilah Di-Situ	213
5.2	Korelasi kekuatan ricih tak terganggu dengan kedalaman daripada ujian ricih bilah di-situ	214
5.3	Korelasi kekuatan ricih diacu semula dengan kedalaman daripada ujian ricih bilah di-situ	214
5.4	Hubungan sensitiviti dengan kedalaman	215
5.5	Hubungan kandungan lembapan semulajadi dengan kedalaman	216
5.6	Korelasi kandungan lembapan semulajadi dengan kandungan organik	216
5.7	Korelasi kandungan lembapan semulajadi dengan kandungan lempung	217
5.8a	Taburan saiz zarah di Tanjung Karang, Selangor	218
5.8b	Taburan saiz zarah di Air Putih, Kemaman	218
5.8c	Taburan saiz zarah di Kg. Mat Lagam, Kemaman	219
5.8d	Taburan saiz zarah di Muara Sg. Kuantan	219
5.9	Korelasi berat unit dengan kandungan lembapan semulajadi	220
5.10	Korelasi graviti tentu dengan nisbah lompong asal	220
5.11	Hubungan had cecair dengan kedalaman	221
5.12	Hubungan had plastik dengan kedalaman	221
5.13	Hubungan indeks keplastikan dengan kedalaman	222
5.14	Hubungan indeks kecairan dengan kedalaman	222

5.15	Kedudukan tanah liat lembut dalam carta keplastikan tanah Casagrande	223
5.16	Hubungan indeks keplastikan dengan kandungan lempung	224
5.17	Korelasi had cecair dengan kandungan lempung	224
5.18	Korelasi had Atterberg dengan kandungan organik	225
5.19	Korelasi nisbah lompong asal dengan kandungan lembapan semulajadi	225
5.20	Korelasi tekanan pra pengukuhan dengan kedalaman	226
5.21	Hubungan nisbah pengukuhan lebih dengan kedalaman	226
5.22	Korelasi indeks mampatan dengan kandungan lembapan semulajadi	227
5.23	Korelasi indeks mampatan ternormal dengan kandungan lembapan semulajadi	227
5.24	Korelasi indeks mampatan dengan had cecair	228
5.25	Korelasi indeks mampatan ternormal dengan had cecair	228
5.26	Perbandingan korelasi antara indeks mampatan dan had cecair dengan pengkaji-pengkaji lain	229
5.27	Korelasi indeks mampatan dengan indeks keplastikan	229
5.28	Korelasi indeks mampatan dengan nisbah lompong asal	230
5.29	Korelasi indeks mampatan dengan kandungan organik	230
5.30	Korelasi indeks mampatan dengan kandungan lempung	231
5.31	Korelasi pekali kebolehmampatan isipadu dengan nisbah lompong asal	231
5.32	Korelasi sudut geseran berkesan dengan kandungan lembapan semulajadi	232
5.33	Korelasi sudut geseran berkesan dengan indeks keplastikan	232
5.34	Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut di Tanjung Karang, Selangor	233
5.35	Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut di Air Putih, Kemaman, Terengganu	234
5.36	Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut di Kg Mat Lagam, Kemaman Terengganu	235
5.37	Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut di Muara Sungai Kuantan, Kuantan, Pahang	236

6.1	Taburan kandungan lembapan mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih	257
6.2	Taburan had plastik dan had cecair mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih	257
6.3	Taburan kandungan lembapan dan had Atterberg mengikut kedalaman	258
6.4	Taburan indeks keplastikan mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih	258
6.5	Taburan indeks kecairan mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih	259
6.6	Taburan peratusan saiz zarah mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih	259
6.7	Taburan tekanan prapengukuhan mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih	260
6.8	Taburan $OCR_{maks}$ dan $OCR_{min}$ mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih	260
6.9	Taburan nisbah lompong asal mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih	261
6.10	Taburan indeks mampatan mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih	261
6.11	Taburan $C_c/(1 + e_o)$ mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih	262
6.12	Perbandingan keputusan ujian ricih bilah terkini dengan kajian lepas	263
6.13	Taburan nilai kekuatan ricih tak tersalir ( $s_u$ ) mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih	264
6.14	Taburan nilai $s_u / p_{omin}$ mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih	264
6.15	Taburan nilai $s_u / p_{omaks}$ mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih	265
7.1	Tebal kegagalan ramalan daripada analisis tegasan unsur sehingga bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal.	295

7.2	Perubahan terikan ricih bagi berbagai ketebalan tambak dan kedudukan permukaan kegagalan ramalan berdasarkan kaedah unsur terhingga bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal	296
7.3	Taburan faktor keselamatan dengan ketebalan tambak bagi analisis yang tiada kesan enapan bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal	297
7.4	Taburan faktor keselamatan dengan ketebalan tambak bagi analisis yang ada kesan enapan) bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal	299
7.5	Perbandingan faktor keselamatan kaedah konvensional Keseimbangan Had Umum (GLE) dengan kaedah unsur terhingga bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal	301
7.6	Taburan perubahan faktor keselamatan dengan masa bagi Tambakan Kawalan 3 m	302
7.7	Taburan perubahan faktor keselamatan dengan masa bagi Tambakan Kawalan 6 m.	303
7.8	Permukaan kegagalan gelinciran Tambakan Kawalan 3 m	304
7.9	Permukaan kegagalan gelinciran Tambakan Kawalan 6 m	304
7.10	Taburan tekanan air liang lebih mengikut ketebalan tambak untuk setiap model juzuk tanah bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal	305
7.11	Perbandingan tekanan air liang lebih ramalan dengan sebenar di titik P2, P5 dan P7 bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal	306
7.12	Taburan tekanan air liang lebih pada titik tengah tambakan dengan kedalaman untuk setiap model juzuk tanah bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal	307
7.13	Perbandingan taburan tekanan air liang lebih ramalan pada titik tengah tambakan mengikut kedalaman dengan bacaan pengukuran sebenar untuk setiap meter tambak bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal	308
7.14	Perbandingan tekanan air liang lebih ramalan pada pelbagai kedudukan dengan ukuran sebenar bagi tambakan kawalan 3 m	310



7.15	Perbandingan tekanan air liang lebih ramalan pada pebagai kedudukan dengan ukuran sebenar bagi tambakan kawalan 6 m	311
7.16	Perbandingan tekanan air liang mengikut kedalaman di bawah garis tengah Tambakan Kawalan 3 m.	312
7.17	Perbandingan tekanan air liang mengikut kedalaman di bawah garis tengah Tambakan Kawalan 6 m	313
7.18	Perbandingan taburan tekanan air liang lebih di bawah garis pusat tambakan kawalan 3 m semasa peringkat pertama pembinaan.	314
7.19	Perbandingan taburan tekanan air liang lebih di bawah garis pusat Tambakan Kawalan 6 m semasa peringkat pertama pembinaan.	314
7.20	Perbandingan tekanan air liang lebih di aras laras -2.20 m Tambakan Kawalan 3 m	315
7.21	Perbandingan tekanan air liang lebih di aras laras -6.70 m Tambakan Kawalan 3 m	316
7.22	Perbandingan tekanan air liang lebih di aras laras -2.20 m Tambakan Kawalan 6 m	317
7.23	Perbandingan tekanan air liang lebih di aras laras -6.70 m Tambakan Kawalan 6 m	318
7.24	Taburan anjakan tegak dari S1 hingga H1 untuk pelbagai model analisis bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal	319
7.25	Perbandingan taburan anjakan tegak ramalan dengan sebenar untuk setiap meter tambak bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal	320
7.26	Perbandingan enapan ramalan dan sebenar di bawah garis tengah Tambakan Kawalan 3 m	322
7.27	Perbandingan enapan ramalan dan sebenar di bawah garis tengah Tambakan Kawalan 6 m	323
7.28	Perbandingan taburan enapan ramalan dan sebenar mengikut kedalaman di SD2 (garis pusat) Tambakan Kawalan 3 m	324
7.29	Perbandingan taburan enapan ramalan dan sebenar mengikut kedalaman di SD2 (garis pusat) Tambakan Kawalan 6 m	325

7.30	Taburan anjakan sisi maksimum pada kedalaman 4.5 m untuk pelbagai model juzuk tanah bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal	326
7.31	Perbandingan anjakan sisi ramalan dengan anjakan sisi sebenar untuk setiap meter condong bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal	327
7.32	Taburan anjakan sisi mengikut kedalaman untuk setiap model juzuk tanah bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal	328
7.33	Perbandingan anjakan sisi ramalan dengan ukuran sebenar untuk meter condong I1, I2 dan I3 bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal	329
7.34	Perbandingan taburan anjakan sisi ramalan dan ukuran sebenar mengikut kedalaman bagi Tambakan Kawalan 3 m	330
7.35	Perbandingan taburan anjakan sisi ramalan dan ukuran sebenar mengikut kedalaman bagi Tambakan Kawalan 6 m	331
7.36	Anjakan sisi melawan masa bagi Tambakan Kawalan 3 m	332
7.37	Anjakan sisi melawan masa bagi Tambakan Kawalan 6 m	332
7.38	Anjakan sisi melawan enapan bagi Tambakan Kawalan 3 m	333
7.39	Anjakan sisi melawan enapan bagi Tambakan Kawalan 6 m	333

## SENARAI SIMBOL

°C	-	Darjah Celcius
A	-	Aktiviti
A	-	Luas keratan
<i>b</i>	-	Keamatan unit daya jasad
$\bar{B}$	-	$\Delta u / \Delta \sigma_v$
BS	-	Piawai British
<i>c</i>	-	Kejelekitan
<i>c'</i>	-	Kejelekitan berkesan
$C_c$	-	Indeks mampatan
CD	-	Pengukuhan bersalir
$C_h$	-	Pekali pengukuhan mengufuk
CH	-	Lempung tak organik dengan keplastikan tinggi
CIU	-	Pengukuhan isotropi tak bersalir
CKoU	-	Terkukuh dalam keadaan Ko tak tersalir
CL	-	Lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berkelodak
CO <sub>2</sub>	-	Karbon dioksida
$C_s$	-	Indeks pengembangan
CS	-	Lempung berpasir
CR	-	Nisbah mampatan, $C_c / (1 + e_0)$
$c_v$	-	Kadar pengukuhan
D	-	Diameter zarah ( $\mu\text{m}$ )
D	-	Ketebalan lapisan tanah liat terkukuh biasa
D/Dm	-	Anjakan sisi pada kedalaman <i>z</i> / anjakan sisi maksimum
<i>e</i>	-	Nisbah lompong
EJ	-	Sejatan

$e_o$	-	Nisbah lompong asal
EP	-	Model Elastik Plastik
FEM	-	Kaedah unsur terhingga
$g$	-	Graviti ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )
$G$	-	Fungsi keupayaan plastik
GDS	-	Sistem Digital Geoteknik
$G_s$	-	Graviti tentu
$H$	-	Panjang dari leher bebuli ke senggatan $R_h$ (dalam mm)
$h$	-	panjang bebuli
$H_f$	-	Tinggi tambakan gagal
$H_R$	-	Kedalaman berkesan
$I$	-	Faktor pengaruh tegasan
$I_L$	-	Indeks kecairan
$I_p$	-	Indeks keplastikan
$j_1$	-	Pintasan pada paksi $H_R$
$j_2$	-	Kecerunan garis
$k$	-	Pekali kebolehtelapan
$L$	-	Panjang di antara sengatan 100 mL dan 1000mL silinder
LE	-	Model Linear Elastik
LL	-	Had Cecair
$M$	-	Kecerunan garisan keadaan genting di dalam satah $p$ - $q$
$m_1$	-	Jisim botol bersama penutup
$m_4$	-	Jisim botol bersama penutup dengan air suling pada suhu $25^\circ\text{C}$
MH	-	Kelodak tak organik, pasir halus, tanah berkelodak
ML	-	Kelodak tak organik, Pasir berkelodak, pasir berlempung, kelodak berlempung
$m_v$	-	Pekali kebolehmampatan isipadu
MC	-	Kandungan air / kandungan lembapan semulajadi
MCC	-	Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai
$N_{D_o}$	-	$D_s/D_m$ - Anjakan sisi pada permukaan / Anjakan sisi maksimum
$N$	-	Indeks iklim
$N$	-	Pantulan Schmidt

$N_z$	-	$z/Z_1$ - Kedalaman titik tertentu / Jumlah kedalaman profil anjakan sisi
$N_{Zm}$	-	$Z_m/Z_1$ - Kedalaman anjakan sisi maksimum / Keseluruhan kedalaman profil anjakan sisi
$O_2$	-	Oksigen
OCR	-	Nisbah terkukuh lebih
$p$	-	Tegasan normal purata berkesan, $1/3 * (\sigma'_1 + 2\sigma'_3)$
$p$	-	Tegasan berkesan
Pa	-	Hujan tahunan
PW	-	Peratus penguraian
$q$	-	Tegasan sisih, $(\sigma_1 - \sigma_3)$
$q$	-	Beban digunakan
$q_0$	-	Pintasan pada paksi $q$
$R$	-	Kadar enapan rayap (m)
$R^2$	-	Pekali penentuan
$R_h$	-	Bacaan hidrometer
RS	-	Tanah baki
$S$	-	Nisbah enapan dengan enapan jumlah
$s$	-	Tegasan berkesan
SC	-	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
SM	-	Pasir berkelodak, campuran pasir-kelodak
SPT	-	Ujian penusukan piawai
$S_r$	-	Kekuatan ricih diuli semula
$S_u$	-	Kekuatan ricih tak tersalir
$t$	-	Tegasan ricih
$u$	-	Anjakan-x pada tempat yang diberi
UU	-	Tak terkukuh tak tersalir
UW	-	Batu tak terluluhawa
$V$	-	Isipadu jumlah
$v$	-	Anjakan-y pada tempat yang diberi
$V_d$	-	Isipadu botol (ml)
$V_h$	-	Isipadu bebuli hidrometer
$V_w$	-	Isipadu air

$w$	-	kandungan air / kandungan lembapan semulajadi
$w_L$	-	Had cecair
$w_p$	-	Had plastik
$Y$	-	Anjakan sisi di sebarang kedalaman $z$
$Y$	-	Anjakan sisi ternormal
$\gamma_w$	-	Berat unit air
$Y_m$	-	Anjakan sisi maksimum
$Z$	-	$z/D$
$\{a\}$	-	Vektor lajur nod tokokan-x dan anjakan-y
$[B]$	-	Matriks terikan-anjakan
$[C]$	-	Matriks juzuk
$[C_e]$	-	Matriks elastik
$[C_p]$	-	Matriks plastik
$\{F\}$	-	Pertambahan daya kenaan nod
$\{F_b\}$	-	Pertambahan daya badan
$\{F_n\}$	-	Pertambahan beban nod tertumpu
$\{F_n\}$	-	Pertambahan daya nod tertumpu
$\{F_s\}$	-	Daya disebabkan tokokan tekanan sempadan permukaan
$[K]$	-	Matriks kekukuhan
$[M]$	-	Matriks massa
$\langle N \rangle$	-	Fungsi penentudalaman yang dinilai pada titik yang diberi
$\langle N \rangle$	-	Vektor baris fungsi penentudalaman
$\{Q\}$	-	Vektor fluks kenaan
$\{U\}$	-	Anjakan-x pada nod elemen
$\{V\}$	-	Anjakan-y pada nod elemen
$\Delta u$	-	Perubahan tekanan air liang
$\Delta \rho_{cr}$	-	Enapan rayap
$\Delta \sigma_v$	-	Perubahan tegasan tegak
$\phi$	-	Sudut geseran
$\phi'$	-	Sudut geseran berkesan
$\gamma$	-	Berat unit tanah
$\gamma_w$	-	Berat unit air

$\Gamma$	-	Isipadu tentu pada keadaan genting bila $p'$ adalah 1.0
$\kappa$	-	Cerun garisan pengukuhan lebih (pengampulan) isotropik
$\lambda$	-	Cerun garisan pengukuhan normal isotropik
$\eta$	-	Sudut garisan kegagalan
$\sigma$	-	Tegasan
$\sigma'_1$	-	Tekanan paksi berkesan
$\sigma'_3$	-	Tekanan sel berkesan
$\sigma_1$	-	Tekanan paksi
$\sigma_3$	-	Tekanan sel
$\sigma_n$	-	Tegasan normal
$\sigma'_{vo}$	-	Tegasan tegak berkesan asal
$\sigma'_p$	-	Tegasan prapengukuhan berkesan
$\sigma'_{vf}$	-	Tegasan tegak berkesan akhir
$\theta$	-	Sudut kecerunan garisan kegagalan
$\tau$	-	Kekuatan ricih
$\nu$	-	Isipadu elemen
$\nu$	-	Isipadu tentu
$\nu$	-	Nisbah Poisson
$\Theta$	-	Isipadu kandungan air
$\{\delta^*\}$	-	Anjakan sebenar
$\{\varepsilon^*\}$	-	Terikan sebenar
$\{\sigma\}$	-	Tegasan dalaman

**SENARAI LAMPIRAN**

<b>LAMPIRAN</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKA SURAT</b>
A	Kalibrasi Hidrometer	362
B	Kalibrasi Botol Pikhometer Kecil	363
C	Kalibrasi Tolok Dial	364
D	Calibration Report	365
E	Latar Belakang Perisian Sigma/W, Seep/W dan Slope/W	369
F	Prosedur Menjalankan Ujian Kekuatan Riche Tak Tersalir Menggunakan Perisian GDSLAB V2	391



## **BAB 1**

### **PENGENALAN**

#### **1.1 Pendahuluan**

Di Semenanjung Malaysia, tanah liat lembut biasanya dijumpai di sepanjang pantai barat iaitu di Johor, Melaka, Pelabuhan Klang, Alor Setar dan sebahagian di pantai timur seperti di Pelabuhan Kuantan dan beberapa kawasan di Terengganu. Kedalaman tanah liat di kawasan tersebut mencapai sehingga 40 meter.

Dengan pertumbuhan industrilisasi dan proses urbanisasi yang pesat, kebanyakan projek utama yang dirancang dan sedang dilaksanakan terletak di kawasan pantai Semenanjung Malaysia. Kawasan pantai ini terdiri daripada endapan tanah liat lanar yang berlaku pada era *Cenozooid* iaitu lebih kurang 1.5 juta tahun dahulu. Kawasan ini meliputi 20% daripada kawasan tanah di Semenanjung Malaysia (Aziz, 1993).

Cox (1968, 1970a) adalah di antara pengkaji awal yang mengkaji pembentukan tanah liat selain ciri-ciri kejuruteraan tanah liat secara menyeluruh di Asia Tenggara. Kebanyakan kajian awal yang dijalankan terhadap tanah liat di

Malaysia adalah lebih tertumpu di kawasan projek-projek pembinaan yang sedang dijalankan. Antaranya ialah Rancangan Pengairan Muda di bahagian utara Semenanjung Malaysia. Ledgerwood (1961) telah mengkaji geologi kawasan tersebut, Taylor dan James (1967) melaporkan dari aspek geoteknikal, manakala Howell (1970) pula menerangkan kaedah pembinaan bagi membina terusan dan empangan. Ledgerwood (1961) memperkenalkan adanya lapisan tanah liat pantai dan membezakannya kepada tanah liat lembut dan keras.

Kajian yang seterusnya lebih tertumpu terhadap ciri-ciri kejuruteraan dan kelakuan tanah liat. Ting & Chan (1971) telah mengkaji pemasangan cerucuk kayu dalam tanah liat lembut di kawasan Prai dan diikuti oleh Ting, *et al.* (1975) yang telah menganalisis kelakuan cerucuk di kawasan yang sama. Kedua-dua kajian tersebut melaporkan bahawa lebih kurang 6 m ketebalan lapisan pasir halus dan kasar memisahkan lapisan mendapan lembut di atas dan mendapan keras di bawah.

Ting & Ooi (1977) menjalankan kajian ciri-ciri kejuruteraan tanah liat pantai di empat lokasi yang berlainan. Salah satu aspek dalam kajiannya yang penting ialah beliau mendapati sensitiviti tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia adalah sederhana sensitif (1–2) dan sedikit jerlus (8–16).

Manakala bagi projek Lebuhraya Utara-Selatan, tambakan cubaan yang telah dibina di Muar dan di Kuala Perlis pada awal 1980-an yang melalui tanah liat lembut di sepanjang pantai barat Semenanjung Malaysia. Pihak Lembaga Lebuhraya Malaysia (LLM) telah membuat pengawalan terhadap beberapa kaedah pembaikan tanah yang dibina pada tambakan cubaan di Muar (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989).

Abdullah & Chandra (1987) melanjutkan kajian terhadap ciri-ciri kejuruteraan tanah liat termasuk di bahagian pantai timur Semenanjung Malaysia buat pertama kalinya. Beliau mendapati terdapat perbezaan kelakuan dan ciri-ciri

kejuruteraan tanah liat seperti agihan saiz zarah tanah antara dua bahagian di pantai barat dan pantai timur negara ini.

Kobayashi, *et al.* (1990) telah membandingkan tanah liat lembut marin di Singapura, Malaysia dan Indonesia. Beliau menyatakan kawasan tanah liat lembut adalah meluas di ketiga-tiga negara tersebut.

Aziz (1993) telah mengkaji secara umum ciri-ciri kejuruteraan tanah liat pantai di Semenanjung Malaysia termasuklah kajian mikrofabrik dengan menggunakan Mikroskop Elektron Pengimbas (SEM). Hussein (1995) pula menjalankan kajian terhadap tambakan cubaan di Kuala Perlis yang dibina untuk kajian kelakuan mendapan tanah liat lembut pantai di kawasan tersebut. Kajian terperinci di tapak tambakan cubaan dilakukan bersama ujikaji makmal yang dijalankan terhadap sampel tanah tak terganggu. Kerja instrumentasi juga dipasang untuk memperolehi kelakuan tanah di tambakan cubaan.

## **1.2 Definisi Tanah Liat Lembut**

Tanah liat digunakan sebagai istilah batuan dan juga sebagai istilah saiz zarah dalam analisis batuan mekanikal, batuan sedimen, tanah dan lain-lain lagi. Secara amnya, istilah tanah liat memberi erti suatu bahan yang semula jadi, ketahanan, dan berbutir halus yang menghasilkan sifat keplastikan bila dicampurkan dengan air. Keplastikan yang dimaksudkan ialah sifat bahan terlembap yang terancang bila dikenakan tekanan, dengan bentuk canggaan dikekalkan bila tekanan dilepaskan. Analisis kimia tanah liat menunjukkan bahawa bahan ini terdiri terutamanya adalah silika, alumina, air, dan kadangkala mengandungi besi dan alkali bumi.

Dalam bidang geoteknik, tanah liat juga dikenali sebagai lempung yang terdiri daripada saiz zarah yang paling kecil iaitu kurang daripada 2  $\mu\text{m}$ . Tanah liat terbentuk daripada proses luluhawa, kegiatan hidroterma atau dimendapkan sebagai satu sedimen. Menurut *The Unified Soil Classification System* (USCS), tanah liat adalah tanah berbutir halus yang mempunyai 50% berat yang melepasi ayak No. 200 mengikut piawaian US (0.074mm). Perbandingan perlu dilakukan antara zarah-zarah tanah liat dan agihan saiz tanah liat. Tanah liat mengandungi mineral tanah liat, biasanya dalam bentuk zarah berbentuk platlet mengikut saiz mikroskop ultra tetapi apabila berlaku pengagregatan, ianya mempunyai ukuran dalam mikron.

Di dalam istilah saiz zarah, bahagian yang dikatakan tanah liat ialah bahagian yang terdiri daripada saiz zarah yang paling kecil sekali. Saiz maksimum zarah di dalam gred saiz tanah liat ditakrifkan dengan berbeza mengikut bidang. Dalam bidang geologi, penggunaannya adalah menurut skala Wentworth dan gred tanah liat ditakrifkan sebagai bahan yang lebih kecil daripada 4 mikronmeter ( $\mu\text{m}$ ). Dalam kajian tanah 2  $\mu\text{m}$  digunakan sebagai had tertinggi gred saiz tanah liat.

Di dalam konteks ini, Jardine (1994) menegaskan bahawa tanah liat merupakan tanah tercampur yang relatifnya homogen di mana ia cenderung mempunyai kebolehtelapan yang rendah dan menunjukkan kelakuan mengecut (pada OCR rendah) apabila kandungan zarah tanah liat meningkat lebih 5%.

Perkataan 'lembut' merupakan istilah bagi kekonsistenan yang biasanya merujuk kepada magnitud kekuatan ricih taktersalir,  $c_u$  dan terletak pada julat 'sangat lembut' ke 'kukuh'. Sempadan bagi istilah ini adalah tidak tepat. Nilai  $c_u$  sangat dipengaruhi oleh gangguan semasa pensampelan dan juga semasa ujian dijalankan (kerana kesan kadar terikan, laluan tegasan jumlah, aras tegasan dan saluran separa upaya) (Jardine, 1994).

Terzaghi dan Peck (1967) mentakrifkan tanah sebagai ‘sangat lembut’ atau ‘lembut’ sekiranya kekuatan mampatan tak terkurung di dalam keadaan semulajadi adalah kurang 25 kPa atau antara 25 dan 50 kPa. Menurut BS 5930 (1981), tanah lembut berjelekit ditakrifkan sebagai tanah yang mempunyai kekuatan ricih tak tersalir 20 – 40 kPa. Flodin dan Broms (1981), mentakrifkan tanah liat lembut adalah tanah liat yang mempunyai kekuatan ricih tak tersalir kurang daripada 25 kPa. Manakala Brenner (1981) menggunakan istilah ‘lembut’ bagi tanah liat adalah kekuatan ricih tak tersalir kurang daripada 40 kPa yang diukur melalui ujian kekuatan mampatan tak terkurung.

Menurut Brand & Brenner (1981), tanah liat lembut ditakrifkan sebagai tanah yang mempunyai kekuatan mampatan tak terkurung antara 25 kPa hingga 50 kPa. Tanah liat merupakan satu bahan yang semulajadi yang berbutir halus yang menghasilkan sifat keplastikan bila dicampurkan dengan air. Keplastikan yang dimaksudkan ialah sifat bahan terlembap yang terancang bila dikenakan tekanan, dengan bentuk canggaan dikekalkan apabila tekanan dilepaskan.

Tanah liat lembut juga mempunyai kandungan lembapan yang tinggi iaitu melebihi 85%, kebolehmampatan dan sensitiviti yang tinggi serta mudah terganggu oleh aktiviti-aktiviti yang dijalankan di atas permukaannya. Analisis kimia yang dijalankan oleh beberapa pengkaji lepas seperti Grim (1959), Holtz & Kovacs (1981) dan Mitchell (1993) menunjukkan bahawa bahan ini terdiri daripada silika, alumina dan air, seringkali juga terdapat besi, alkali dan alkali bumi.

Kajian oleh Cox (1972), menunjukkan kebanyakan kawasan di Asia Tenggara mempunyai dataran tanah liat lembut seperti yang ditunjukkan di Rajah 1.1. Tanah liat di kawasan ini, terkenal dengan keplastikan yang tinggi di mana indeks keplastikan seringkali mencecah antara 80 – 100 dan ini memberikannya ciri-ciri yang sangat menarik (Bjerrum 1972, 1973). Kebanyakan kawasan pantai di Malaysia, Filipina, Taiwan dan Hong Kong dipenuhi tanah liat marin terkukuh biasa. Tanah liat ini biasanya sangat plastik, organik dan terkukuh biasa atau terkukuh lebih

ringan (OCR antara 1.0 dan 1.6) (Leroueil et al., 1990). Ini menyebabkan tanah berkekuatan ricih rendah dan seterusnya memberikan masalah terhadap kestabilan dan enapan dalam pembinaan tambakan (Eide dan Holmberg, 1972).

### **1.3 Kenyataan Masalah**

Peningkatan pembangunan ekonomi dan sosial telah membawa kepada peningkatan kerja-kerja pembinaan tambakan sejak tahun 1950an. Binaan tambakan ini penting dalam membina jalan bagi laluan motor, keretapi, kapal terbang dan sebagainya. Di Malaysia, pembinaan tambakan semakin berkembang dengan pembinaan Lebuh raya Utara Selatan melalui pantai barat Semenanjung Malaysia. Tambakan yang dibina ini telah melalui beberapa kawasan tanah liat lembut marin di Kedah, Perak, Selangor dan Johor seperti yang ditunjukkan di Rajah 1.1. Kawasan tanah liat lembut ini didapati ada yang mencapai kedalaman lebih 30m (Ting dan Ooi, 1977). Dalam keadaan demikian perhatian terhadap masalah enapan amat penting kerana ia mempengaruhi struktur turapan di atas tambakan tersebut. Peranan kekuatan ricih dan tekanan air liang lebihan juga penting dalam mengawal kestabilan keseluruhan struktur. Oleh itu Pemahaman berkaitan kelakuan tanah liat lembut di bawah tambakan amat penting dalam mengenalpasti kaedah pembinaan yang terbaik sesuai dengan kos dan masa yang efektif.

Pembinaan bangunan, jalanraya, jambatan, terusan pelabuhan dan jalan keretapi di atas tanah liat lembut seringkali menghadapi masalah kestabilan dan enapan. Kawasan yang pesat membangun ini kebanyakannya diliputi oleh tanah liat lembut yang sering menimbulkan masalah dalam pembinaan dan melibatkan kerosakan serta kerugian yang besar sekiranya tidak diatasi. Oleh itu, kefahaman terhadap sifat-sifat kejuruteraan tanah, mineralogi dan mikrofabrik serta kaitannya dengan tanah liat adalah kompleks dan perlu diberi perhatian oleh para pengkaji. Selain itu, terdapat beberapa kesukaran yang timbul terutamanya bagi menentukan

kadar enapan yang berlaku ke atas tanah liat lembut apabila dibebankan disebabkan oleh beberapa faktor seperti kandungan organik, mineral, air dan sebagainya.

Hasil daripada pembangunan yang pesat di Asia Tenggara terutamanya di Bangkok, Singapura, Jakarta, Surabaya dan bahagian pantai barat Semenanjung Malaysia, maka ramai pengkaji telah membuat kajian terhadap kelakuan dan sifat-sifat kejuruteraan tanah liat lembut di kawasan tersebut. Namun begitu, masih kekurangan kajian yang dibuat berkaitan dengan aspek mineralogi dan mikrostruktur yang merupakan faktor penting dalam mempengaruhi kelakuan tanah liat lembut. Di Malaysia, kajian dan data yang diperolehi terutamanya di kawasan pantai timur Semenanjung Malaysia adalah masih kurang. Oleh itu, beberapa lokasi di pantai timur dipilih dalam kajian ini bagi menerbitkan korelasi dan katalog ringkas yang berguna pada masa akan datang di kawasan tersebut.

#### **1.4 Matlamat Kajian**

Matlamat kajian ini adalah bertujuan untuk menyediakan maklumat mengenai kelakuan dan sifat-sifat kejuruteraan tanah liat lembut di beberapa kawasan di Semenanjung Malaysia serta mengkaji kelakuan tambakan di atas tanah lembut. Sehubungan itu, objektif spesifik kajian ialah seperti berikut:

- i) Menentukan ciri-ciri kejuruteraan, mineralogi dan mikrostruktur tanah liat lembut.
- ii) Menerbitkan korelasi di antara ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut untuk tujuan rekabentuk.
- iii) Menyediakan katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan, mineralogi dan mikrostruktur tanah liat lembut.

- iv) Mengkaji kelakuan tambakan di atas tanah lembut

## 1.5 Skop Kajian

Bagi Objektif Kajian (i), (ii) dan (iii), kajian ini dijalankan di kawasan tanah liat lembut di beberapa lokasi yang dipilih di Semenanjung Malaysia. Sampel-sampel yang diambil adalah dari tapak-tapak projek pembangunan yang dilaksanakan di kawasan tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia. Pensampelan tanah untuk kajian ini dicapai melalui penggerudian tanah untuk pensampelan tanah tidak mengganggu iaitu menggunakan tiub pensampel terbuka berdinding nipis. Pengambilan sampel ini dilakukan dengan kerjasama dari pihak Jabatan Kerja Raya (JKR) dan Kumpulan IKRAM Sdn. Bhd (KISB).

Ujian di tapak dan di makmal dijalankan bagi menentukan ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut di kawasan kajian. Ujian mineralogi dan komposisi kimia dijalankan menggunakan alat Pembelauan Sinar-X (XRD) dan Pendaflour Sinar-X (XRF). Bagi ujian mikrostruktur pula dijalankan menggunakan alat Mikroskop Elektron Pengimbas (SEM).

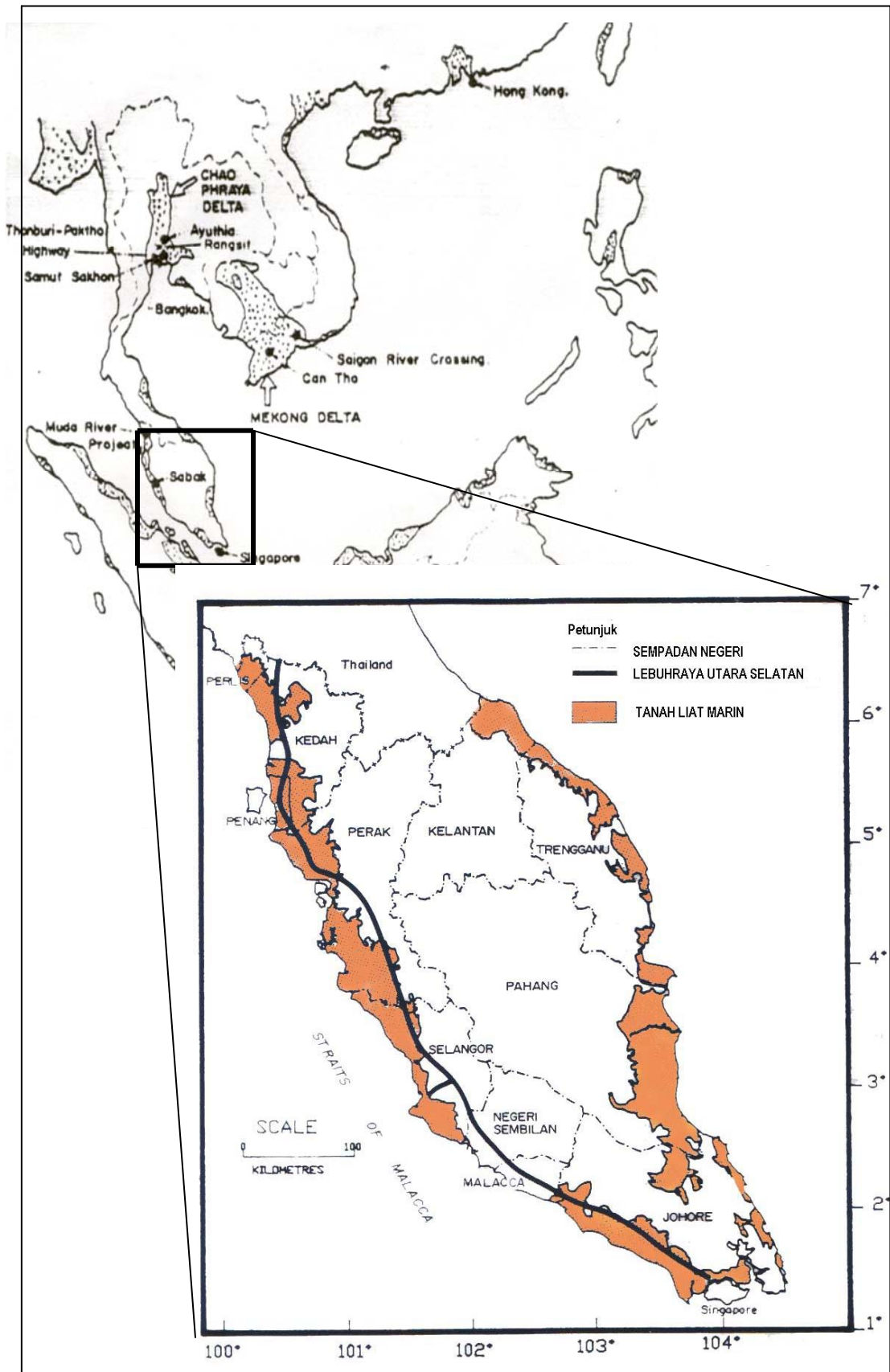
Di dalam mencapai objektif kajian (iv) pula, 5 lima jenis tambakan telah dipilih untuk tujuan pensampelan dan pengujian di-situ dan makmal. Manakala untuk analisis kajian tambakan, 3 jenis tambakan telah dipilih. Bagi tujuan pensampelan dan pengujian di-situ, 2 lubang jara telah dibuat di garisan tengah setiap tambakan terpilih di mana sampel-sampel di ambil pada 4 titik kedalaman bagi setiap lubang jara. Perincian bagi pemilihan sampel ini diterangkan di bab seterusnya.



Objektif utama pembinaan tambakan skim 3/5 adalah untuk menilai perlakuan tanah liat lembut dalam jangka pendek iaitu dari mula pembinaan sehingga tambakan gagal disebabkan pembebanan secara berterusan. Oleh itu, analisa simulasi yang dilakukan di dalam kajian ini hanya untuk jangka masa pendek berbanding analisa simulasi jenis tambakan yang lain.

## **1.6 Kepentingan Kajian**

Pengetahuan dan kefahaman yang mendalam terhadap kelakuan kejuruteraan adalah penting bagi mengatasi masalah yang sering berlaku dalam tanah liat lembut. Data yang diperolehi ini akan dianalisis dan boleh dibangunkan sebagai sebahagian pangkalan data tanah liat lembut di Malaysia. Ini adalah kerana kajian terhadap kelakuan dan sifat-sifat kejuruteraan tanah liat masih kurang terutama sekali di pantai timur. Hasil kajian ini boleh digunakan oleh jurutera-jurutera awam sebagai panduan berguna dalam projek-projek yang akan dilaksanakan di atas tanah liat lembut. Korelasi yang diterbitkan juga boleh digunakan untuk rekabentuk awalan terhadap struktur di atas atau di dalam tanah liat lembut.



**Rajah 1.1 : Tanah Liat Marin dan Sungai di Asia Tenggara dan Semenanjung Malaysia (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)**

## **BAB 2**

### **KAJIAN LITERATUR**

#### **2.1 Pengenalan**

Terdapat beberapa faktor penting yang mempengaruhi ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut. Oleh itu, bab ini membincangkan sejarah geologi seperti persekitaran dan pembentukan mendapan tanah liat lembut serta penggunaan pengetahuan sifat-sifat tanah lembut untuk mengkaji kelakuan tambakan di atas tanah lembut. Selain itu, ciri-ciri kejuruteraan, ciri-ciri kimia, mineralogi dan mikrostruktur tanah liat lembut dibincangkan dalam bab ini. Bab ini dibahagikan kepada tiga bahagian. Bahagian pertama membincangkan pembentukan tanah liat yang menekankan persekitaran mendapan tanah liat dan perubahan selepas pemendapan, aspek mineralogi dan fabrik. Bahagian kedua membincangkan ciri-ciri asas kejuruteraan tanah liat dan beberapa faktor penting yang mempengaruhi kelakuan tanah liat seperti pengaruh terhadap mineral tanah liat, kandungan air dan bahan organik. Kebolehmampatan dan ciri-ciri kekuatan ricih yang merupakan ciri-ciri utama dalam kejuruteraan geoteknik juga dibincangkan.

Bahagian ketiga pula menerangkan dengan ringkas tentang kelakuan tanah liat lembut, profil subtanah dan ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut di tapak

Tambakan Cubaan Muar selain kelakuan tanah liat lembut disebabkan pembebanan tambakan. Kajian literatur ini juga, mengandungi perbincangan dan perbandingan terhadap ramalan yang dibuat oleh penyelidik jemputan terhadap tambakan dibina untuk gagal (Skim 3/5). Ramalan-ramalan ini dibuat semasa simposium yang dianjurkan oleh Lembaga Lebuh raya Malaysia pada tahun 1989.

## **2.2 Pembentukan Asal dan Mineralogi Tanah Liat**

Tanah tropika biasanya terbentuk daripada proses luluhawa batuan induk dan pemecahan pelbagai mineral silika. Ianya kemudian diangkut oleh pelbagai agen pengangkutan seperti angin atau air dan seterusnya dimendapkan. Proses fizikal, kimia dan biologi terlibat dalam luluhawa yang bertindak memecahkan jisim batuan induk. Proses ini menyebabkan berlakunya hakisan dan zarah-zarah individu yang terasing dalam batuan diangkut, seterusnya termendap di kawasan tertentu untuk membentuk mendapan tanah (Aziz, 1993). Proses fizikal melibatkan pengurangan saiz zarah yang menambahkan luas permukaan dan isipadu pukal. Manakala proses kimia dan biologi menyebabkan perubahan yang lengkap terhadap tanah tersebut dari sifat fizikal dan kimia.

Proses genesis tanah liat ini ditunjukkan dalam Rajah 2.1. Dari rajah tersebut, dapat diperhatikan bahawa jenis batuan dan proses luluhawa menentukan mineralogi sesuatu tanah. Manakala pengangkutan hasil daripada luluhawa oleh agen-agen pengangkutan mempengaruhi bentuk dan agihan zarah tanah. Persekitaran mendapan pula mengawal susunan zarah di kawasan tersebut. Seterusnya, kelakuan kejuruteraan terhadap mendapan tanah adalah dikawal oleh beberapa faktor yang berbeza-beza dan sejarah geologi semasa mendapan.

Di kawasan tropika, kadar luluhawa kimia adalah cepat dan hasil akhir daripada proses ini berbeza berbanding dengan tanah di kawasan kering. Umumnya komposisi tanah tropika adalah tidak menentu dan kompleks. Zarah-zarah tanah liat dalam sedimen berasal daripada tiga sumber yang berbeza iaitu (Millot, 1978);

- i) *Inheritance* - penumpukan sebelum mineral tanah liat terbentuk tanpa pengubahsuaian struktur zarah.
- ii) *Transformation* - sebelum pembentukan zarah-zarah tanah liat berubah ia dikenali dengan penyahgredan iaitu pengurangan ion daripada mineral liat.
- iii) *Authigenesis* - pengagredan iaitu penambahan ion.

### 2.3 Persekitaran Mendapan Tanah Liat Lembut

Menurut Brand & Brenner (1981), persekitaran mendapan terhadap sesuatu tanah berlaku dalam tempoh yang panjang. Pada setiap persekitaran, bahantara pemendapan (seperti air tawar, marin dan sub udara), proses pemendapan sedimen (seperti sungai, pasang-surut dan ombak) dan lokasi pemendapan ( seperti de lta, dataran banjir, dataran pasang-surut) merupakan faktor yang penting dalam mencirikan bahan yang akan dimendapkan. Brand & Brenner (1981) dan Mitchell (1993) telah memberikan pandangan umum tentang persekitaran mendapan tanah. Jadual 2.1 menunjukkan kadar endapan untuk beberapa lokasi di seluruh dunia mengikut kelas masing-masing. Jadual ini jelas menunjukkan bahawa tanah liat delta mengalami kadar endapan yang tinggi berbanding tanah liat yang lain dengan kadar mencapai 30000 cm/tahun yang berlaku di Fraser, Australia. Menurut Hussein (1995), purata kadar endapan tanah liat di kawasan pantai barat Malaysia mencapai sehingga 100 cm/1000tahun.

### **2.3.1 Persekitaran Sungai**

Mendapan sedimen yang terbentuk oleh sungai dikenali sebagai lanar. Manakala endapan delta juga merupakan sebahagian daripada mendapan sungai. Di bahagian hilir sungai, mendapan lanar boleh mencapai kedalaman yang besar dan luas yang juga dikenali sebagai dataran lanar. Mendapan lanar terdiri daripada dataran banjir yang terhampar ketika berlakunya banjir (Kukal, 1971). Mendapan dataran banjir ini adalah berlapis dan berlamina dan kadang-kadang berselang-seli dengan pasir halus. Kitaran basah dan kering akibat daripada banjir ini akan membawa kepada perubahan selepas mendapan seperti pengontangan, pengluluhawaan dan rekahan pengecutan.

Kebanyakan mendapan sungai adalah bebutiran kasar. Walau bagaimanapun, mendapan yang berbutir halus juga menumpuk di dataran banjir dan agihan saiz zarah biasanya adalah seperti berikut; 5-10% pasir, 20-40% kelodak dan 35-60% tanah liat. Bahan organik adalah dalam julat 1 hingga 10% dan kebanyakan berasal dari gersik yang terenap dari ampaian bersama-sama zarah tanah liat (Brand & Brenner, 1981).

### **2.3.2 Persekitaran Delta**

Apabila sungai menuju ke laut, halaju arus akan menurun dengan cepat dan mengakibatkan sedimen yang dibawa oleh aliran sungai akan termendap di muara sungai untuk membentuk delta. Sedimen tersebut terbentuk di sempadan antara daratan dan persekitaran marin atau lagun yang dikenali sebagai delta. Delta terbentuk dari sungai-sungai yang besar dan aktif. Timbunan delta ini tersusun dalam keadaan yang tidak sekata seperti bahan-bahan yang kasar, bahan-bahan organik dan lain-lain. Delta terbentuk dengan pelbagai cara bergantung kepada bentuk geologi seperti perubahan cuaca, topografi tempatan, hidrografi dan keadaan hidrobiologi.

Wright (1978), membahagikan delta kepada sub udara dan sub air. Sub udara terdiri daripada dataran delta atas dan bawah. Manakala sub air pula adalah sebahagian daripada delta yang terhampar di bawah paras air-surut. Kawasan paya merupakan bahagian sub udara di delta di mana ianya terhasil dari formasi mendapan organik yang tinggi seperti tanah liat organik atau tanah gambut. Bahagian sub air terdiri daripada teluk cetek yang bergantung kepada paras air pasang.

Menurut Mitchell (1993), delta yang bergabung dengan dataran pantai yang besar biasanya merupakan kawasan mendapan utama bagi tanah liat lembut marin. Contohnya seperti delta rata di kawasan rendah di Asia Tenggara yang boleh dijumpai di sepanjang pantai dengan tenaga ombak yang rendah. Dataran delta yang utama terbentuk di muara sungai disebabkan oleh kawasan tadahan yang besar seperti delta Irradawaty, Chou Phraya, Mekong, Kelantan dan Sungai Pahang.

### **2.3.3 Tanah Liat Pantai dan Lagun**

Tanah liat lembut jenis pantai dan lagun banyak didapati pada sepanjang tepi pantai dan lagun. Ianya boleh terbentuk daripada endapan delta ataupun endapan marin, bergantung kepada topografi dan hidrologi tempatan. Menurut Hussein (1995), endapan pantai dipengaruhi oleh pasang-surut aras laut. Endapan jenis ini boleh dianggap masih baru dan berada di dalam keadaan tidak terkukuh sepenuhnya dan biasanya terbentuk di kawasan air masin yang kurang mengalami gangguan daripada faktor luaran seperti pada kawasan halangan pantai berpasir. Tanah liat pantai dan lagun boleh diperolehi dengan banyak di sepanjang pantai barat Afrika, di mana, ia mempunyai lapisan yang tebal dan lembut, serta wujud di tanah liat mengukuh.

## **2.4 Sejarah Pembentukan Mendapan Tanah Liat Lembut di Semenanjung Malaysia**

Semenanjung Malaysia terletak di kawasan yang stabil daripada pergerakan tektonik yang dikenali sebagai Dataran Sunda. Oleh itu, pengaruh utama dalam formasi endapan tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia adalah akibat daripada pergerakan tektonik yang stabil dan pasang-surut aras laut yang berlaku semasa zaman *Quaternary*. Perubahan aras laut ini disebabkan perubahan iklim dunia secara global sejak awal zaman *Pleistocene* (Tjia, 1987).

Menurut Mc Gown & Cook (1994), mendapan tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia adalah sebahagian daripada kumpulan tanah yang dikenali sebagai Luluhawa Pengangkutan dan Mendapan Semula. Ia terbentuk hasil daripada luluhawa kimia batuan induk yang diangkut oleh sungai dan termendap dalam pelbagai persekitaran sama ada dalam keadaan air tawar atau marin.

Kajian mengenai sejarah formasi endapan tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia memerlukan pengetahuan yang umum tentang geomorfologi, topografi dan iklim sesuatu kawasan. Aziz (1993) telah menghubungkan sejarah iklim pada zaman *Pleistocene* dengan perubahan aras laut di beberapa kawasan pantai barat Semenanjung Malaysia.

## **2.5 Profil Tanah Liat Lembut di Semenanjung Malaysia**

Tanah liat lembut biasanya terdapat di kawasan-kawasan berair seperti lombong, sungai dan pesisiran pantai. Abdullah & Chandra (1987) telah mendapati ketebalan tanah liat lembut berubah-ubah bergantung kepada kawasan seperti ditunjukkan dalam Jadual 2.2. Jadual tersebut menunjukkan strata tanah liat lembut



di pantai barat Semenanjung Malaysia merangkumi 5 – 35 m tebal manakala di pantai timur pula adalah merangkumi 3 – 20 m tebal lapisan tanah liat. Mereka juga mendapati bentuk profil tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.2.

Secara umumnya, tanah liat lembut ini merangkumi julat kedalaman yang tertentu dan dikelaskan sebagai tanah liat atas dan tanah liat bawah. Julat kedalaman bagi lapisan tanah liat atas dan bawah beberapa kawasan adalah seperti yang diberikan oleh Aziz (1993) dan ditunjukkan dalam Jadual 2.3. Menurut beliau, lapisan tanah liat bawah dan atas berlaku akibat daripada perubahan aras laut pada zaman *Pleistocene*. Perubahan tersebut menyebabkan wujudnya hamparan pasir nipis yang membahagikan antara lapisan tanah liat atas dan bawah tersebut. Manakala Balasubramaniam, *et al*, (1985) merumuskan tanah liat lembut umumnya berwarna kelabu cerah bersama serpihan-serpihan cengkerang hidupan laut. Pengelasan tanah liat oleh beliau ditunjukkan dalam Jadual 2.4.

Azmi & Taha (1990), telah mengelaskan tanah liat marin di Muar, Johor. Kawasan ini merupakan laluan lebuhraya Utara-Selatan yang melalui endapan dalam tanah liat lembut marin yang menghubungkan dataran sungai Muar. Kawasan ini mengandungi strata tanah marin dan bukan marin yang saling berlapis. Berdasarkan penyiasatan tapak, didapati profil tanah tersebut dikelaskan seperti berikut:

**a) Lapisan tanah liat terluluhawa**

Lapisan ini mempunyai kedalaman 2 m dari permukaan tanah dan terdiri daripada tanah liat kelodak berpasir dengan sedikit kelikir dikesan, bahan organik dan reputan akar atas tumbuhan. Kawasan ini diliputi oleh tumbuhan renek dan pokok nipah dalam kawasan berpaya. Paras air bawah tanah direkod berdasarkan penyiasatan yang dijalankan dalam bulan Oktober 1987 adalah 0.1 m di bawah paras tanah.

**b) Lapisan tanah liat lembut**

Di bawah lapisan tanah liat terluluhawa dan kedalaman sehingga 16 m di bawah permukaan paras bumi mengandungi tanah liat lembut marin berkeleodak yang lembut hingga sangat lembut. Serpihan cengkerang laut, bahan organik dan kadang-kadang terdapat keleodak berpasir membuktikan bahawa proses pemendapan berlaku di Sungai Muar. Pada bahagian atas lapisan iaitu pada kedalaman antara 3 m hingga 4 m terdapat beberapa tompok berwarna coklat kemerahan dalam tanah liat di mana ia mungkin berlaku akibat proses pengoksidaan.

**c) Lapisan pasir sederhana padat dan padat**

Di bawah lapisan tanah liat lembut marin adalah lapisan pasir sederhana padat yang mempunyai kekuatan tanah yang tinggi dan boleh ubah bentuk yang rendah. Sebahagian gambut dikesan pada kedalaman 17 m di bawah paras bumi diikuti dengan tanah liat berkeleodak terkukuh berwarna coklat gelap dan pasir berkeleodak.

**2.6 Ciri-ciri Indeks Tanah Liat Lembut di Semenanjung Malaysia**

Sejarah geologi mampu menukarkan ciri-ciri geoteknik bagi tanah liat terkukuh biasa. Oleh sebab itu, pengelasannya adalah berdasarkan keadaan sejarah geologi. Antara ciri-ciri indeks tanah yang terlibat adalah kandungan lembapan, taburan saiz zarah, berat unit, graviti tentu dan had Atterberg. Jadual 2.5 menunjukkan klasifikasi tanah liat lembut yang diberikan oleh Brand & Brenner (1981). Mereka membahagikan tanah liat lembut kepada dua iaitu tanah liat yang terdedah kepada cuaca dan tanah liat tak terdedah kepada cuaca dengan beberapa sifat tertentu seperti kandungan lembapan, kadar ricihan dan kebolehmampatan.

### 2.6.1 Kandungan Lembapan Semulajadi

Kandungan air memainkan peranan penting dalam menentukan kelakuan tanah. Ciri-ciri geoteknik yang penting dalam tanah liat lembut adalah mempunyai kandungan lembapan semulajadi yang sangat tinggi iaitu menghampiri dan kadangkala melebihi had cecair. Menurut Azmi & Taha (1990) kandungan lembapan tanah liat marin di Muar mencapai sehingga 120% dan melebihi 5 – 10% had cecair. Cox (1968) melaporkan bahawa kandungan lembapan semulajadi tanah liat lembut di Asia Tenggara adalah dalam julat 50% - 100% manakala bagi tanah liat yang berorganik tinggi mempunyai julat dari 100% - 150%.

Jadual 2.6 menunjukkan ciri-ciri pengelasan tanah liat lembut oleh beberapa pengkaji di Semenanjung Malaysia. Didapati kandungan lembapan semulajadi, di pantai barat adalah berbagai-bagai dari 12 -175% dan bagi pantai timur ialah 21 - 107%. Kandungan lembapan semulajadi maksimum di pantai barat adalah lebih tinggi daripada pantai timur disebabkan peratus kandungan tanah liat yang tinggi didapati untuk kawasan pantai barat. Manakala kawasan di pantai timur mempunyai kandungan lembapan yang rendah kerana kandungan pasir yang agak tinggi di kawasan tersebut. Kandungan pasir yang tinggi tidak dapat menakung air yang banyak disebabkan kebolehtelapan pasir yang tinggi. Ini berbeza dengan keadaan zarah-zarah tanah liat yang mempunyai luas permukaan yang tinggi yang berupaya memerangkap air dalam tanah.

Jadual 2.7 pula menunjukkan julat kandungan lembapan semulajadi yang dijalankan oleh Ting & Ooi (1977) di beberapa kawasan di Semenanjung Malaysia. Menurut Nash, *et al.* (1990), kajian tanah liat di Bothkennar, London menunjukkan kandungan lembapan adalah semakin bertambah dari permukaan tanah dan kemudiannya berkurangan apabila kedalaman semakin bertambah. Ini disebabkan kandungan lembapan di permukaan tanah dipengaruhi oleh pengeringan manakala semakin dalam tanah, zarah-zarah tanah adalah lebih kasar. Kajian yang dijalankan oleh Hussein (1995) menunjukkan nilai kandungan lembapan semulajadi dengan

kedalaman di Semenanjung Malaysia adalah berselerak dan tiada hubungan dengan kedalaman dapat diwujudkan seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.3.

Kandungan organik juga mempengaruhi kandungan lembapan semulajadi. Kajian yang dilakukan oleh Hussein (1995) menunjukkan kandungan lembapan meningkat sedikit dengan peningkatan kandungan organik seperti dalam Rajah 2.4, namun tiada korelasi yang dapat diwujudkan. Walau bagaimanapun, hubungan kandungan lembapan semulajadi dengan kandungan organik telah dapat diwujudkan oleh Coutinho & Lacerda (1987) di kawasan tanah liat lembut di Brazil . Persamaan bagi kedua-dua hubungan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.5 adalah seperti berikut:

$$w = 5.91(\% \text{ organik}) + 15.2 \quad (2.1)$$

dengan,

$$w = \text{kandungan lembapan semulajadi } (\%)$$

### 2.6.2 Taburan Saiz Zarah

Tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia, biasanya adalah campuran lempung dan kelodak dengan sedikit pasir. Tanah yang bersaiz kasar (kerikil dan pasir) dapat dipisahkan dengan analisis ayakan manakala tanah yang bersaiz kecil (kelodak dan tanah liat) dapat dipisahkan dengan analisis pengendapan. Analisis ayakan boleh dilakukan sama ada dengan menggunakan ayakan basah atau kering. Seterusnya, bahagian tanah yang melepasi ayak 63  $\mu\text{m}$  di ambil untuk dilakukan analisis pengendapan.

Peratusan kandungan zarah-zarah tanah yang dilakukan oleh pengkaji-pengkaji lepas di kawasan tanah liat lembut adalah berbagai-bagai. Menurut Ramli, *et al.* (1994), kandungan lempung adalah berbagai-bagai iaitu di antara 50% dan

60% dengan selebihnya adalah kelodak. Manakala kandungan pasir biasanya adalah bebutir halus dan kurang dari 5%. Selain itu, Cox (1970a) merumuskan peratusan kandungan lempung di Asia Tenggara adalah di antara 30% hingga 60%, peratusan kelodak adalah dari 40% hingga 60% dan peratusan pasir adalah kurang dari 10%.

Daripada Jadual 2.8, Abdullah & Chandra (1987) telah merumuskan taburan saiz zarah di pantai barat Semenanjung Malaysia adalah di antara 15 – 55% lempung, 38 – 70% kelodak dan 7 – 16% pasir di pantai barat manakala pantai timur adalah di antara 31 – 56% lempung, 16 – 49% kelodak dan 6 – 28% pasir. Walau bagaimanapun, beliau menyatakan hubungan taburan saiz zarah dengan kedalaman menunjukkan julat yang besar dan berselerak. Pada umumnya kandungan pasir agak tinggi di pantai timur berbanding dengan pantai barat seperti yang ditunjukkan oleh Abdullah & Chandra (1987) dalam Jadual 2.8.

### 2.6.3 Berat Unit dan Graviti Tentu

Berat unit ialah nisbah antara jumlah berat sampel dibandingkan dengan isipadu sampel. Menurut Ramli, *et al.* (1994), berat unit tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia adalah berbagai-bagai dari 13 kN/m<sup>3</sup> hingga 16.5 kN/m<sup>3</sup>. Beliau menyatakan berat unit cenderung untuk meningkat dengan kedalaman seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.6. Didapati daripada rajah tersebut, berat unit tanah liat lembut pada kedalaman yang hampir dengan permukaan kerak bumi menunjukkan nilai yang tinggi iaitu di antara 16.5 kN/m<sup>3</sup> hingga 19.5 kN/m<sup>3</sup>. Namun kajian yang dilakukan oleh Hussein (1995) menyatakan hubungan berat unit dengan kedalaman di Semenanjung Malaysia adalah tetap secara relatifnya dan mempunyai nilai purata 14.5 kN/m<sup>3</sup>.

Kajian yang dilakukan oleh Abdullah & Chandra (1987) menunjukkan berat unit tanah liat lembut di pantai timur Semenanjung Malaysia adalah tinggi iaitu dari

16.3 kN/m<sup>3</sup> hingga 17.1 kN/m<sup>3</sup> berbanding dengan pantai barat iaitu dari 14.6 kN/m<sup>3</sup> hingga 15.7 kN/m<sup>3</sup>. Nilai purata berat unit di pantai barat adalah 15 kN/m<sup>3</sup> dan bagi pantai timur adalah 16.7 kN/m<sup>3</sup>. Aziz (1993) pula menyatakan berat unit tanah liat lembut di pantai barat Semenanjung Malaysia adalah dalam julat 12 kN/m<sup>3</sup> hingga 18 kN/m<sup>3</sup> dan hubungannya dengan kandungan lembapan semulajadi adalah meningkat seperti dalam Rajah 2.7.

Graviti tentu tanah ( $G_s$ ) ialah nisbah berat atau jisim zarah tanah itu berbanding dengan berat atau jisim air pada isipadu yang sama. Perbezaan zarah mineral yang berbeza dalam tanah mewujudkan nilai  $G_s$  yang berlainan. Oleh itu,  $G_s$  mewakili nilai purata bagi zarah. Lazimnya, nilai purata  $G_s$  bagi tanah liat adalah 2.75. Menurut Mohd Fairus (2003), penentuan graviti tentu merupakan parameter yang berguna bagi pengiraan nisbah lompang, keliangan dan darjah ketepuan sesuatu tanah. Disamping itu, ia juga penting dalam pengiraan pemadatan, pengukuhan, kebolehtelapan, pengecutan dan taburan saiz zarah menggunakan kaedah pegenapan.

Bagi beberapa kawasan pantai barat dan pantai timur Semenanjung Malaysia, melalui data yang diperolehi oleh beberapa pengkaji seperti dalam Jadual 2.9 menunjukkan nilai julat graviti tentu zarah adalah antara 2.35 – 2.80. Kajian yang di lakukan oleh Ramli, *et al.* (1994) menunjukkan graviti tentu tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia adalah berubah-ubah dan dipengaruhi oleh komposisi tanah liat lembut tersebut. Nilai yang diperolehi oleh beliau adalah dalam julat 2.35 hingga 2.75 dan nilai puratanya adalah 2.55. Abdullah & Chandra (1987) mendapati graviti tentu di kedua-dua pantai di Semenanjung Malaysia adalah tetap dengan kedalaman. Walau bagaimanapun, nilai graviti tentu di pantai timur adalah lebih rendah iaitu dalam julat 2.50 – 2.57 dibandingkan dengan pantai barat yang mempunyai julat di antara 2.53 – 2.60. Nilai purata  $G_s$  yang diperolehi bagi kedua-dua pantai barat dan timur Semenanjung Malaysia adalah 2.53. Nilai ini adalah rendah jika dibandingkan dengan nilai graviti tentu di kawasan lain di Asia Tenggara. Ini disebabkan oleh tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia yang mempunyai kandungan organik yang tinggi.

#### 2.6.4 Had Atterberg

Faktor-faktor yang memainkan peranan penting dalam menentukan kelakuan tanah liat lembut adalah zarah-zarah yang halus, kandungan mineral dan kandungan air. Tanah liat lembut boleh berada dalam keadaan cecair, plastik, separuh pepejal dan pepejal. Had-had kandungan air dikenali sebagai had Atterberg dan ditakrifkan seperti dalam Jadual 2.10.

Berdasarkan carta keplastikan, kedudukan pelotan samada di bawah atau di atas garisan-A merupakan ciri-ciri penting dalam pengelasan tanah. Oleh itu, persamaan garisan-A ( $I_p = 0.73(w_L - 20)$ ) adalah diterima secara antarabangsa bagi memisahkan sempadan antara tanah liat (C) dan kelodak (M).

Kajian yang dilakukan oleh Hussein (1995) mendapati had cecair tanah liat lembut di pantai barat Semenanjung Malaysia adalah di antara 40 – 125% dan had plastik adalah di antara 10 – 40% manakala tiada data diberikan di pantai timur apabila dirujuk dalam Jadual 2.6. Menurut Hussein (1995), data yang diperolehi dari kebanyakan kawasan di Semenanjung Malaysia biasanya terpelot di atas garisan-A seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.8. Didapati daripada rajah tersebut, tanah liat bagi kawasan kajiannya dapat dikelaskan antara keplastikan rendah hingga tersangat tinggi dan persamaan yang dicadangkannya bagi tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia adalah  $I_p = 0.7(w_L - 6)$ . Hussein (1995) juga menyatakan bahawa peratus had cecair berkurangan dengan kedalaman tetapi had plastik adalah tetap mengikut kedalaman seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.9. Walau bagaimanapun tiada persamaan korelasi dan hubungan yang dapat diwujudkan mengenai perkaitan ini.

Aziz (1993) mendapati nilai keplastikan tanah liat lembut kajiannya adalah berada di atas dan sejajar dengan garisan-A. Beliau merumuskan tanah liat tersebut adalah antara berkeplastikan sederhana hingga tersangat tinggi. Namun, tiada

persamaan cadangan diwujudkan dalam kajiannya. Kajian yang dilakukan oleh Aziz (1993) juga menunjukkan keplastikan tanah pada bahagian lapisan atas tanah liat adalah tinggi berbanding di bahagian lapisan bawah tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia. Ini akibat daripada perubahan terhadap mineral lempung dan bukan lempung adalah berdarjah rendah di bahagian lapisan atas tanah liat.

Ramli, *et al.* (1994) membuat kajian tanah liat di sepanjang Lebuh raya Utara-Selatan, Semenanjung Malaysia dan mendapati kebanyakan tanah liat kawasan kajian adalah dari keplastikan tinggi hingga tersangat tinggi. Keputusan yang diperolehi juga berada di atas garisan-A dan hanya sedikit terpelot di bawah garisan-A. Namun kajian yang dilakukan oleh Abdullah & Chandra (1987) di kawasan kajian yang sama iaitu di sepanjang Lebuh raya Utara-Selatan mendapati majoriti tanah liat terpelot di bawah garisan-A dan persamaan yang diperolehi adalah  $I_p = 0.64 (w_L - 8.8)$ . Menurutnya lagi, keputusan yang sebaliknya diperolehi oleh mereka berkemungkinan disebabkan oleh kesan kandungan organik atau kaedah penyediaan sampel yang dijalankan.

Menurut Balasubramaniam, *et al.* (1985), indeks kecairan ( $I_L$ ) untuk tanah berzarah halus boleh dijadikan petunjuk terhadap nilai sensitiviti dan kekonsistenan. Manakala, bagi tanah berkeplastikan tinggi, nilai  $I_L$  menggambarkan sejarah tegasan tanah tersebut. Julat  $I_L$  adalah dari 0.1 – 2.1 bagi pantai barat tetapi tiada data yang sesuai di pantai timur. Nilai purata indeks  $I_L$  umumnya berkurangan mengikut kedalaman. Menurut Cox (1970b), nilai  $I_L$  berkurangan dengan kedalaman disebabkan oleh pengukuhan sekunder dan pengluluhawaan yang berlaku terhadap mineral lempung.

Aktiviti (A) ditakrifkan sebagai hubungan antara indeks keplastikan dan peratus lempung. Aktiviti merupakan petunjuk kepada mineralogi lempung sesuatu tanah di mana ia dapat menentukan jenis mineral lempung yang hadir dalam tanah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.11. Head (1992) telah memberikan pengelasan julat aktiviti seperti ditunjukkan dalam Jadual 2.12. Apabila nilai aktiviti



bertambah, kemungkinan sifat-sifat kejuruteraan tanah dipengaruhi oleh kandungan lempung adalah tinggi. Kajian yang dilakukan oleh Ramli, *et al.* (1994) menunjukkan tanah liat lembut di pantai timur mempunyai nilai purata aktiviti 0.75 dan boleh dipertimbangkan sebagai tanah liat “tak aktif”. Manakala nilai aktiviti di pantai barat adalah dari 1.5 – 1.8 dan dapat dikelaskan sebagai tanah liat “aktif”. Menurut Aziz (1993), tanah liat yang mengandungi mineral major kaolinit mempunyai nilai aktiviti yang rendah. Tanah liat yang mengandungi mineral major illit mempunyai aktiviti normal manakala bagi tanah liat yang mengandungi mineral major montmorilonit mempunyai nilai aktiviti tinggi.

### **2.6.5 Kekonsistenan dan Sensitiviti**

Kekonsistenan tanah liat dan tanah yang berjelekit biasanya dikelaskan sebagai lembut, sederhana lembut, keras atau sangat keras. Kekonsistenan diukur daripada kekuatan mampatan tak terkurung atau kekuatan ricih tak tersalir. Pengelasan kekonsistenan tanah yang bergantung kepada kekuatan mampatan tak terkurung telah diberikan oleh Terzaghi, *et al.* (1996) dalam Jadual 2.13. Manakala BS 5930 (1981) mengelaskannya mengikut kekuatan ricih tak tersalir seperti dalam Jadual 2.14.

Menurut Brand & Brenner (1981), sensitiviti ( $S_i$ ) didefinisikan sebagai nisbah kekuatan ricih tak terganggu kepada kekuatan ricih yang diacu semula. Sensitiviti menunjukkan kesan pengacuan terhadap kekonsistenan tanah liat tanpa melibatkan perubahan sifat fizikal tanah. Darjah sensitiviti berbeza antara tanah liat yang berlainan dan mungkin berbeza bagi tanah liat yang sama tetapi berlainan kandungan lembapan.

Nilai sensitiviti bagi kebanyakan tanah liat terkukuh biasa adalah antara julat 2 – 4. Untuk tanah liat yang sensitif julatnya antara 4 – 8 manakala tanah liat yang

lebih sensitif, nilai sensitiviti melebihi 8. Nilai-nilai sensitiviti diklasifikasikan seperti dalam Jadual 2.15.

Sensitiviti tanah liat dipengaruhi oleh beberapa faktor iaitu minerologi, agihan saiz zarah, tiksotropi dan kestabilan struktur mikro. Walau bagaimanapun, ilustrasi yang dikeluarkan oleh Quigley (1979) tentang faktor yang memberi kesan terhadap sensitiviti seperti dalam Jadual 2.16 adalah sesuai digunakan.

## 2.7 Ciri-ciri Pengukuhan Tanah Liat Lembut di Semenanjung Malaysia

Kajian yang dijalankan oleh Hussein (1995) mendapati nilai indeks mampatan ( $C_c$ ) bagi tanah liat lembut adalah dari julat 0.35 - 3.2 di pantai barat manakala bagi pantai timur adalah dari 0.02 - 1.2 seperti dalam Jadual 2.17. Menurut Hussein (1995), indeks mampatan menunjukkan kecenderungan untuk meningkat dengan kandungan organik, nisbah lompong, had cecair dan kandungan lembapan.

Kenyataan ini juga sama dengan yang diberikan oleh Aziz (1993), dimana beliau mewujudkan persamaan korelasi indeks mampatan dengan kandungan lembapan dan had cecair di bawah seperti yang diperolehi dalam Rajah 2.10;

$$C_c = 0.025 (w - 32) \quad (2.2)$$

$$C_c = 0.023 (w_L - 32) \quad (2.3)$$

Bagi tujuan rekabentuk, biasanya indeks mampatan ternormal ( $C_c / 1 + e_o$ ) atau nisbah mampatan (CR) diambil kira. Oleh yang demikian, Aziz (1993) juga telah mewujudkan persamaan korelasi indeks mampatan ternormal dengan kandungan lembapan dan had cecair seperti diperolehi dalam Rajah 2.11.;

$$C_c/1+e_o = 0.004 (w - 12) \quad (2.4)$$

$$C_c/1+e_o = 0.006 (w_L - 17) \quad (2.5)$$

Aziz (1993) juga menjelaskan, umumnya, tanah liat lembut di pantai timur adalah lebih berpasir. Kebolehmampatan yang rendah di sesuatu kawasan dipengaruhi oleh kandungan pasir yang tinggi. Pelbagai persamaan korelasi yang telah dicadangkan oleh pengkaji-pengkaji di seluruh dunia seperti dalam Jadual 2.18 menggunakan indeks mampatan atau nisbah mampatan dengan parameter-parameter tanah.

Kadar pengukuhan primer ditentukan oleh pekali pengukuhan ( $c_v$ ). Pelbagai kaedah boleh digunakan bagi mengira nilai pekali pengukuhan antaranya ialah kaedah Punca Kuasa Dua Masa Taylor dan kaedah Log Masa Casagrande. Kebiasaannya, nilai  $c_v$  yang diperolehi daripada Kaedah Taylor bagi tanah liat terkukuh biasa adalah 1.5 kali hingga 2.5 kali lebih besar daripada nilai yang diperolehi oleh kaedah Casagrande seperti yang dinyatakan oleh Balasubramaniam & Brenner (1981). Berdasarkan Jadual 2.17, nilai  $c_v$  tanah liat lembut di pantai barat adalah dalam julat  $0.1 \text{ m}^2/\text{tahun}$  hingga  $14.7 \text{ m}^2/\text{tahun}$ . Manakala, tiada data yang sesuai diperolehi di pantai timur. Hussein (1995) menyatakan nilai  $c_v$  tegasan tegak di-situ yang diperolehinya menunjukkan julat yang besar dan berselarak serta tiada hubungan yang nyata dengan kedalaman. Walau bagaimanapun, Ting & Ooi (1977) merumuskan nilai  $c_v$  adalah meningkat dengan kedalaman yang berhampiran dengan permukaan tanah.

Kajian yang dijalankan oleh Ramli, *et al.* (1994) menunjukkan nilai  $c_v$  bagi tanah liat lembut adalah rendah dan biasanya berjulat di antara  $0.2 \text{ m}^2/\text{tahun}$  dan  $1.3 \text{ m}^2/\text{tahun}$ . Biasanya, nilai  $c_v$  yang tinggi berlaku dalam lapisan terkukuh lebih dan lapisan permukaan atas iaitu boleh mencapai sehingga  $10 \text{ m}^2/\text{tahun}$ . Kobayashi, *et al.* (1990) melaporkan tentang analisis semula enapan di Malaysia seperti yang dilakukannya di Sungai Prai, memberi nilai  $c_v$  antara 30 hingga  $40 \text{ m}^2/\text{tahun}$ . Nilai

yang tinggi menurut beliau adalah disebabkan oleh terdapatnya lapisan pasir pada lapisan tanah liat tersebut.

Pekali kebolehmampatan isipadu ( $m_v$ ) merupakan antara parameter lain yang boleh membantu untuk memahami kebolehmampatan tanah liat lembut. Nilai  $m_v$  digunakan untuk mengira enapan tanah liat. Sepertimana dengan  $C_c$ , penentuan  $m_v$  adalah spesifik dan bergantung kepada persekitaran mendapan tanah liat serta sejarah geologinya (Ramli, *et al.*, 1994). Jadual 2.19 menunjukkan pengelasan pekali kebolehmampatan isipadu tanah yang dikelaskan oleh Head (1992). Menurut Hussein (1995), nilai  $m_v$  yang diperolehinya di tambakan Kuala Perlis adalah tetap pada 10 meter di bawah aras laut dan berjulat antara 0.5 – 6.0  $m^2/MN$ . Manakala pada kedalaman 10 hingga 15 meter di bawah aras laut nilai  $m_v$  berkurangan sedikit iaitu di antara 1 – 2  $m^2/MN$ .

Salah satu objektif ujian pengukuhan dijalankan adalah untuk mengira tekanan pra pengukuhan maksima ( $P_c$ ) yang berlaku pada tanah tanpa menyebabkan enapan yang besar. Tekanan pra pengukuham adalah beban maksima dalam keadaan semulajadi yang pernah berlaku pada masa lepas di sepanjang sejarah geologi tanah tersebut. Kajian yang dijalankan oleh Hussein (1995) menunjukkan nilai  $P_c$  adalah meningkat mengikut kedalaman dan nilai yang diperolehinya adalah berjulat di antara 20 kPa hingga 250 kPa. Selain itu kajian yang dijalankan oleh pengkaji lain di Semenanjung Malaysia seperti Azmi & Taha (1990) dan Ting, *et al.* (1988) juga menunjukkan peningkatan nilai  $P_c$  dengan kedalaman.

Nisbah pengukuhan lebih (OCR) di pantai barat adalah dari julat 0.4 – 6.5 tetapi tiada data di pantai timur. Umumnya, nisbah pengukuhan lebih berkurangan mengikut kedalaman seperti yang dinyatakan oleh Hussein (1995). Manakala nisbah lompong asal ( $e_0$ ) di pantai barat ialah dalam julat 0.6 - 4.1 dan tiada data diperolehi bagi tanah liat lembut di pantai timur.

## 2.8 Ciri-ciri Kekuatan Ricih Tanah Liat Lembut di Semenanjung Malaysia

Tuma (1973) telah mentakrifkan kekuatan sistem tanah sebagai keupayaan muktamad untuk membawa, menanggung atau menahan tekanan yang disebabkan oleh beban yang dikenakan, termasuk tekanan hidrostatik dan sebagainya. Bujang, *et al.* (1991) menjelaskan bahawa kekuatan ini wujud hasil daripada geseran antara zarah-zarah tanah dan rekatan/jelekitan antara zarah bagi tanah berjelekit. Kebanyakan kajian asas tentang ciri-ciri tanah liat lembut seperti sifat fizik-kimia, kemantapan, deformasi, kekuatan ricih dan kebolehtelapan boleh digunakan untuk tanah yang lain. Oleh sebab itu, penerangan untuk tanah ini secara relatifnya adalah agak umum. Menurut Parry & Wroth (1981), kekuatan ricih tak tersalir tanah liat lembut bukanlah suatu ciri bahan yang unik tetapi bergantung kepada banyak faktor iaitu;

- Orientasi satah tegasan ricihan maksima (mengambil kira isotropi tanah liat),
- Kadar pembebanan,
- Saiz contoh tanah liat yang terlibat dalam ujikaji, dan
- Jenis ujikaji dan peralatan yang digunakan untuk penilaian.

Kesemua faktor di atas adalah berhubungkait dan tidak dapat digunakan secara individu untuk menentukan bagaimana faktor tersebut dapat memberi kesan terhadap kekuatan ricih tak tersalir. Menurut Lambe & Whitman (1979) pula, kekuatan ricih tak tersalir bertambah dengan;

- Berkurangnya kandungan air,
- Bertambahnya tegasan pengukuhan, dan
- Bertambahnya tegasan pra pengukuhan.

Menzies & Simons (1977) menjelaskan bahawa ujian kekuatan ricih tak tersalir membolehkan kekuatan ricih tak tersalir,  $c_u$  ditentukan, dan ia boleh digunakan untuk menilai kekuatan ricih secara tidak langsung sekiranya air liang telah dinilai, iaitu dengan memperolehi  $c'$  dan  $\tan \phi'$ . Ia kemudiannya dapat menganalisis kestabilan pembebanan tanah untuk suatu benteng dengan menggunakan :

- i. Kekuatan ricih tak tersalir dalam analisis tegasan jumlah; atau
- ii. Parameter-parameter kekuatan ricih tegasan berkesan,  $c'$  dan  $\tan \phi'$ , di dalam analisis tegasan berkesan.

Menurut Craig (1993), pada amnya, kekuatan ricih tak tersalir tanah liat terkukuh biasa berkadar terus dengan pertambahan tegasan tegak berkesan ( $\sigma'_v$ ). Jika aras air bumi terletak di bawah permukaan tanah liat, kekuatan ricih tak tersalir di antara permukaan tanah dengan aras air bumi adalah lebih besar daripada kekuatan ricih tak tersalir tanah di bawah aras air bumi kerana terjadinya pengeringan tanah liat. Berpandukan BS 8004 (1986), tanah liat boleh dikelaskan mengikut kekuatan ricih tak tersalir seperti dalam Jadual 2.20. BS 5930 (1981) juga mengelaskan tanah liat lembut dengan kekuatan ricih tak tersalir seperti dalam Jadual 2.14. Untuk memperolehi kekuatan ricih tak tersalir, Lambe & Whitman (1979) telah menyenaraikan beberapa kaedah umum berserta komen untuk setiap kaedah yang ditunjukkan dalam Jadual 2.21.

Nilai kejelekitan berkesan ( $c'$ ) dari ujian kekuatan ricih terkukuh tak tersalir (CIU) bagi sampel tak terganggu daripada beberapa pengkaji di Malaysia yang dilihat dalam Jadual 2.22 adalah dalam julat 4 – 34.5 kPa di pantai barat dan 5.3 – 12 kPa di pantai timur. Manakala sudut geseran dalam berkesan ( $\phi'$ ) adalah dari julat  $8^\circ$  -  $27^\circ$  di pantai barat dan  $24^\circ$  -  $38^\circ$  di pantai timur. Kajian yang telah dijalankan oleh Balasubramaniam, *et al.* (1985) pula memberi beberapa nilai  $c'$  dan  $\phi'$  bagi tanah liat Bangkok iaitu masing-masing antara 0 - 15 kPa dan  $16^\circ$  -  $30^\circ$  manakala tanah liat Singapura adalah antara 5 - 14 kPa dan  $18^\circ$  -  $29^\circ$ .

Nilai kekekatan ( $c_{cu}$ ) bagi ujian kekuatan ricih terkukuh tak tersalir (CIU) yang diperolehi dari Jadual 2.23 berjulat 2.3 – 17 kPa di pantai barat dan 5.3 – 32.7 kPa di pantai timur. Nilai  $c_u$  bagi ujian kekuatan ricih tak terkukuh tak tersalir (UU) berjulat 17.9 – 25.5 kPa bagi pantai timur tetapi tiada data yang diperolehi dari pantai barat. Manakala nilai  $c_d$  bagi ujian kekuatan ricih terkukuh tersalir (CD) adalah sifar di pantai barat dan pantai timur Semenanjung Malaysia.

Sudut geseran dalam ( $\phi_{cu}$ ) bagi ujian kekuatan ricih (CIU) dalam Jadual 2.22 pula didapati adalah dalam julat  $1.47^\circ$  -  $6.1^\circ$  di pantai barat dan  $3^\circ$  -  $14^\circ$  di pantai timur. Nilai  $\phi_u$  bagi ujian kekuatan ricih (UU) berjulat  $2.5^\circ$  -  $4.6^\circ$  di pantai timur dan tiada data diperolehi di pantai barat. Manakala nilai  $\phi_d$  bagi ujian kekuatan ricih (CD) berjulat  $18^\circ$  -  $24.5^\circ$  di pantai barat dan berjulat  $24^\circ$  -  $30^\circ$  di pantai timur.

## **2.9 Ciri-ciri Kelakuan Tanah Liat Lembut Muar**

Di bawah tajuk ini perbincangan yang dibuat adalah berkaitan latar belakang dan kelakuan tanah liat lembut Muar berdasarkan laporan dari Lembaga Lebuhraya Malaysia (1989).

### **2.9.1 Profil Tanah Liat Lembut Muar**

Rajah 2.12 menunjukkan profil tanah di tapak Tambakan Cubaan Muar. Didapati satu lapisan tanah terluluhawa yang sangat keras dengan ketebalan lebih kurang 2 m berada di atas lapisan tanah liat lembut berketebalan hingga 16 m. Lapisan ini dibahagikan kepada dua lapisan iaitu tanah liat sangat lembut atas dan tanah liat lembut bawah. Di bawah lapisan tanah liat atas, terdapat sedikit lapisan

berpasir yang berketebalan kurang daripada 1 m. Di bawah lapisan tanah liat bawah pula, didapati lebih kurang 0.2 m tebal lapisan gambut terletak di atas kelodak berpasir sebelum pasir tumpat yang sangat dalam ditemui. Kehadiran cengkerang-cengkerang di dalam lapisan tanah liat lembut atas dan bawah membuktikan pemendapan yang berlaku pada masa dahulu adalah di persekitaran marin

### **2.9.2 Keadaan Piezometrik dan Tegasan Berkesan di-Situ**

Dua jenis alat pengukur aras air iaitu piezometer paip menegak dan pneumatik telah dipasang pada Jun 1987. Bacaan yang dilaporkan mendapati turus yang diukur turun naik seperti gelombang di mana perbezaan turus maksimum dan minimum ini berjulat 0.55 m hingga 1.0 m. Rajah 2.13a menunjukkan bacaan turus piezometrik maksimum dan minimum bagi semua lokasi ukuran. Perkara ini akan turut menyebabkan tegasan berkesan di-situ ( $p_o'$ ) berubah-ubah dan menghasilkan  $p_o'$  maksimum dan  $p_o'$  minimum seperti yang ditunjukkan di Rajah 2.13b.

### **2.9.3 Ciri-ciri Asas**

Taburan berkaitan butiran zarah, had Atterberg, kandungan lembapan dan ketumpatan gembur mengikut kedalaman ditunjukkan di dalam Rajah 2.14. Perbandingan kandungan tanah liat adalah lebih kurang 50 hingga 60% lebih tinggi bagi tanah liat bahagian atas berbanding bahagian bawah. Kehadiran lapisan yang memisahkan bahagian tanah liat atas dari bahagian tanah liat bawah juga ditunjukkan di dalam plot butiran zarah. Secara umumnya, kandungan lembapan dan had cecair di bahagian tanah liat atas lebih tinggi berbanding di bawah iaitu masing-masing dengan kadar 80 hingga 120% dan 50 hingga 80%. Nilai indeks keplastikan adalah dalam julat 35 hingga 60% di bahagian tanah liat atas lebih tinggi berbanding



di bahagian bawah (15 hingga 35%). Ketumpatan gembur bagi bahagian tanah liat atas rendah sedikit berbanding tanah liat bawah.

#### 2.9.4 Ciri-ciri Pengukuhan

Keputusan graf  $e - \log_{10} p$  menunjukkan kebanyakannya tidak linear seperti ditunjukkan di dalam Rajah 2.15. Cerun yang melengkung dengan segera selepas nilai tekanan prapengukuhan digunakan untuk mengira  $C_c$ .

Tekanan prapengukuhan,  $p_c$  untuk pengenaan beban selama 24 jam pada sampel secara mengufuk diringkaskan di dalam Rajah 2.14. Nilai  $p_c$  pada bahagian tanah liat bawah adalah lebih tinggi berbanding tanah liat atas. Di dapati nilai  $p_c$  maksimum berlaku pada aras laras -8.5m.

Nilai nisbah terkukuh lebih adalah bersandarkan pada tegasan tanggungan atas berkesan dan sebab itu ia berubah-ubah dengan turun-naik turus piezometer. Nilai  $OCR$  maksimum dan minimum tanah liat lembut berpadanan dengan turus piezometer minimum dan maksimum diplot mengikut kedalaman di Rajah 2.14. Nilai had atas  $OCR_{max}$  lebih kurang 1.9 manakala julat bawah  $OCR_{min}$  ialah 0.7. Secara majoriti, nilai  $OCR$  adalah tidak seragam. Ia berkeadaan demikian disebabkan gangguan sampel.

Perbezaan indeks kebolehmpatan ( $C_c$ ) dan pernormalan indeks kebolehmpatan ( $C_c/[I + e_o]$ ) mengikut kedalaman turut ditunjukkan di dalam Rajah 2.14. Nilai had atas ( $C_c/[I + e_o]$ ) adalah 0.55 yang terletak di bahagian tanah liat atas. Di dalam kes tanah liat bawah, ia wujud pada bahagian yang relatifnya mempunyai kebolehmpatan yang tinggi ( $C_c/[I + e_o]$  lebih kurang 0.4)

iaitu di antara R.L.  $-8\text{m}$  dan  $-10\text{m}$ . Lapisan yang memisahkan tanah liat atas dan bawah mempunyai ciri-ciri nilai  $C_c/[1 + e_o]$  yang rendah iaitu  $0.25$ .

Nilai  $c_v$  dan  $c_h$  dari ujian ke atas sampel secara menegak dan mengufuk menunjukkan purata  $c_v$  adalah lebih kurang  $14\text{m}^2/\text{tahun}$  manakala purata  $c_h$  ialah lebih kurang  $18\text{m}^2/\text{tahun}$ .

### 2.9.5 Kekuatan Ricih

Profil kekuatan ricih bilah diplot berasingan di dalam Rajah 2.15 manakala Rajah 2.16 adalah ringkasan keseluruhan keputusan ujian ricih bilah. Seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 2.16, julat sensitiviti adalah lebih kurang 3 hingga 7. Berdasarkan klasifikasi oleh Skempton dan Northey (1952), tanah liat di sini boleh diklasifikasikan sebagai sensitif. Plot di dalam Rajah 2.15 dengan jelas menunjukkan perbezaan kekuatan ricih tak terganggu di bahagian tanah liat atas dan di bahagian tanah liat bawah. Sekurang-kurangnya lima lokasi, profil kekuatan ricih bilah melakarkan lengkung berkembar dengan nilai puncak yang berlaku pada permukaan di antara tanah liat atas dan tanah liat bawah. Manakala di bahagian lapisan kerak dan bahagian bawah tanah liat bawah, nilai yang tinggi mungkin disebabkan perbezaan sejarah pegenapan. Satu profil kekuatan ricih bilah (GV9) menunjukkan hanya sedikit pertambahan di dalam kekuatan dengan kedalaman tanah liat bawah.

Persamaan lengkung profil kekuatan ricih bilah telah diperolehi oleh Cox (1970) bagi tanah liat di kawasan Sabak Bernam, Selangor. Cox menganggap lengkung profil kekuatan ricih bilah dengan nilai  $S_u/P_o' 0.2$  pada pertengahan tanah liat atas disebabkan pengukuhan utama tidak lengkap ketika pegenapan. Pengukuhan utama berlaku dengan lengkap hanya pada atau di sebelah sempadan telap. Nilai  $S_u/P_o'_{max}$  (lihat Rajah 2.17a), bersesuaian dengan keadaan turus

piezometrik minimum (Rajah 2.18) iaitu dalam julat 0.2 hingga lebih kurang 0.75. Kebolehubahan yang baik dicatat bagi tanah liat atas.  $S_w/P_o'_{min}$  (lihat Rajah 2.17b) berpadanan dengan keadaan turus piezometrik maksimum iaitu di dalam julat 0.3 hingga 0.85.

## 2.10 Perlakuan Tanah Liat Di Bawah Tambakan

Di dalam struktur tanah di bawah pusat tambakan, tegasan yang bertindak sentiasa dalam arah ufuk dan tegak, dan laluan tegasan berkesan mengikut keadaan semasa dan selepas pembinaan tambakan stabil adalah O'P'A'B'D seperti yang ditunjukkan di Rajah 2.19. Tempoh pembinaan berjalan bersamaan dengan O'P'A', dapat dibahagikan kepada 2 fasa iaitu (Lerouiel, 1990);

- i. Pada mulanya, disebabkan tanah liat terkukuh lebih sangat kukuh, pengukuhan berlaku dengan cepat (atau kadangkala penepuan tidak lengkap) dan tekanan air liang yang dihasilkan di tanah liat rendah dan laluan tegasan menunjukkan tindak balas bersalir (O'P').
- ii. Apabila tegasan berkesan mencapai permukaan alah pada P', biasanya bila  $\sigma'_v = \sigma'_p$ , tanah liat menjadi terkukuh biasa dan lebih boleh mampat, dan kelakuan tanah liat menjadi tak bersalir mengikut laluan tegasan berkesan P'A' pada permukaan alah tanah liat.

Selepas pembinaan tamat (A'), pengukuhan jangka masa panjang menyebabkan tegasan berkesan meningkat seperti yang ditunjukkan oleh laluan A'B'D'. Seperti laluan dan rangkaian tindakbalas yang diungkapkan boleh digunakan untuk menganalisis keseluruhan tanah liat (di bawah pusat tambakan).

### 2.10.1 Tekanan Air Liang

Tekanan air liang yang dihasilkan semasa pembinaan tambakan dapat dihubungkan dengan beban tegak dari tambakan seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 2.20. Pada peringkat permulaan,  $\Delta u$  adalah lebih rendah daripada  $\Delta\sigma_v$ , dan pekali tekanan air liang  $\bar{B} = \Delta u / \Delta\sigma_v$  berbeza dengan kedalaman tanah liat berdasarkan hubungan yang ditunjukkan di dalam Rajah 2.21. Tegasan tegak genting (titik P' Rajah 2.20), yang mana tanah liat menjadi terkukuh biasa, dapat menghubungkannya dengan tinggi tambakan genting

$$H_{nc} = \frac{\sigma'_p - \sigma'_{vo}}{I\gamma_r(1 - \bar{B}_1)} \quad (2.6)$$

dengan  $\sigma'_{vo}$  dan  $\sigma'_p$  adalah tegasan berkesan tegak awal dan tekanan prapengukuhan pada titik yang dipertimbangkan.  $\bar{B}_1$  diperolehi dari Rajah 2.21,  $\gamma_r$  adalah berat unit tanah tambak dan  $I$  merupakan faktor pengaruh tegasan yang dikira dari teori keplastikan seperti Carta Osterberg. Leroueil et al. (1978) menyatakan nilai purata  $\bar{B}_2$  yang ia perolehi adalah 0.22. Atas daripada tinggi tambakan genting ini, menunjukkan  $\Delta u = \Delta\sigma_v$ , atau  $\bar{B}_2 = 1$  (Leroueil et al. 1978). Hasil keputusan ini, tekanan air liang ketika tamat pembinaan tambakan (titik A', Rajah 2.20) memberikan

$$\Delta u_c = I\gamma_r H_r - (\sigma'_p - \sigma'_{vo}) \quad (2.7)$$

Apabila pembinaan mengalami kegagalan, permulaan kegagalan setempat pada F' akan menghasilkan perubahan cepat pada tekanan air liang  $\bar{B} > 1$  (La Rochelle et al. 1974, Vogien 1975, Holtz dan Holm 1979) disebabkan pelembutan tanah liat yang menghampiri keadaan genting, seperti yang ditunjukkan oleh laluan tegasan F'C' (Rajah 2.19). Proses ini dapat diperhatikan pada tambakan ujian di Kalix, Sweden (Holtz dan Holm, 1979) yang menunjukkan perlakuan terhadap perubahan tekanan air liang lebih semasa pembinaan seperti di Rajah 2.22.

Untuk kefahaman lanjut tentang laluan-laluan tegasan diikuti dengan tanah yang diguna sebagai tambakan, Hunter dan Fell (2003) mencadangkan Tavenas dan Leroueil (1980), Folkes dan Crooks (1985, 1986), Leroueil dan Tavenas (1986), dan Muir Wood (1990) dirujuk.

Di dalam kajian kes oleh Hunter dan Fell (2003), plot tekanan air liang lebihan diukur di bawah pusat tambakan melawan beban tambakan dipakai dan gambaran tindakbalas ke atas kegagalan tambakan di dalam beberapa kes telah ditunjukkan seperti di Rajah 2.23. Di dalam plot ini, tekanan air liang lebihan telah diperbetulkan dengan faktor keamatan tegasan dan tegasan genting yang dikira dari beban tambakan diguna.

Seperti dijangka, reaksi tekanan air liang lebihan menunjukkan perubahan dari kelakuan terkukuh lebih kepada terkukuh biasa. Reaksi tekanan air liang pada awal pembebanan agak berubah-ubah untuk kajian kes dengan nilai  $\bar{B}_2$  berjulat dari 0.1 hingga 0.8 dan reaksi selepas mencapai tegasan ambang bagi sebahagian kes menunjukkan  $\bar{B}_2 \approx 1.0$ .

### **2.10.2 Kestabilan Tambakan**

Kestabilan asas (*foundation*) tanah liat akan terjamin sekiranya tegasan berkesan semasa pembinaan atau dalam jangka masa panjang sentiasa di bawah sampul Mohr-Coulomb tanah liat terkukuh biasa. Dengan mengambil kira laluan tegasan ketika gagal (F'C', Rajah 2.19), pengiraan kestabilan dapat dibuat dengan membandingkan tegasan ricih yang dihasilkan oleh tambakan kepada asas tanah liat dengan kekuatan ricih yang dihasilkan keadaan ini.

### 2.10.2.1 Faktor Keselamatan Ketika Masa Ubah Bentuk Meningkat

Bagi mendapatkan kefahaman terhadap hubungan antara faktor keselamatan dan tinggi tambakan relatif (tinggi tambakan,  $H$  / tinggi tambakan gagal,  $H_f$ ), Hunter dan Fell (2003) telah menjalankan analisis keseimbangan had terhadap keputusan yang telah diterbitkan bagi tambakan Thames, Cubzac-A, Narbonne, Rio de Janiero, Muar, St. Alban A dan Portsmouth. Daripada analisis tambakan tersebut, beberapa pendekatan telah digunapakai, antaranya :

- i. Analisis tegasan jumlah menggunakan kekuatan taktersalir ditentukan oleh ujian ricih bilah (Portsmouth, St. Alban, dan Rio de Janiero) atau ujian tiga paksi makmal (Muar).
- ii. Kekuatan ricih bagi kerak (*crust*) ditentukan menggunakan pendekatan analisis kekuatan median yang dicadangkan oleh Ferck dan Fell (1994) untuk mengira kehilangan kekuatan kerak yang dihubungkan dengan kehadiran pra-wujud retakan yang terjadi di bawah enapan tambakan. Kekuatan kerak ditentukan dari profil indeks kecairan dan median kekuatan ricih bilah diukur. Apabila indeks kecairan lebih besar dari 1.0, median kekuatan ricih bilah digunakan.
- iii. Sesudah faktor keselamatan dikira hampir kepada satu bagi keadaan gagal, pemodelan disambung bagi tinggi-tinggi tambakan rendah.

Keputusan bagi analisis keseimbangan had ini ditunjukkan seperti di Rajah 2.24. Bagi sebahagian kes, faktor keselamatan yang dikira jatuh di bawah 1.5 pada tinggi tambakan relatif 60% - 70% dan bawah 1.25 pada 75% - 85% daripada tinggi gagal.

### 2.10.3 Enapan

Enapan asas tanah liat semasa dan selepas pembinaan tambakan yang terhasil daripada pembebanan dan dengan masa ditunjukkan seperti di Rajah 2.25. Semasa fasa permulaan, asas tanah liat berada dalam keadaan terkukuh lebih dan mempunyai kekukuhan tinggi. Oleh itu, enapan yang terhasil adalah kecil dan bertambah secara linear dengan bertambahnya beban tambakan ( $OP'$ ). Atas daripada tinggi genting ( $H > H_{nc}$ ), tanah liat akan menjadi terkukuh biasa dan mula untuk bertindak balas dalam keadaan tak tersalir. Akibat kekukuhan semakin rendah, enapan yang terhasil adalah seperti yang ditunjukkan  $P'A'$  (Rajah 2.25). Akhirnya, selepas pembinaan tamat, enapan pengukuhan berlaku pada kadar berkurangan dengan masa ( $A'D'$ ), yang dikawal oleh ciri-ciri pengukuhan dan rayapan tanah liat.

Walaupun bagaimanapun, enapan di bawah pusat tambakan biasanya tidak memberikan petunjuk yang baik terhadap kegagalan yang akan terjadi. Ini kerana kebanyakan kes, ia tidak berada di dalam zon kegagalan (Hunter dan Fell, 2003). Plot enapan di bawah pusat tambakan melawan anjakan sisi di hilir tambakan akan mengenalpasti tinggi genting, tetapi bukan menjadi penunjuk kegagalan yang bakal terjadi.

#### 2.10.3.1 Ubahbentuk Menegak Pada dan di Luar Hilir Tambakan

Ubahbentuk menegak pada hilir tambakan melawan tinggi tambakan relatif bagi kajian yang dijalankan oleh Hunter dan Fell (2003) adalah seperti yang ditunjukkan di Rajah 2.26. Manakala Rajah 2.27, menunjukkan kelakuan ubahbentuk menegak di luar hilir tambakan (lebih kurang 5 m dari hilir tambakan).

Anjakan tegak pada dan di luar hilir tambakan merupakan penunjuk yang baik terhadap keadaan kegagalan akan datang. Bagi titik-titik pengukuran di luar

hilir tambakan, ubahbentuk tegak boleh abai biasanya diperhatikan ketika masa awal pembinaan tambakan, dan keadaan kegagalan yang akan terjadi boleh dikenalpasti oleh pergerakan lambung (*heave*) atau pertambahan besar dalam kadar pergerakan lambung dengan pertambahan tinggi tambakan. Pemerhatian ini diguna untuk bermacam jenis tanah dari tanah liat kepekaan rendah, berkeplastikan tinggi mulur hingga kepekaan sangat tinggi dan tanah liat dan kelodak berkeplastikan rendah. Kajian oleh Hunter dan Fell (2003) menunjukkan ubahbentuk menegak bagi tanah liat berkeplastikan rendah dan kepekaan sangat tinggi (St. Alban dan James Bay) secara relatifnya rendah (10 – 15 mm) sehingga kira-kira 90% daripada tinggi gagal tambakan.

#### **2.10.4 Anjakan Sisi**

Anjakan sisi asas tanah liat di bawah hilir tambakan menunjukkan urutan fasa kelakuan yang sama seperti enapan (Rajah 2.28). Pada mulanya, anjakan sisi yang dihasilkan ketika dalam keadaan terkukuh lebih dan tersalir adalah rendah jika dibandingkan dengan enapan ( $OP'$ ). Ini berlaku ketika laluan tegasan menghampiri keadaan  $K_o$  (terikan sisi sifar). Apabila pembinaan tamat dan tanah liat bertindakbalas dalam keadaan terkukuh biasa taktersalir, anjakan sisi meningkat pada kadar sama seperti enapan. Akhirnya, pengukuhan asas tanah liat dalam jangka masa panjang ( $A'D'$ ) menghasilkan anjakan sisi yang lebih rendah berbanding enapan, dengan nisbah  $y_m/s$  adalah sebagai fungsi geometri dan kestabilan tambakan dan asas tanah liat.

##### **2.10.4.1 Anjakan Sisi Permukaan di Hilir Tambakan**

Anjakan sisi pada hilir tambakan ditunjukkan seperti di Rajah 2.29. Daripada pemerhatian, Hunter dan Fell (2003) menyimpulkan bahawa:



- i. Dalam kebanyakan kes, peningkatan anjakan sisi terhadap tinggi tambakan relatif terjadi pada lebih kurang tinggi genting,  $H_{nc}$ , yang ditentukan dari reaksi tekanan air liang sesuai dengan teori keadaan had terhadap perlakuan tambakan di atas tanah lembut.
- ii. Peningkatan selanjutnya di dalam kadar anjakan permukaan sisi yang didapati di dalam kebanyakan kajian kes dianalisis adalah pada 70 – 90% tinggi tambakan relatif. Ia dianggap kelakuan ini menunjukkan keadaan kegagalan yang akan terjadi.
- iii. Bagi 11 daripada 12 kes yang dianalisis, anjakan permukaan sisi adalah penunjuk yang baik terhadap kegagalan yang akan terjadi. Kes ini meliputi julat yang besar dalam jenis-jenis tanah dari rapuh ke mulur, dan keplastikan rendah ke tinggi.

Anjakan sisi permukaan ini boleh menjadi penunjuk terbaik dalam meramal kegagalan yang bakal terjadi sekiranya kadar penambakan adalah rendah seperti di Tambakan Muar (0.02 – 0.055 m/hari). Tetapi bagi tambakan yang dibina pada kadar cepat seperti Rio de Janiero (0.1 m/hari) dan King's Lynn (0.67 m/hari), anjakan sisi permukaan tidak menjadi penunjuk yang baik.

#### **2.10.4.2 Anjakan Sisi Dengan Kedalaman**

Menurut Smadi (2001), taburan anjakan sisi dipengaruhi oleh empat faktor utama iaitu jenis-jenis tanah (Shoji et al., 1989), nisbah tebal asas tambakan dengan lebar tambakan,  $L_o/B$  (Marche dan Chapius, 1974), tekanan prapengukuhan (Tavenas et al., 1979) dan faktor masa (Tavenas et al., 1979 dan Larsson, 1986).

Bagi faktor  $L_o/B$ , Marche dan Chapius (1974) menyatakan kedalaman anjakan sisi maksimum meningkat dengan penurunan nisbah tebal asas kepada lebar tambakan ( $L_o/B$ ) seperti yang ditunjukkan di Rajah 2.30.

Untuk faktor tekanan prapengukuhan pula, Smadi (2001) menyatakan pembentukan anjakan sisi di dalam asas tanah liat disebabkan pembebanan tambahan bergantung pada profil nisbah terkukuh lebih tanah. Secara umum, berbagai kombinasi  $\sigma'_{vo}$ ,  $\sigma'_p$ , dan  $\sigma'_{vf}$  dengan kedalaman boleh memberikan keputusan dalam tiga taburan berbeza anjakan sisi dengan kedalaman di hilir tambahan (Tavenas et al, 1979) seperti yang ditunjukkan di Rajah 2.31.

Di Rajah 2.31 tersebut, menunjukkan terdapat tiga kes keadaan. Kes pertama berlaku di mana tanah asas sentiasa dalam keadaan terkukuh lebih ketika dan selepas pembinaan. Pengukuhan dan saliran berlaku sepanjang lengkung mampatan semula di akhir pengukuhan utama (graf e –  $\log \sigma'_v$ ) di sepanjang masa, dan anjakan sisi dijangka kecil di semua kedalaman. Asas tanah liat ketika pengukuhan di sepanjang lengkung mampatan semula boleh dimodel sebagai bahan kukuh dan elastik. Dalam kes ini, taburan anjakan sisi dengan kedalaman boleh diramal lebih tepat menggunakan teori elastik dengan nilai realistik parameter elastik.

Di dalam kes kedua, pada awalnya tanah asas dalam keadaan terkukuh lebih dan anjakan sisi kecil. Semasa pembinaan,  $\sigma'_{vf}$  melebihi  $\sigma'_p$  di bahagian atas asas turun ke bahagian bawah menjadikannya keadaan terkukuh biasa. Dalam peringkat ini, tanah asas mengalami herotan ricih takersalir (aliran plastik) dan peningkatan anjakan sisi lebih kurang sama dengan enapan tegak. Tavenas et al. (1979) melaporkan, contoh kes kedua ditunjukkan seperti di Rajah 2.32. Bagi tambahan Cubzac les Ponts A (Rajah 2.32a), tegasan berkesan menegak,  $\sigma'_v$  menghampiri tekanan prapengukuhan di keseluruhan kedalaman asas tanah yang menyebabkan keseluruhan kedalaman tersebut berkeadaan terkukuh biasa. Manakala tambahan Saint Alban (Rajah 2.32b), hanya bahagian atas sahaja menjadi terkukuh biasa.

Di dalam kes tiga, keseluruhan asas tanah menjadi terkukuh biasa ketika pembinaan atau ketika pengukuha utama. Dalam kes ini, taburan anjakan sisi agak seimbang di keseluruhan masa dan boleh dianggar menggunakan teori elastik. Pada

kedudukan di luar hilir tambakan, magnitud anjakan sisi berkurangan dengan cepat. Pada jarak lebih kurang 0.5 L (L adalah jarak dari bahu ke hilir tambakan), anjakan sisi akan menyerupai taburan 4 (Rajah 2.31). Tavenan et al. (1979) turut menyatakan taburan anjakan sisi pada hilir tambakan boleh menyerupai taburan 4 bagi tambakan bercerun sangat mendatar seperti yang dilihat di Tambakan Saint-Alban D.

Bagi faktor masa pula, Tavenas et al. menunjukkan bentuk profil anjakan sisi dengan kedalaman adalah seimbang dengan masa (mempunyai bentuk yang sama). Beliau menyetujui kesimpulan ini dengan memplot taburan anjakan sisi ternormal dengan kedalaman ( $N_D = D/D_m$  dan  $N_Z = z/Z_1$ ) seperti yang ditunjukkan di Rajah 2.33. Walaubagaimanapun, pengawasan anjakan sisi untuk 25 tahun di Tambakan Ujian Ska Edeby VI menunjukkan kedalaman anjakan sisi maksimum bergerak ke bawah dengan masa (Smadi, 2001). Larsson (1986) melaporkan bahawa anjakan sisi maksimum bagi Tambakan Ujian Ska Edeby VI didapati pada kedalaman 2 m dengan anjakan sebanyak 0.12 m dalam setiap arah. Dalam 1986, pergerakan pada kedalaman 2 m berhenti dan anjakan sisi maksimum terletak pada kedalaman 4 hingga 5 m.

#### 2.10.4.3 Ramalan Profil Anjakan Sisi Ternormal

Menurut Smadi (2001), Bourges dan Mieussens (1979) telah menilai beberapa kes dalam membina kaedah empirikal untuk menggambarkan ubah bentuk binaan. Jumlah kes yang dianalisis tidak mencukupi untuk membolehkan kaedah empirikal yang dibina diterima. Namun demikian, analisis statistik kes dicadangkan yang profil anjakan sisi ternormal ketika akhir pembinaan dapat dinyatakan di dalam purata sebagai:

$$N_D = 1.78N_Z^3 - 4.7N_Z^2 + 2.21N_Z + 0.71 \quad (2.8)$$

Di mana :

$$N_D = D/D_m = (\text{Anjakan sisi pada kedalaman } z / \text{anjakan sisi})$$

maksimum)

$$N_Z = z/Z_1 = (\text{Kedalaman titik tertentu} / \text{Jumlah kedalaman profil anjakan sisi})$$

$$N_{D_0} = D_s/D_m = 0.71 \pm 0.25 (\text{Anjakan sisi pada permukaan} / \text{Anjakan sisi maksimum})$$

$$N_{Z_m} = Z_m/Z_1 = 0.26 \pm 0.14 (\text{Kedalaman anjakan sisi maksimum} / \text{Keseluruhan kedalaman profil anjakan sisi})$$

Tavenas et al. (1979) menunjukkan yang pers. 2.8 boleh memberikan keputusan yang silap sehingga 30 – 40%. Beliau menyatakan, kedudukan anjakan sisi maksimum cenderung untuk dibina pada aras di mana tekanan prapengukuhan atau kekuatan ricih taktersalir tanah liat minimum dengan lapisan lembut pada sebahagian kedalaman.

## 2.11 Analisis Tambakan Ujian Muar Oleh Penyelidik Terdahulu

Di dalam Simposium Antarabangsa Tambakan Cubaan di Atas Tanah Liat Marin Malaysia 1989, Lembaga Lebuhraya Malaysia telah menjemput empat penyelidik untuk meramalkan perlakuan Tambakan Ujian Muar (Rajah 2.34 dan Rajah 2.35). Penyelidik ini terdiri daripada Prof. A. S. Balasubramaniam (AIT, Thailand), Prof. J. P. Magnan (Perancis), Prof. A. Nakase (Japan) dan Prof. H. G. Poulos (Australia). Mereka ini telah meramal perlakuan tambakan tersebut berdasarkan ciri-ciri berikut:

- i. Ketinggian maksimum ketika ia gagal dan bentuk permukaan kegagalan.
- ii. Tekanan air liang lebihan melawan ketebalan tambak pada kedalaman 4.5 m di dalam piezometer P2, P5 dan P7.

- iii. Taburan tekanan air liang di bawah titik tengah tambakan bagi setiap meter penambakan.
- iv. Anjakan tegak permukaan asal tanah di sepanjang keratan tambakan bagi setiap meter tambak.
- v. Anjakan ufuk melawan ketebalan tambak pada kedalaman 4.5 m di dalam meter condong (*inclinometer*) I1, I2 dan I3.
- vi. Profil menegak anjakan sisi ketika gagal di dalam meter condong I1, I2 dan I3.

### 2.11.1 Ramalan Beban Kegagalan

Empat ramalan kestabilan dirumus dan dibandingkan seperti di dalam Jadual 2.23 yang menunjukkan kaedah analisis kestabilan dan parameter tanah yang digunakan di dalam setiap kes, dan juga tinggi kegagalan ramalan dan kedalaman maksimum permukaan gelinciran. Walaupun terdapat pelbagai kaedah terbaru untuk analisis dan banyak data kekuatan ricih yang baik, kesemua peramal masih menggunakan kaedah gelinciran bulatan Fellenius dan kekuatan ricih bilah terpilih (Rajah 2.36) yang dipertimbangkan dalam meramal kestabilan.

Walaubagaimanapun, hanya Balasubramaniam dan Magnan yang menggunakan kekuatan ricih bilah diperbetulkan yang berdasarkan kesan keplastikan. Manakala Poulos pula telah mengabaikan kekuatan ricih bagi tanah tambak di dalam andaianya. Ia menganggap berlakunya rekahan menegak pada tambakan ketika kegagalan berlaku dan tiada wujud rintangan ricihan dari tanah tambak yang dipadat.

Hasil daripada andaian yang dibuat, ketebalan tambak yang diramal ketika gagal berbeza-beza iaitu dari 3.5 m (Nakase) hingga 5.0 m (Balasubramaniam) dan ketebalan sebenar ketika gagal adalah 5.5 m. Semua ramalan adalah lebih rendah

dari keadaan sebenar disebabkan semua peramal telah mengabaikan pertambahan kekuatan ricih tak tersalir yang disebabkan oleh pengukuhan tanah liat lembut. Ia juga menunjukkan yang apabila kekuatan ricih bilah digunakan, pembetulan bagi keplastikan diperlukan untuk mendapatkan kekuatan ricih tanah liat yang lebih tepat dan kekuatan ricih bagi tanah tambak terpadat tidak seharusnya diabaikan.

### **2.11.2 Ramalan Permukaan Kegagalan**

Permukaan-permukaan gagal sebenar dan diramal ditunjukkan di Rajah 2.37. Ia menunjukkan semua ramalan-ramalan permukaan gagal kecuali zon kegagalan yang diramal oleh Magnan adalah agak cetek atau jejari yang agak kecil dibandingkan dengan permukaan gagal sebenar. Poulos adalah satu-satunya peramal yang menganggap tambakan mengalami retakan pugak ketika gagal dan yang lain menganggap tiada berlaku retakan tegangan. Walaubagaimanapun, Poulos tidak mempertimbangkan kekuatan tanah tambak terpadat yang dilihat penting untuk kestabilan tambakan. Bagi ramalan lain, Balasubramaniam dan Magnan mempertimbangkan kekuatan bagi tanah tambak terpadat di dalam analisis kestabilannya. Kekuatan ricih tak tersalir yang digunakan oleh Balasubramaniam adalah 35 kPa dan Magnan menggunakan 20 kPa bagi tanah tambak terpadat.

### **2.11.3 Ramalan Tekanan Air Liang**

Kaedah analisis dan parameter-parameter yang digunakan oleh setiap peramal untuk meramal tekanan air liang lebihan di bawah tambakan ditunjukkan di dalam Jadual 2.6. Kaedah Unsur Terhingga (FEM) telah digunakan oleh semua peramal kecuali Magnan untuk menganalisis tambakan ujian. Balasubramaniam menggunakan model keadaan genting, CRISP (Britto dan Gunn, 1987) dan mengambil kira kelakuan tegasan-terikan tak-lelurus. Nakase pula menggunakan

model elastik-plastik dengan kelakuan tegasan-terikan tak-lurus untuk menyemak tekanan air liang lebih yang diukur terus dari ujian *centrifuge* menggunakan tanah liat Kawasaki. Bagi Magnan, beliau menggunakan kaedah yang agak mudah menganggar perubahan tekanan air liang yang disebabkan pembebanan tak tersalir. Untuk tujuan itu, Magnan mengira pertambahan tegasan tegak  $\Delta\sigma_v$  berdasarkan ruang-separuh elastik dan tekanan air liang lebih dikira menggunakan rumus:

$$\Delta u = 0.8\Delta\sigma - (p_c - \sigma'_{vo}) \quad (2.9)$$

dengan  $p_c$  dan  $\sigma'_{vo}$  masing-masing adalah tekanan pra-pengukuhan dan tegasan tegak berkesan in-situ. Meskipun ia agak mudah, kaedah untuk meramal perubahan tekanan air liang oleh Magnan ini adalah lebih hampir dengan nilai sebenar berbanding ramalan lain.

#### 2.11.4 Ramalan Anjakan

Kaedah analisis yang digunakan oleh setiap peramal untuk meramal anjakan pada tambakan ditunjukkan di Jadual 2.25, termasuk juga ringkasan parameter tanah liat yang digunakan. Analisis unsur terhingga telah digunakan samaada secara terus atau tidak oleh semua peramal kecuali Nakase untuk mendapatkan anjakan-anjakan. Nakase hanya menggunakan FEM untuk menyemak anjakan yang beliau perolehi dari ujian model *centrifuge*. Analisis FEM tak tersalir dan tersalir telah dibuat oleh Poulos. Balasubramaniam mengira anjakan-anjakan tak tersalir menggunakan model keadaan genting CRISP dan menambahkannya dengan enapan pengukuhan satu-dimensi. Magnan tidak menggunakan FEM secara terus, tetapi beliau menganggar anjakan-anjakan tegak dan ufuk berdasarkan kajian parametric yang dilakukan pada tambakan Dives (Magnan et al., 1977).

### **2.11.5 Perbandingan Ramalan Keadaan Ketika Gagal**

Perbandingan terhadap kelakuan diramal dengan yang sebenar bagi tambakan ujian ketika gagal ditunjukkan di Jadual 2.26. Ketinggian tambakan yang ditunjukkan di Jadual 2.26 adalah hasil daripada penolakan terhadap ketebalan tambakan dengan enapan maksimum ketika gagal. Julat bagi ketinggian tambakan ramalan ini adalah 3.2 m (Nakase) hingga 4.35 m (Balasubramaniam). Hasil daripada keputusan ini menunjukkan ramalan enapan ketika gagal yang dibuat oleh Balasubramaniam adalah lebih baik iaitu 0.65 m berbanding yang sebenar iaitu 0.70 m. Ini menunjukkan ramalan ketinggian ketika gagal, 4.35 m adalah lebih hampir dengan nilai sebenar iaitu 4.70 m berbanding tiga peramal yang lain. Sekiranya diperhatikan, semua ramalan ketebalan tambakan ketika gagal adalah di bawah nilai sebenar. Ini disebabkan pertambahan kekuatan tak tersalir tanah liat yang disebabkan pengukuhan ketika masa pembinaan diabaikan.

### **2.12 Kajian Lepas Analisis Tambakan Cubaan Muar Terpilih**

Di dalam tinjauan ini, kajian secara meluas terhadap kelakuan kestabilan, enapan dan anjakan sisi pada tambakan cubaan yang dibina di Muar telah dilakukan oleh Institut Teknologi Asian (AIT). Sebahagian besar analisis numerikal telah dilakukan menggunakan program unsur terhingga CRISP yang menggabungkan teori mekanik tanah keadaan genting. Semua penyelidik menggunakan analisis pengukuhan terganggu sepenuhnya dan tak tersalir pada tambakan-tambakan yang mereka kaji.



### 2.12.1 Analisis Tambakan Ujian Tanpa Pembaikan (Skim 3/5)

Analisis numerikal yang diganding dengan teori keadaan genting dengan menggunakan CRISP telah dibuat oleh Balachandran (1990) dalam dua keadaan berbeza iaitu analisis tak tersalir semata-mata dan model pengukuhan terganding (Tan, 1994). Selain analisis menggunakan CRISP, kod unsur terhingga tak-linear (ISBILD) juga digunakan untuk meramal anjakan. Daripada kajian, kesimpulan yang dapat dibuat adalah seperti berikut:

- i. Tekanan air liang dan anjakan tegak kecuali pergerakan sisi dapat diramal dengan ketepatan yang boleh diterima dengan menggunakan model pengukuhan-tak tersalir terganding.
- ii. Model tak tersalir semata-mata tak sesuai untuk meramal kelakuan asas tambakan kecuali sekiranya saluran adalah minimum.
- iii. Model pengukuhan-tak tersalir terganding meramal enapan lebih tepat ketika bebanan luaran tinggi. Walaubagaimanapun, pada bebanan luaran rendah, profil enapan yang diramal model tak tersalir tak-linear lebih baik.
- iv. Kod ISBILD tak linear kelihatan boleh meramal lambung (*heave*) lebih tepat berbanding CRISP.
- v. Dengan menicplak (*tracing*) titik anjakan sisi maksimum yang diperolehi dari analisis unsur terhingga, permukaan gelinciran yang berhubung dengan ketinggian tambakan kritikal dapat diramal secara lebih kurang.
- vi. Perbezaan di dalam  $\lambda$  sangat mempengaruhi ramalan anjakan sisi.

Menurut Tan (1994), Ratnayake (1991) juga meramal tambakan ini menggunakan teori pengukuhan terganding tetapi parameter tanah yang dipilih adalah berbeza dari yang digunakan oleh Balachandran. Sebagai ganti penggunaan parameter tanah yang diperolehi dari ujian mampatan  $CK_oU$ , pemilihan yang lebih baik parameter-parameter tanah berdasarkan laluan tegasan di dalam zon berbeza telah digabungkan di dalam analisis unsur terhingga oleh Ratnayake. Di dapati

anjakan sisi mengikut kedalaman dan lambung pada hilir tambakan lebih menyamai dengan pengukuran ditapak berbanding Balachandran dan penyelidik jempunan. Oleh itu, dapat dirumuskan bahawa ramalan terhadap kelakuan ubah bentuk tambakan dapat diperbaiki dengan penggunaan laluan tegasan bergantung parameter-parameter tanah.

### 2.12.2 Analisis Tambakan Kawalan Tanpa Pembaikan (Skim 3/2 dan 6/6)

Bagi meramal tambakan kawalan tanpa pembaikan (Skim 3/2 dan 6/6) seperti yang ditunjukkan di Rajah 2.34 dan Rajah 2.35, Loganathan (1992) telah menggunakan program unsur terhingga CRISP dalam analisisnya. Kesimpulan yang dapat dibuat di dalam analisisnya adalah seperti berikut (Tan, 1994):

- i. Anjakan sisi maksimum di bawah hulu tambakan adalah 0.28 kali enapan maksimum yang diperolehi dari bawah garisan tengah tambakan ketika pengukuhan.
- ii. Semasa peringkat awal bebanan tak tersalir, unsur terhingga menganalisis enapan terlebih anggaran sementara di bawah anggaran ketika peringkat akhir.

Di dalam analisis yang dilakukan oleh Tan (1994), beliau telah menganggarkan enapan jumlah dengan menjumlahkan enapan pengukuhan diperbetulkan yang menggunakan unsur terhingga CRISP dengan komponen enapan segera dan rayap. Enapan rayap yang dianggarkan bagi tempoh lima tahun adalah melebihi 20 % daripada jumlah enapan seperti yang ditunjukkan di Jadual 2.27 dan 2.28. Persamaan untuk meramal enapan rayap adalah seperti berikut:

$$\Delta\rho_{cr} = R \times [\log(t - t_0)]^{2.55} \quad \text{dan} \quad (2.10)$$

$$R = -1.689 \times 10^{-7} q^2 + 1.590 \times 10^{-4} q \quad (2.11)$$

di mana  $R$  = kadar enapan rayap (m)  
 $q$  = beban diguna (kPa)  
 $(t - t_o)$  = tempoh pengukuhan (hari)

### 2.13 Ciri-ciri Ubah Bentuk Umum bagi Tambakan Cubaan Muar

Menurut Tan (1994), kelakuan-kelakuan ternormal bagi anjakan sisi dan enapan mengikut kedalaman ditunjukkan oleh Sivaneswaren (1993) selepas mengkaji 13 tambakan cubaan Muar.

#### 2.13.1 Enapan Ternormal dengan Kedalaman

Bagi mendapatkan gambaran lebih baik tentang ciri-ciri enapan stratum tanah liat bolehmampat, set bagi lengkung enapan melawan kedalaman (Rajah 2.38 dan Rajah 2.39) telah diplot dari data enapan yang diperolehi dari sistem sondex. Enapan pada pelbagai kedalaman berbanding enapan maksimum dari permukaan tanah dinyatakan dalam bentuk peratusan. Di dalam semua tambakan cubaan, tanah liat pada kedalaman 10 m ke bawah hanya menyumbang 20 hingga 30% dari jumlah enapan. Lapisan kerak keras terluluhawa menyumbang sangat sedikit pada enapan jumlah disebabkan ia mempunyai kebolehmpatan yang rendah. Lebih 60% jumlah enapan diperolehi dari mampatan lapisan tanah liat atas pada kedalaman antara 2 m hingga 8 m. Profil enapan ternormal  $S$  % (nisbah enapan dengan enapan jumlah) dan kedalaman,  $z$  bagi kedua-dua tambakan 3 m dan 6 m boleh ditulis dalam empirikal sebagai,

$$S = -0.02 z^3 + 0.82 z + 102.83 \quad (2.12)$$

### 2.13.2 Anjakan Sisi Ternormal dengan Kedalaman

Nisbah anjakan sisi dengan anjakan sisi maksimum mengikut kedalaman di bawah hilir tambakan yang diperolehi bagi semua tambakan cubaan selepas akhir pembinaan diplot berasingan di dalam Rajah 2.40, 2.41 dan 2.42. Ini kerana, magnitud dan taburan anjakan sisi mengikut kedalaman adalah fungsi bagi posisi meter condong (*inclinometer*) pada tambakan. Rajah ini menunjukkan keadaan heterogen bagi asas tapak dengan anjakan kecil pada tanah liat terkukuh lebih (tanah liat bawah) dan anjakan besar bagi tanah liat terkukuh biasa (atas daripada 8 m). Ia dapat juga menunjukkan anjakan sisi maksimum terjadi pada kedalaman lebih kurang 2.6 m hingga 5.0 m bagi semua tambakan cubaan.

Di sini terdapat dua jenis perbezaan profil yang diperolehi bagi variasi profil anjakan sisi Rajah 2.40 dan Rajah 2.41 menunjukkan kelakuan ubah bentuk tak-homogen sementara Rajah 2.42 menunjukkan kelakuan ubah bentuk homogen. Di dalam kes kelakuan ubah bentuk tak-homogen, anjakan sisi kecil dilihat pada tanah liat bawah yang mana ia masih boleh diabaikan. Hanya profil ubah bentuk homogen yang menunjukkan sub tanah berkeadaan terkukuh biasa semasa pembinaan dinormalkan. Profil anjakan sisi ternormal dapat ditunjukkan sebagai,

$$Y = 2.60 Z^3 - 4.96 Z^2 + 0.78 \quad (2.13)$$

di mana

$Y$	=	$y/y_m$
$Z$	=	$z/D$
$y$	=	anjakan sisi di sebarang kedalaman $z$
$y_m$	=	anjakan sisi maksimum
$D$	=	ketebalan lapisan tanah liat terkukuh biasa

**Jadual 2.1: Kadar endapan tanah liat lembut di beberapa kawasan sedunia  
(Leroueil, *et al.*, 1990)**

<b>Jenis Endapan</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Kadar endapan (cm/1000 tahun)</b>
Marin	Laut Champlain, Kanada	1600
	Laut Goldthwait, Kanada	1200-1600
	Laut Tyrell, Kanada	1200
	Oslofjord, Norway	80-250
	Laut Baltic	30
	Laut beaufort	30-1000
Pantai	Teluk Maine, US	90-180
	S.Francisco Bay, US	30-130
	Avonmouth, UK	250
	Tilbury, UK	200
	Pisa ,Itali	250
	Teluk California, US	60-100
	Chao Phraya, Thailand	200-300
	Pantai Barat, Malaysia	100
	Pantai Utara, Borneo	90
	Indonesia	120-300
Delta	Mississippi, US	12000
	Fraser. Australia	5000-30000
	Rhone, France	1700
	Cubzac, France	2000
	Chao Phraya, Thailand	2500-5000
	Orinoco, Venezuela	1000
	Purata delta	1500-2000
Tasik/ Lacustrine	Barlow-Ojibway, Kanada	1000-2500
	Tasik Great (glasier), US	700-3000
	Tasik Great (biasa), US	10-500
	Tasik Swedish	100-200
	Tasik Alpine	1000-3000
	Tasik Geneva	250

**Jadual 2.2: Ketebalan tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia  
(Abdullah & Chandra, 1987)**

<b>Lokasi</b>	<b>Ketebalan (m)</b>
Perlis – Kedah	5 - 12
Kawasan empangan Sungai Kedah	8 - 12
Kawasan lapangan terbang Alor Setar	12
Kawasan Prai dan jambatan Pulau Pinang	12 - 25
Sepanjang Butterworth – Lebuhraya Changkat Jering	5 - 15
Kawasan lembangan Sungai Kerian	10
Jalan Bagan Datoh – Teluk Intan	5 - 11
Kawasan Pelabuhan Klang	8 - 30
Kawasan Kg. Aceh – Pengkalan Merin	3 - 7
Kawasan projek pembangunan pertanian Johor Barat	10 - 35
Kawasan Kuantan	3 - 20
Kawasan jambatan Sungai Kuantan	5 - 12
Kawasan Pelabuhan Kuantan	3 - 15
Kawasan Chukai	4 - 8
Kawasan Semerak – Kemasin	3 - 10

**Jadual 2.3: Julat kedalaman atas dan bawah bagi endapan di kawasan pantai barat Semenanjung Malaysia (Aziz, 1993)**

<b>Lokasi</b>	<b>Julat kedalaman (m)</b>	
	<b>Atas</b>	<b>Bawah</b>
Kuala Perlis	0 – 6	6 – 9
Alor Setar	0 – 9	9 – 16
Prai/ Juru	0 – 12	12 – 22
Bagan Datok	0 – 11	11 – 22
Sabak Bernam	0 – 10	10 – 23
Port Klang	0 – 11	11 – 20
Muar	0 – 9	9 – 18
Pontian	0 – 10	10 – 17

**Jadual 2.4: Pengelasan lapisan tanah liat di Malaysia**  
**(Balasubramaniam, *et al.*, 1985)**

<b>Jenis Tanah</b>	<b>Ketebalan (m)</b>	<b>Warna</b>	<b>Catatan</b>
1	2 - 6	Kelabu cerah / coklat cerah	Pasir tebusan semula dengan cengkerang hidupan laut/ tanah atas.
2	10 - 32	Kelabu kehijauan/ kelabu	Pasir longgar pada lapisan 2 – 3 m tebal, pelbagai jumlah cengkerang dan bahan organik.
3	3 - 11	Coklat cerah/ coklat kekelabuan	Kumpulan pasir halus
4	4 - 25	Kelabu cerah/ kelabu kekuningan	Tidak homogenius, bersama lapisan tanah liat sederhana keras, keras/ sangat keras.
5	-	Coklat cerah/ kelabu	Kumpulan tanah gambut kepada kumpulan pasir berkerikil.

**Jadual 2.5: Klasifikasi tanah liat lembut ( Brand & Brenner, 1981)**

Klasifikasi	Keadaan	Kandungan lembapan	Kadar ricihan	Kebolehmampatan
Tanah liat dedahan cuaca di atas kerak bumi	Keadaan beku, Kering	$w \approx w_p$	Sangat kukuh, merekah	-
	Kering	$w \approx w_p$	Sangat kukuh, merekah	kadar kebolehmampatan rendah
	Tanah dedahan cuaca	$w < w_p < w_L$	Kekuatan ricih bertambah dengan kedalaman	kadar kebolehmampatan rendah, lengkung $e - \log \sigma'_v$
Tanah liat tanpa dedahan cuaca	Tanah liat terkukuh biasa (baru)	$w \approx w_L$	$S_u / \sigma'_{vo}$ tetap dengan kedalaman	$\sigma'_{vc} \approx \sigma'_{vo}$
	Tanah liat terkukuh biasa (lama)	$w \approx w_L$	$S_u / \sigma'_{vo}$ tetap dengan kedalaman	$\sigma'_{vc} \approx \sigma'_{vo}$ tetap dengan kedalaman
	Tanah liat terkukuh cepat (baru)	$w_L < w$	$S_u / \sigma'_{vo}$ tetap dengan kedalaman	$\sigma'_{vc} \approx \sigma'_{vo}$
	Tanah liat terkukuh cepat (lama)	$w_L < w$	$S_u / \sigma'_{vo}$ tetap dengan kedalaman	$\sigma'_{vc} \approx \sigma'_{vo}$ tetap dengan kedalaman

Dengan,  $S_u / \sigma'_{vo}$  atau  $S_u / \sigma'_{vc}$  = nisbah kekuatan tanah

$\sigma'_{vc}$  = tekanan kritikal

$\sigma'_{vo}$  = tekanan tanggungan atas

$w$  = kandungan air semulajadi

$w_p$  = had plastik

$w_L$  = had cecair

$S_u$  = kekuatan ricih tak terganggu



**Jadual 2.6: Ciri-ciri pengelasan tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia**

Sumber	Ciri-ciri Pengelasan Tanah Liat Lembut							
	Kand. Lembapan w(%)	Berat Unit, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Graviti Tentu G <sub>s</sub>	Agihan Saiz Zarah (%)	Aktiviti A	Had Cecair w <sub>L</sub> (%)	Had Plastik w <sub>p</sub> (%)	Indek Kecairan I <sub>L</sub>
Ting & Ooi (1977)	20-140	-	-	33-65 lempung 24-62 kelodak 1-36 pasir	-	40-155	10-45	-
Abdullah & Chandra (1987)	20-175	14.6-15	2.53-2.6	15-55 lempung 38-70 kelodak 7-16 pasir	Biasa - Aktif	-	-	0.5-1.2
Lembaga Lebuhraya Malaysia (1989)	20-120	14-17	-	30-70 lempung 25-55 kelodak 1-30 pasir	-	40-100	20-40	0.4-2.3
Kobayashi, <i>et al.</i> (1990)	40-125	14.5-17.5	2.45-2.7	25-85 lempung 15-60 kelodak 0-45 pasir	-	50-130	20-70	-
Aziz (1993)	15-130	14-15.5	2.6	27-59 lempung 25-64 kelodak 2-28 pasir	Tak Aktif - Aktif (0.77-4)	40-130	16-53	0.1-1.6
Ramli, <i>et al.</i> (1994)	12-175	13-16.5	2.35-2.75	50-60 lempung 40-50 kelodak < 5 pasir	Biasa-Aktif (1.5-1.8)	50-150	20-65	-
Hussein (1995)	20-160	13-16	2.5-2.8	50-60 lempung 20-40 kelodak 0-25 pasir	Tak aktif-Aktif (0.5-2.0)	40-125	10-40	0.1-2.1
<b>PANTAI TIMUR</b>								
Abdullah & Chandra (1987)	21-107	16.3-17.1	2.5-2.57	31-56 lempung 16-49 kelodak 6-28 pasir	-	-	-	-
Kobayashi, <i>et al.</i> (1990)	70-100	14.5-15.5	2.65-2.7	-	-	-	-	-
Ramli, <i>et al.</i> (1994)	-	-	-	-	Tak aktif-Aktif (0.6-1.2)	-	-	-

**Jadual 2.7: Julat kandungan lembapan semulajadi di beberapa kawasan di Semenanjung Malaysia (Ting & Ooi, 1977)**

Lokasi	Kandungan Lembapan Semulajadi w (%)
Pelabuhan Kelang	90 – 140
Prai	50 – 110
Muar	40 – 100
Penang	20 – 120

**Jadual 2.8 : Peratus kandungan lempung, kelodak dan pasir (Abdullah & Chandra, 1987)**

Jenis Zarah	Pantai Timur (%)	Pantai Barat (%)
Pasir	6-28	7-16
Lempung	31-56	15-55
Kelodak	16-49	38-70

**Jadual 2.9: Nilai graviti tentu zarah di pantai Semenanjung Malaysia daripada beberapa pengkaji**

Kawasan	Graviti Tentu Zarah	Sumber
Pantai Barat	2.50-2.67	Azmi & Taha (1990)
	Atas	Kobayashi, <i>et al.</i> (1990)
	Bawah	
	Atas	Aziz (1993)
	Bawah	
	2.35-2.75	Ramli, <i>et al.</i> (1994)
	2.53	Balasubramaniam, <i>et al.</i> (1985)
	2.53-2.60	Abdullah & Chandra (1987)
	2.5-2.80	Hussein (1995)
Pantai Timur	2.53	Balasubramaniam, <i>et al.</i> (1985)
	2.50-2.57	Abdullah & Chandra (1987)
	2.65-2.70	Kobayashi, <i>et al.</i> (1990)

**Jadual 2.10: Takrifan had Atterberg (Smith, 1984)**

<b>Had-had</b>	<b>Takrifan</b>	<b>Formula</b>
Had Cecair ( $w_L$ )	Kandungan air minimum bagi tanah yang dapat mengalir dengan beratnya sendiri.	-
Had Plastik ( $w_p$ )	Kandungan air minimum bagi tanah yang dapat diuli kepada garis pusat 3 mm tanpa melerai.	-
Had Kecutan ( $w_s$ )	Kandungan air maksimum bagi tanah yang mengalami kehilangan air seterusnya dengan tidak mengakibatkan kekurangan isipadu.	-
Indeks Keplastikan ( $I_p$ )	Julat kandungan air apabila tanah adalah plastik.	$I_p = w_L - w_p$
Indeks Kecairan ( $I_L$ )	Menyatakan kandungan lembapan semulajadi tanah ( $w$ ) dalam sebutan had cecair dan had plastik tanah.	$I_L = \frac{w - w_p}{I_p}$

**Jadual 2.11: Nilai Aktiviti bagi mineral lempung tanah liat lembut di Malaysia (Ramli, et al., 1994)**

<b>Jenis Mineral Lempung</b>	<b>Aktiviti, A</b>
Kaolinit	0.38
Illit	0.90
Montmorillonit	> 1.50

**Jadual 2.12: Pengelasan julat Aktiviti (Head, 1992)**

<b>Jenis Tanah Liat</b>	<b>Aktiviti, A</b>
Tak aktif	< 0.75
Normal	0.75 – 1.25
Aktif	1.25 – 2.00
Sangat Aktif	> 2.00

**Jadual 2.13: Kekonsistenan tanah liat (Terzaghi, *et al.*, 1996)**

<b>Kekonsistenan</b>	<b>Kekuatan Mampatan Tak Terkurung, <math>q_u</math> (<math>\text{kN/m}^2</math>)</b>
Sangat lembut	< 25
Lembut	25-50
Sederhana	50-100
Keras	100-200
Sangat keras	200-400
Tersangat keras dan merapuh	>400

**Jadual 2.14: Kekonsistenan Bahan (BS 5930, 1981)**

<b>Kekonsistenan</b>	<b>Kekuatan Ricih Tak Tersalir (kPa)</b>
Sangat Lembut	< 20
Lembut	20-40
Sederhana Keras	40-75
Keras	75-150
Sangat Keras	>150

**Jadual 2.15: Pengkelasan sensitiviti,  $S_t$  (Brand & Brenner, 1981)**

<b>Skempton &amp; Northey (1952)</b>	<b>Rosenqvist (1953)</b>	<b>Soderblom (1969)</b>
<p> <math>\approx 1.0</math> : Tanah liat tidak sensitif            1-2 : Tanah liat aliran sensitiviti            2-4 : Tanah liat sederhana sensitif            4-8 : Tanah liat sensitif            8-16: Tanah liat tersangat sensitif            &gt; 16: Tanah liat jerlus         </p>	<p> <math>\approx 1.0</math> : Tanah liat tidak sensitif            1-3 : Tanah liat kurang sensitif            2-4 : Tanah liat sederhana sensitif            4-8 : Tanah liat sangat sensitif            8-16: Tanah liat kurang jerlus            16-32: Tanah liat sederhana jerlus            32-64: Tanah liat sangat jerlus            &gt; 64 : Tanah liat tersangat jerlus         </p>	<p>           &lt; 20 : Tanah liat biasa            20-50 : Tanah liat separuh jerlus            &gt; 50 : Tanah liat jerlus         </p>

**Jadual 2.16: Faktor-faktor yang mempengaruhi sensitiviti  
(Quigley, 1979)**

$S_t = \frac{S_u \text{ tak terganggu}}{S_r \text{ teracu semula}}$	<p>Faktor penghasilan kekuatan tak terganggu tinggi dan sensitiviti tinggi</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Endapan pemberbukuan <ul style="list-style-type: none"> <li>Masin (potensi 'zeta' rendah)</li> <li>Konsentrasi sedimen tinggi</li> <li>Penyerapan kation dwivalen</li> </ul> </li> <li>(2) Pengurangan perlahan dalam beban sedimen</li> <li>(3) Penyimanan ikatan <ul style="list-style-type: none"> <li>Karbonat &amp; sesquioksida (amorfus)</li> </ul> </li> </ol>
	<p>Faktor penghasilan kekuatan teracu semula rendah dan sensitiviti tinggi.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Kandungan air tinggi (<math>w \geq w_L</math>) <ul style="list-style-type: none"> <li>Sedikit pengukuhan, atau pengurangan dalam <math>w_L &gt;</math> pengurangan dalam <math>w_n</math></li> </ul> </li> <li>(2) Permukaan tanah berbutir tertentu rendah <ul style="list-style-type: none"> <li>Kandungan kelodak tinggi atau kandungan tepung batuan tinggi <math>&lt; 2\mu\text{m}</math> pecahan</li> <li>Kandungan mineral utama tinggi = kandungan mineral tanah liat rendah</li> </ul> </li> <li>(3) Potensi 'zeta' tinggi <ul style="list-style-type: none"> <li>(Pengembangan lapisan kembar = penolakan antara partikel tinggi = keadaan penyerakan 'peptize')</li> <li>Kemasinan rendah disebabkan pengurusan (<math>&lt; 2\text{g/litre}</math>)</li> <li>Penyerakan organik } Penyerapan Anion</li> <li>Penyerakan inorganik }</li> <li>Penyerapan kation monovalen tinggi relatif kepada kation dwivalen divalent kations</li> </ul> </li> <li>(4) Kandungan amorfus rendah <ul style="list-style-type: none"> <li>Kandungan 'smectite' rendah</li> </ul> </li> </ol>

**Jadual 2.17: Ciri-ciri kebolehmampatan tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia (Hussein, 1995)**

Sumber	Ciri-ciri Kebolehmampatan Tanah Liat Lembut					
<b>PANTAI BARAT</b>	Indek Kebolehmampatan (C <sub>c</sub> )	Pekali Pengukuhan Sekunder (C <sub>a</sub> )	Pekali Pengukuhan (c <sub>v</sub> ) (m <sup>2</sup> /tahun)	Tekanan Pra-Pengukuhan (P <sub>c</sub> ) (kPa)	Nisbah Pengukuhan lebih (OCR)	Nisbah Lompang Asal (e <sub>o</sub> )
Ting & Ooi (1977)	-	-	0.61-32	-	0.52-4	-
Abdullah & Chandra (1987)	0.4-1.38	-	-	-	-	-
Lembaga Lebuhraya Malaysia (1989)	0.5-2.35	0.001-0.24	0.7-14.7	20-180	0.4-1.9	1.4-3.2
Kobayashi, <i>et al.</i> (1990)	0.35-1.8	0.001-0.03	30-40	30-250	-	-
Aziz (1993)	1-2	-	0.2-1.5	30-150	1-13	0.9-4.1
Ramli, <i>et al.</i> (1994)	0.4-3.2	-	0.2-1.3	20-120	0.5-5.0	0.6-3.5
Hussein (1995)	0.6-2.2	0.06-0.35	0.1-25	20-180	1-6.5	2-3.8
<b>PANTAI TIMUR</b>						
Abdullah & Chandra (1987)	0.02-0.8	-	-	-	-	-
Kobayashi, <i>et al.</i> (1990)	0.9-1.2	0.01-0.04	-	-	-	-

**Jadual 2.18: Korelasi indeks mampatan dengan parameter-parameter tanah oleh beberapa pengkaji (Balasubramaniam & Brenner, 1981)**

Korelasi	Pekali Penentuan, $R^2$	No. Sampel	Jenis tanah	Rujukan
$C_c=0.007(LL-7)$ $C_c=1.15(e_o-0.35)$ $C_c=0.256+0.43(e_o-0.84)$ $C_c=0.0046(LL-9)$ $C_c=0.009(LL-10)$			Remoulded Clay All Clays Brazilian Clays Brazilian Clays Normally Consolidated Clay	Skempton 1944) Nishida (1956) Cozzolino 1961) Cozzolino 1961) Terzaghi & Peck (1967)
$C_c=0.4(e_o-0.25)$ $C_c=0.01(w-5)$ $C_c=0.006(LL-9)$ $C_c=0.37(e_o+0.003LL-0.34)$ $C_c=0.4(e_o+0.001w-0.25)$ $C_c=0.37(e_o+0.003LL+0.004w-0.34)$	0.85 0.79 0.59 0.86 0.85 0.86	717 717 678 678 717 678	Clays from Greece and some parts of the United States	Azzouz et al (1976)
$C_c=0.21+0.008LL$ $C_c=0.22+0.29e_o$ $C_c=0.2+0.008w$ $C_c=0.2+0.008LL+0.009e_o$	0.7 0.77 0.77 0.7	113 113 113 113	Weathered and Soft Bangkok Clay	Adikari (1977)
$C_c=0.1882+0.3097e_o$ $C_c=0.1509+0.3401e_o-0.0062e_o^2$	0.88 0.9		Soft Bangkok Clay	Sivandran (1979)
$C_c=0.575e_o-0.241$ $C_c=0.0.147w-0.213$	0.966 0.963		French Clays	Vidalie (1977)
$CR=0.0043w$ $CR=0.0045LL$			Marine Clays of Southeast Asia	Cox (1968)
$CR=0.156e_o+0.0107(e_o<2)$	0.93	230	All Clays	Elnaggar & Krizek (1970)
$CR=0.14(e_o+0.007)$ $CR=0.003(w+7)$ $CR=0.002(LL+9)$	0.74 0.68 0.53	717 717 678	Clays from Greece and some parts of the United States	Azzouz, <i>et al.</i> (1976)
$CR=0.00566w-0.037$ $CR=0.0463LL-0.013$	0.81 0.63		Bangkok Clays	Balasubramaniam & Brenner (1981)
$CR=0.0039w+0.013(w<100\%)$ $CR=0.403logw-0.478$	0.86 0.86		French Clays	Viladie (1977)

Dengan,  $CR =$  nisbah mampatan,  $C_c / (1+e_o)$



**Jadual 2.19: Pengelasan pekali kebolehmampatan isipadu tanah (Head, 1992)**

<b>Jenis Kebolehmampatan Tanah</b>	<b>Pekali Kebolehmampatan Tanah, <math>m_v</math> (<math>m^2/MN</math>)</b>
Sangat Tinggi	> 1.5
Tinggi	0.3-1.5
Sederhana	0.1-1.3
Rendah	0.05-0.1
Sangat Rendah	< 0.05

**Jadual 2.20: Pengelasan kekuatan ricih tak tersalir (BS 8004:1986)**

<b>Kekonsistenan</b>	<b>Kekuatan Ricih Tak Tersalir (<math>kN/m^2</math>)</b>
Sangat kaku atau keras	> 150
Kaku	100 – 150
Kukuh hingga kaku	75 – 100
Kukuh	50 – 75
Lembut hingga kukuh	40 – 50
Lembut	20 – 40
Sangat lembut	< 20

**Jadual 2.21: Kaedah umum untuk penilaian kekuatan ricih tak tersalir  
(Lambe & Whitman, 1979)**

	<b>Kaedah</b>	<b>Komen</b>
Penilaian di-situ	1. Ujian Kekuatan Ricih Bilah	Biasanya dianggap dapat memberikan keputusan terbaik, tetapi dihadkan kepada kekuatan tanah tertentu yang dapat digunakan.
	2. Ujian Penusukan	Memberikan perhubungan yang kasar dengan kekuatan.
Penilaian untuk sampel tak terganggu	3. Ujian Mampatan Tak Terkurung	Ujian untuk tujuan am yang terbaik; kekuatan yang dinilai adalah rendah secara tepatnya disebabkan tegasan berkesan yang berkurang akibat dari gangguan.
	4. Ujian Kekuatan Ricih Tak Terkukuh Tak Tersalir (UU) pada tekanan di-situ	Ujian yang paling mewakili ujian makmal, disebabkan mengambilkira kesilapan.
	5. Ujian Kekuatan Ricih Terkukuh Tak Tersalir (CIU) pada tekanan di-situ	Terlebih menganggar kekuatan, disebabkan gangguan yang mengakibatkan kandungan lembapan yang lebih kecil semasa pengukuhan.

**Jadual 2.22: Parameter-parameter kekuatan ricih tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia**

Sumber Data	Kedalaman (m)	Terkukuh Tak Tersalir (CIU)				Tak Terkukuh Tak Tersalir (UU)		Terkukuh Tersalir (CD)	
		$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$c_{cu}$ (kPa)	$\phi_{cu}$ (°)	$c_u$ (kPa)	$\phi_u$ (°)	$c_d$ (kPa)	$\phi_d$ (°)
<b>PANTAI BARAT</b>									
Ting & Ooi (1977)	0.9-9.5	34.5	8-24.5	-	-	-	-	0	18-24.5
Abdullah & Chandra (1987)	1.5-20	-		2.3-17	1.47-6.1	-	-	-	-
Kobayashi, <i>et al.</i> (1990)	1.2-20	-	20-27	-	-	-	-	-	-
Hussein (1995)	1-25	4-12	18-27	-	-	-	-	-	-
<b>PANTAI TIMUR</b>									
Abdullah & Chandra (1987)	1-30	5.3-12	24-38	5.3-32.7	3-14	17.9-25.5	2.5-4.6	0	24-30

**Jadual 2.23: Perbandingan Keputusan Analisis Kegagalan Bagi Tambakan Skim 3/5 (Brand & Premchitt, 1989)**

Peramal	Analisis Kestabilan Utama				Sub analisis Kestabilan	Ramalan	
	Kaedah	Kekuatan Tanah Liat Lembut	Kekuatan Tambakan	Berat Unit Tanah Tambak (kN/m <sup>3</sup> )		Ketebalan Tambak (m)	Kedalaman Permukaan Gelinciran (m)
Bala	Fellenius, tak tersalir	Bilah : Nilai purata diperbetulkan	$c = 19 \text{ kPa}$ $\phi = 26^\circ$	20.5	Tegasan berkesan Bishop	5.0	5.0
Nakase	Fellenius, tak tersalir	Bilah : Nilai purata diperbetulkan	$c = 20 \text{ kPa}$ $\phi = 0$	20	-	3.8	7.2 – 11.0
Poulos	Fellenius, tak tersalir	$s_u = 0.27 \sigma_v$ (purata bilah)	$c = 0$ $\phi = 30^\circ$	20	FEM dan ujian <i>centrifuge</i>	3.5	4.6
Magnan	Fellenius, tak tersalir	Bilah : sempadan terendah tak diperbetulkan	Sifar (Retakan)	20	FEM, tak tersalir	3.8	5.9
Purata						4	6.1
Sebenar						5.4	8.2

**Jadual 2.24 : Analisis Para Penyelidik dan Nilai-nilai Tekanan Air Liang Lebihan Yang Diukur di Bawah Tambakan Skim 3/5 (Brand & Premchitt, 1989)**

Peramal	Kaedah Analisis	Parameter Tanah Liat	Tekanan Air Liang Lebihan Diramal (m)					
			Piezometer P2		Piezometer P5		Piezometer P7	
			H = 2m	H = 3.5m	H = 2m	H = 3.5m	H = 2m	H = 3.5m
Bala	Tegasan dari penggunaan <i>FEM</i> ( <i>CRISP</i> ) dengan <i>Skempton's 'A'</i> parameter untuk memberikan $\Delta u$ tak tersalir, kemudiannya dilesapkan oleh pengukuhan satu-dimensi	Nilai 'A' dari ujian tiga paksi. $c_v = 50c_v(\text{maksimal})$	1.3	1.4	1.1	1.2	0.3	0.2
Magnan	$\Delta u = 0.8\Delta\sigma_v - (p_c - \sigma'_v)$ dengan $\Delta\sigma_v$ diperolehi dari carta <i>Bouissinesq</i>	-	2.8	5.5	2.6	5.0	0.9	1.6
Nakase	$\Delta u$ diukur terus di dalam ujian centrifuge pada model tambakan, dan keputusan disemak oleh analisis <i>FEM</i>	Model dari tanah liat Kawasaki	3.5	6.0	3.2	5.2	1.8	3.0
Poulos	Model pengukuhan <i>FEM</i> dengan pelbagai $k$	$k_v = 3m_v c_v \gamma_w$ $k_h = 1.5k_v$ Bila $H < 1\text{m}$ , nilai $k$ adalah 20 kali	2.6	5.2	2.3	3.9	0.5	1.7
Purata			2.5	4.5	2.3	3.8	0.9	1.6
Sebenar			2.0	6.0	2.1	4.4	1.0	1.8

**Jadual 2.25: Analisis- analisis Peramal dan Nilai-nilai Ukuran Anjakan Tanah Di bawah (Brand & Premchitt, 1989)**

Peramal	Kaedah Analisis	Parameter Tanah Liat	Anjakan-anjakan Diramal (cm)					
			Tegak pada Permukaan				Ufuk pada Kedalaman 4.5 m pada I2	
			S2		H7			
			H = 2m	H = 3m	H = 2m	H = 3m	H = 2m	H = 3m
Bala	Model keadaan genting FEM (CRISP) digunakan bagi tegasan dan anjakan tak tersalir. Ditambah dengan enapan pengukuhan satu-dimensi	Parameter keadaan genting dari ujian makmal. $c_v$ (makmal) bagi pengukuhan	17	30	-6	-9	13	19
Magnan	Menggunakan pengalaman dan keputusan kajian parametric terdahulu berdasarkan model keadaan genting FEM (MELANIE)	Parameter keadaan genting dari ujian makmal (kajian parametrik terdahulu)	19	30	-4	-5	6	9
Nakase	Anjakan diukur terus dari ujian centrifuge ke atas model tambakan dan keputusan disemak oleh analisis FEM	Model dari tanah liat Kawasaki	5	10	-4	-9	18	33
Poulos	Analisis FEM (tak tersalir dan tersalir)	Tegasan-terikan Elastik-plastik. $E_u = 190s_u$ ; $\nu' = 0.1$ Parameter lain dari ujian makmal.	15	24	-2	-5	6	12
Purata			14	24	-4	-7	11	18
Sebenar			7	24	0	0	4	7

Nota: Kedudukan S2, H7 dan I2 ditunjukkan di dalam Rajah 1.5

**Jadual 2.26: Keadaan Kegagalan Ramalan dan Sebenar bagi Tambakan Ujian Muar (Brand & Premchitt, 1989)**

Peramal	Tebal Tambakan	Tinggi Tambakan	Kedalaman Permukaan Gelinciran	Enapan Tambakan Maksimum	Lambung Permukaan Maksimum	Anjakan Sisi Maksimum	Tekanan ir Liang Lebihan pada Pizometer P2
Bala	5.0	4.35	5.0	0.65	0.18	0.35	1.0
Nakase	3.5	3.20	4.6	0.30*	0.25*	0.50	6.2
Poulos	3.8	3.45	5.9	0.35	0.05	0.16	5.7
Magnan	3.8	3.25	7.2 – 11.0	0.55	0.09	0.12	7.0
Purata	4.0	3.55	6.1	0.50	0.14	0.28	5.0
Sebenar	5.4	4.70	8.2	0.70	0.15	0.37	9.3

Nota: \* Nilai ini adalah ditentu lebih (extrapolated) dari plotan Nakase. Semua nilai adalah di dalam meter.

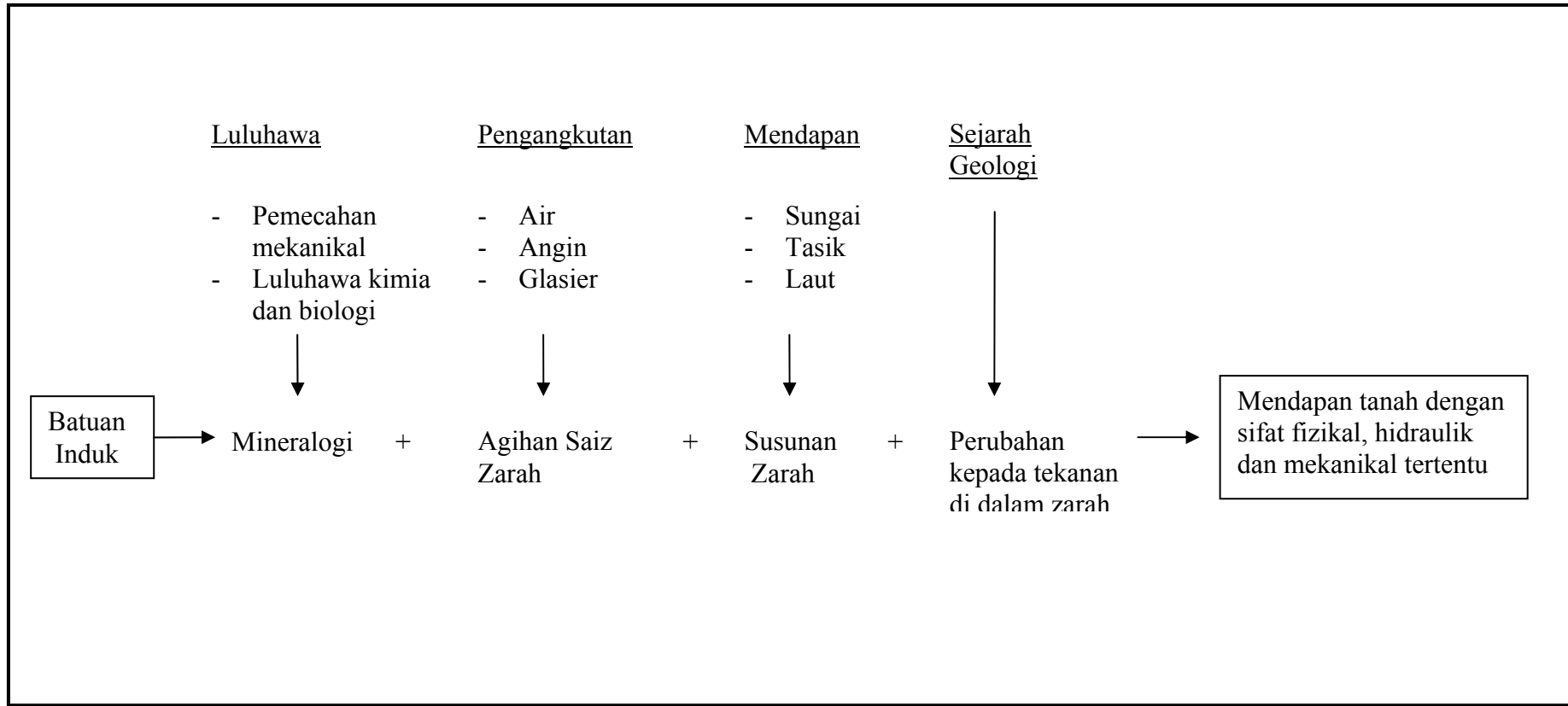
**Jadual 2.27: Perbandingan keputusan ramalan dan sebenar Tambakan Kawalan 3 m (Skim 3/2) (Tan, 1994)**

Masa (hari)	Tinggi Tambak (m)	Ramalan			Enapan Jumlah Diukur (m)
		Enapan Sekunder (m)	Enapan Jumlah (m)	Peratus ( $\rho_{cr}/\rho_t$ ) (%)	
52	2.7	0.03	0.25	10.3	0.28
287	3.9	0.15	0.63	23.8	0.77
2000	3.9	0.38	1.38	27.5	1.39

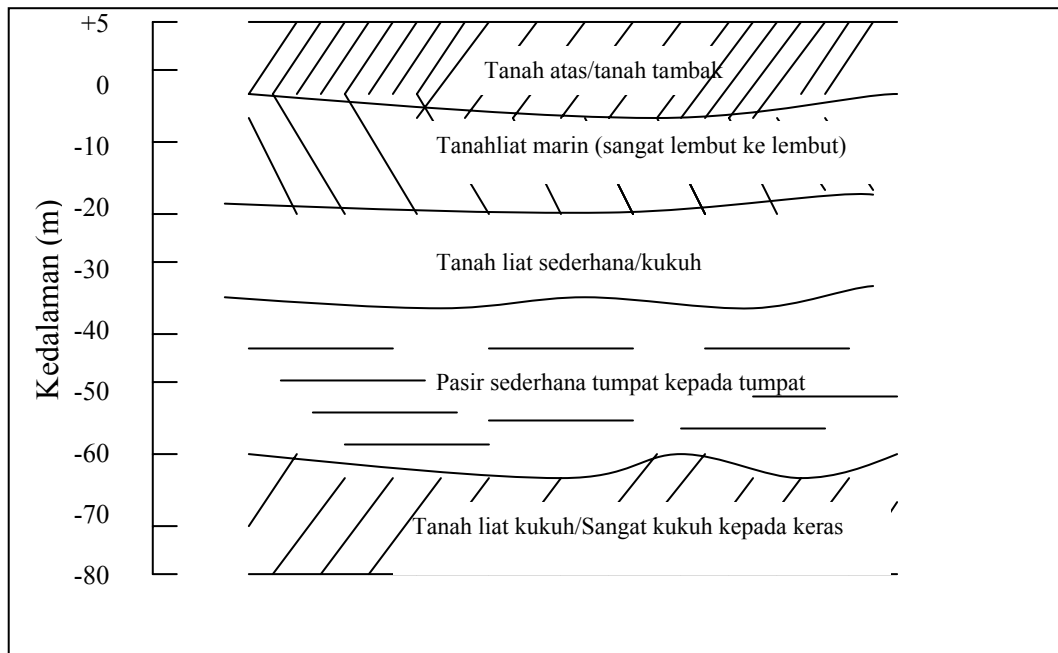
**Jadual 2.28: Perbandingan keputusan ramalan dan sebenar Tambakan Kawalan 6 m (Skim 6/6) (Tan, 1994)**

Masa (hari)	Tinggi Tambak (m)	Ramalan			Enapan Jumlah Diukur (m)
		Enapan Sekunder (m)	Enapan Jumlah (m)	Peratus ( $\rho_{cr}/\rho_t$ ) (%)	
66	2.19	0.03	0.20	12.8	0.13
118	3.02	0.05	0.31	16.7	0.26
164	6.26	0.09	0.69	12.9	0.64
234	7.25	0.17	0.96	17.8	0.93
2000	7.25	0.57	2.64	21.7	2.35

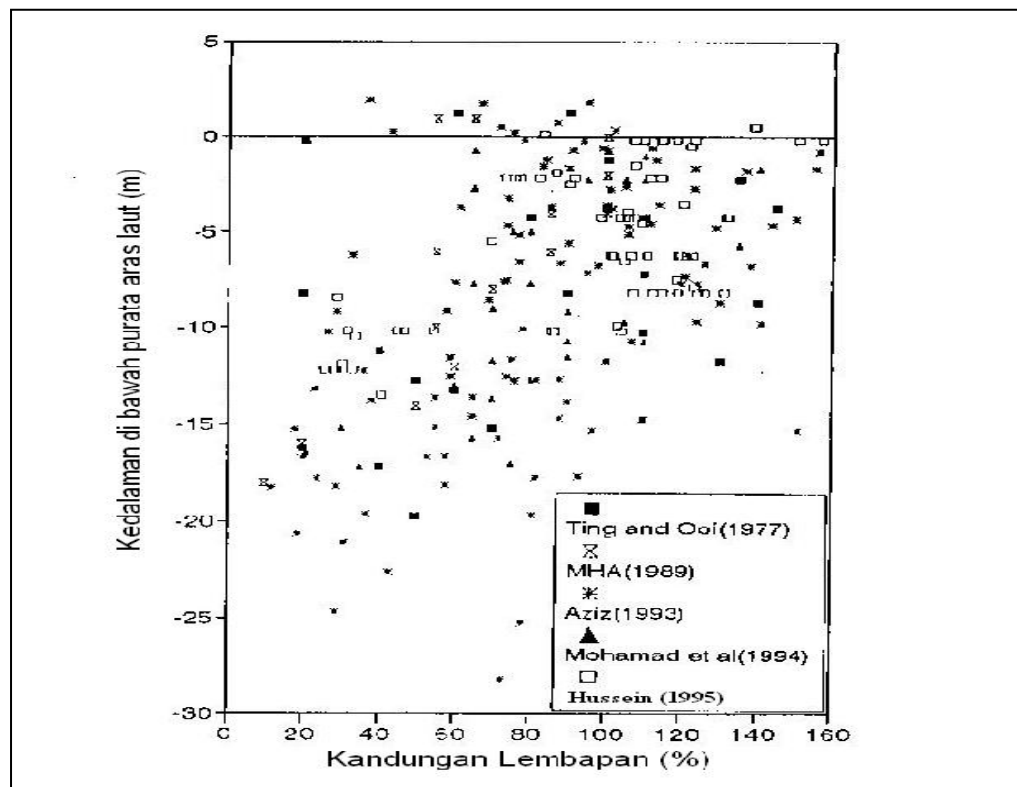




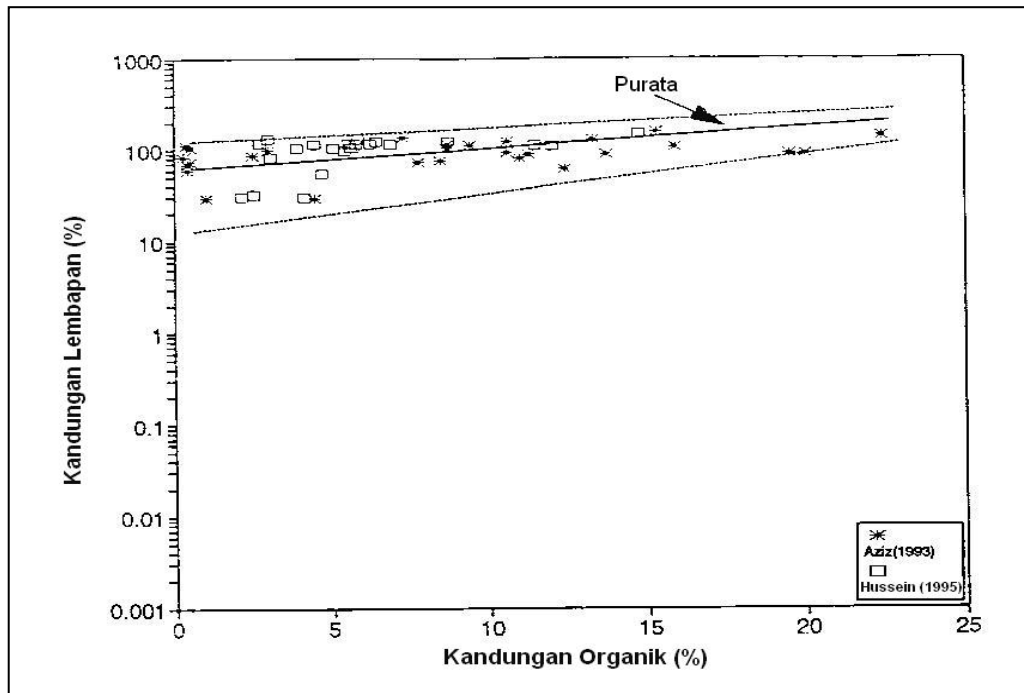
**Rajah 2.1: Genesis tanah liat (Aziz, 1993)**



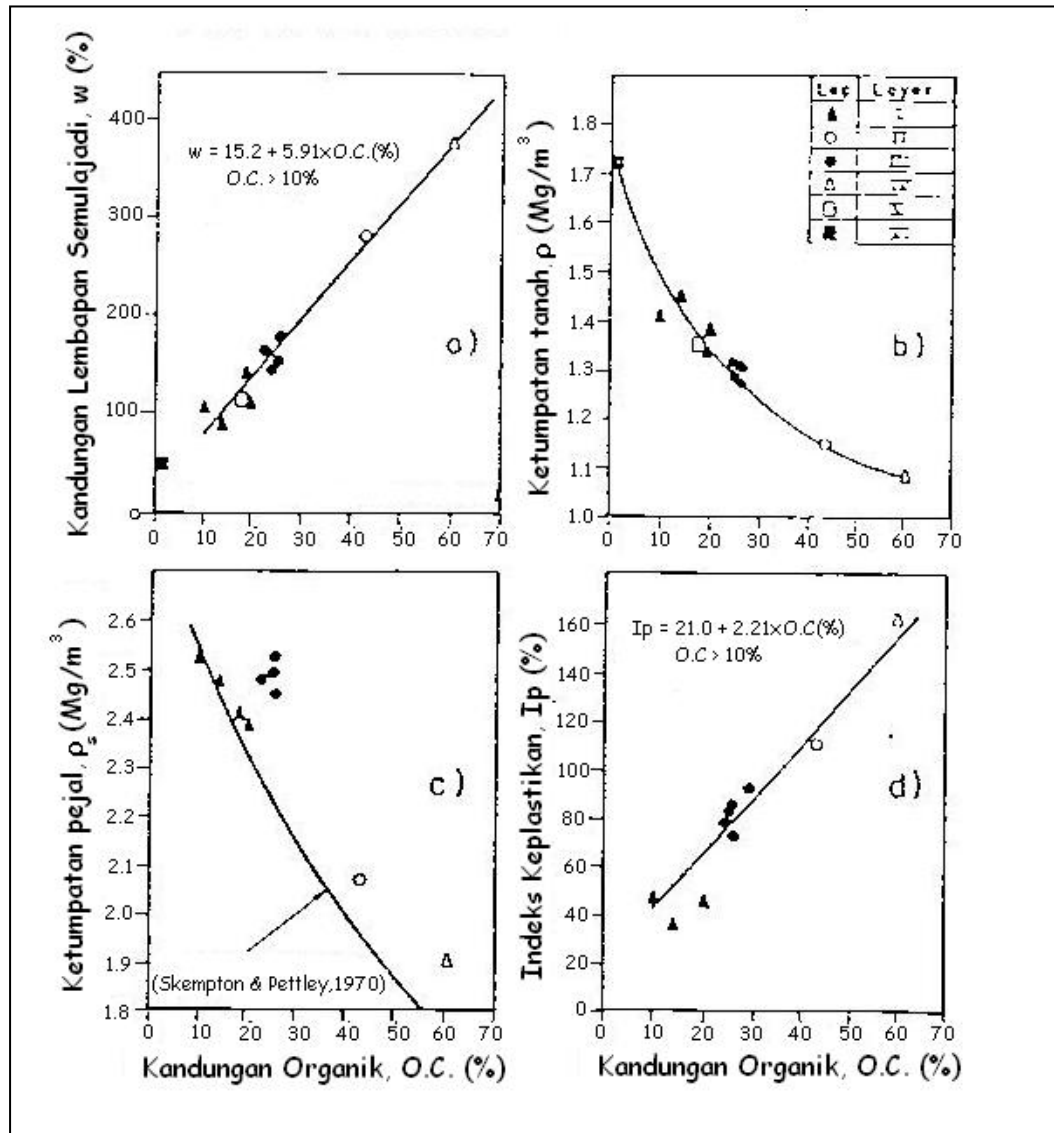
**Rajah 2.2: Profil tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia  
(Abdullah & Chandra, 1987)**



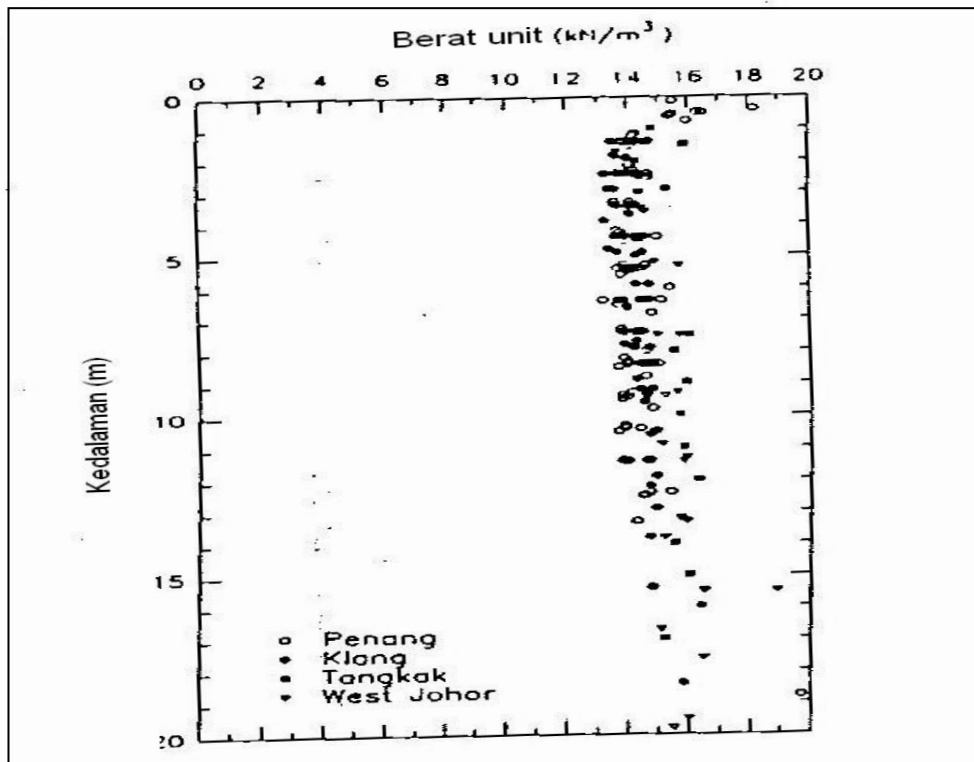
**Rajah 2.3: Kandungan lembapan dengan kedalaman (Hussein, 1995)**



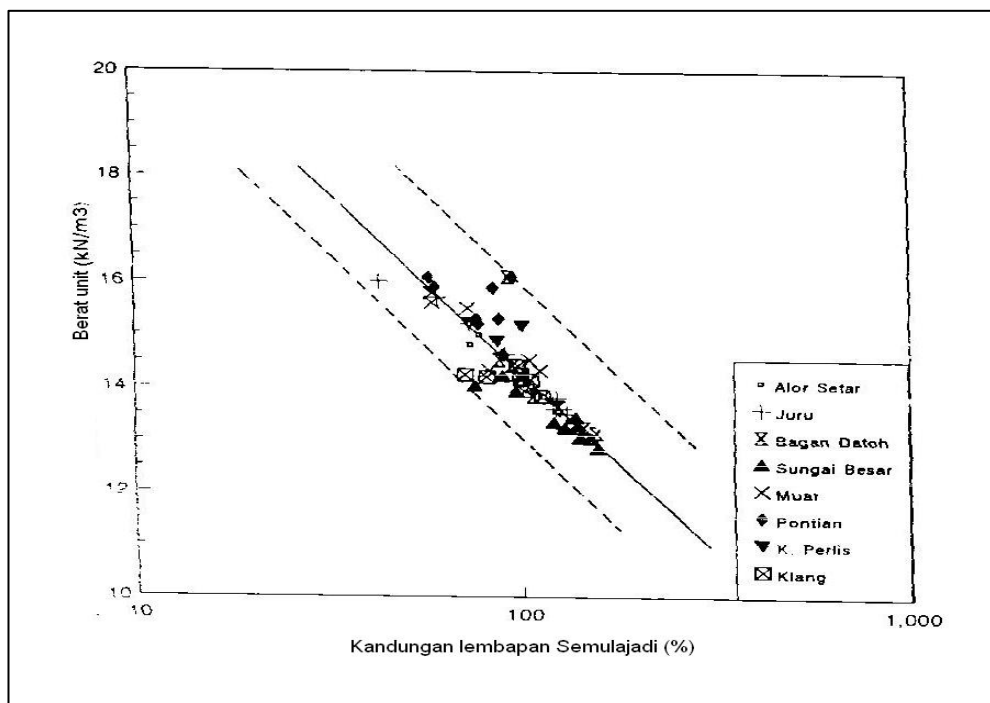
Rajah 2.4: Kandungan lembapan dengan kandungan organik (Hussein, 1995)



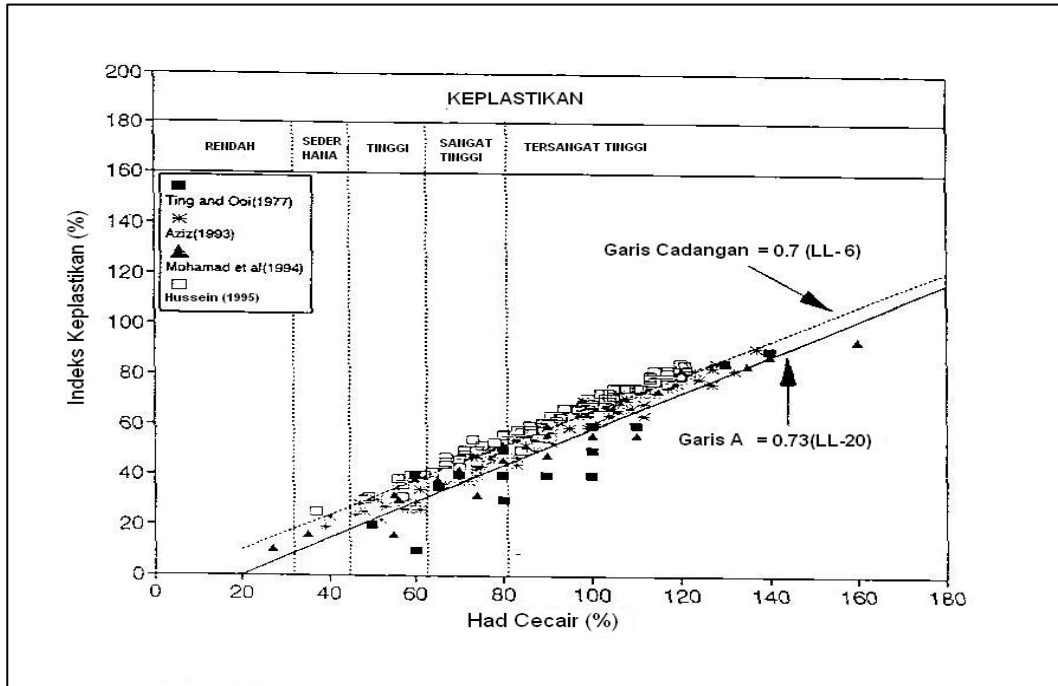
Rajah 2.5: Pengaruh kandungan organik dalam ciri-ciri pengelasan tanah liat organik Juturnaiba, Brazil (Coutinho & Lacerda, 1987)



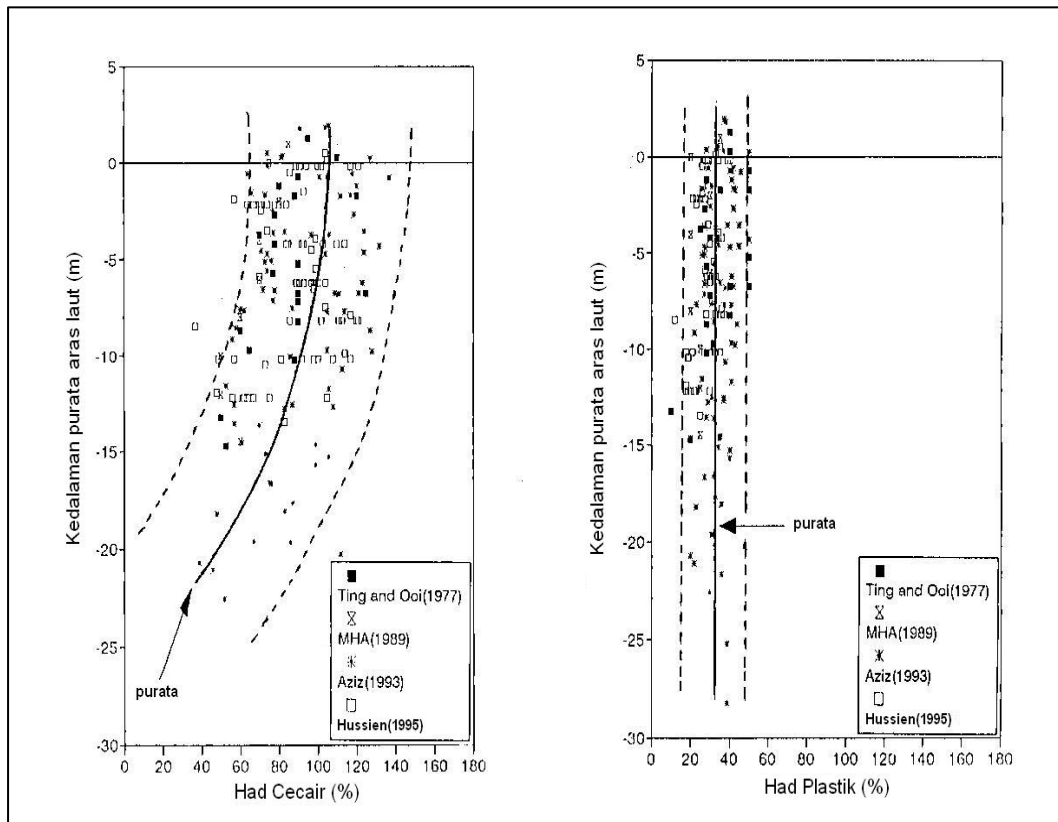
Rajah 2.6: Berat unit dengan kedalaman (Ramli, *et al.*,1994)



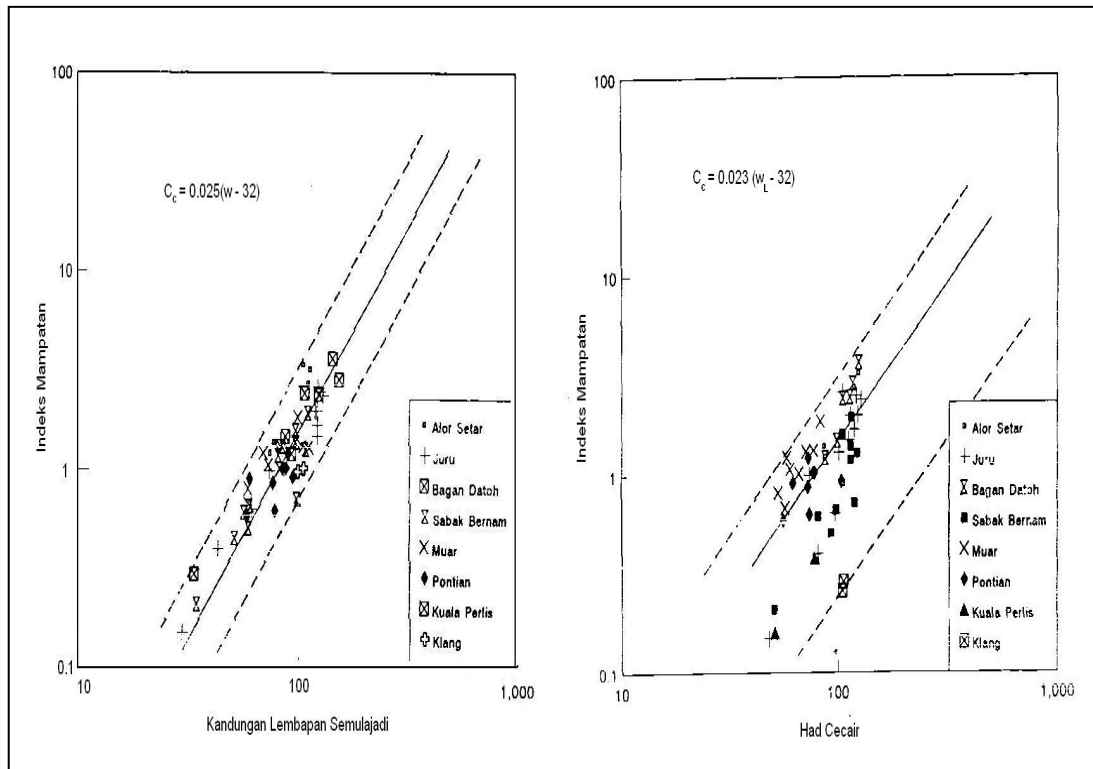
Rajah 2.7: Berat unit dengan kandungan lembapan semulajadi (Aziz, 1993)



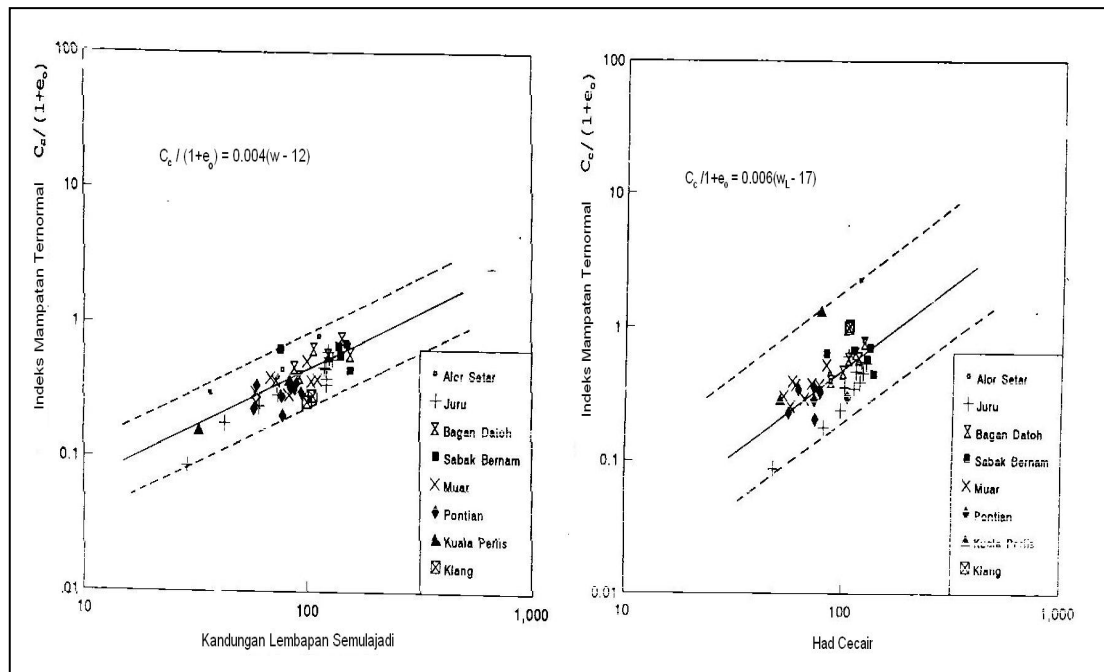
**Rajah 2.8: Carta keplastikan oleh pengkaji-pengkaji lepas di Semenanjung Malaysia (Hussein, 1995)**



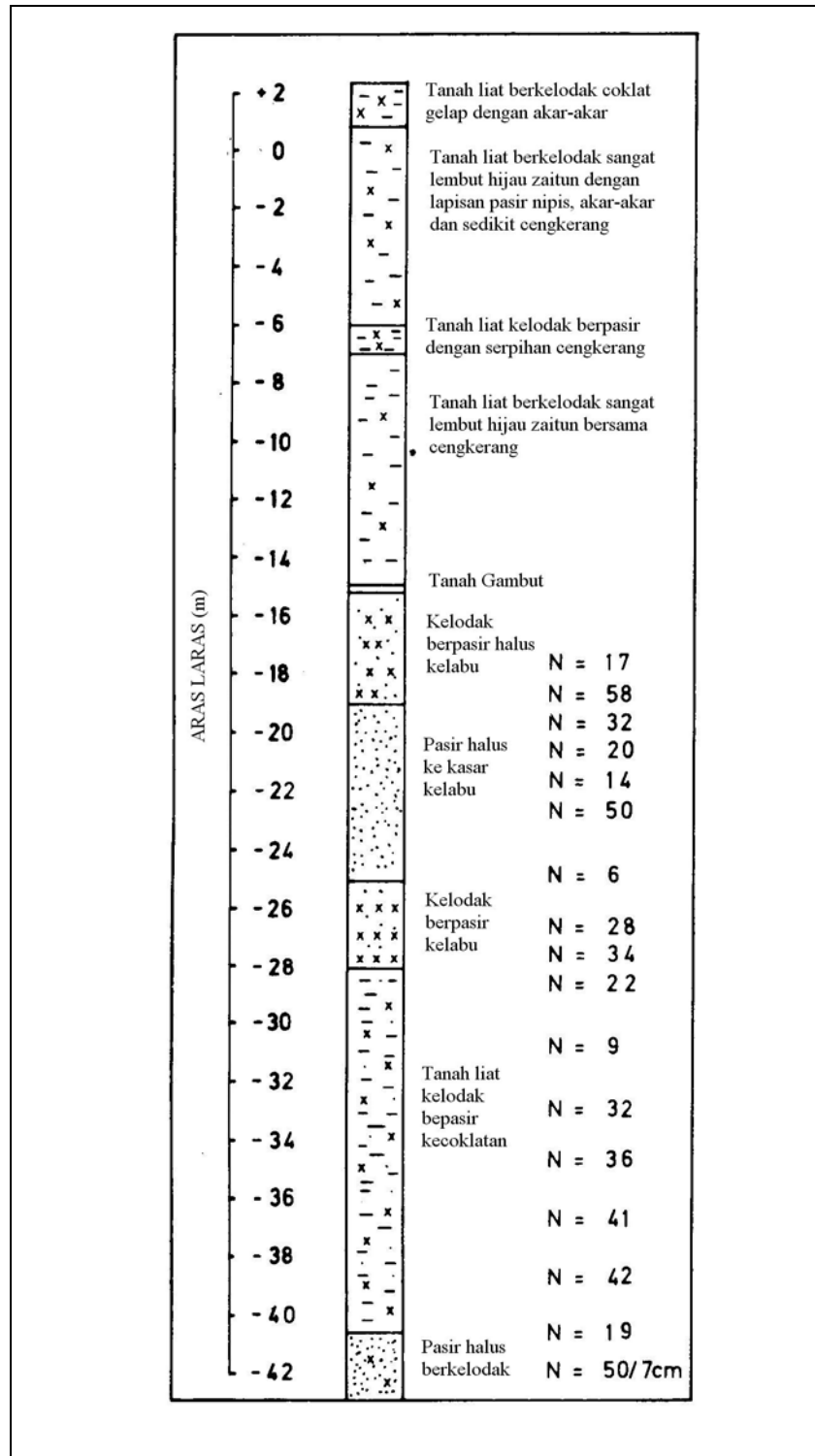
**Rajah 2.9: Had Atterberg dengan kedalaman (Hussein, 1995)**



**Rajah 2.10: Korelasi indeks mampatan dengan kandungan lembapan semulajadi dan had cecair (Aziz, 1993)**

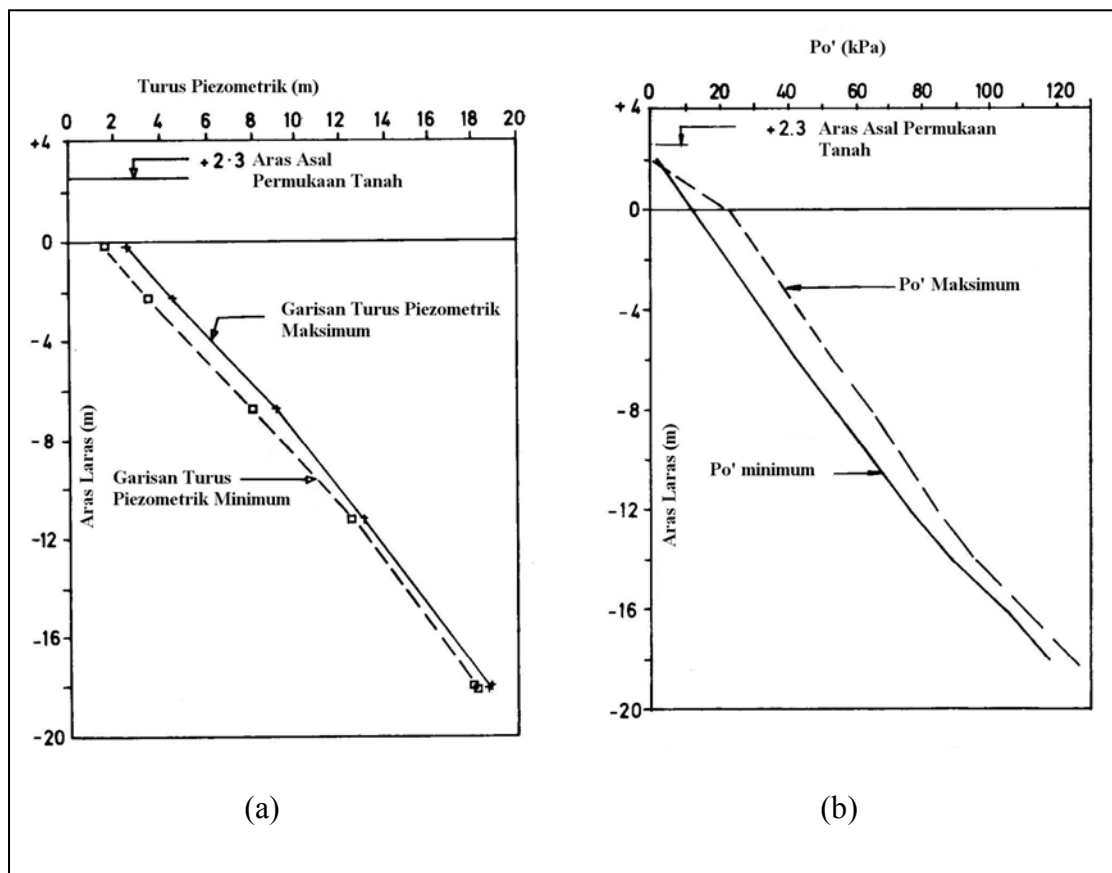


**Rajah 2.11: Korelasi indeks mampatan ternormal dengan kandungan lembapan semulajadi dan had cecair (Aziz, 1993)**

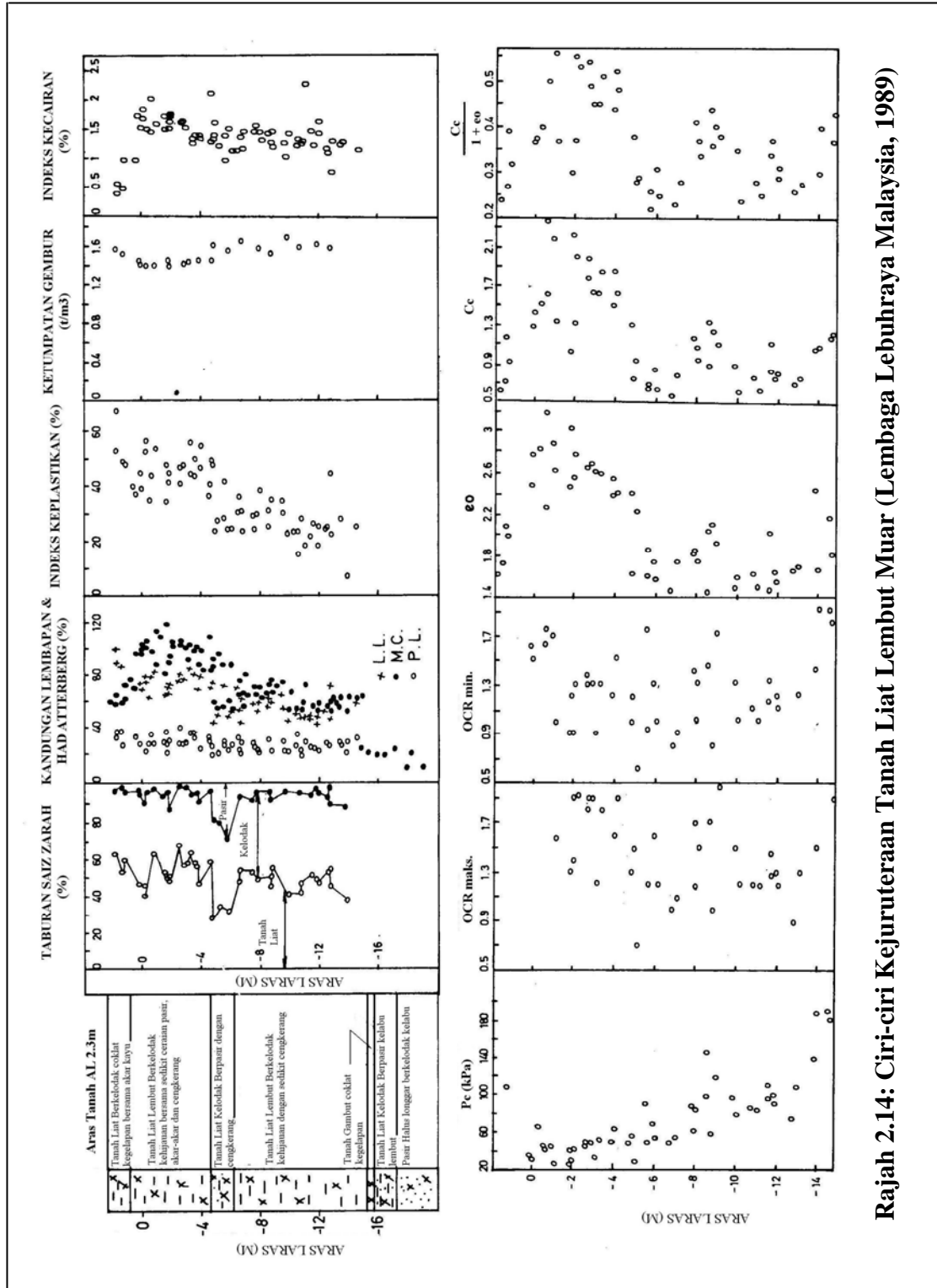


Rajah 2.12: Profil Tanah Dari Lubang Jara Paling Dalam

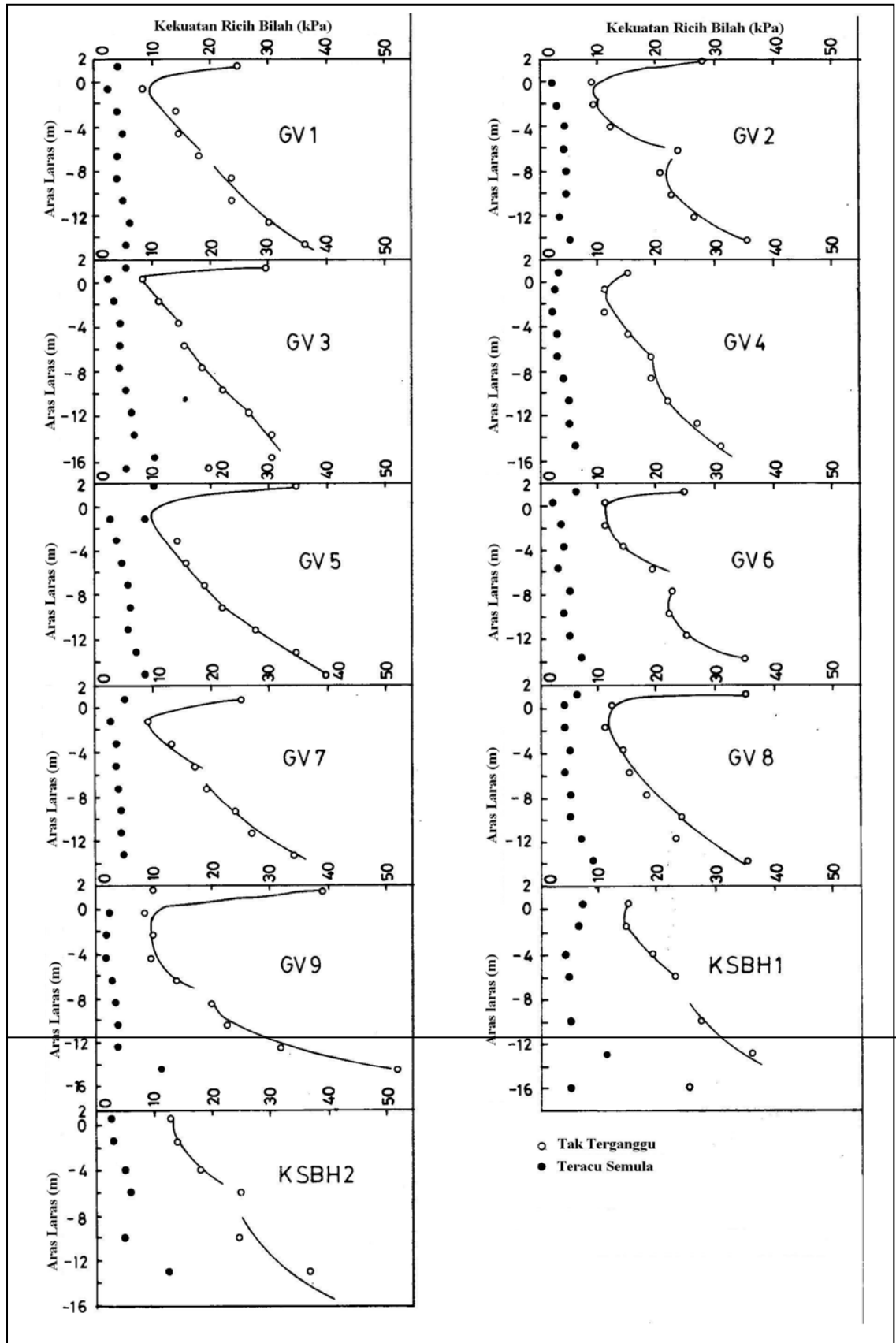




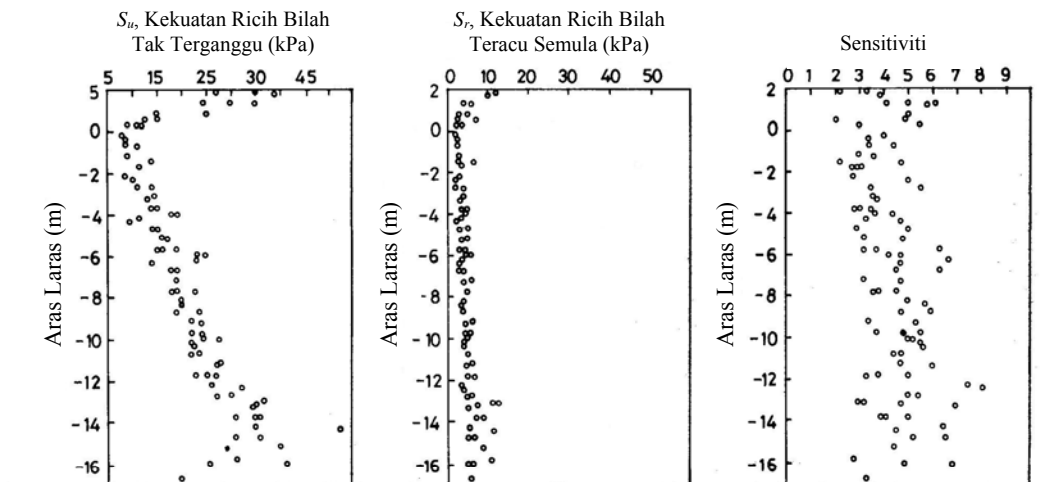
**Rajah 2.13 : a) Turus piezometrik maksimum dan minimum bagi semua titik rujukan, b) Tegangan di-situ berkesan maksimum dan minimum (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)**



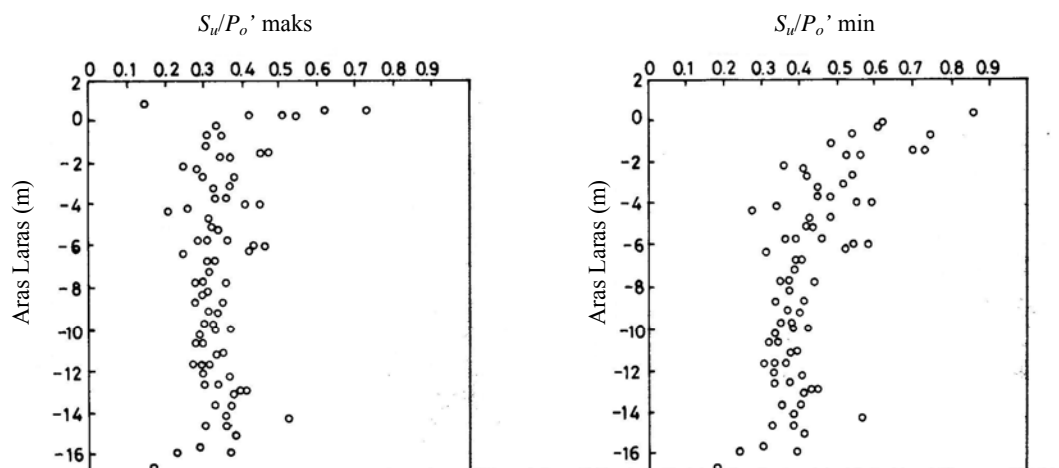
Rajah 2.14: Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Liat Lembut Muar (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)



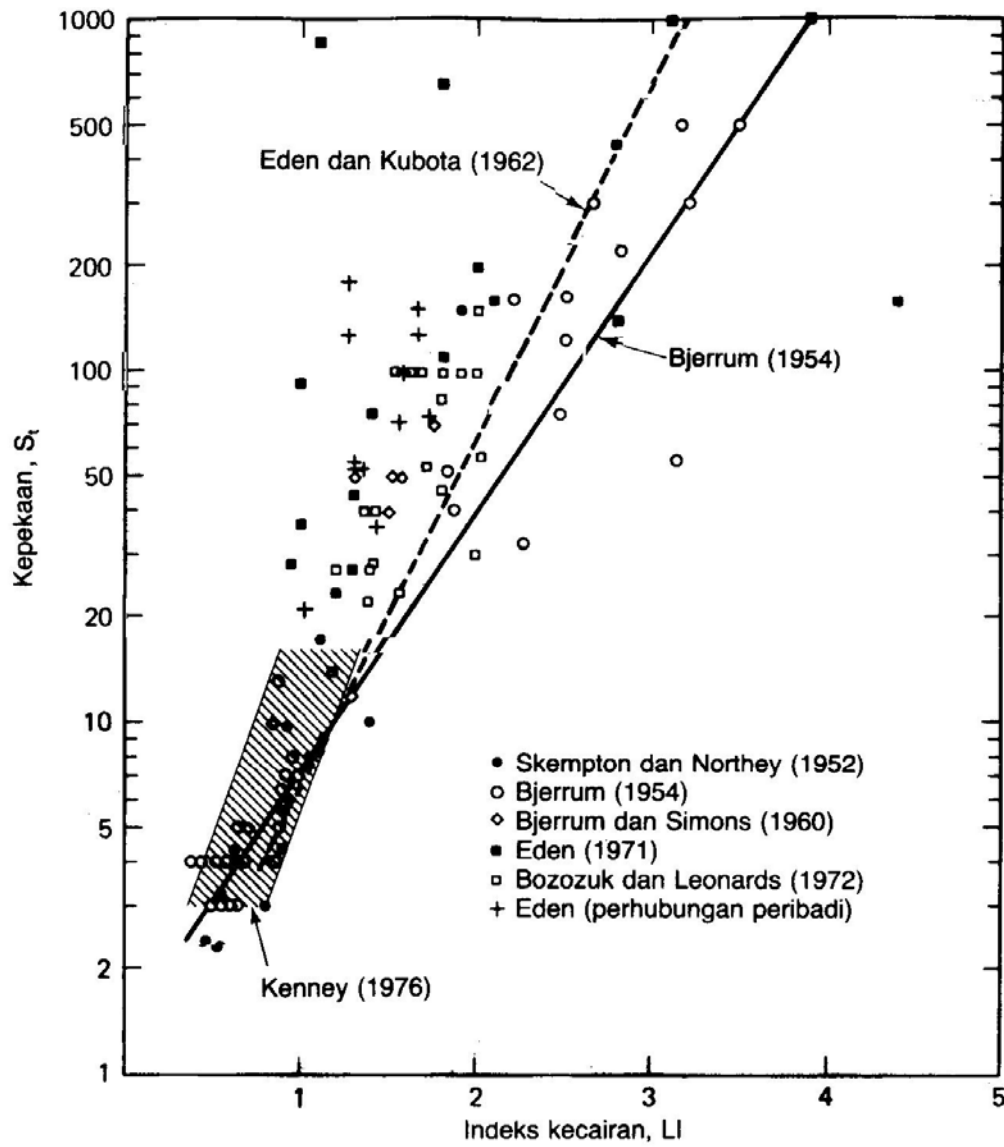
Rajah 2.15: Profil kekuatan ricih bilah (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)



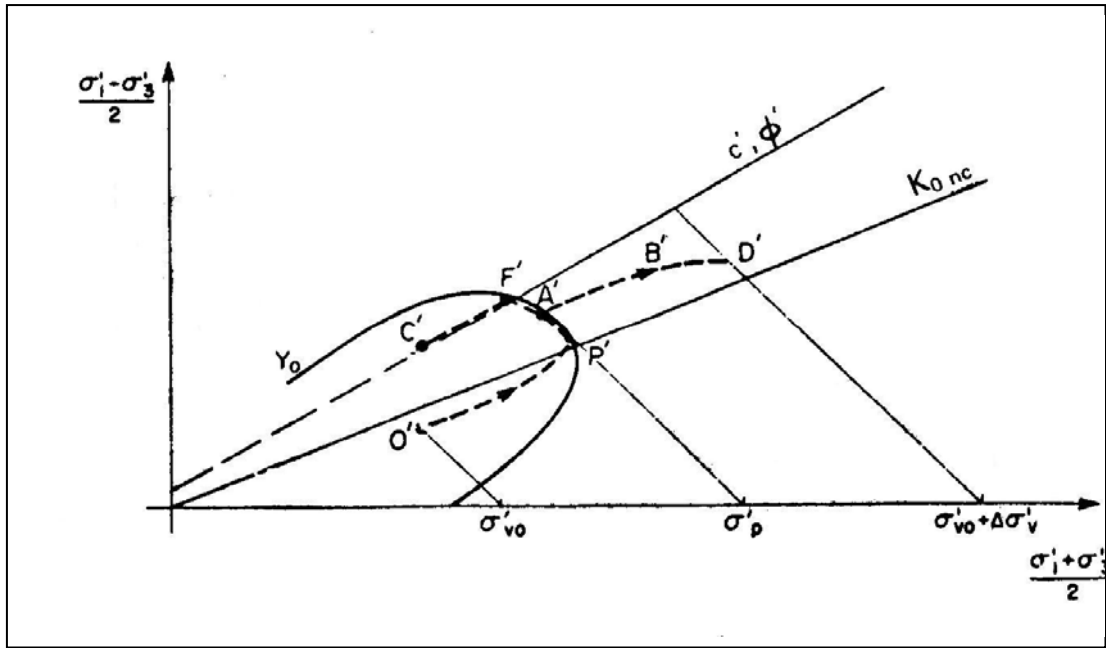
**Rajah 2.16: Gabungan Keputusan Ujian Ricih Bilah (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)**



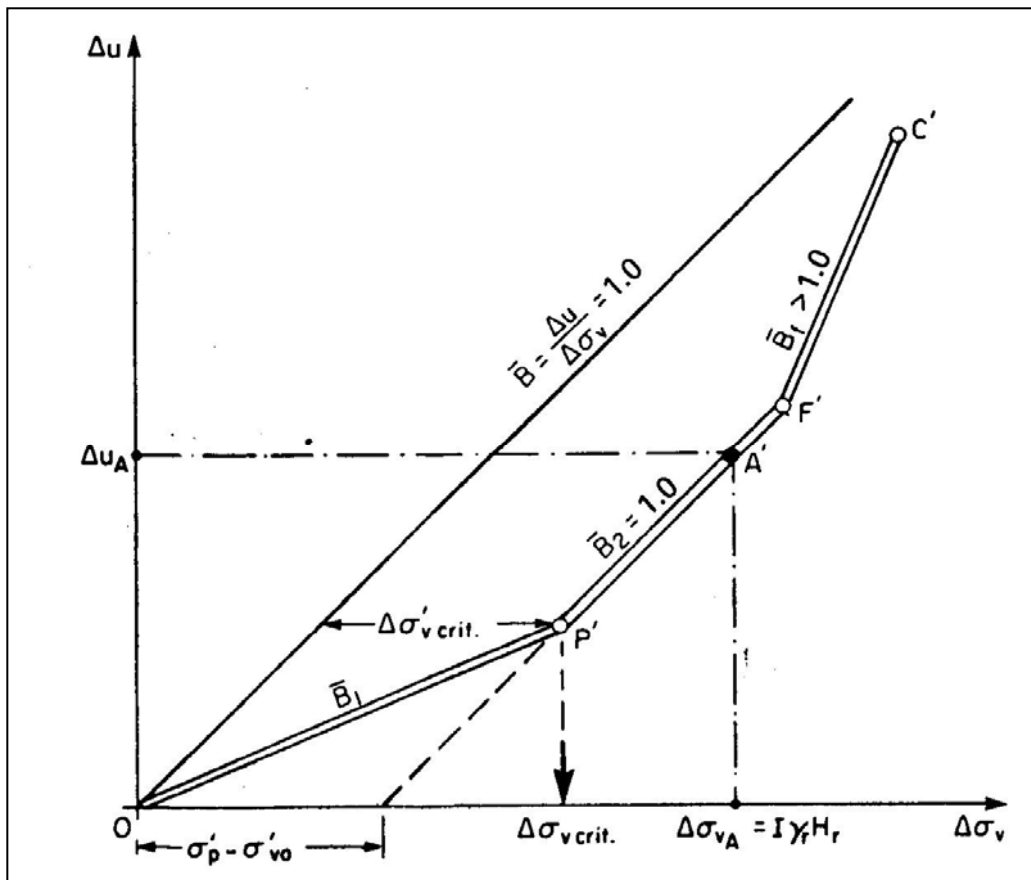
**Rajah 2.17 : a)  $\frac{S_u}{P_o' \text{ maks}}$ , b)  $\frac{S_u}{P_o' \text{ min}}$  (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)**



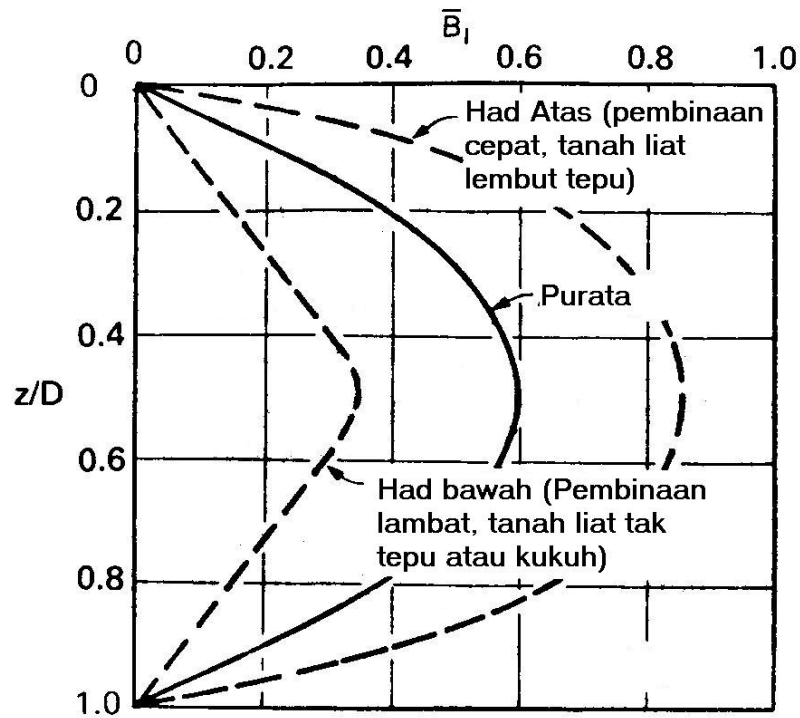
**Rajah 2.18 : Hubungan di antara kepekaan dan indeks kecairan bagi tanah liat Skandinavia, British, Kanada dan beberapa tanah liat A.S. (Holtz dan Kovacs, 1981)**



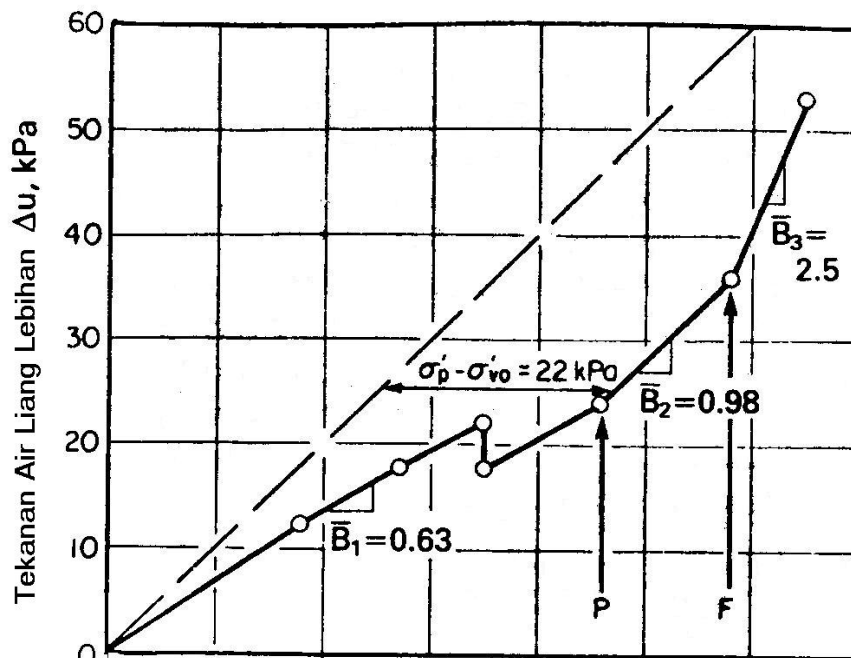
Rajah 2.19: Laluan tegasan berkesan di bawah tambakan (Lerouiel et al., 1990)



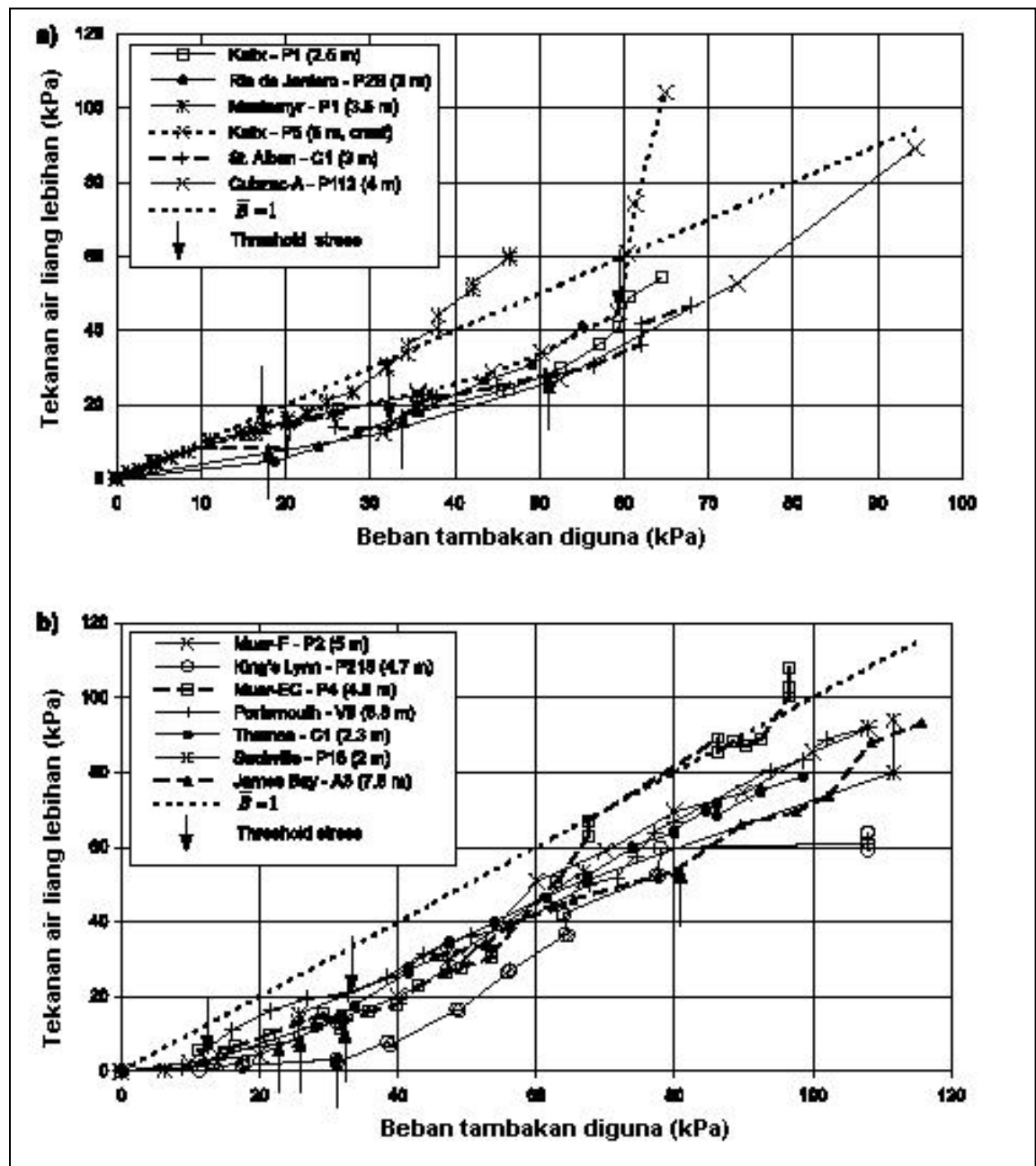
Rajah 2.20: Hubungan antara tekanan air liang dan tegasan jumlah pugak yang disebabkan oleh tambakan (Lerouiel et al., 1990)



Rajah 2.21: Hubungan antara kedalaman dan pekali tekanan air liang  $\bar{B}_1$ .  
(Lerouiel et al., 1990)

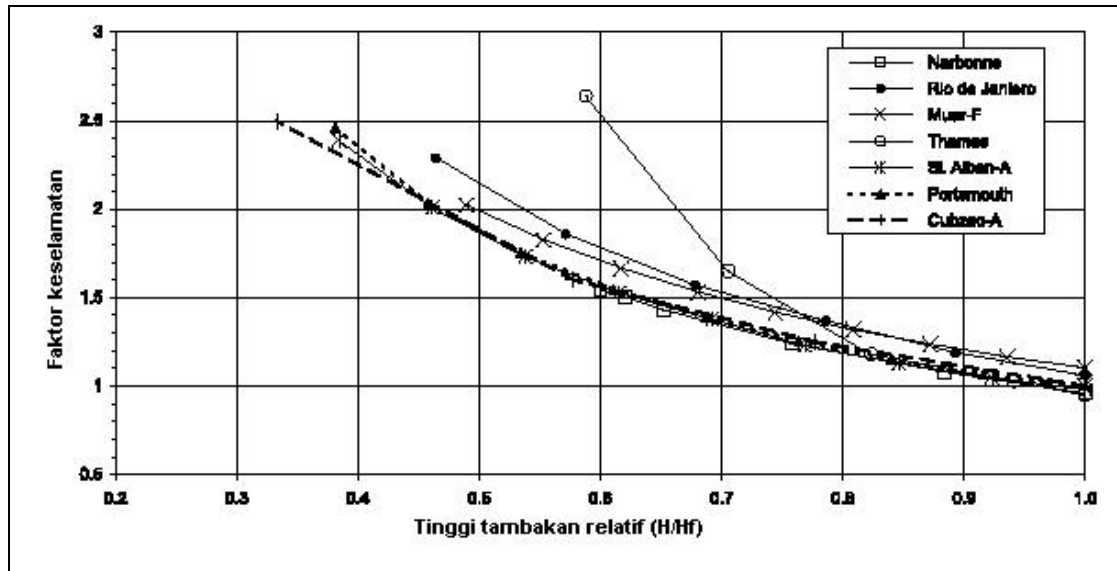


Rajah 2.22: Perubahan tekanan air liang lebihan di bawah pusat Tambakan Cubaan Kalix, Sweden semasa pembinaan (Selepas Holtzs dan Holm, 1979)

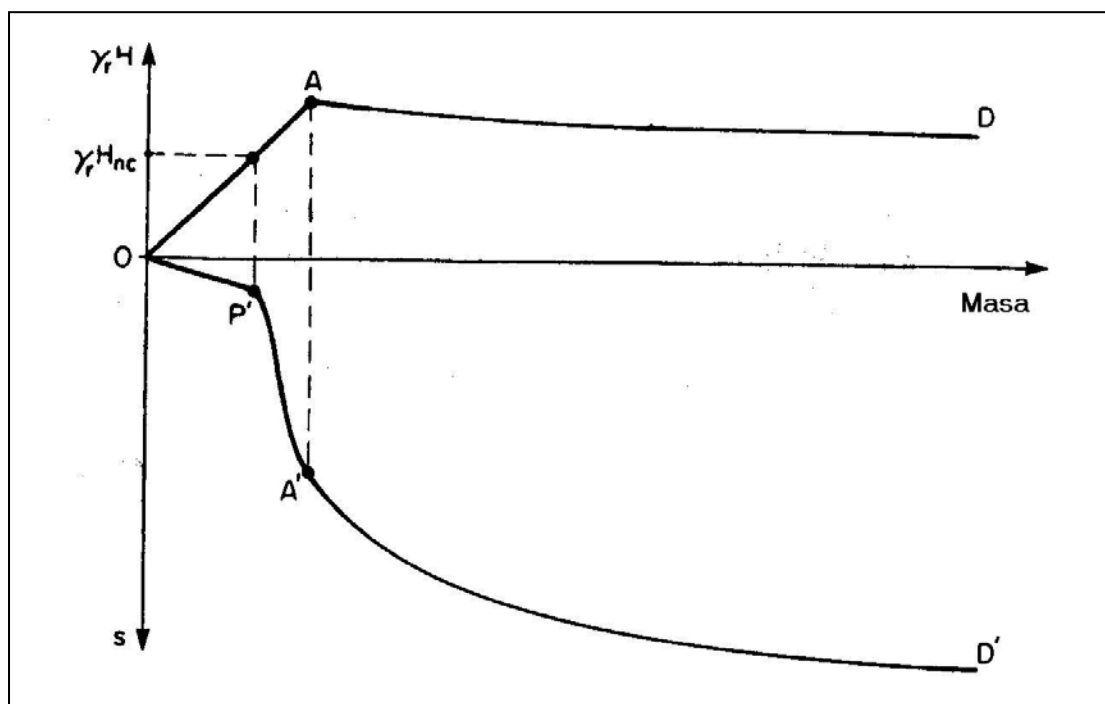


Rajah 2.23 : Taburan tekanan air liang di bawah pusat tambakan melawan beban tambakan diguna (Hunter dan Fell, 2003)

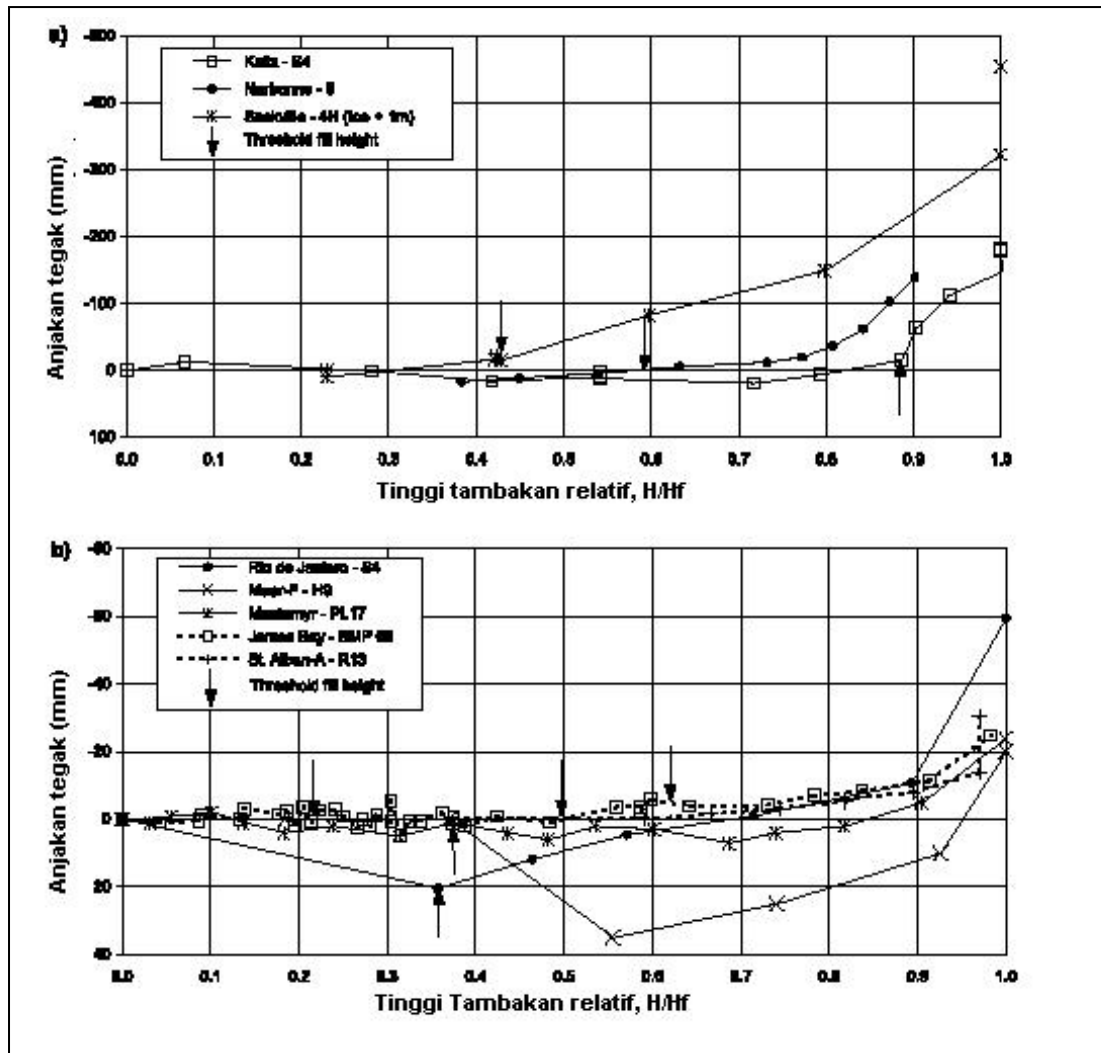




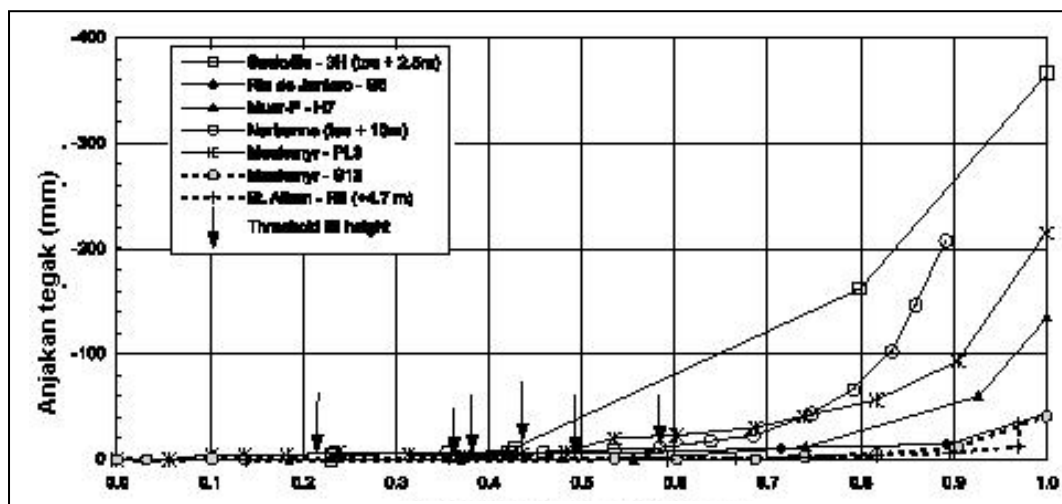
Rajah 2.24: Faktor Keselamatan melawan tinggi tambakan relatif (Fell dan Hunter, 2003)



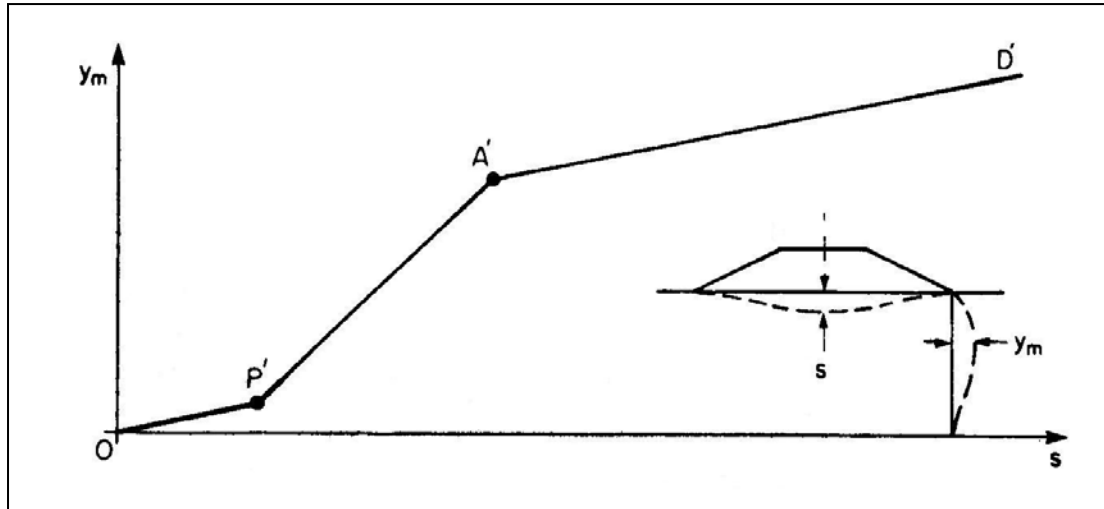
Rajah 2.25: Perubahan biasa beban tambakan dan enapan dengan masa (Lerouiel et al., 1990)



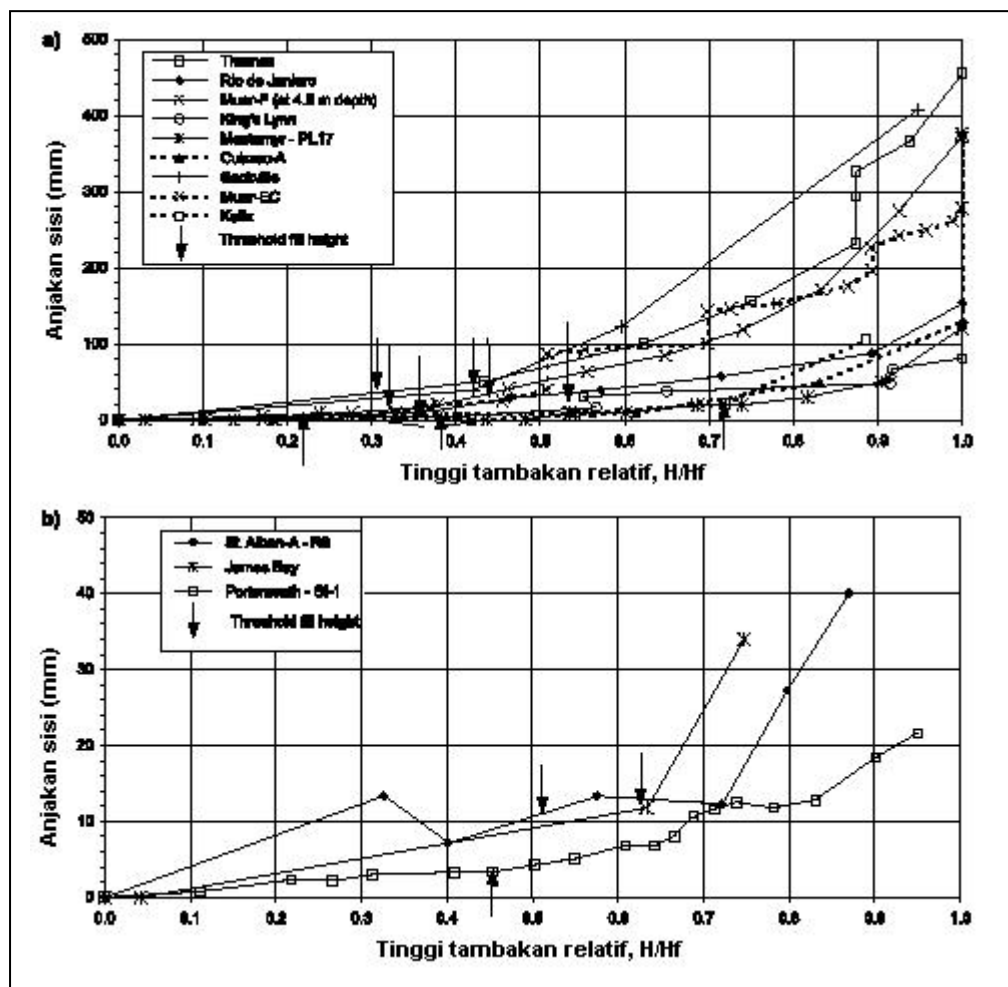
Rajah 2.26 : Anjakan tegak di hilir tambakan melawan tinggi tambakan relatif. Lambung adalah negatif (Hunter dan fell, 2003)



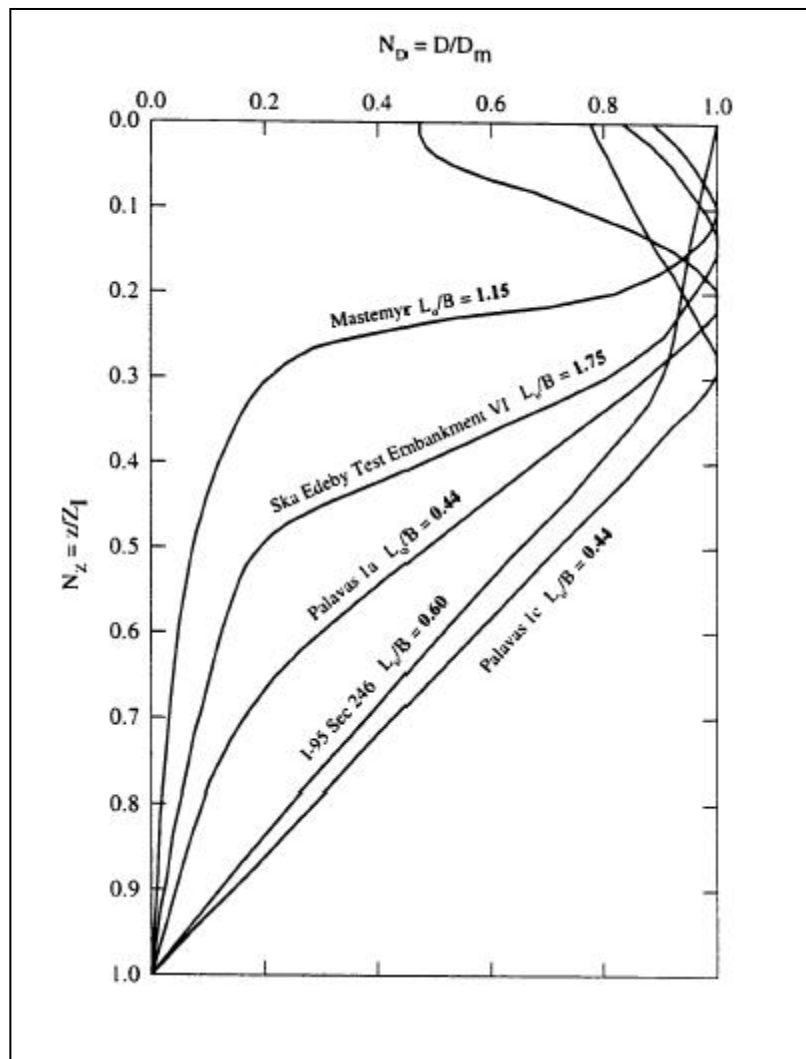
Rajah 2.27 : Anjakan tegak di luar hilir tambakan melawan tinggi tambakan relatif. Lambung adalah negatif (Hunter dan fell, 2003)



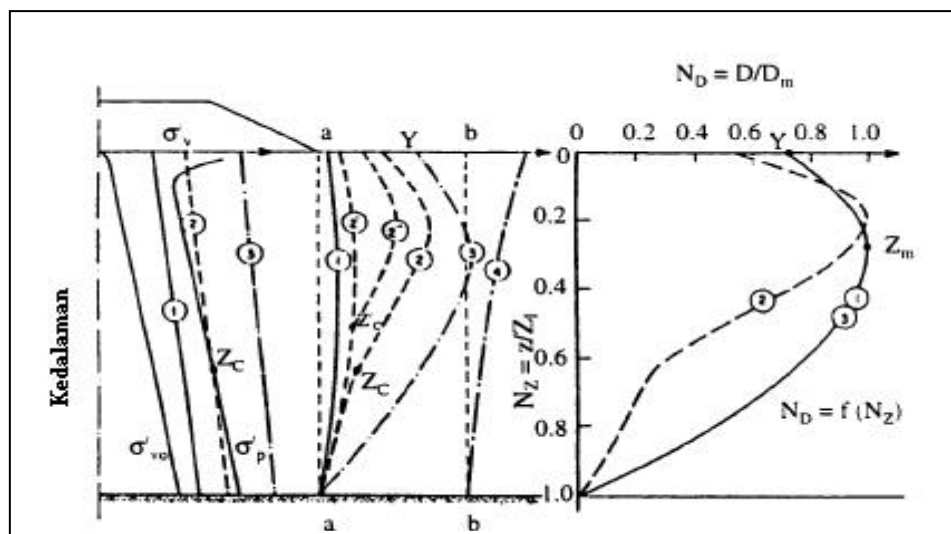
Rajah 2.28: Hubungan Biasa antara anjakan sisi maksimum  $y_m$  dan enapan  $s$  di bawah tambakan (Lerouiel et al., 1990)



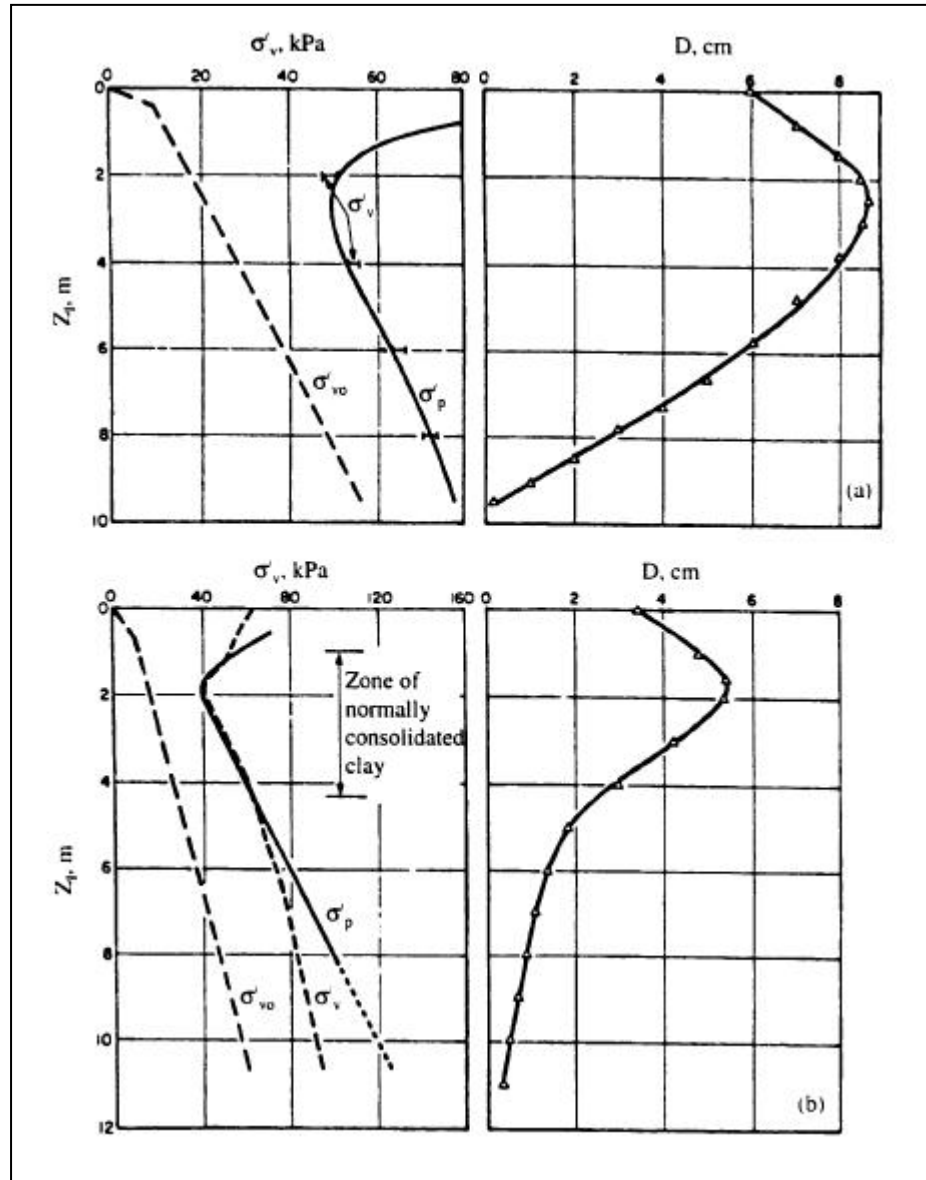
Rajah 2.29 : Anjakan sisi permukaan di hilir tambakan melawan tinggi tambakan relatif (Hunter dan Fell, 2003)



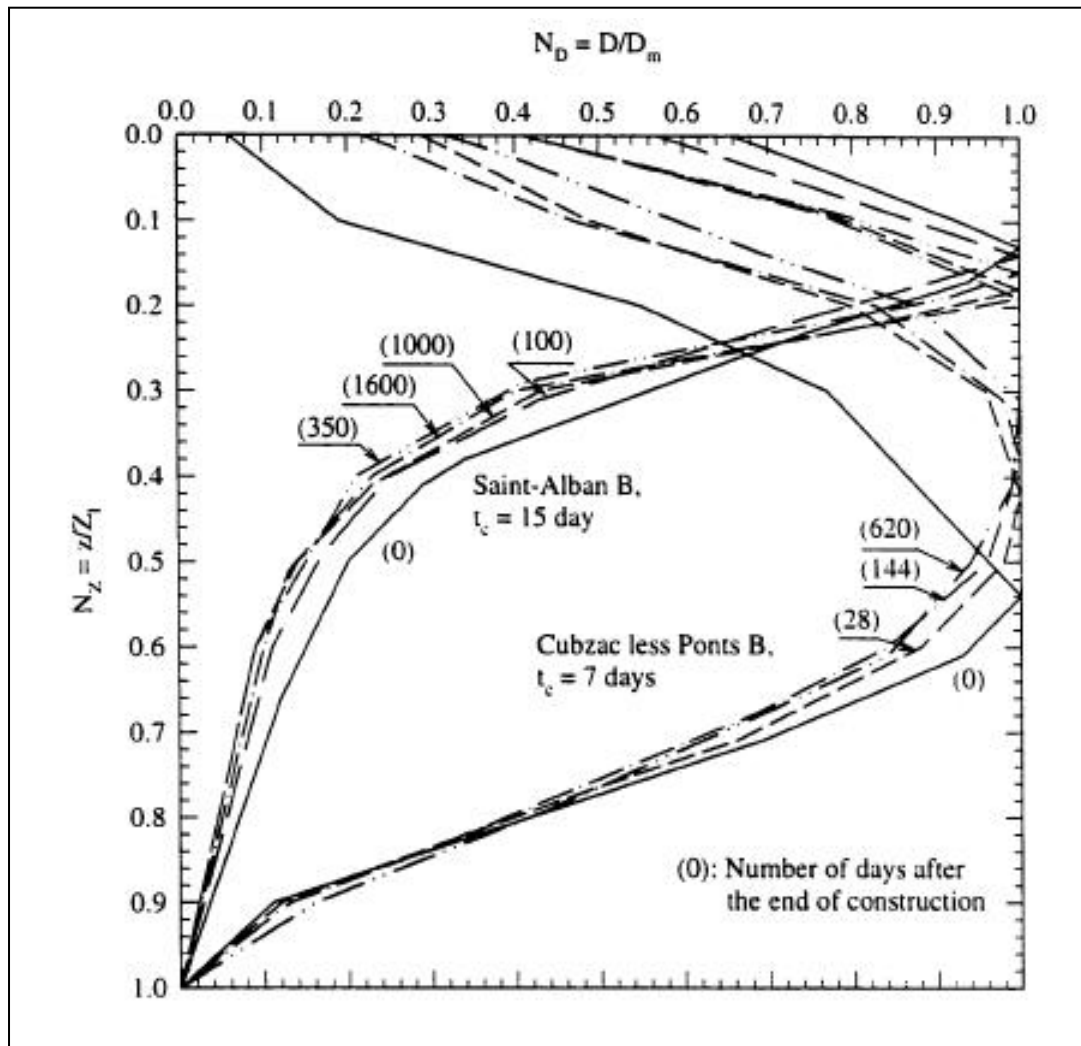
Rajah 2.30 : Kesan  $L_0/B$  terhadap profil anjakan sisi ternormal (Selepas Marche dan Chapuis, 1974)



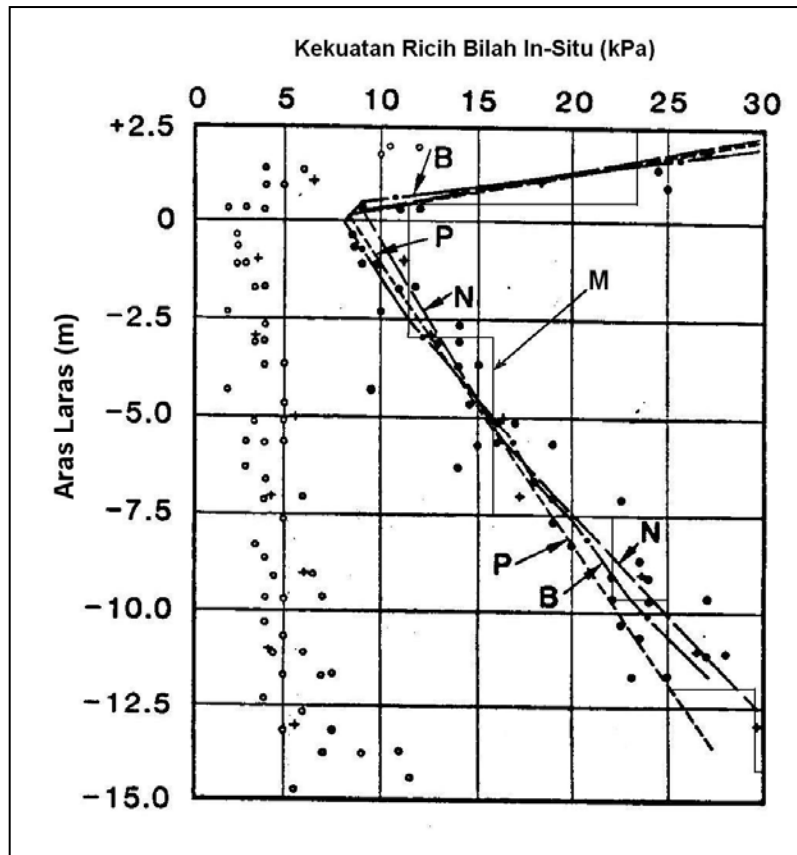
Rajah 2.31: Gambaran skematik keadaan ubahbentuk dan tegasan di bawah tambakan (selepas Tavenas et al., 1979)



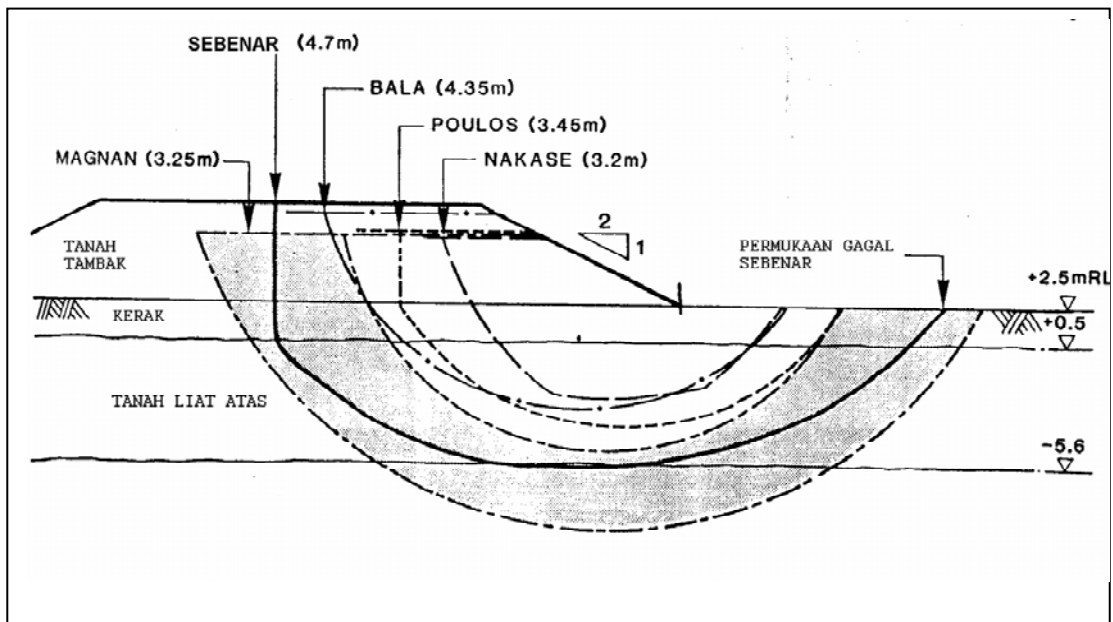
Rajah 2.32: Profil anjakan sisi dan tegasan berkesan pada akhir pembinaan di bawah tambakan; (a) Cubzac les Ponts A dan (b) Saint Alban B (selepas Tavenas et al. 1979).



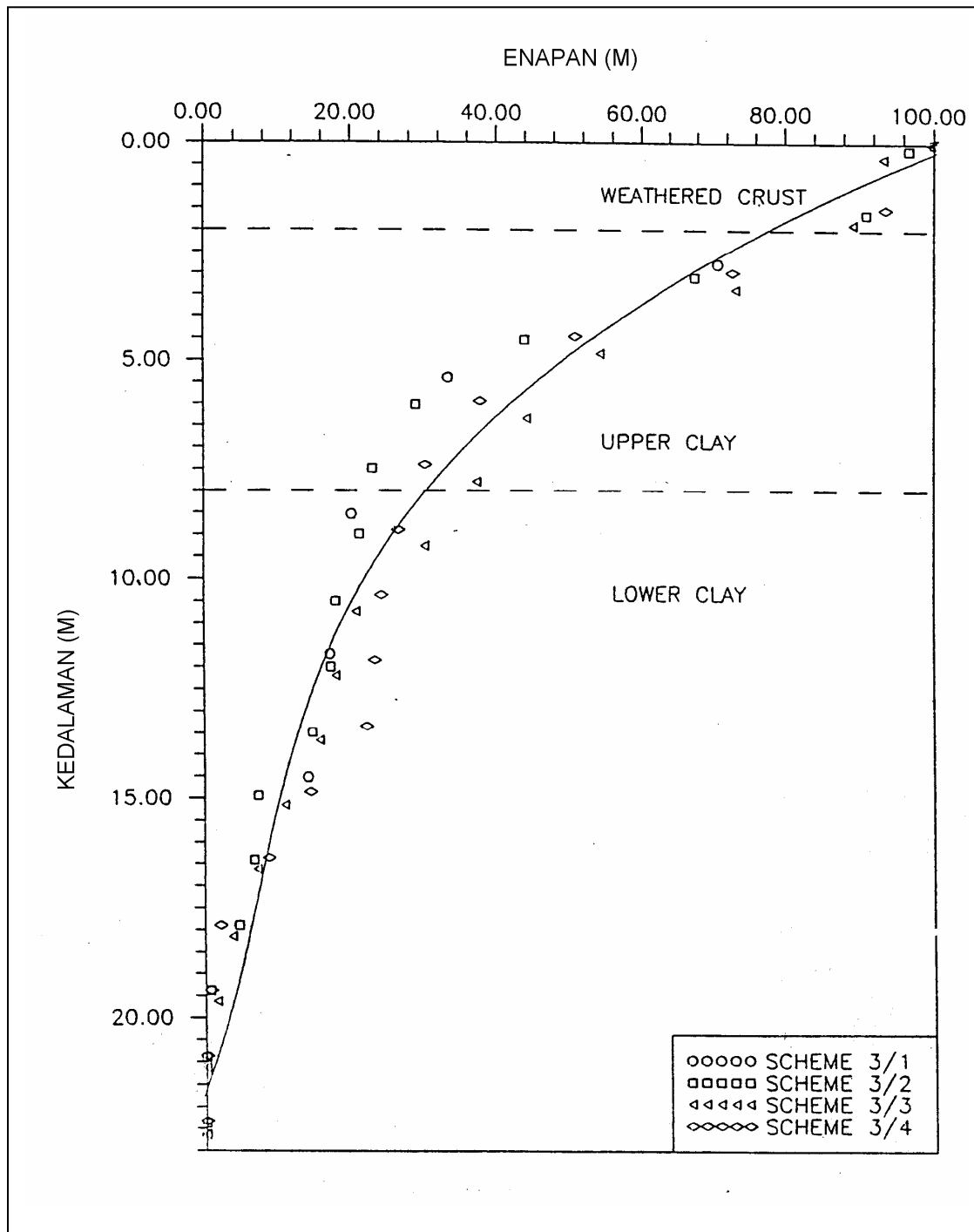
**Rajah 2.33: Profil anjakan sisi ternormal pada masa berbeza selepas pembinaan di bawah Tambakan Cubzac les Ponts B dan Saint-Alban B (selepas Tavenas et al., 1979)**



Rajah 2.34 : Nilai kekuatan ricih bilah yang dipilih oleh setiap penyelidik (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989b)

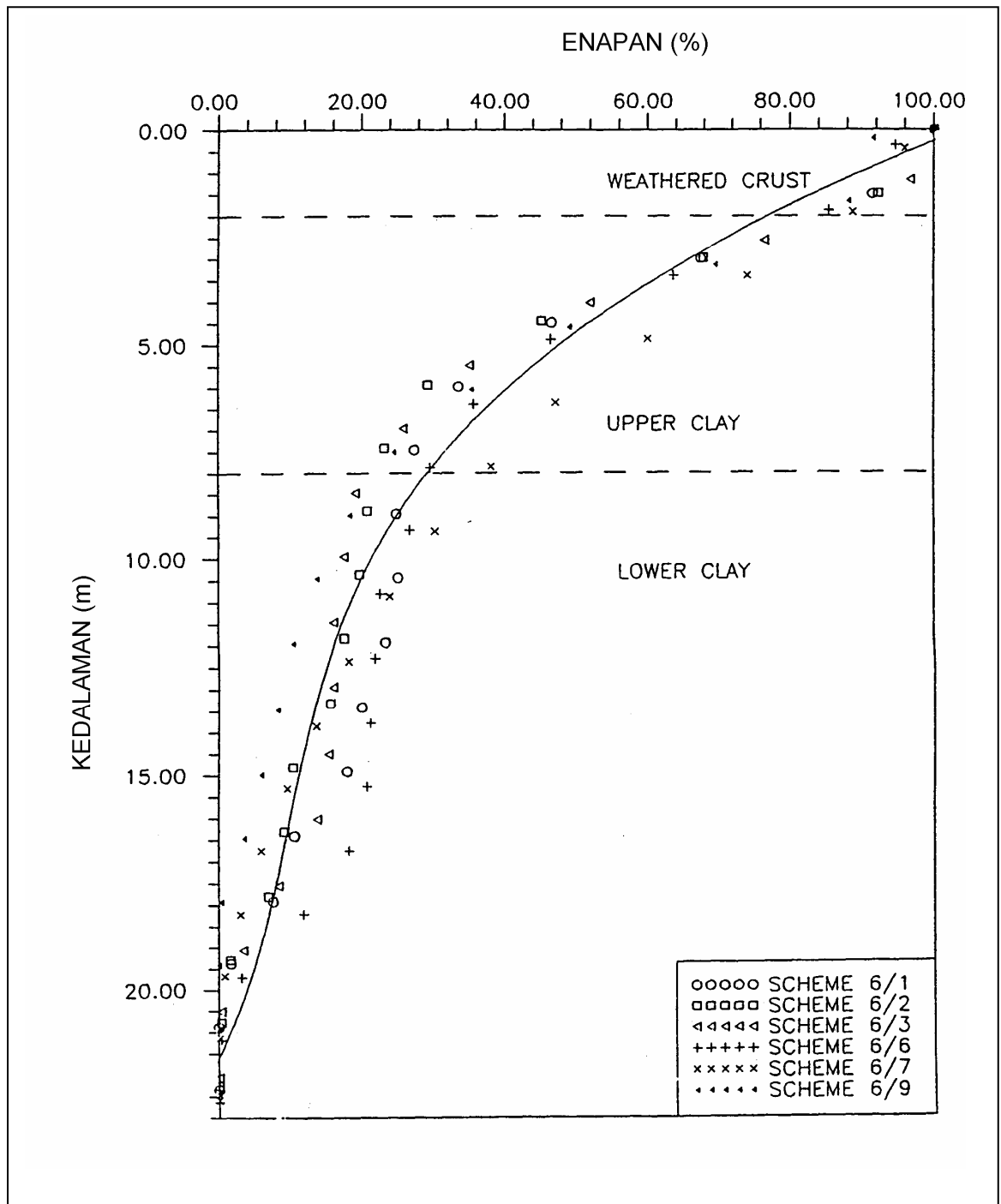


Rajah 2.35 : Perbandingan permukaan dan tinggi kegagalan diramal dengan yang sebenar (Brand & Premchitt, 1989)

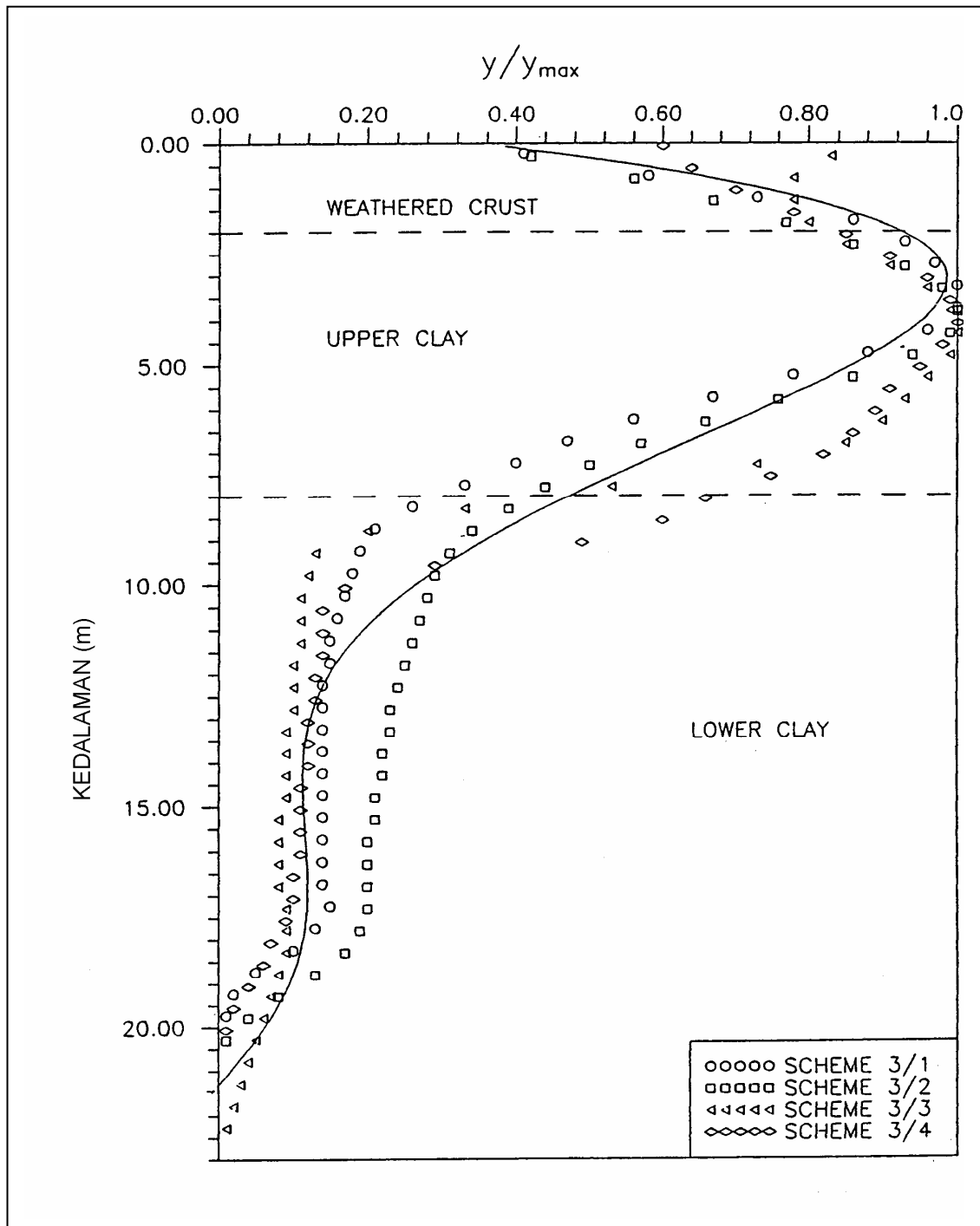


**Rajah 2.36: Taburan peratus enapan mengikut kedalaman bagi Tambakan 3 m  
(dari Sivaneswaran, 1993)**

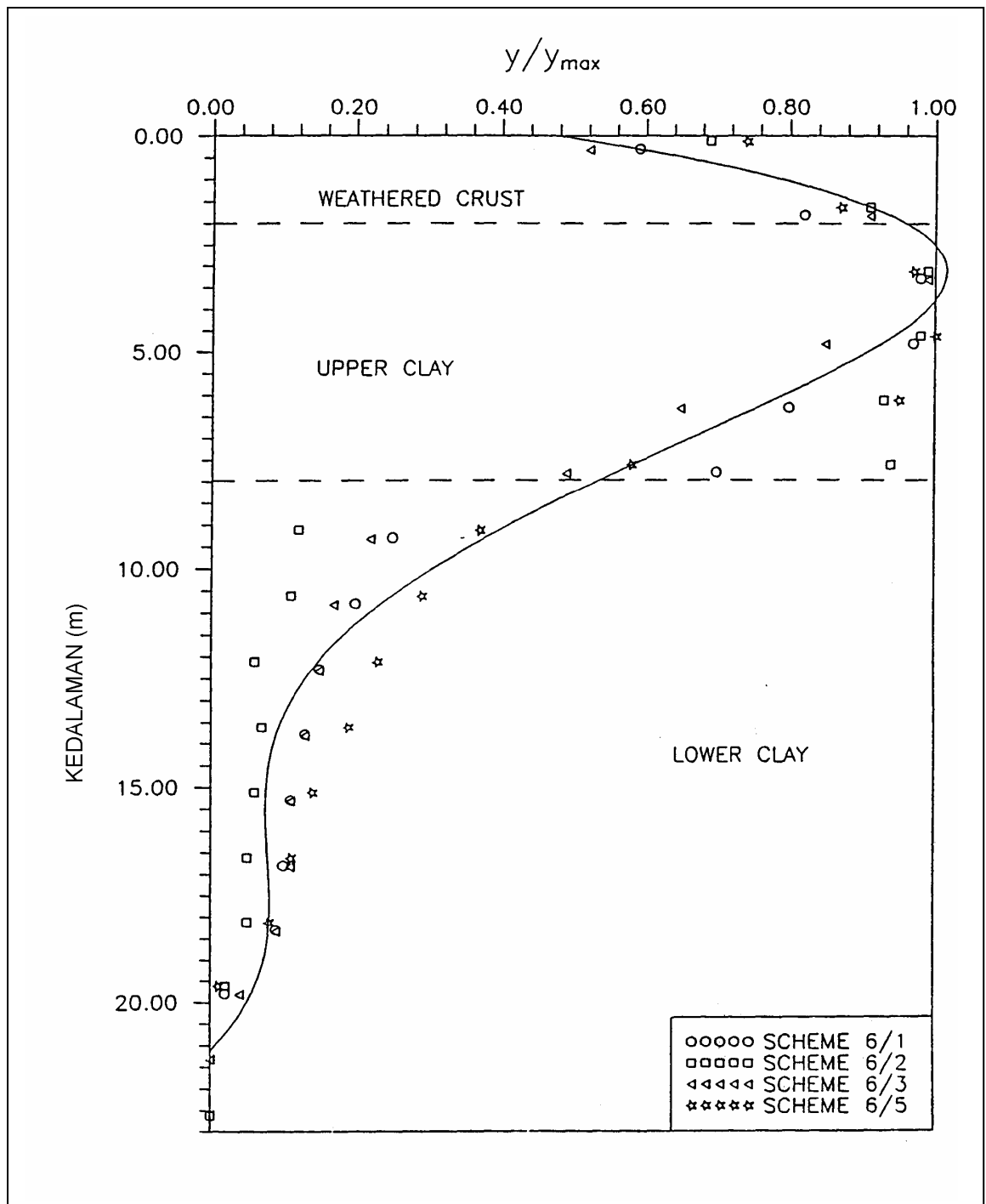




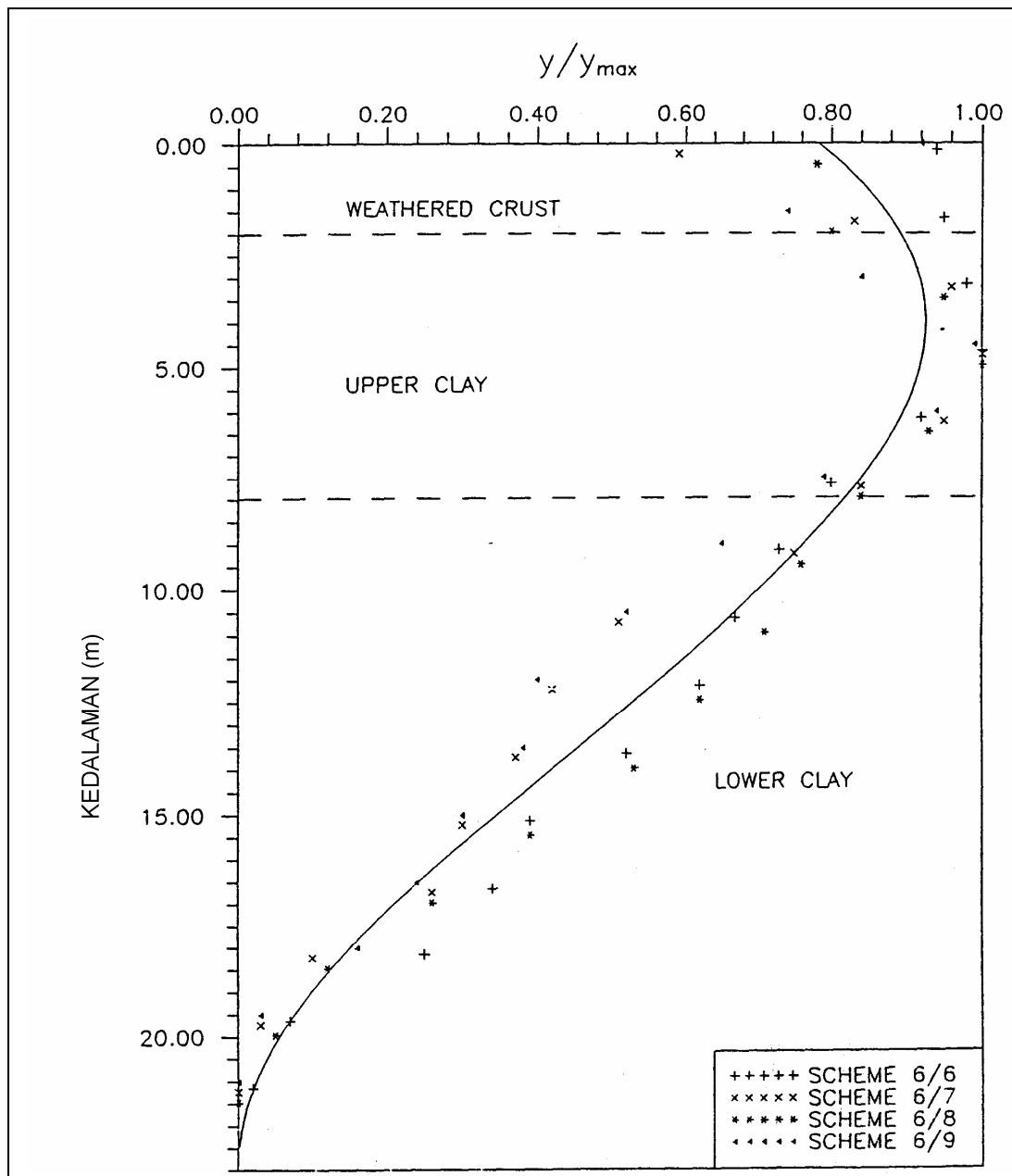
Rajah 2.37: Taburan peratus enapan mengikut kedalaman bagi Tambakan 6 m  
(dari Sivaneswaran, 1993)



**Rajah 2.38: Taburan nisbah anjakan sisi dengan anjakan sisi maksimum mengikut kedalaman bagi Tambakan 3 m (dari Sivaneswaran, 1993)**



**Rajah 2.39: Taburan nisbah anjakan sisi dengan anjakan sisi maksimum mengikut kedalaman bagi Tambakan 6 m (dari Sivaneswaran, 1993)**



**Rajah 2.40: Taburan nisbah anjakan sisi dengan anjakan sisi maksimum mengikut kedalaman bagi Tambakan 6 m (dari Sivaneswaran, 1993)**

## **BAB 3**

### **PROGRAM MAKMAL**

#### **3.1 Pengenalan**

Bab ini membincangkan peralatan yang digunakan dan metodologi kajian yang dijalankan dari peringkat awal hingga akhir kajian. Metodologi kajian ini diteliti dan disusun dengan teratur bagi memudahkan perjalanan dan proses kajian sehingga mencapai objektif dan hasil yang baik. Metodologi kajian yang dijalankan ditunjukkan dalam carta alir pada Rajah 3.1. Bab ini merangkumi beberapa aspek seperti;

- (i) Peralatan kajian; iaitu kaedah ujikaji, spesifikasi dan kalibrasi alat.
- (ii) Pemilihan lokasi sampel, teknik-teknik pengambilan sampel, ujian di tapak bina, penyelenggaraan dan penyimpanan sampel yang dibuat bagi kajian ini.
- (iii) Ujikaji di makmal seperti penyediaan sampel dan prosedur-prosedur ujikaji.

Pemilihan peralatan, kaedah dan prosedur kajian dipastikan terlebih dahulu kesesuaiannya, diterima pakai dan mengikut piawaian-piawaian antarabangsa dalam kajian tanah liat lembut.

Sebelum ujikaji makmal dijalankan, program pelaksanaan kerja dirancang terlebih dahulu bagi mencapai objektif kajian. Perancangan dibuat dengan rapi dan teratur bagi memudahkan perjalanan penyelidikan mengikut kesesuaian masa, kaedah dan peralatan yang ada di makmal. Ringkasan keseluruhan ujikaji adalah seperti dalam Jadual 3.1.

## **3.2 Peralatan Ujian Indeks Tanah**

### **3.2.1 Ujian Taburan Saiz Zarah Tanah**

Ujian taburan saiz zarah tanah dilakukan bagi mengasingkan zarah-zarah tanah kepada julat-julat saiz zarah yang ditetapkan. Ujikaji ini menggunakan kaedah ayakan basah kerana tanah yang diambil bagi kajian ini adalah tanah liat lembut yang mengandungi kandungan bahan halus yang tinggi. Peralatan piawai bagi analisis ayakan yang digunakan adalah berpandukan BS 1377: Bahagian 2: 1990 fasal 9.2. Rajah 3.2 menunjukkan peralatan yang digunakan dalam analisis ayakan bagi zarah tanah yang lebih besar dari 63  $\mu\text{m}$ . Bagi zarah tanah yang kecil dari 63  $\mu\text{m}$ , taburan saiz zarah ditentukan menggunakan kaedah hidrometer berpandukan BS 1377: Bahagian 2: 1990 fasal 9.5. Rajah 3.3 menunjukkan peralatan yang digunakan dalam kaedah hidrometer.

### **3.2.2 Ujian Had Atterberg**

Ujian had Atterberg adalah merupakan ujian pengelasan tanah bagi menentukan had cecair dan had plastik tanah. Had cecair ditentukan menggunakan kaedah penusukan kon. Ia adalah berdasarkan pengiraan penusukan kon piawai dengan jisim tertentu ke dalam tanah. Had cecair ditakrifkan sebagai peratusan kandungan air yang sepadan dengan tusukan kon sedalam 20 mm. Peralatan atau radas piawai yang digunakan bagi had cecair adalah seperti yang dirujuk dalam BS 1377: Bahagian 2: 1990 fasal 4.3.2. Manakala had plastik ditentukan dengan menggunakan radas piawai seperti yang ditentukan dalam BS 1377: Bahagian 2: 1990 fasal 5.3.2. Ujian had plastik hanya dilakukan pada tanah yang melepasi ayak 425  $\mu\text{m}$ . Rajah 3.4 menunjukkan peralatan yang digunakan untuk ujian had Atterberg iaitu dalam penentuan had cecair dan had plastik.

### **3.2.3 Ujian Graviti Tentu**

Kaedah yang digunakan bagi menentukan graviti tentu tanah adalah menggunakan kaedah piknometer kecil. Kaedah ini sesuai untuk tanah yang mengandungi zarah-zarah yang lebih kecil dari 2 mm. Radas-radas piawai yang digunakan dalam kaedah piknometer kecil bagi penentuan graviti tentu tanah dirujuk dalam BS 1377: Bahagian 2: 1990 fasal 8.3.3 dan Head (1992).

## **3.3 Peralatan Ujian Pengukuhan Tanah**

Alat yang digunakan bagi menentukan ciri-ciri pengukuhan dan kebolehmampatan tanah liat lembut ialah alat oedometer seperti yang ditunjukkan

dalam Rajah 3.5. Rajah 3.6 pula menunjukkan keratan rentas alat oedometer tersebut. Ujian oedometer ini berdasarkan ujian pengukuhan satu dimensi dan oedometer ini adalah dari jenis cincin tetap seperti yang dirujuk dalam BS 1377 Bahagian 5: 1990 fasal 3.2.

### **3.4 Peralatan Ujian Kekuatan Ricih Tanah**

#### **3.4.1 Sistem Digital Geoteknik (GDS)**

Kekuatan ricih tanah ditentukan menggunakan Sistem Digital Geoteknik (GDS) yang merupakan sistem pengawal berkomputer. Rajah 3.7 menunjukkan peralatan GDS yang digunakan dalam ujian kekuatan ricih tiga paksi yang terdiri daripada tiga bahagian iaitu;

- a) 3 Pengawal Tekanan Digital
- b) Sel Tiga Paksi
- c) Tekanan Digital Antara Muka (DPI)

Sel tiga paksi, 3 pengawal tekanan digital dan tekanan digital antara muka (DPI) ini disambungkan dengan sebuah komputer seperti dalam Rajah 3.8.

GDS adalah satu sistem pengawal komputer bagi ujian tiga paksi berdasarkan kepada sel laluan tegasan Bishop dan Wesley. Sel tersebut disambungkan kepada komputer melalui mikropemprosesan yang mengawal gerakan hidraulik yang dinamakan pengawal digital. Pengawal digital dapat mengatur tekanan dan



perubahan isipadu air yang dibekalkan kepada sel dengan tepat bagi mengawal tegasan paksi, tekanan sel dan tekanan balik.

**a) Pengawal Digital**

Pengawal digital GDS adalah mikropemprosesan yang mengawal gerakan hidraulik bagi mencapai tekanan atau perubahan isipadu yang ditetapkan. Pengawal digital GDS merupakan peralatan yang memberikan sumber tekanan yang tetap di mana ia boleh menggantikan sumber tekanan makmal tradisional seperti turus merkuri, udara termampat, minyak terpanam dan sebagainya. Ia juga merupakan sebuah tolok perubahan isipadu yang dapat memberi bacaan sehingga  $1 \text{ mm}^3$  atau lebih baik.

Oleh itu, pengawal digital tekanan ini boleh digunakan di dalam makmal geoteknik sebagai sumber am tekanan dan juga tolok perubahan isipadu. Peranti ini bukan sahaja sesuai sebagai sumber tekanan balik tetapi juga boleh mengukur perubahan dalam isipadu spesimen ujian. Sebagai tambahan, kelengkapan ini boleh diprogramkan melalui panel pengawalnya sendiri bagi menganjak, memberikan tekanan dan perubahan isipadu sejajar dengan masa. Ini bermakna, peranti ini juga sesuai digunakan untuk ujian kebolehtelapan melalui kadar aliran yang tetap. Peranti ini disambungkan kepada komputer, jadi ianya boleh dikawal secara terus melalui komputer.

Sel tekanan antara muka adalah panel pengawal yang mengandungi paparan cecair kristal (LCD) sebanyak 40 huruf dan 16 panel kekunci sentuh. Paparan dibahagikan kepada tiga bahagian. Bahagian pertama menunjukkan paparan tekanan semasa pada bahagian kiri. Bahagian kedua pula digunakan untuk menghantar maklumat dan memaparkan maklumat yang dimasukkan. Bahagian ketiga pula menunjukkan perubahan isipadu semasa yang terletak di sebelah kiri paparan. Enam

belas panel kekunci sentuh digunakan untuk memasukkan sasaran tekanan, sasaran isipadu dan anjakkan.

Cecair (air ternyah udara) di dalam silinder ditekan dan dimampatkan oleh pergerakan omboh di dalam silinder. Omboh tersebut digerakkan melalui skru bebola yang berputar dalam nat bebola oleh motor elektrik dan kotak gear yang bergerak melurus di atas gelang sar bola. Tekanan di ukur oleh pengesan dalam alat tersebut. Rajah 3.9 menunjukkan rajah skematik pengawal tekanan digital.

#### **b) Sel Tiga Paksi**

Sel mampatan tiga paksi adalah sel gerakan hidraulik bagi spesimen yang boleh meletakkan spesimen yang berdiameter 38 mm atau 50 mm. Walau bagaimanapun, spesimen yang digunakan bagi kajian ini adalah berdiameter 38 mm. Tekanan sel maksimum yang boleh di kenakan adalah 1700 kPa. Sel ini mempunyai ketinggian 800 mm, berdiameter 300 mm dan mempunyai berat 35 kgf. Sel ini berdasarkan kepada rekabentuk sel tiga paksi Bishop dan Wesley bagi mengawal ujian laluan tegasan yang telah dibangunkan di Imperial College di London. Daya paksi dikenakan pada spesimen melalui omboh yang diberikan tekanan dari bahagian bawah sel. Omboh ini bergerak ke atas dan ke bawah secara menegak dan lurus oleh cecair ternyah udara yang terletak di dalam ruang kebuk bawah. Omboh tersebut dilekatkan kepada sel menggunakan gegendang beralun Bellofram.

Penyambung kunci gerumit tahan karat 3.17 mm pada sel tiga paksi dapat memudahkan sambungan di antara sel tiga paksi dengan ketiga-tiga pengawal tekanan digital. Salur air liang yang terletak di dalam kebuk bawah disambungkan oleh satu tiub kecil kepada transduser yang terletak pada sisi sel tiga paksi.

### c) **Tekanan Digital Antara Muka (DPI)**

Tekanan air liang ditentukan menggunakan peralatan yang dinamakan tekanan digital antara muka (DPI). Penggunaannya adalah sama dengan pengawal tekanan atau isipadu digital tetapi transduser tekanan disambungkan secara terus ke dalam salur air liang. Ianya adalah pengawal mikropemproses bagi pengukuran tekanan cecair.

LCD digunakan bagi memaparkan tekanan semasa, maklumat yang dimasukkan dan secara umum untuk memaparkan pesanan. Ia juga dilengkapi dengan 16 kekunci tekan bagi tujuan menentukan datum pengukuran tekanan dan menentukan alamat dan sebagainya.

#### **3.4.2 Perisian GDSLAB Versi 2**

Perisian GDSLAB adalah satu program yang mengawal serta mendapatkan data-data ujian kekuatan ricih tiga paksi menggunakan GDS. Di antara ciri-ciri perisian GDSLAB Versi 2 adalah:

- (i) Ia direkabentuk bagi membolehkan ianya sesuai kepada semua kelengkapan yang disambungkan kepada komputer.
- (ii) Modul ujikaji khusus boleh dipilih berdasarkan ujikaji yang dikehendaki mengikut piawaian antarabangsa. Di antara ujikaji yang boleh dijalankan menggunakan perisian GDSLAB adalah ujian penepuan dan pengukuhan, ujian tiga paksi berdasarkan kepada BS 1377 ( termasuk ujian CIU, UU dan CD), pengelogan pengukuhan Oedometer, Ujian tiga paksi lanjut, modul laluan tegasan dan modul ujian  $K_0$ .

- (iii) Boleh mengubah paparan graf semasa ujikaji.
- (iv) Boleh memilih format untuk penyimpanan data.

Penggunaan perisian ini adalah dengan merujuk kepada buku panduan GDSLAB (2000) yang diterbitkan oleh GDS Instruments Ltd. (2000).

### **3.5 Kalibrasi Peralatan di Makmal**

Kalibrasi adalah proses penyemakan ukuran peralatan bagi mengenalpasti ketepatan serta kejituan dengan membandingkan dengan ukuran piawai. Sebelum sesuatu peralatan boleh digunakan untuk ujikaji, peralatan tersebut perlu dikalibrasi terlebih dahulu supaya dapat memberikan keputusan yang tepat, berkualiti dan boleh dipercayai. Di antara peralatan yang ditentukur adalah peralatan hidrometer, botol piknometer untuk ujian graviti tentu, tolok dail untuk ujian pengukuhan, peralatan GDS dan peralatan XRF.

Walau bagaimanapun, terdapat beberapa peralatan seperti spektrometer SEM tidak diterangkan kaedah kalibrasi yang dilakukan kerana memerlukan kepakaran. Peralatan tersebut dikalibrasi dengan sebaik mungkin dan perlu dikalibrasi semula pada sela masa yang ditentukan.

### 3.5.1 Kalibrasi Alat Hidrometer

Alat hidrometer dikalibrasi bersama-sama dengan silinder yang digunakan semasa ujian hidrometer. Ini kerana luas keratan rentas,  $A$ , silinder adalah termasuk dalam pengiraan dalam kalibrasi. Silinder yang digunakan adalah selari pada sisinya, jadi luas keratan adalah sama untuk keseluruhan silinder.

Bagi menentukan luas keratan  $A$ , panjang silinder,  $L$ , di antara senggatan 100 ml dan 1000 ml diukur dalam unit milimeter. Oleh itu, isipadu di antara dua senggatan itu adalah 900 ml. Luas keratan,  $A$ , diperolehi dengan persamaan di bawah.

$$A = \frac{900}{L} \times 1000 \text{ mm}^2 \quad (3.1)$$

Bagi alat hidrometer pula, jarak di antara senggatan bawah dengan leher bebuli diukur dalam milimeter dan ditandakan dengan  $N$  seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.10. Jarak di antara senggatan utama  $d_1$ ,  $d_2$ , dan seterusnya diukur dalam milimeter. Jarak  $H$  bagi setiap senggatan dikira menggunakan persamaan  $(N+d_1)$ ,  $(N+d_2)$  dan seterusnya. Bagi senggatan bawah,  $H=N$ . Jarak di antara leher ke bahagian bawah bebuli diukur dalam milimeter dan ditandakan sebagai  $h$ .

Isipadu bebuli hidrometer,  $V_h$  ditentukan dengan memasukkan hidrometer ke dalam silinder yang mengandungi 800 ml air. Kenaikan paras air merupakan isi padu bebuli hidrometer dan isipadu batang hidrometer boleh diabaikan seperti yang dicadangkan oleh Head (1992).

Kedalaman berkesan  $H_R$  (mm), bagi setiap senggatan utama dikira berdasarkan persamaan;

$$H_R = H + \frac{1}{2} \left( h - \frac{V_h}{900} L \right) \quad (3.2)$$

dengan,

H = panjang dari leher bebuli ke senggatan  $R_h$  (dalam mm)

h = panjang bebuli

$V_h$  = isipadu bebuli hidrometer (dalam ml)

L = panjang di antara senggatan 100 ml dan 1000 ml silinder

Graf  $H_R$  melawan  $R_h$  diplotkan dan satu garis lurus diperoleh. Persamaan garis lurus tersebut boleh ditunjukkan dalam bentuk;

$$H_R = j_1 - j_2 R_h \quad (3.3)$$

dengan,

$j_1$  = pintasan pada paksi  $H_R$

$j_2$  = kecerunan garis

$R_h$  = bacaan hidrometer

Persamaan 3.3 digunakan di dalam pengiraan bagi mendapatkan diameter zarah,  $D$  ( $\mu\text{m}$ ) dan peratus yang lebih kecil dari  $D$  yang boleh dikira daripada bacaan hidrometer  $R_h$  dan masa  $t$ . Kalibrasi alat hidrometer bagi ujikaji makmal ditunjukkan dalam **LAMPIRAN A**.

### 3.5.2 Kalibrasi Botol Piknometer

Kalibrasi isipadu botol piknometer bagi ujian graviti tentu dibuat untuk memastikan isipadu botol tersebut adalah hampir bersamaan 50 ml seperti yang digunakan dalam ujikaji. Setiap botol piknometer dikeringkan sehingga kepada suatu berat yang tetap, disejukkan dan ditimbang sehingga 0.001 g. Botol tersebut kemudiannya diisi dengan air suling ternyah udara yang diperoleh daripada

dididihkan air selama 30 minit. Botol ditutup dan diletakkan di dalam tangki air yang bersuhu 25°C. Air ditambah jika berlaku pengurangan sehinggalah tiada perubahan isipadu. Kemudian, botol tersebut dikeluarkan, dikeringkan dan ditimbang. Ketumpatan setiap botol ditentukan menggunakan persamaan berikut (Head, 1982);

$$V_d = \frac{m_4 - m_1}{0.99704} \quad (3.4)$$

dengan,

$V_d$  = Isipadu botol (ml)

$m_1$  = jisim botol bersama penutup

$m_4$  = jisim botol bersama penutup dengan air suling pada suhu 25°C

0.99704 g/ml adalah ketumpatan air pada suhu 25°C

**LAMPIRAN B** menunjukkan contoh kalibrasi botol piknometer yang telah dilakukan dalam kajian ini.

### 3.5.3 Kalibrasi Tolok Dail

Tolok dail perlu dikalibrasi setiap tahun bagi memastikan ketepatan dan kejituan bacaan tolok untuk ujian pengukuhan. Blok tolok piawai yang berdimensi 10 mm panjang dan 40 mm lebar dan mempunyai ketebalan 1-15 mm diletakkan di bawah andas tolok dail selepas bacaan tolok dail ditetapkan sifar. Bacaan tolok dail bagi setiap blok tersebut diambil dan dicatatkan. Graf anjakan sebenar (ketebalan blok) dengan bacaan tolok dail dipelotkan. Satu persamaan diperoleh daripada pelotan tersebut dan persamaan ini digunakan bagi mendapatkan anjakan sebenar yang berlaku seperti yang ditunjukkan dalam **LAMPIRAN C**.

### **3.5.4 Kalibrasi Peralatan GDS**

Semua pengawal digital dan DPI yang digunakan dalam kajian ini telah dikalibrasi oleh pengilang, GDS Instrument Ltd. Sijil kalibrasi alat tekanan bagi tiga pengawal dan DPI yang digunakan dalam kajian ini dilampirkan dalam **LAMPIRAN D**.

## **3.6 Pensampelan Tanah dan Ujikaji di Tapak**

### **3.6.1 Pemilihan Lokasi Pensampelan**

Lokasi pemilihan sampel bagi tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia bagi kajian ini pada asasnya dikenalpasti mengikut dua kriteria; (i) Ianya mewakili taburan mendapan tanah lembut di sepanjang pantai barat dan pantai timur Semenanjung Malaysia, dan (ii) Lokasi yang dipilih berdasarkan projek-projek yang sedang dijalankan dengan kerjasama pihak JKR dan Kumpulan IKRAM Sdn. Bhd. Dalam kajian ini, empat lokasi pensampelan tanah liat lembut telah dipilih di sepanjang pantai timur dan barat Semenanjung Malaysia bagi seperti ditunjukkan dalam Rajah 3.11. Lokasi tersebut adalah seperti berikut;

- (i) Tanjung Karang, Selangor
- (ii) Air Putih, Kemaman, Terengganu
- (iii) Kg. Mat Lagam, Kemaman, Terengganu
- (iv) Muara Sungai Kuantan, Pahang



### **3.6.2 Teknik-Teknik Pensampelan di Tapak**

Ciri-ciri kejuruteraan endapan tanah liat boleh diperolehi dari ujian-ujian di tapak dan di makmal. Penyelenggaraan dan penyimpanan sampel yang betul perlu diberi keutamaan dalam ujian makmal untuk mencapai keputusan yang baik dan tepat.

Teknik pensampelan yang digunakan mempengaruhi kualiti sampel yang diperolehi. Oleh itu, kualiti sampel yang diambil daripada penyiasatan di tapak akan dirujuk melalui BS5930 (1981). Pengelasan kualiti sampel adalah berdasarkan taburan saiz zarah, kandungan lembapan, ketumpatan kering dan kekuatan ricih atau indeks kebolehmampatan.

Dalam kajian ini, pensampelan tanah bagi kajian ini dicapai melalui penggerudian tanah tak terganggu menggunakan pensampel tiub terbuka berdinging nipis seperti ditunjukkan dalam Rajah 3.12. Sampel-sampel ini diambil melalui bantuan Kumpulan IKRAM Sdn. Bhd. dan kontraktor-kontraktor yang menjalankan penyiasatan tapak di lokasi yang telah dipilih. Dalam kajian mikrostruktur dan mikrofabrik, teknik pensampelan adalah penting bagi memastikan sampel yang diperolehi daripada tapak tidak terganggu atau rosak yang boleh mempengaruhi keputusan yang tepat diperolehi.

### **3.6.3 Penyiasatan dan Ujikaji di Tapak**

Ujikaji untuk menentukan kekuatan ricih tak tersalir di tapak dijalankan menggunakan ujian ricih bilah. Daripada ujikaji tersebut, kekuatan ricih puncak dan kekuatan ricih yang diacu semula ditentukan dan sensitiviti tanah liat ( $S_t$ ) dapat dikira.

### **3.6.4 Penyelenggaraan dan Penyimpanan Sampel**

Bagi mencegah kehilangan lembapan, tiub sampel ditutup dengan lilin parafin di kedua-dua belah hujung tiub sebaik sahaja sampel dikeluarkan dari tanah. Getah penutup dimasukkan di kedua-dua belah hujung tiub sebelum diletakkan dalam kotak pengangkutan. Kotak tersebut direkabentuk bagi mengelakkan gegaran semasa pengangkutan.

Sebaik sahaja sampel sampai di makmal, kotak sampel dipindahkan ke bilik stor. Suhu dan kelembapan semasa pengangkutan, penyimpanan dan ujikaji dilakukan pengawalan bagi mengurangkan kesan terhadap kelakuan tanah tersebut. Sampel disimpan di dalam makmal pada suhu 20°C dan disimpan tidak lebih seminggu bagi mengekalkan kelembapan asal tanah tersebut. Masa penyimpanan sampel sepatutnya tidak boleh melebihi empat minggu.

Sampel tanah liat dari tiub dikeluarkan menggunakan penyemperit hidraulik mendatar seperti dalam Rajah 3.13. 100 mm yang pertama di hujung tiub sampel dibuang kerana kemungkinan pada bahagian dihujung adalah sampel terganggu.

### **3.7 Ujikaji Ciri-Ciri Kejuruteraan Tanah Di Makmal**

Umumnya, ujikaji ciri-ciri kejuruteraan di makmal dilakukan berpandukan prosedur-prosedur di dalam BS 1377 (1990). Apabila keraguan berlaku dalam ketepatan keputusan ujian, ujikaji ini diulang sehingga mencapai keputusan yang munasabah dan konsisten.

### 3.7.1 Prosedur Ujian Indeks Tanah

Kaedah yang digunakan bagi menentukan kandungan lembapan tanah ialah kaedah pengeringan oven. Prosedur-prosedur untuk menentukan kandungan lembapan dirujuk dalam BS 1377: Bahagian 2: 1990 fasal 3 dan Head (1992). Kandungan lembapan dilakukan ke atas semua sampel yang diambil bagi kajian ini. Ujian kandungan lembapan diambil sebaik sahaja sampel dikeluarkan dari tiub sampel tak terganggu bagi mengelakkan kehilangan air oleh keadaan persekitaran.

Bagi ujian had Atterberg, sampel seboleh-bolehnya tidak dikeringkan walaupun dalam keadaan suhu makmal. Pengeringan sampel sebelum ujian had Atterberg akan menyebabkan perubahan kelakuan fizikal sesetengah tanah terutamanya tanah tropika di mana ia menghasilkan perubahan yang dramatik dalam ciri keplastikan tanah. Oleh itu, tanah liat bagi kajian ini dilakukan dalam keadaan semulajadi untuk ujian had Atterberg. Walau bagaimanapun penyediaan sampel untuk ujian had Atterberg bagi tanah liat di Tanjung Karang adalah menggunakan kaedah pengeringan oven kerana terdapat banyak serpihan kulit kerang boleh mempengaruhi keputusan ujian had Atterberg. Ujian had Atterberg ini dilakukan ke atas semua sampel berdasarkan kepada BS 1377: Bahagian 2: 1990 fasal 4.3 iaitu menggunakan kaedah penusukan kon untuk ujian had cecair dan BS 1377: Bahagian 2: 1990 fasal 5.3 untuk ujian had plastik.

Bagi ujian taburan saiz zarah, zarah tanah yang lebih besar daripada 63  $\mu\text{m}$  ditentukan menggunakan kaedah ayakan basah berdasarkan BS 1377: Bahagian 2: 1990 fasal 9.2. Walau bagaimanapun saiz ayakan ini dipilih mengikut kesesuaian tanah iaitu disusun dari saiz teratas 14 mm, 10 mm, 5 mm, 1.18 mm, 600  $\mu\text{m}$ , 425  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$  dan 63  $\mu\text{m}$  yang terbawah, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.2. Bagi penentuan taburan saiz zarah yang lebih kecil daripada 63  $\mu\text{m}$ , kaedah hidrometer digunakan berpandukan BS 1377: Bahagian 2: 1990 fasal 9.5 dan Head (1992).

Ujian graviti tentu tanah ditentukan menggunakan kaedah botol piknometer kecil berdasarkan BS 1377: Bahagian 2: 1990 fasal 8.3. Sampel tanah bagi ujian ini telah diayak supaya mempunyai saiz zarah yang lebih kecil dari 2 mm. Kemudian sampel dikeringkan menggunakan oven sebelum dimasukkan ke dalam botol piknometer kecil.

### **3.7.2 Prosedur Ujian Pengukuhan Tanah**

Ujian pengukuhan yang digunakan bagi kajian ini menggunakan cincin yang berdiameter 50 mm dan tebal 20 mm. Tanah tersebut dibebankan oleh beban mati secara bertokok iaitu dua kali ganda nilai beban sebelumnya. Dalam kajian ini, pembebanan sampel tanah adalah seperti berikut; 0.5 kg, 1 kg, 2 kg, 4 kg. Kemudian pembebanan dikurangkan kepada 2 kg dan 0.5 kg seterusnya penambahan beban kepada 2 kg, 4 kg, 8 kg dan 16 kg. Tempoh masa bagi setiap pembebanan adalah 24 jam. Prosedur-prosedur ujian pengukuhan ini adalah berdasarkan BS 1377: Bahagian 5: 1990 fasal 3 dan Head (1992).

### **3.7.3 Prosedur Ujian Kekuatan Ricih Tanah**

Penentuan kekuatan ricih tanah ditentukan menggunakan peralatan GDS. Ujikaji kekuatan ricih terkukuh tak tersalir melibatkan penentuan tekanan air liang. Tiga set sampel tanah tak terganggu telah disediakan bagi ujian ini. Setiap lokasi sampel ditentukan nilai parameter kekuatan ricihnya pada kedalaman tertentu.

### **3.7.3.1 Penyediaan Alat Radas**

Sebelum sebarang ujian dijalankan, langkah-langkah penyediaan alat-alat radas dijalankan dengan betul supaya keputusan yang diperoleh adalah tepat. Rajah 3.23 menunjukkan alat-alat radas yang digunakan dalam ujian tiga paksi menggunakan GDS. Antaranya ialah;

#### **(i) Batu Telap Air**

Dalam ujikaji ini, batu telap air diletakkan pada bahagian bawah dan atas sampel. Bagi memastikan aliran air melalui batu telap air berjalan dengan lancar semasa proses penepuan dan penyaliran, batu telap air dicuci menggunakan berus nilon bagi menyingkirkan tanah yang melekat dan kemudiannya direbus selama 15 minit. Ia kemudiannya direndam di dalam air ternyah udara sebelum digunakan.

#### **(ii) Kertas Penapis**

Kertas penapis saluran tepi dipasang di sekeliling sampel bagi membantu mempercepatkan proses penyaliran. Bahan yang digunakan adalah kertas penapis Whatman No. 54 yang mempunyai kebolehtelapan yang tinggi, kuat dan mudah dibuang daripada sampel selepas uji kaji. Saluran tepi jenis berpusar seperti yang digunakan oleh Marto (1996) digunakan dan pembetulan ke atas pengukuran kekuatan tidak diperlukan. Empat pusaran kertas penapis dengan lebar 5mm setiap satu dilekatkan pada sekeliling sampel pada kecondongan 1.4 pada arah menegak dan 1 pada arah melintang seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.15.

**(iii) Selaput Getah dan Gegelang-O**

Selaput getah yang digunakan bagi sampel yang berdiameter 38 mm mempunyai saiz 150 mm panjang dan 0.3 mm tebal. Ia disimpan di tempat gelap dan sejuk selepas didebukkan dengan kapur french. Selaput getah yang baru dan sebarang kecacatan dan kebocoran disemak sebelum ianya digunakan. Selaput getah direndamkan di dalam air selama 24 jam sebelum digunakan bagi mengelakkan penyerapan air dari sampel dan merendahkan kebolehtelapan selaput.

Dua gegelang-O getah diletakkan pada setiap hujung selaput getah bagi mengikat selaput dengan penutup atas dan alas bawah. Gegelang-O dipasang dengan menggunakan penegang gelang belah.

**(iv) Air Ternyah Udara**

Air ternyah udara diperlukan bagi semua ujian yang melibatkan peralatan GDS. Dalam ujikaji tiga paksi menggunakan GDS, air ternyah udara digunakan di dalam pengawal digital yang memberikan tekanan sel, tekanan balik dan kebuk bawah, serta sebagai cecair terkurung dalam sel tiga paksi.

Disebabkan tiada peralatan bagi menghasilkan air ternyah udara, maka air suling dimasak sehingga mendidih selama setengah jam di dalam bikar dan dibiarkan sejuk. Semasa proses penyejukan, bikar tersebut ditutup dengan selaput aluminium bagi mengelakkan udara sekeliling melarut dalam air tersebut. Setelah sejuk, air ternyah udara dimasukkan ke dalam sel tiga paksi dan juga ke dalam pengawal digital.

**(v) Pengawal Digital GDS**

Sebelum menjalankan ujikaji, pengawal digital diisi dengan air ternyah udara segar bagi setiap pengawal. Kekunci “EMPTY” ditekan bagi mengeluarkan semua air di dalam pengawal melalui tiub nilon. Apabila proses pengosongan tamat, tiub nilon dimasukkan ke dalam bikar yang mengandungi air ternyah udara dan kekunci “FILL” ditekan bagi mengisi air ke dalam pengawal. Kekunci “STOP” ditekan apabila air di dalam pengawal hampir penuh.

**(vi) Semakan Geseran Gegendang Bellofram GDS**

Dalam sistem GDS, tegasan paksi jumlah dalam sel tiga paksi dikira daripada bacaan sel beban, sel tekanan dan purata luas semasa spesimen. Tegasan paksi dapat dicatatkan dengan baik jika selaput Bellofram mempunyai geseran yang kecil. Semakan geseran boleh dibuat seperti berikut;

- (i) Ianya dijalankan pada sel tiga paksi yang kosong dengan pengawal digital disambungkan kepada kebuk bawah. Injap kebuk bawah dipastikan dibuka.
- (ii) Suis pengawal digital di buka atau isipadu dikosongkan jika ianya telah dibuka.
- (iii) Butang “EMPTY” pada pengawal ditekan selama 10 saat, kemudian butang “RESET” ditekan.
- (iv) Bacaan tekanan yang dipaparkan pada skrin dicatatkan.
- (v) Butang “FILL” ditekan selama 10 saat dan kemudiannya butang “RESET” ditekan. Bacaan tekanan yang dipaparkan dicatatkan.
- (vi) Separuh daripada perbezaan tekanan adalah pembetulan geseran.

Biasanya pembetulan geseran adalah kecil iaitu antara 3 – 4 kPa. Jika nilainya melebihi 5 kPa, maka ianya adalah tidak normal. Ini mungkin disebabkan oleh selaput Bellofram telah tersekat oleh zarah tanah dan perlu disemak. Dalam kajian ini, nilai yang diperolehi adalah 1 – 3 kPa maka ia boleh diabaikan.

### **3.7.3.2 Prosedur Ujian Tiga Paksi**

Bahagian ini akan menerangkan tentang prosedur-prosedur ujian tiga paksi menggunakan peralatan GDS seperti berikut;

#### **(a) Sel Tiga Paksi**

Sistem ini dilengkapi dengan komputer dan pencetak di sebelah kanan sel tiga paksi serta pengawal digital di sebelah kiri. Satu pengawal digital disambungkan kepada injap kebuk sel yang dinamakan “pengawal tekanan sel”, satu pengawal digital lagi disambungkan kepada injap aliran air pada penutup atas yang dinamakan “ pengawal tekanan balik” dan satu lagi pengawal digital disambungkan kepada injap kebuk bawah yang dinamakan “pengawal kebuk bawah”. Sebelum sampel diletakkan di dalam sel tiga paksi, air ternyah udara perlu diisikan sehingga penuh di dalam tiub kecil bagi aliran tekanan balik serta pengukuran tekanan air liang. Ini adalah penting bagi mengelakkan udara terperangkap di dalam tiub tersebut. Penganjak bawah perlu diturunkan sehingga menyentuh had bawah dengan menekan butang “FILL”.

#### **(b) Sampel Ujian**

Sampel tanah dikeluarkan daripada tiub pensampel menggunakan penyemperit hidraulik dan dimasukkan ke dalam tiub berdiameter 38 mm dan



panjang melebihi 160 mm. Sampel di dalam bekas tersebut dikeluarkan menggunakan penyemperit jenis berskru bersaiz 38 mm dan dimasukkan ke dalam bekas boleh belah. Sampel kemudiannya dikemaskan sehingga mempunyai diameter 38 mm dan tinggi 76 mm. Bekas serta tanah tersebut kemudiannya ditimbang bagi mendapatkan ketumpatan gembur sampel.

Sampel itu kemudiannya dikeluarkan dari bekas boleh belah dan diletakkan di atas batu berliang di tapak sel tiga paksi. Satu lagi batu berliang diletakkan pada bahagian atas sampel. Seterusnya kertas penapis diletakkan mengelilingi sampel. Selaput getah yang telah direndam dipisahkan oleh lapisan gris silikon diletakkan pada bahagian luar sampel bagi mengurung sampel. Dua gegelang-O diletakkan pada bahagian tapak sel tiga paksi untuk mengikat selaput getah bagi mengelakkan air dari memasuki sampel. Selaput getah itu dilurur ke atas dan ke bawah bagi mengeluarkan udara berlebihan di antara selaput getah dan sampel.

Bahagian atas sampel diletakkan plat perspek dengan aliran tekanan balik. Penegang gelang belah yang berbentuk silinder digunakan untuk meletakkan dua lagi gegelang-O bagi mengikat selaput getah pada perspek tersebut. Gris silikon diletakkan pada bebola atas plat perspek serta bahagian pelantak atas. Penutup sel kemudiannya diletakkan dan diketatkan. Pelantak atas diturunkan sehingga menyentuh bebola atas. Ini adalah bertujuan mengelakkan udara terperangkap di dalam lubang kecil pada pelantak. Setelah air yang diisikan ke dalam sel tersebut meleleh melalui lubang kecil pada bahagian atas sel, skru penutup lubang diketatkan apabila tiada lagi udara terperangkap di dalam sel tersebut.

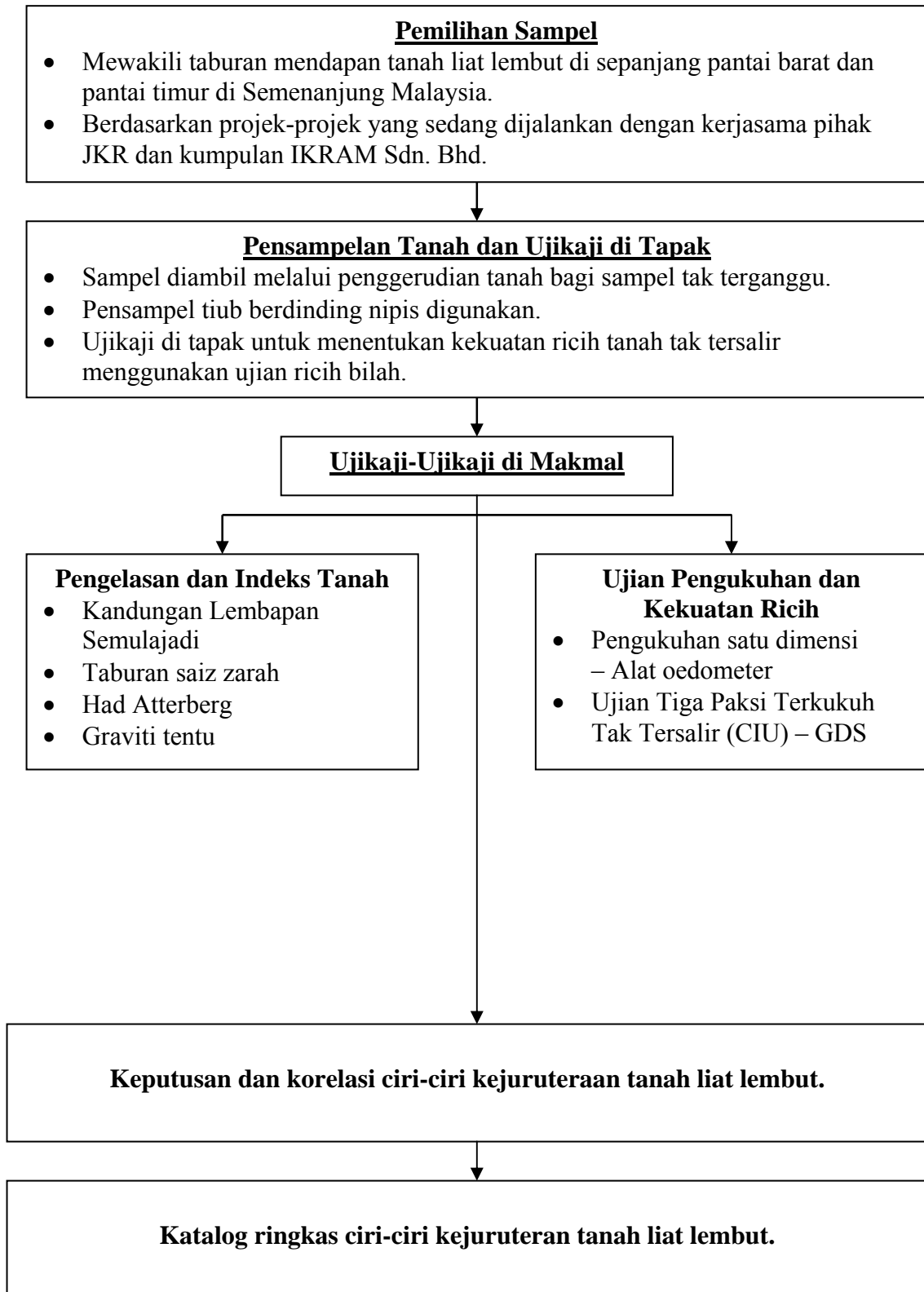
Ketiga-tiga hujung tiub nilon untuk pengawal tekanan sel, pengawal tekanan balik serta pengawal kebuk bawah diletakkan pada bahagian tengah sel. Butang “EMPTY” ditekan bagi mengeluarkan udara di dalam tiub tersebut bagi setiap sel, kemudiannya tekan “RESET”. Kemudiannya, bacaan tekanan sel serta isi padu pengawal disifarkan. Tiub itu kemudiannya masing-masing disambungkan kepada sel tiga paksi. Suis pengawal digital serta komputer dihidupkan.

### **3.7.3.3 Pengujian Sampel Ujian Tiga Paksi**

Setelah segala persediaan telah dibuat, ujian kekuatan ricih boleh dijalankan. Setelah segala data yang dikehendaki seperti berat sampel, diameter dan tinggi, nilai graviti tentu diisi di dalam komputer, ujikaji boleh dijalankan dengan arahan komputer. Prosedur kerja menggunakan perisian GDS ditunjukkan di dalam **LAMPIRAN F**.

**Jadual 3.1: Program pelaksanaan ujikaji makmal yang dijalankan**

<b>Bil.</b>	<b>Ujikaji Makmal</b>	<b>Bil. Sampel</b>	<b>Piawaian / Kaedah</b>
1.	Kandungan lembapan Semulajadi	18	BS 1377: Bahagian 2: 1990 fasal 3
2.	Had Atterberg	18	BS 1377: Bahagian 2: 1990 fasal 4.3
3.	Ujian Taburan Saiz Zarah	18	BS 1377: Bahagian 2: 1990 fasal 9.2 & 9.5
4.	Ujian Graviti Tentu	18	BS 1377: Bahagian 2: 1990 fasal 8.3
5.	Ujian pengukuhan satu dimensi (oedometer)	18	BS 1377: Bahagian 5: 1990 fasal 3
6.	Ujian kekuatan ricih terkukuh tak tersalir (CIU)	6	Head (1986)
7.	Ujian pH	18	BS 1377: Bahagian 3: 1990 fasal 9.4
8.	Ujian Kandungan Organik	18	BS 1377: Bahagian 3: 1990 fasal 9.4
9.	Ujian Pembelauan Sinar-X (XRD)	18	Hamzah (1997a,b)
10.	Ujian Pendaflour Sinar-X (XRF)	18	Hamzah (1997a,b)
11.	Ujian Mikroskop Elektron Pengimbas (SEM)	5	Collins & Mc Gown (1974 & 1983)



**Rajah 3.1: Carta alir metodologi kajian**



**Rajah 3.2: Set ayakan untuk ujian ayakan**



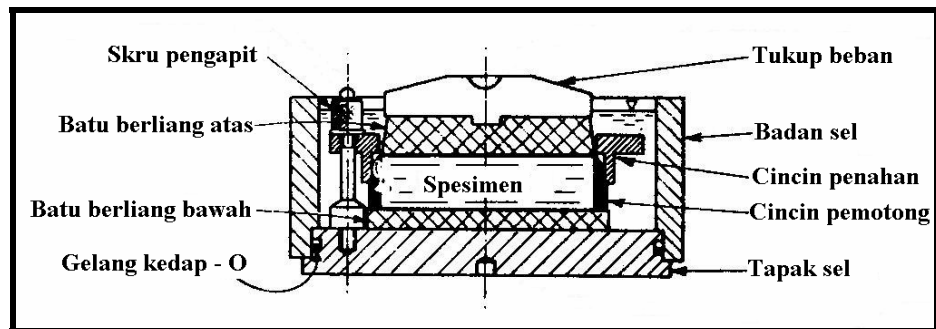
**Rajah 3.3: Peralatan ujian hidrometer**



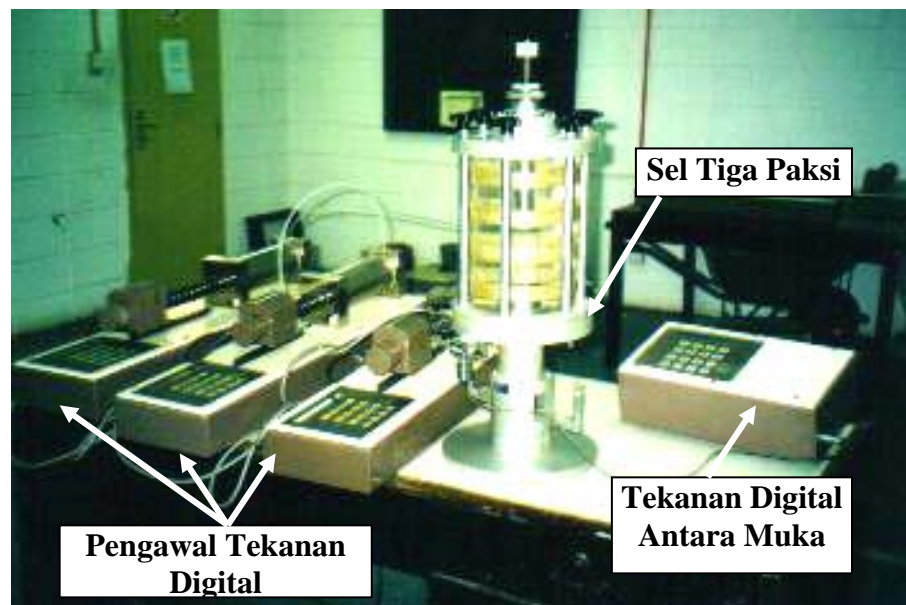
**Rajah 3.4: Peralatan ujian had Atterberg**



**Rajah 3.5: Set peralatan ujian pengukuhan tanah**



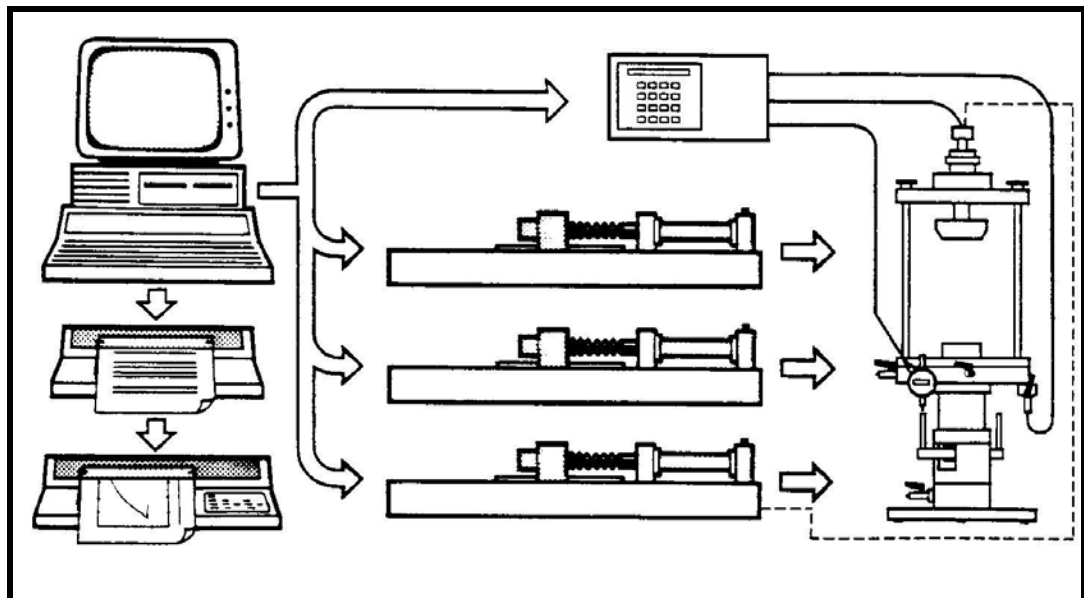
Rajah 3.6: Keratan rentas alat oedometer



Rajah 3.7: Sel ujian tiga paksi dan pengawal tekanan dalam GDS

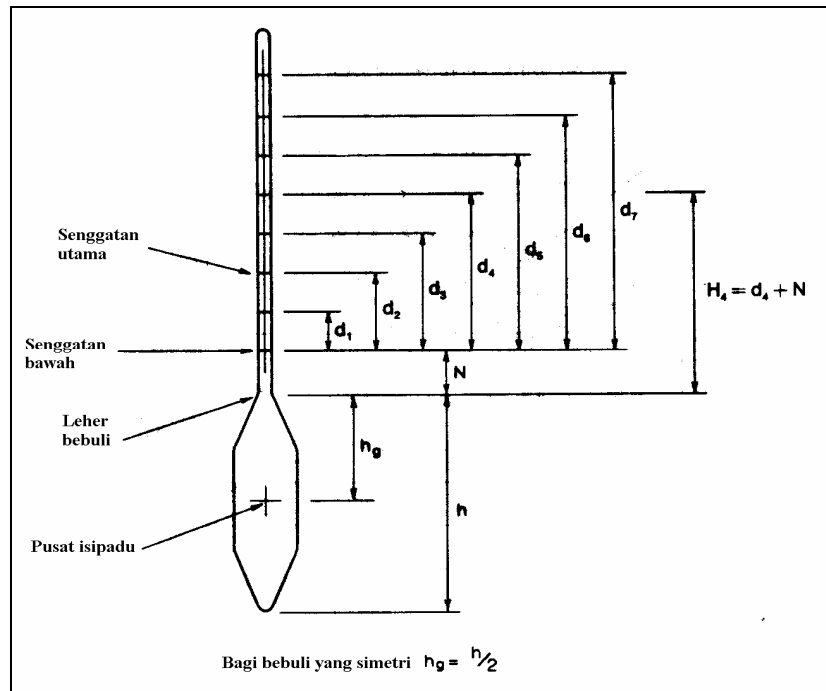


**Rajah 3.8: Komputer yang digunakan untuk menjalankan perisian GDSLAB**

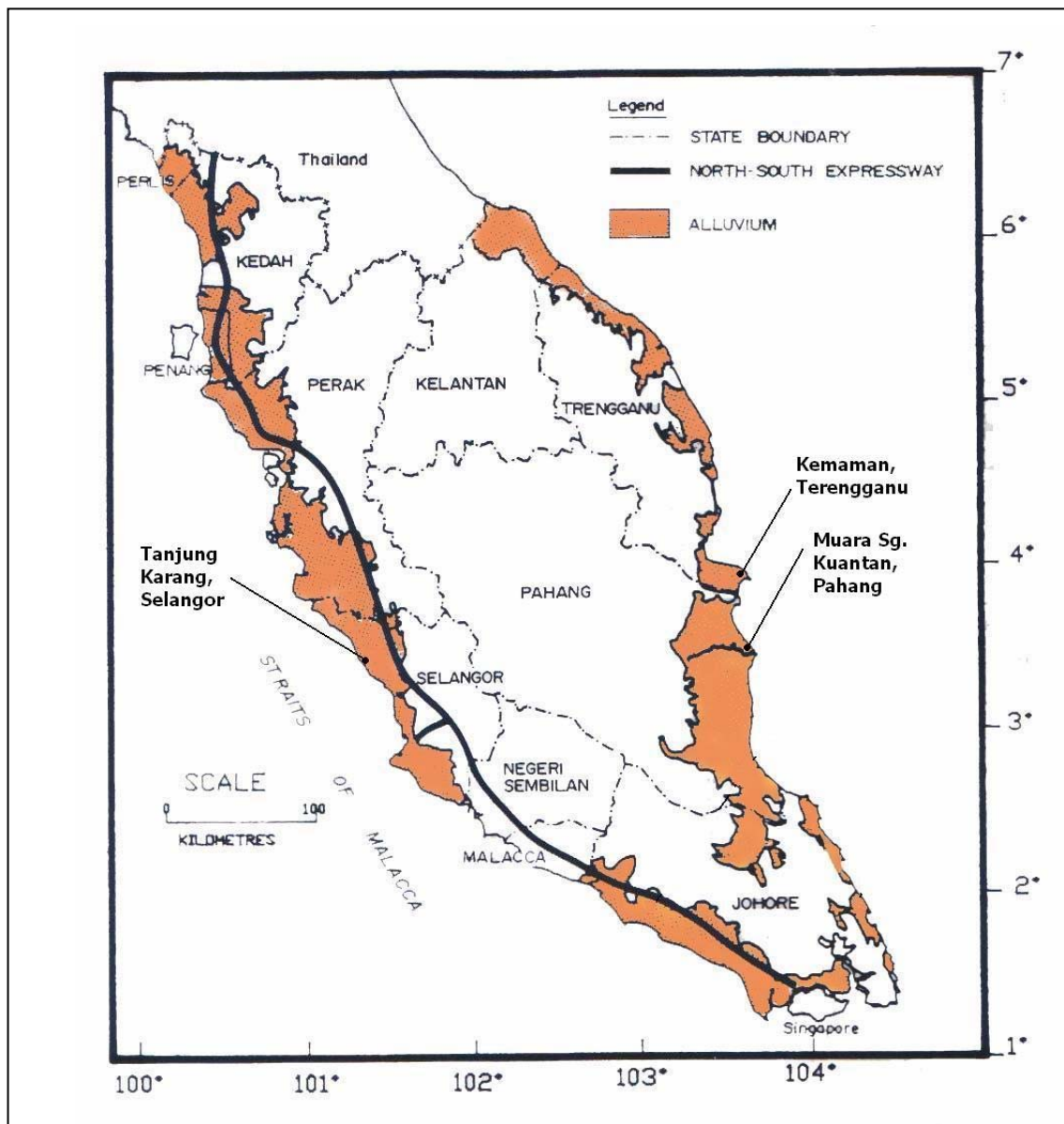


**Rajah 3.9: Gambarajah skematik peralatan GDS**





**Rajah 3.10 : Pengukuran bagi kalibrasi alat hidrometer**



**Rajah 3.11: Lokasi pensampelan tanah liat lembut di Semenanjung Malaysia  
(Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)**



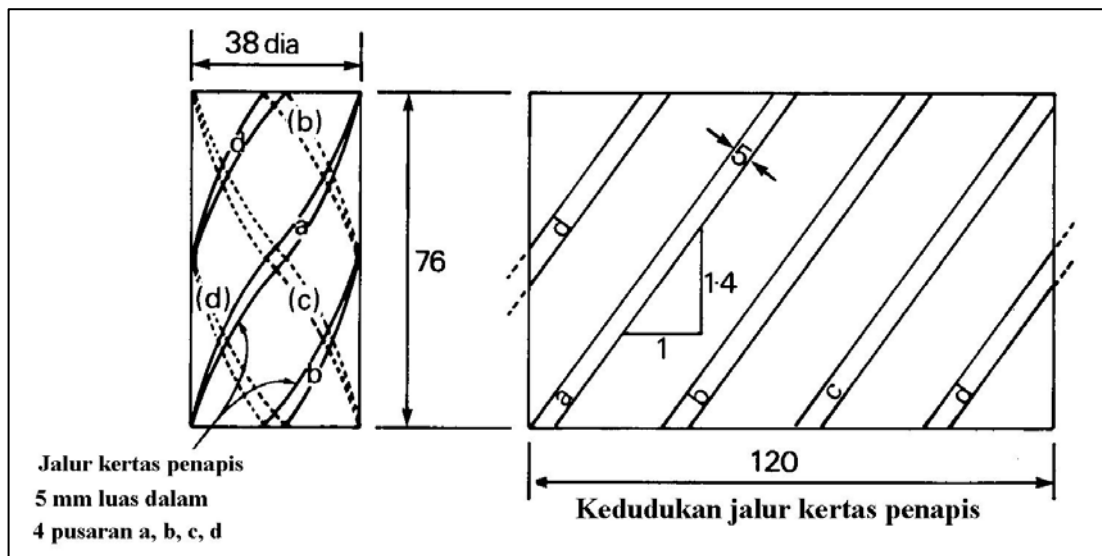
**Rajah 3.12: Tiub sampel tanah tak terganggu dikeluarkan dengan menggunakan mesin gerudi**



**Rajah 3.13: Alat penyemperit hidraulik mendatar**



Rajah 3.14: Alat radas yang digunakan dalam ujian tiga paksi



Rajah 3.15: Kedudukan kertas penapis pada sampel

## **BAB 4**

### **KAJIAN KES KELAKUAN TAMBAKAN DI ATAS TANAH LEMBUT DAN SIMULASI PENGUKUHAN TAMBAKAN**

#### **4.1 Pengenalan**

Bab ini menerangkan program kajian yang dijalankan dalam mencapai objektif yang dikehendaki. Kajian ini terbahagi kepada dua pecahan seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 4.1 iaitu:

- (i) Kajian berkaitan kelakuan ciri-ciri fizikal tanah liat lembut di bawah tambakan. Di dalam kajian ini, sampel-sampel tanah liat di bawah tambakan cubaan yang terpilih, diuji semula di makmal untuk melihat perubahan yang berlaku selepas 14 tahun tambakan dibina. Secara ringkas, aliran program kajian ini dapat ditunjukkan seperti di dalam Rajah 4.2.
- (ii) Kajian berkaitan ciri-ciri kelakuan tambakan di atas tanah liat lembut yang melibatkan analisis pengukuhan (enapan, anjakan sisi dan tekanan air liang) dan analisis kestabilan cerun (faktor keselamatan). Bagi mengkaji perlakuan tambakan ini, penulis menggunakan analisa simulasi unsur sehingga SIGMA/W dan SEEP/W yang disebut analisis pengukuhan terganggu untuk mendapatkan perubahan tekanan air liang,

enapan dan anjakan sisi. Manakala analisa simulasi kestabilan cerun, perisian SLOPE/W digunakan untuk mendapatkan faktor keselamatan cerun tambakan seperti yang ditunjukkan di dalam carta aliran pemodelan simulasi di Rajah 4.3. Sebagai perbandingan, kaedah konvensional turut digunakan dalam menilai enapan dan kadar pengukuhan. Cara penggunaan perisian yang tersebut di atas dinyatakan dalam **LAMPIRAN E**.

#### **4.1.1 Latar Belakang Tapak Kajian**

Lembaga Lebuhraya Malaysia telah mengusahakan pembinaan 14 jenis tambakan cubaan dengan dengan pelbagai kaedah pembaikan tanah di Muar pada tahun 1987. Tambakan Cubaan Muar ini terletak di antara perhentian Seremban dan Air Hitam iaitu di kilometer 4.5 dari arah timur laut lebuhraya yang merentasi Sungai Muar dan di kilometer 153 Lebuhraya Utara Selatan (PLUS). Lokasi Kawasan tambakan adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4.4. Kedudukan 14 jenis tambakan yang diwakili oleh Skim 3/1 hingga Skim 6/9 ditunjukkan di dalam Rajah 4.5. Kajian ini dijalankan untuk mendapatkan ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut di bawah Tambakan Cubaan Muar.

Sebelum dan semasa kerja-kerja pembinaan dijalankan, tiga fasa penyiasatan tapak telah dijalankan di mana, lokasi dan jenis-jenis kerja penyiasatan ditunjukkan seperti di Rajah 4.38. Fasa pertama telah dijalankan pada November hingga Disember 1986 di mana penyiasatan melibatkan lubang jara, ujian ricih bilah, piezokoun dan pensampelan ombok. Ujian yang terlibat kebanyakannya berkaitan klasifikasi dan ujian oedometer. Fasa kedua pula telah dijalankan oleh beberapa penyelidik dari Asian Institut Teknologi Asian (AIT) pada Februari 1987 di mana, ujian yang dilakukan terhadap sampel tanah tak terganggu adalah yang berkaitan dengan keadaan had dan alahan tanah liat. Bagi fasa ketiga, ujian penyiasatan tapak dijalankan semasa dan selepas pembinaan terhadap beberapa tambakan terpilih untuk

tujuan menyemak perubahan kekuatan, menilai darjah pengukuhan dan mengesan permukaan kegagalan bagi cerun yang didapati tidak stabil.

Dalam menilai perlakuan tambakan cubaan di atas tanah liat lembut Muar, beberapa orang penyelidik dan perekabentuk telah dijemput Lembaga Lebuhraya Malaysia untuk membentangkan penyelidikan mereka di Seminar Antarabangsa Tambakan Cubaan di Atas Tanah Liat Marin Malaysia pada akhir 1989 di Kuala Lumpur. Antara yang terlibat adalah Balasubramaniam *et al.* (Thailand), Magnan (Perancis), Poulos *et al.* (Australia) dan Bergado *et al.* (Thailand). Semenjak itu, beberapa penyelidik lain turut terlibat dalam membuat kajian berkaitan perlakuan Tambakan Cubaan Muar dengan menggunakan pelbagai metodologi. Antaranya adalah Indraratna *et al.* (1992, 1994), Loganathan (1993) dan Chai & Bergado (1993).

#### **4.2 Analisis Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Liat Lembut Muar**

Di dalam mengkaji kelakuan ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut Muar, program penggerudian, pensampelan, pengujian in-situ dan pengujian di makmal telah dijalankan. Ujian-ujian makmal yang terlibat bagi sampel-sampel tanah liat lembut mengikut kedalaman ditunjukkan seperti di dalam Jadual 4.1. Manakala ujian in-situ yang terlibat hanyalah ujian ricih bilah.

Sebahagian besar program ujian-ujian makmal dijalankan oleh pihak swasta iaitu Syarikat Soil Centralab Sdn Bhd dan sebahagian kecil telah dijalankan oleh dua orang pelajar Sarjana Muda untuk Projek Sarjana Muda dengan dikawal selia oleh penyelidik. Di bawah tajuk ini, penyelidik menerangkan serba ringkas tentang pensampelan hingga ke peringkat ujian-ujian makmal termasuk ujian di situ.

## **4.2.1 Pensampelan**

### **4.2.1.1 Lokasi Pensampelan**

Lokasi pensampelan tanah ini dilakukan di kawasan Tambakan Cubaan Muar, km 155 Lebuhraya Ayer Keroh – Pagoh (PLUS) seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 4.37 dan 4.38 Lima tambakan cubaan telah dipilih iaitu Skim 3/2, 3/4, 6/6, 6/7 dan 6/8 di mana, dua lubang jara yang berada di garisan tengah tambakan dipilih untuk tujuan pensampelan seperti yang ditunjukkan di Rajah 4.6. Sebanyak 10 lubang jara di 5 jenis tambakan telah dibuat di mana 3 sampel di setiap lubang jara pada kedalaman yang mewakili tanah liat atas, pertengahan dan tanah liat bawah diambil.

### **4.2.1.2 Pensampelan dan Gangguan**

Objektif utama di dalam pensampelan adalah untuk mendapatkan sampel tak terganggu bagi ujian makmal. Kerja-kerja pensampelan ini telah dijalankan oleh pihak kontraktor (IKRAM Sdn. Bhd.) dengan diawasi oleh penyelidik dan pembantu teknik Makmal Geoteknik UTM. Teknik yang digunakan dalam kerja-kerja pensampelan ini ialah Penggerudian Putar dan Basuh seperti yang ditunjukkan pada Rajah 4.7.

Pensampel yang digunakan di sini adalah jenis Pensampel Omboh Pegun seperti yang ditunjukkan di Rajah 4.8. Pensampel ini terdiri daripada satu tiub berdinding nipis dengan omboh yang dihubungkan ke rod. Rod ini berada di dalam rod penjara geronggang yang melintasi kepala pensampel.



Kaedah pensampelan di tunjukkan seperti pada Rajah 4.9. Pensampel omboh ditolak ke bawah dengan menggunakan bicu hidraulik atau mekanik tetapi tidak boleh dipacu. Garis pusat pensampel di sini ialah 75 mm. Kaedah pensampelan ini biasanya menghasilkan sampel yang bermutu tinggi. Rajah 4.10 menunjukkan sampel yang telah diambil menggunakan pensampel omboh pegun. Perincian pensampelan ini turut ditunjukkan di Seksyen 4: BS 5930: 1981.

Setelah pensampel yang mengandungi sampel tak terganggu dikeluarkan, kedua-dua hujung pensampel yang terdedah pada udara ditutup menggunakan lilin untuk mengelakkan kehilangan kandungan lembapan semulajadi seperti yang ditunjukkan di Rajah 4.11. Seterusnya, sampel dilabel bagi menunjukkan kedudukan lubang jara dan kedalaman yang diambil dan kemudian diletakkan di kawasan lembap dengan ditutupi guni basah.

Bagi menjaga kualiti sampel tak terganggu ini, langkah-langkah di dalam proses penghantaran dan penyimpanan sentiasa diberi perhatian. Semasa proses penghantaran ke makmal dilakukan, sampel-sampel diletakkan di dalam kotak khas yang dialas dengan bahan mudah serap hentakan seperti span. Proses ini dibuat bagi mengelak atau mengurangkan gegaran pada sampel tanah liat sepanjang pemindahan sampel dari tapak ke Makmal Geoteknik, UTM. Seterusnya, sampel-sampel ini disimpan di dalam tempat khas bersuhu rendah dan ditutupi dengan guni yang dibasahkan setiap hari bagi mengelakkan kehilangan kandungan lembapan.

#### **4.2.2 Ujian Spesifikasi dan Indeks**

Ujian spesifikasi yang terlibat adalah seperti analisis saiz zarah, kandungan lembapan, had Atterberg, ketumpatan gembur dan graviti tentu tanah liat lembut. Penentuan kandungan lembapan adalah berdasarkan kepada BS 1377: Part 2: 1990 fasal 3.

Analisis saiz zarah diperlukan untuk menunjukkan peratusan berat zarah di dalam pelbagai julat saiz. Taburan saiz zarah yang lebih besar daripada 63  $\mu\text{m}$  ditentukan menggunakan kaedah ayakan basah berdasarkan BS 1377: Part 2: 1990 fasal 9.2. Bagi penentuan saiz zarah yang lebih kecil daripada 63  $\mu\text{m}$ , kaedah hydrometer digunakan berpandukan BS 1377: Part 2: 1990 fasal 9.5.

Ujian Had Atterberg bagi menentukan had kekonsistenan seperti had cecair (LL) dan had plastik (PL) dijalankan berpandukan masing-masing kepada BS 1377: Part 2: 1990 fasal 4.3 dan fasal 5.3. Penentuan kandungan lembapan pula adalah berdasarkan kepada BS 1377: Part 2: 1990 fasal 3. Penggunaan sampel yang sama diperlukan dalam ujian-ujian ini kerana parameter ini dikumpulkan bersama dalam penentuan perbezaan indeks.

### **4.2.3 Ujian Kekuatan Ricih Tak Tersalir**

Dua kaedah digunakan dalam menentukan kekuatan ricih tak tersalir iaitu, ujian ricih bilah di-situ dan ujian tiga paksi terkukuh tak tersalir.

#### **4.2.3.1 Ujian Ricih Bilah Di-Situ**

Ujian ricih bilah di-situ digunakan untuk mendapatkan kekuatan ricih taktersalir bagi tanah liat lembut. Jenis peralatan yang digunakan di dalam ujian ini adalah jenis Ricih Bilah Acker. Ujian ini adalah berasaskan BS 1377 di mana ia terdiri daripada bilah keluli tidak berkarat yang mempunyai empat bilah berbentuk prisma yang terletak di hujung rod keluli tegangan tinggi seperti yang ditunjukkan di Rajah 4.12 dan 4.13. Manakala radas ujian ricih bilah Acker ini ditunjukkan seperti di Rajah 4.14. Saiz bilah yang digunakan adalah bergaris pusat 65 mm dan panjang

130 mm. Dua saiz lain yang biasa digunakan turut ditunjukkan seperti di dalam Rajah 4.13.

Set kepala kilas persis Acker ini mempunyai lengan kilas di mana ia mempunyai tiga kedudukan dengan bersamaan tiga skala bagi penggunaan pada keadaan yang berbeza samaada tanah lembut, sederhana atau kukuh. Nilai bacaan daya digunakan diambil pada setiap  $5^\circ$  putaran. Kegagalan ricih dapat ditentukan apabila nilai bacaan daya digunakan mencapai tahap tertinggi sebelum bacaan menunjukkan penurunan.

#### **4.2.3.2 Ujian Tiga Paksi Terkukuh Tak Bersalir**

Prinsip ujian ini ialah sampel dikukuhkan terlebih dahulu dengan membenarkan air mengalir keluar semasa sampel dikenakan tekanan keliling. Kemudian semasa sampel dimampatkan, penyaliran tidak dibenarkan. Ujian tiga paksi ini dilakukan dengan menggunakan peralatan Sistem Pengujian Tiga Paksi ELE oleh Syarikat Soil Centralab. Kaedah pengujian ini adalah berdasarkan BS 1377 dan Head (1992). Bagi mewakili setiap jenis tambakan dipilih, 2 sampel telah diuji untuk mewakili tanah liat atas dan tanah liat bawah. Parameter yang dicari dalam ujian ini adalah sudut geseran berkesan ( $\phi'$ ) dan kejelekitan berkesan ( $c'$ ).

#### **4.2.4 Ujian Kebolehmampatan**

Parameter-parameter kebolehmampatan seperti pekali kebolehmampatan ( $C_c$ ), pekali pengukuhan menegak ( $c_v$ ), tekanan prapengukuhan ( $p_c$ ), nisbah terkukuh lebih ( $OCR$ ), nisbah lompong awal ( $e_o$ ) dan pekali kebolehmampatan isipadu ( $m_v$ ) diperolehi melalui ujian oedometer atau lebih dikenali sebagai ujian pengukuhan satu

dimensi. Tatacara ujian oedometer ini adalah berdasarkan BS 1377: part 5: 1990 fasal 3 dan Head (1992).

Nilai-nilai  $C_c$  dan  $p_c$  diperolehi dari plotan graf nisbah lompong ( $e$ ) melawan tegasan berkesan ( $\log \sigma'$ ). Nilai  $c_v$  diperolehi dari rumus;

$$c_v = \frac{Td^2}{t_{90}} \quad (Taylor) \quad (4.1)$$

di mana,  $t_{90}$  = masa ketika pengukuhan 90%

$T$  = faktor masa

$d$  = separuh ketebalan purata contoh untuk pertambahan tekanan tertentu.

### 4.3 Instrumentasi Tambakan Cubaan Muar

Satu siri piawaian instrumentasi telah digunakan pada kesemua jenis tambakan cubaan kecuali bagi beberapa kes khas seperti tambakan dibina untuk gagal. Rajah 4.39 menunjukkan lakaran piawai dan lokasi instrumentasi.

Instrumentasi ini terdiri daripada:

- i. 9 penanda enapan permukaan (SM1 hingga SM9)
- ii. 9 tolok enapan (S1 hingga S9)
- iii. 6 piezometer pneumatik (P1 hingga P6)
- iv. 2 sistem enapan Sondex (SD1 hingga SD2)
- v. 1 meter condong (I1)

Tujuan utama menggunakan instrumentasi piawai adalah untuk memudahkan perbandingan antara jenis tambakan yang berbeza dan untuk memudahkan pemasangan, pengukuran dan juga kaedah memproses data.

#### 4.3.1 Pengukur Enapan

Penanda enapan permukaan terdiri daripada 1 meter batang keluli lembut dengan diameter 20 mm dan terjulur sepanjang 50 mm di atas aras laras. Penanda ini dipasang pada permukaan tambakan yang telah siap untuk mengawas enapan selepas pembinaan.

Selain daripada itu, tolok enapan (Rajah 4.40) digunakan bagi mengawas enapan pada aras tanah semulajadi di bawah tambakan. Tolok enapan terdiri daripada plat keluli lembut yang dikimpal pada paip besi tergalvani. Di dalam paip besi ini, diletakkan paip besi lain yang lebih kecil. Pengarasan persis (*Precise Levelling*) bagi pengawasan enapan digunakan untuk menentukan aras laras puncak paip.

Bagi mengawas enapan pada kedalaman berbeza, sistem enapan Sondex digunakan. Sistem ini terdiri daripada *inductance prob* dengan kabel panjang dan unit bacaan integer, paip berombak boleh lentur dengan gegelang deria keluli tahan karat pada setiap 1.5 m dan juga selongsong plastik untuk bertindak seperti jalan masuk bagi *inductance probe*. Enapan pada sekeliling tanah meyebabkan mampatan pada tiub berombak mengubah aras gegelang deria. *Inductance probe* mengesan kedudukan gegelang deria secara relatif ke gelang paling bawah yang dianggap tetap.

### 4.3.2 Pengukur Tekanan Air Liang

Piezometer pneumatik (Rajah 4.41) digunakan untuk mengawas perubahan tekanan air liang di dalam tanah yang dilengkapi dengan hujung seramik kedap udara tinggi. Setiap piezometer diletakkan di bahagian dalam sarung guni berisi pasir sebelum diturunkan ke lubang jara yang dibuat menggunakan kaedah penggerudian basuh. Selepas diletakkan pada kedudukannya, pasir diletakkan dikelilingnya dan diikuti oleh 1 meter tebal bentonit sebagai penutup. Penutup bagi lubang jara juga diisi turapan bentonit.

Pengukuran kedalaman air dibuat dengan menggunakan meter junam (*dipmeter*) yang dimasukkan ke dalam tiub piezometer paip tegak (*standpipe piezometer*). Piezometer paip tegak (Rajah 4.41) ini terdiri daripada hujung seramik Casagrande dan tiub *pvc* yang dimasukkan ke dalam lubang jara. Seperti piezometer pneumatic, pasir dan bentonit juga digunakan untuk mengisi ruang di lubang jara.

### 4.3.3 Pengukur Anjakan Sisi dan Permukaan Tegak (Lambung)

Meter condong (*inclinometer*) digunakan untuk mengukur anjakan sisi sub tanah di bawah hilir tambakan. Anjakan sisi dikira dari bahagian bawah meter condong yang dianggap tetap. Bagi pengawasan lambung permukaan berhampiran hilir tambakan, penanda lambung digunakan. Ia dapat diperolehi dengan mengukur aras laras penanda-penanda lambung dengan merujuk pada stesen tetap.

Secara keseluruhan, perlakuan semua instrumentasi adalah memuaskan kecuali piezometer pneumatic. Masalah yang dihadapi apabila menggunakan piezometer pneumatic ialah kesukaran dalam membuka diagram *transducer*, tekanan

membuka diagram tinggi, mengambil masa panjang untuk mencapai keseimbangan dan pengukuran yang tidak konsisten

#### **4.4 Analisa Simulasi Pengukuhan Terganding**

Di dalam analisa simulasi pengukuhan ini, tiga parameter yang ingin dicari adalah tekanan air liang lebih, enapan jumlah dan anjakan sisi yang menggunakan perisian unsur terhingga SIGMA/W dan SEEP/W. Aliran bagi skop dan pengesetan secara umum program simulasi ini adalah seperti yang ditunjukkan di Rajah 4.1 dan 4.3.

##### **4.4.1 Keperluan Umum Pemodelan Tambakan**

Pengaruh tambakan dapat dimasukkan ke dalam model unsur terhingga melalui dua cara (Mestat, 2001), iaitu:

- i. samaada menggunakan tekanan trapezoid ke atas permukaan tanah semulajadi, atau
- ii. dengan menggambarkan tambakan dengan cara unsur-unsur terhingga, berat isipadu dan hukum juzuk (*constitutive law*).

Mestat (2001) menyatakan hukum juzuk yang digunakan secara meluas di dalam analisis tambakan yang menggunakan unsur terhingga, adalah keanjalan lurus isotrofik (55%), keplastikan-anjal sempurna (36%) dan keanjalan tak-lurus (9%). Di dalam kajian ini, kaedah kedua telah digunakan untuk melihat perubahan

dalam jangka masa pendek dan panjang terhadap enapan dan tekanan air liang lebihan yang terbina semasa dan selepas penempatan tambak dilakukan.

Pemodelan tambakan bagi tujuan simulasi pengukuhan memerlukan tiga analisis berbeza iaitu, analisis keadaan awalan, pengukuhan dan resipan seperti yang ditunjukkan di Rajah 4.3. Bagi menyelesaikan analisis pengukuhan terganding, ketiga-tiga analisis perlu digabungkan untuk melengkapkan analisis berangka di mana;

- (i) analisis keadaan awalan dilakukan secara berasingan iaitu menggunakan SIGMA/W sahaja untuk mendapatkan keputusan keadaan awalan iaitu tegasan in-situ dan tekanan air liang awalan. Kemudian,
- (ii) keputusan (*output*) keadaan awalan digunapakai di dalam kemasukan (*input*) data yang diperlukan SIGMA/W semasa analisis pengukuhan terganding iaitu analisis yang melibatkan pengaruh resipan (SEEP/W) dan pengukuhan (SIGMA/W). Di dalam analisis pengukuhan terganding ini, SIGMA/W dan SEEP/W digunakan secara serentak.

#### 4.4.1.1 Model Geometri

Mestat (2001), menyatakan tambakan-tambakan biasanya mempunyai saiz panjang yang agak besar berbanding lebar dan biasanya dikaji menggunakan keratan garis melintang separuh seperti yang ditunjukkan di Rajah 4.16.

Di dalam kajian ini, cadangan dari Mestat (2001) hanya digunapakai bagi tambakan 3 m di dalam pendiskretan unsur-unsur bagi analisis berangka kaedah unsur terhingga (FEM). Bagi tambakan 6 m, kedalaman sub-tanah menjadi 3 kali ketinggian tambakan (cth.,  $h = 3H$ ) disebabkan maklumat yang terhad bagi lapisan tanah yang lebih dalam.



#### 4.4.1.2 Pemilihan Model Juzuk Tanah

Di dalam pemilihan model, beberapa perkara perlu dipertimbangkan iaitu keutamaan, kekukuhan bahan, kebolehan anjakan dapat dipertahankan dan kestabilan. Di dalam kajian ini, tiga model juzuk tanah dipilih untuk memodelkan tanah asas iaitu;

- i. Model Linear Elastik
- ii. Model Elastik Plastik
- iii. Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai

Menurut Mestat (2001), juzuk-juzuk model reologi yang digunakan untuk menggambarkan kelakuan tanah-tanah lembut berdasarkan kajiannya adalah:

- i. Linear atau tak-linear elastik (11.5%)
- ii. Elastik-plastik tanpa pengerasan terikan (12.5%)
- iii. Elastik-plastik dengan pengerasan terikan (49%)
- iv. Elastik-visco plastik (27%)

Model juzuk tanah yang paling banyak digunakan adalah dihasilkan dari kerja-kerja ujikaji dan teori yang dijalankan di Universiti Cambridge dan Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai adalah yang kerap digunakan (Mestat, 2001).

Bagi semua jenis tambakan yang dikaji, proses pemodelan dimulakan dengan kaedah mudah iaitu Model Lelurus Anjal di mana parameter tetap yang digunakan hanyalah dua iaitu Nisbah Poisson,  $\nu$  dan Modulus Young,  $E$ . Ia membuat pengiraan dan penilaian yang lebih mudah terhadap keputusan pemodelan dalam istilah kriteria penumpuan sebelum penggunaan model yang lebih kompleks dan tak-lelurus.

Model kedua ialah Anjal-Plastik di mana ia mempunyai empat parameter tetap yang digunakan iaitu Nisbah Poisson,  $\nu$ , Modulus Young,  $E$ , kejelekitan,  $c$ , dan sudut geseran,  $\phi'$ . Model ini mempunyai kriterium alah untuk membolehkan model ini menganalisis keplastikan tanah.

Dan yang ketiga adalah Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai. Model tegasan berkesan ini banyak digunakan oleh ramai penyelidik terutama dalam analisis unsur terhingga kerana ia lebih jitu dan banyak parameter yang dipertimbangkan dalam proses pengiraannya. Parameter yang terlibat adalah seperti yang terkandung di dalam bab 4.2.1.4. Bagi model tanah tambak, Model Linear-Elastik digunakan kerana ia sesuai bagi tanah yang mempunyai ciri-ciri sangat terkukuh lebih (*Manual Book*).

#### **4.4.1.3 Parameter-parameter Bahan**

Parameter-parameter yang terlibat di dalam analisis pengukuhan terganggu adalah yang melibatkan ciri-ciri tanah dan ciri-ciri kebolehtelapan. Di dalam analisis keadaan awalan, model jujuk tanah yang digunakan adalah model Linear Elastik di mana parameter yang diperlukan adalah nisbah poisson ( $\nu$ ) dan modulus Young's ( $E'$ ) selain berat unit tanah ( $\gamma$ ) dan pekali tekanan tanah pegun ( $K_o$ ). Parameter-parameter ini ditunjukkan seperti di Jadual 4.2.

Bagi model Elastik Plastik, parameter yang digunakan adalah seperti yang ditunjukkan di Jadual 4.3. Manakala parameter model Tanah Liat-Cam Terubahsuai ditunjukkan di Jadual 4.4. Semua parameter yang digunakan di sini adalah berdasarkan penggunaan oleh penyelidik terdahulu seperti Chai dan Bergado (1993) dan Tan (1994).

Pekali kebolehtelapan ( $k$ ) bagi tanah liat lembut ditunjukkan seperti di Jadual 4.5. Pekali kebolehtelapan bagi pelbagai kedalaman ini digunakan untuk kemasukan data di dalam analisis resipan SEEP/W. Contoh kemasukan data bagi analisis ubahbentuk dan resipan ditunjukkan seperti di Rajah 4.17 dan 4.18.

#### 4.4.1.4 Keadaan Awalan dan Sempadan

Keadaan sempadan piawai telah digunakan di dalam pemodelan tambakan di mana, penetapan ufuk (anjakan ufuk = 0) pada kiri dan kanan sisi atau sempadan jejaring unsur terhingga dan penetapan ufuk dan tegak (anjakan ufuk dan tegak = 0), pada bahagian bawah jejaring (lihat Rajah 4.19).

Sempadan pengukuhan ditentukan dengan menggunakan sempadan pengukuhan tertutup pada bahagian sisi kiri, kanan dan bawah geometri jejaring. Penggunaan sempadan pengukuhan adalah sama seperti penetapan sempadan piawai, di mana anjakan ufuk bersamaan kosong ditentukan pada sisi kiri dan kanan jejaring dan tiada anjakan ufuk dan tegak yang dibenarkan pada bahagian bawah jejaring.

Keadaan sempadan dan awalan bagi analisis resipan ditunjukkan seperti di dalam Rajah 4.20. Ia menunjukkan saluran dibenarkan berlaku di sempadan bawah jejaring dan sempadan atas iaitu gambaran bagi permukaan bumi dan tambakan.

Bagi Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai, keadaan tegasan adalah fungsi kepada kelakuan tanah. Oleh itu, amat penting untuk mengetahui keadaan awalan tegasan di-situ ketika bermulanya pengiraan. Kesemua analisis yang melibatkan Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai memerlukan analisis keadaan di-situ terlebih dahulu sebelum membuat analisis pengukuhan terganding. GEOSLOPE mencadangkan model jujuk tanah yang digunakan di dalam analisis keadaan di-situ adalah Model Linear Elastik disebabkan pertimbangan parameter dan pengiraan yang

digunakan adalah mudah. Keputusan tegasan tegak berkesan di-situ untuk tanah asas bagi semua jenis tambakan ditunjukkan seperti di Rajah 4.21.

Di dalam Model Linear-Elastik dan Elastik-Plastik, pengiraan dapat dibuat tanpa mengetahui keadaan awal di-situ. Namun demikian, di dalam kajian ini, pengiraan keadaan awalan in-situ digunakan untuk piawaian bagi semua model.

#### **4.4.1.5 Kriteria Penumpuan**

Dua set kriteria penumpuan daripada analisis pengukuhan dan resipan haruslah dicapai sebelum keputusan-keputusan daripada analisis pengiraan dapat diterima. Dua kriteria penumpuan yang boleh digunakan untuk mengawal proses lelaran (*iteration*) adalah kriteria penumpuan anjakan dan kriteria beban tak-terimbang. Apabila kriteria penumpuan yang dicapai memuaskan, analisis pengiraan dianggap telah tertumpu (penumpuan diterima), dan pengiraan akan menghentikan proses lelaran dan pergi ke peringkat masa seterusnya. GEOSLOPE mencadangkan, proses lelaran diambil sekurang-kurangnya 30 untuk mendapatkan keputusan memuaskan. Sekiranya proses lelaran berlaku sehingga peringkat maksimum, semakan terhadap jejaring, keadaan sempadan dan kemasukan data lain perlu dilakukan. Contoh perbezaan penumpuan yang dilakukan oleh kriteria beban tak-terimbang semasa analisis ditunjukkan di Rajah 2.22.

#### **4.4.2 Tambakan Cubaan Dibina Untuk Gagal (Skim 3/5)**

Tambakan ini pada asasnya dibina untuk mengkaji perlakuan tambakan sehingga berlaku kegagalan di dalam proses pembinaan. Berdasarkan kajian lepas, tambakan ini gagal pada hari ke-100 di mana permukaan kegagalan yang didapati adalah seperti yang ditunjukkan di Rajah 4.23.

#### 4.4.2.1 Pendiskretan unsur-unsur tambakan dan penempatan tambakan

Pendiskretan dan rekabentuk jejaring unsur terhingga bagi Tambakan Skim 3/5 ditunjukkan seperti di Rajah 4.24. Bagi tanah asas, unsur yang digunakan adalah *four-noded quadrilateral* dan bagi tanah tambak, unsur yang digunakan adalah *four-noded quadrilateral* dan *three-noded triangular*. Semua unsur yang digunakan menggunakan nod sekunder bagi mendapatkan keputusan yang lebih jitu.

Simulasi penempatan tambakan adalah berdasarkan sejarah kadar penambakan dibuat semasa pembinaan. Simulasi penempatan tambak bagi Skim 3/5 ini ditunjukkan seperti di Rajah 4.25. Penempatan tambak dibuat pada kadar ketinggian 0.25 m bagi setiap lapisan (Rajah 4.26) di mana, nombor yang tertera pada unsur adalah nilai masa penempatan tambak dibuat. Perbandingan terhadap peringkat penambakan sebenar dengan simulasi ditunjukkan di Rajah 4.27.

#### 4.4.2.2 Analisa Keputusan

Keputusan yang diperolehi dari analisa simulasi ini akan dibanding dengan keputusan sebenar di tapak. Perbincangan yang dibuat juga melibatkan perbandingan terhadap keputusan penyelidik lepas. Menurut Brand dan Premchitt (1989), empat penyelidik iaitu Balasubramaniam (1989), Magnan (1989), Nakase (1989) dan Poulos (1989) meramal perlakuan tambakan dan tanah liat lembut berdasarkan:

- i. Tinggi tambakan ketika kegagalan berlaku dan bentuk permukaan gagal.
- ii. Tekanan air liang lebihan melawan tebal tambak pada kedalaman 4.5 m di dalam piezometer P2, P5 dan P7 .
- iii. Taburan tekanan air liang lebihan dengan kedalaman di bawah pusat tambakan untuk setiap meter tambak.
- iv. Anjakan tegak di permukaan aras asal tanah di sepanjang keratan rentas tambakan bagi setiap meter tambak.

- v. Anjakan sisi (ufuk) melawan tebal tambak pada kedalaman 4.5 m di dalam meter condong I1, I2 dan I3.
- vi. Profil menegak anjakan sisi ketika gagal di dalam meter condong I1, I2 dan I3.

#### **4.4.3 Tambakan Kawalan Skim 3/2 dan 6/6**

Tambakan Kawalan Skim 3/2 dan 6/6 merupakan tambakan yang tiada pbaikan tanah dibuat. Tambakan ini perlu dibuat sehingga mencapai tinggi sekurang-kurangnya 3 m dan 6 m masing-masing dari aras semulajadi tanah dalam tempoh 15 bulan.

##### **4.4.3.1 Pendiskretan unsur-unsur dan penempatan tambakan**

Rekabentuk jejaring unsur terhingga bagi Tambakan Kawalan Skim 3/2 dan 6/6 ditunjukkan seperti di dalam Rajah 4.27 dan Rajah 4.29. Sama seperti tambakan Skim 3/5, unsur yang digunakan bagi tanah asas adalah *four-noded quadrilateral* dan bagi tanah tambak, unsur yang digunakan adalah *four-noded quadrilateral* dan *three-noded triangular*. Kedua-dua tambakan ini menggunakan nod sekunder.

Di dalam simulasi penempatan tambak, Skim 3/2 menggunakan empat peringkat penambakan seperti yang ditunjukkan di Jadual 4.7. Pembebanan akan dilakukan SIGMA/W berdasarkan langkah masa yang ditetapkan. Oleh itu, kadar pembebanan pada satu-satu peringkat adalah tinggi. Perbandingan terhadap peringkat penambakan sebenar dengan simulasi ditunjukkan di Rajah 4.28.

Manakala simulasi penempatan tambak Skim 6/6, tujuh peringkat penambakan seperti yang ditunjukkan di Jadual 4.8 digunakan dan taburan bagi peringkat penambakan sebenar dengan simulasi ditunjukkan di Rajah 4.30.

#### **4.4.3.2 Analisa Keputusan**

Keputusan daripada analisa simulasi yang menggunakan tiga model juzuk tanah ini dibandingkan dengan keputusan sebenar yang diukur dari instrumentasi di tapak. Perhatian diberikan terhadap jangka pendek dan panjang terhadap enapan, anjakan sisi dan tekanan air liang lebihan. Perbincangan yang dibuat turut membandingkan keputusan dari penyelidik lepas.

### **4.5 Analisis Kestabilan Cerun**

Di dalam analisa simulasi kestabilan cerun ini, parameter utama yang ingin dicari adalah faktor keselamatan dan tinggi gagal ramalan. Bagi mencapai matlamat ini, dua jenis analisa ingin dilihat iaitu Analisis Keseimbangan Had dan Analisis Unsur Terhingga atau dikenali sebagai Analisis Tegasan Unsur Terhingga. Aliran bagi skop dan pengesetan secara umum program simulasi ini adalah seperti yang ditunjukkan di Rajah 4.1 dan 4.3.

#### **4.5.1 Analisis Keseimbangan Had**

Analisis keseimbangan had adalah analisis yang menggunakan perisian SLOPE/W semata-mata. Analisis kestabilan ini tidak mengambil kesan perubahan

tekanan air liang di mana kehadiran aras air bumi atau tekanan air liang adalah bersifat statik.

#### **4.5.1.1 Rekabentuk Pemodelan**

Geometri pemodelan bagi semua jenis tambakan adalah berdasarkan geometri sebenar di tapak iaitu ketinggian tambakan diambil berdasarkan ketinggian aras laras tertinggi dan ukuran ketebalan tambak adalah termasuk jumlah enapan yang berlaku. Rekabentuk model tambakan Skim 3/5, 3/2 dan 6/6 ditunjukkan seperti di Rajah 4.31 hingga 4.33.

Ketiga-tiga model ini adalah jenis analisis kiri ke kanan di mana arah kegagalan yang dijangka berlaku dari kiri ke kanan. Kedudukan akhir bagi Jejarian Permukaan Gelinciran dan Grid Permukaan Gelinciran dibuat selepas dibuat penyelesaian cuba ralat. Apabila kedudukan permukaan gelinciran berada di tengah grid dan jejarian, keputusan penyelesaian boleh diterima dan kedudukan Jejarian dan Grid Permukaan Gelinciran turut ditetapkan di tempat tersebut.

Enam jenis lapisan tanah tidak termasuk tanah tambak, digunakan dalam memodelkan struktur tanah asas di mana parameter yang terlibat dibincangkan di Bab 4.4.1.3 di bawah.

#### **4.5.1.2 Kaedah Analisis**

Kaedah-kaedah analisis yang digunakan di dalam simulasi ini adalah seperti yang telah dibincangkan di Bab 3 iaitu kaedah asas yang terdiri daripada Kaedah Biasa (Fillenius), Janbu dan Bishop dan kaedah tambahan iaitu Keseimbangan Had



Umum (GLE). Bagi kaedah Janbu keputusan yang dikeluarkan adalah sebelum diperbetulkan.

#### 4.5.1.3 Pemilihan Parameter Tanah

Berdasarkan parameter kekuatan yang digunakan, analisis kestabilan boleh diklasifikasikan kepada analisis tegasan jumlah, kekuatan tak tersalir dan tegasan berkesan (Ladd, 1991). Menurut Ladd (1991) lagi, bagi tambakan di atas tanah liat lembut, analisis kekuatan ricih tak tersalir adalah lebih hampir keadaannya dengan yang sebenar. Ini kerana tambakan gagal berlaku dalam keadaan jangka masa pendek, yang sama dengan ricih tak tersalir walaupun kekuatan ricih tak tersalir tanah liat lembut boleh meningkat disebabkan pengukuhan yang berlaku. Beberapa kaedah untuk menentukan kekuatan ricih tak tersalir telah diperkenalkan seperti Bjerrum (1972 dan 1973), Mesri (1975) dan Ladd (1991).

Di dalam analisa simulasi ini, lima jenis kekuatan ricih tak tersalir digunakan iaitu; i) ricih bilah tak dibetulkan, ii) ricih bilah dibetulkan, iii) ujian terkukuh tak bersalir ( $CK_oU$ ), iv) ujian tak terkukuh tak tersalir ( $UU$ ), dan v) persamaan empirik iaitu;

$$c_u = \alpha \sigma'_p = 0.22 \sigma'_p \text{ (Mesri, 1975)} \quad (4.1)$$

di mana  $\sigma'_p$  adalah tekanan prapengukuhan berkesan. Bagi menentukan kekuatan ricih bilah dibetulkan, penggunaan faktor pembetulan yang dicadangkan oleh Bjerrum (1973) digunakan seperti yang ditunjukkan di Jadual 4.9. Ringkasan bagi parameter kekuatan ricih ini ditunjukkan seperti di Jadual 4.10. Manakala parameter kekuatan bahan tambak pula adalah; i) sudut geseran dalaman,  $\phi' = 26^\circ$  dan ii) kejelekitan,  $c' = 19 \text{ kN/m}^2$ . Lain-lain parameter adalah sama seperti yang digunakan di dalam analisis pengukuhan terganggu.

## **4.5.2 Analisis Unsur Terhingga**

Analisis dengan kesan perubahan air liang atau Analisis Tegasan Unsur Terhingga adalah analisis yang melibatkan penggunaan perisian SLOPE/W + SEEP/W + SIGMA/W. Pendiskretan model di SLOPE/W diimport dari data SIGMA/W atau SEEP/W.

### **4.5.2.1 Rekabentuk Model**

Di dalam analisis ini, geometri pemodelan diimport dari fail SIGMA/W. Oleh itu bentuk model adalah sama seperti jejaring analisis pengukuhan. Contoh pemodelan tambakan Skim 3/5, 3/2 dan 6/6 ditunjukkan seperti di Rajah 4.36 hingga 4.39.

Cerun kegagalan yang dikaji adalah disebelah kanan. Oleh itu, model ini adalah jenis analisis kiri ke kanan. Kaedah penentuan Jejarian dan Grid Permukaan Gelinciran sama seperti kaedah keseimbangan had.

### **4.5.2.2 Kaedah Analisis**

Pengasetan kaedah adalah berdasarkan unsur terhingga di mana kesan tegasan diambil dari fail SIGMA/W dan kesan perubahan tekanan air liang diambil dari fail SEEP/W.

#### **4.5.2.3 Pemilihan Parameter Tanah**

Parameter-parameter kekuatan tanah yang digunakan di dalam analisis sama seperti yang digunakan oleh analisis keseimbangan had.

#### **4.5.3 Analisis Keputusan**

Kaedah analisis keputusan bagi analisis kestabilan ini bergantung kepada objektif pembinaan tambakan dibuat. Bagi tambakan Skim 3/5, perhatian diberikan kepada kesan jangka pendek iaitu penentuan ketinggian kegagalan ramalan. Ketinggian kegagalan ramalan ini ditentukan berdasarkan plotan graf tinggi tambak melawan faktor keselamatan. Tinggi tambak ketika gagal dianggap berlaku sekiranya faktor keselamatan bersamaan satu.

Bagi tambakan Skim 3/2 dan 6/6, perhatian diberikan terhadap perubahan faktor keselamatan dari peringkat awal pembinaan sehingga kajian ini dibuat.

**Jadual 4.1 : Ujian Sampel-sampel Tanah Liat Lembut Muar Mengikut Kedalaman**

Jenis	Lubang Jara	Kedalaman (m)	No. Sampel	Ciri-ciri Asas	Kebolehmampatan	Ujian Kekuatan
Skim 3/2	1 (UD)	7.50 – 8.25	1a	✓	✓	✓
		10.50 – 11.25	1b	✓	✓	
		<del>13.50 – 14.25</del>	<del>1c</del>			
		18.00 – 18.75	1d	✓	✓	✓
Skim 3/4	5 (PS)	7.50 – 8.50	5a	✓	✓	✓
		10.50 – 11.50	5b	✓	✓	
		<del>13.50 – 14.50</del>	<del>5c</del>			
		18.00 – 19.00	5d	✓	✓	✓
Skim 6/6	10 (PS)	10.50 – 11.50	10a	✓	✓	✓
		13.50 – 14.50	10b	✓	✓	
		16.50 – 17.50	10c			
		19.50 – 20.50	10d	✓	✓	✓
Skim 6/7	14 (PS)	12.00 – 13.00	14a	✓	✓	✓
		15.00 – 16.00	14b	✓	✓	
		<del>18.00 – 19.00</del>	<del>14c</del>			
		21.00 – 22.00	14d	✓	✓	✓
Skim 6/8	18 (PS)	10.50 – 11.50	18a	✓	✓	✓
		13.50 – 14.50	18b	✓	✓	
		<del>16.50 – 17.50</del>	<del>18c</del>			
		19.50 – 20.50	18d	✓	✓	✓
<b>JUMLAH</b>				<b>15</b>	<b>15</b>	<b>10</b>

Nota: UD = 60 mm garis pusat pensampel dan PS = 75 mm garis pusat pensampel

**Jadual 4.2 : Parameter tanah bagi analisis tegasan di-situ dan model Linear Elastik.**

Kedalaman (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$K_o$	$\nu$	$E'$
0.0 – 2.0	16.5	0.61	0.3	4940
2.0 – 8.0	15.0	0.62	0.3	2141
8.0 – 13.0	15.5	0.62	0.3	3458
13.0 – 18.0	16.0	0.66	0.3	4446

**Jadual 4.3: Parameter tanah Model Elastik-Plastik (selepas Bergado dan Chai, 1993)**

Kedalaman (m)	$\nu$	$E'$	$\phi'$	$c'$
0.0 – 2.0	0.3	4940	12.5	8
2.0 – 8.0	0.3	2141	14	14
8.0 – 13.0	0.3	3458	20	9
13.0 – 18.0	0.3	4446	17	16

**Jadual 4.4: Parameter tanah Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai (Selepas Bergado dan Chai, 1993)**

Kedalaman (m)	$\kappa$	$\lambda$	$\Gamma$	$M$	$p_c'$ (kN/m <sup>2</sup> )
0.0 – 2.0	0.06	0.35	4.16	1.20	110
2.0 – 8.0	0.10	0.61	5.50	1.07	42
8.0 – 13.0	0.06	0.28	3.74	1.07	69
13.0 – 18.0	0.04	0.22	3.45	1.07	100

**Jadual 4.5: Parameter tanah tambak : Model Linear-Elastik**

Modulus Young ( $E$ )	Nisbah Poisson ( $\nu$ )	Berat Unit ( $\gamma$ ) (kN/m <sup>3</sup> )
5100	0.3	20.5

**Jadual 4.6 : Ciri-ciri kebolehtelapan tanah (selepas Tan, 1994)**

Kedalaman (m)	0.0 – 2.0	2.0 – 8.0	8.0 – 13.0	13.0 – 18.0
$k_h$ (m/s)	6.0 e-9	5.0 e-9	3.0 e-9	1.5 e-9
$k_v$ (m/s)	3.0 e-9	2.5 e-9	1.5 e-9	0.4 e-9
$K_{nisbah} = \frac{k_y}{k_x}$	0.5	0.5	0.5	0.267

**Jadual 4.7 : Peringkat pembinaan bagi Tambakan Skim 3/2**

Peringkat	Langkah masa dalam simulasi	Masa (hari)	Tinggi Tambak (m)
1	1	0	0.75
2	16	50	2.7
	33	140	2.7
3	38	160	3.5
	58	280	3.5
4	60	290	3.9
	82	450	3.9

**Jadual 4.8 : Peringkat pembinaan bagi Tambakan Skim 6/6**

Peringkat	Langkah Masa	Masa (hari)	Tinggi Tambak (m)
1	1	0	0
	7	20	1.84
	13	38	1.84
2	16	52	1.93
	19	63	1.93
3	20	66	2.19
	29	109	2.19
4	32	118	3.02
	33	122	3.02
5	44	164	6.26
	55	220	6.26
6	59	234	7.25
	105	521	7.25
7	110	538	7.67

**Jadual 4.9 : Faktor pembetulan bagi setiap kedalaman**

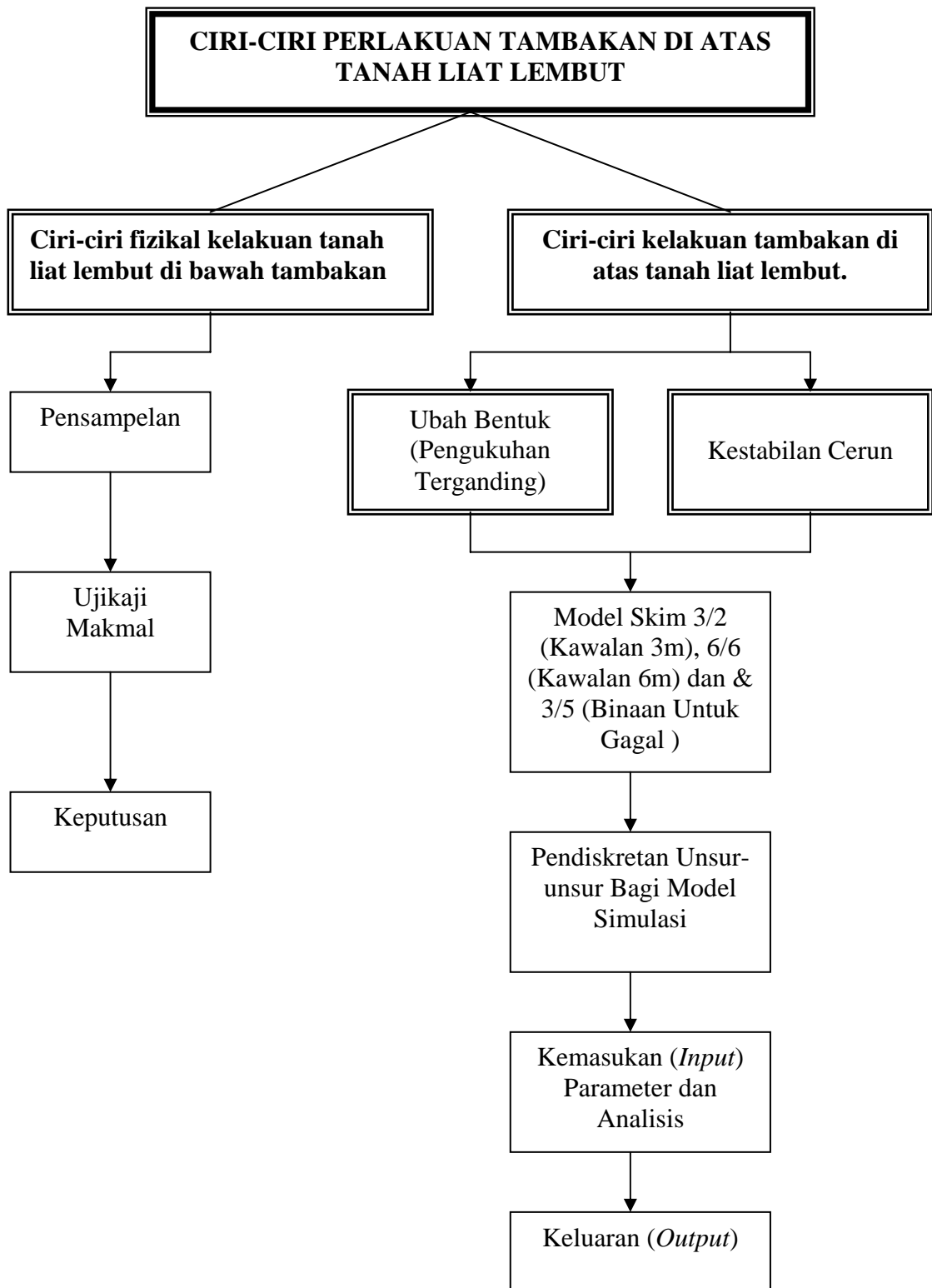
Kedalaman (m)	PI	Faktor pembetulan, $\mu$
0 - 2	50	0.8
2 - 5	40	0.85
5 - 8	40	0.85
8 - 11	30	0.9
11 - 14	25	0.94

**Jadual 4.10 : Parameter kekuatan ricih tak tersalir bagi analisis kesimbangan had.**

<b>Kedalaman (m)</b>	<b>Ricih Bilah Tak Dibetulkan (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Ricih Bilah Dibetulkan (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>CK_oU</math> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>UU</math> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Persamaan Empirik (kN/m<sup>2</sup>)</b>
0 - 2	30	24	24.5	24.5	22
2 - 5	11	9.35	10	10	10
5 - 8	17	14.45	16	12.8	12.1
8 - 11	20	18	22.6	20	18
11 - 14	24	22.56	26.5	25	22

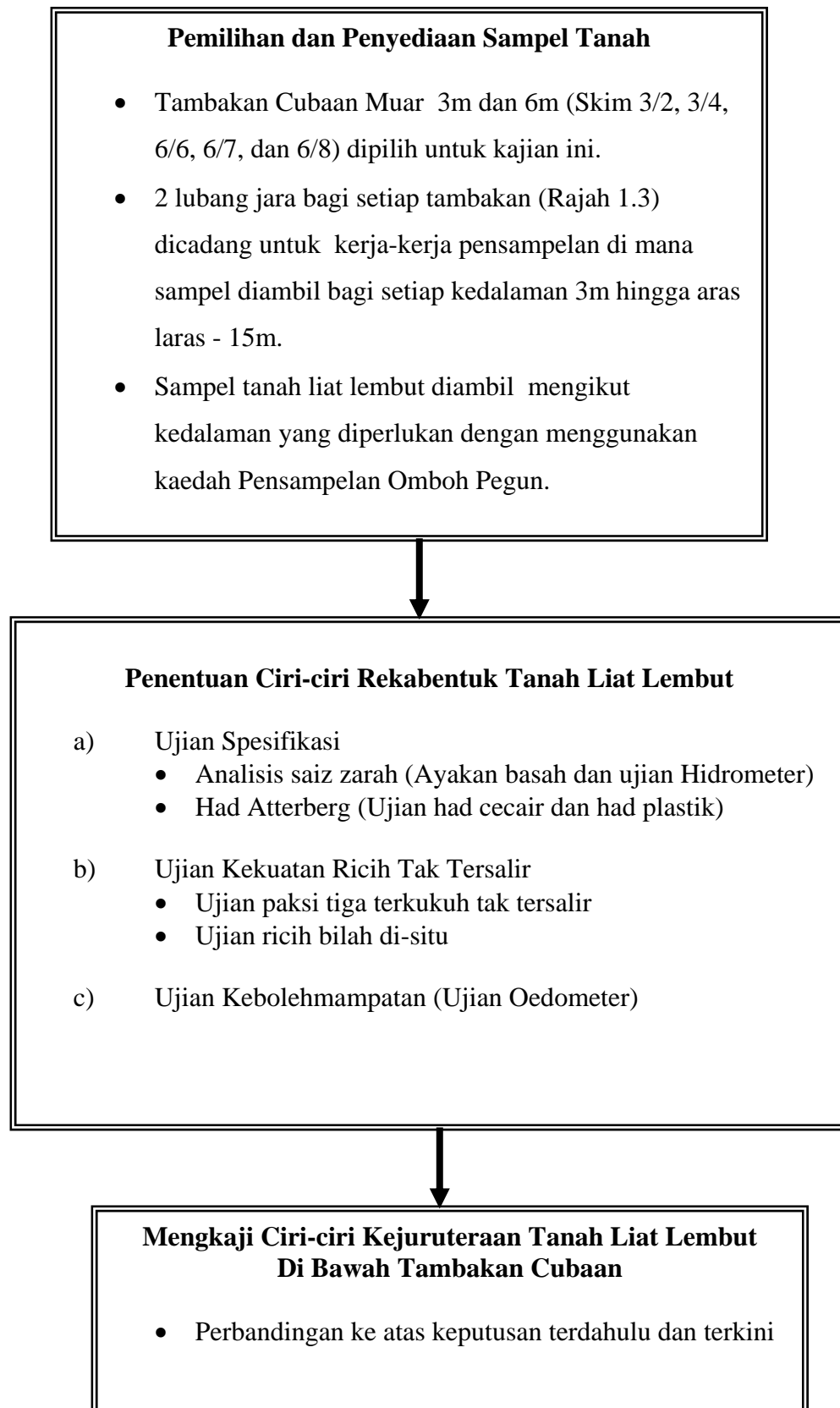
**Jadual 4.11 : Parameter kekuatan ricih bagi analisis unsur terhingga.**

<b>Kedalaman (m)</b>	<b><math>c'</math> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\phi'</math> (darjah)</b>
0 - 2	8	12.5
2 - 5	14	14
5 - 8	22	7
8 - 11	9	20
11 - 14	16	17
14 - 18	14	21.5

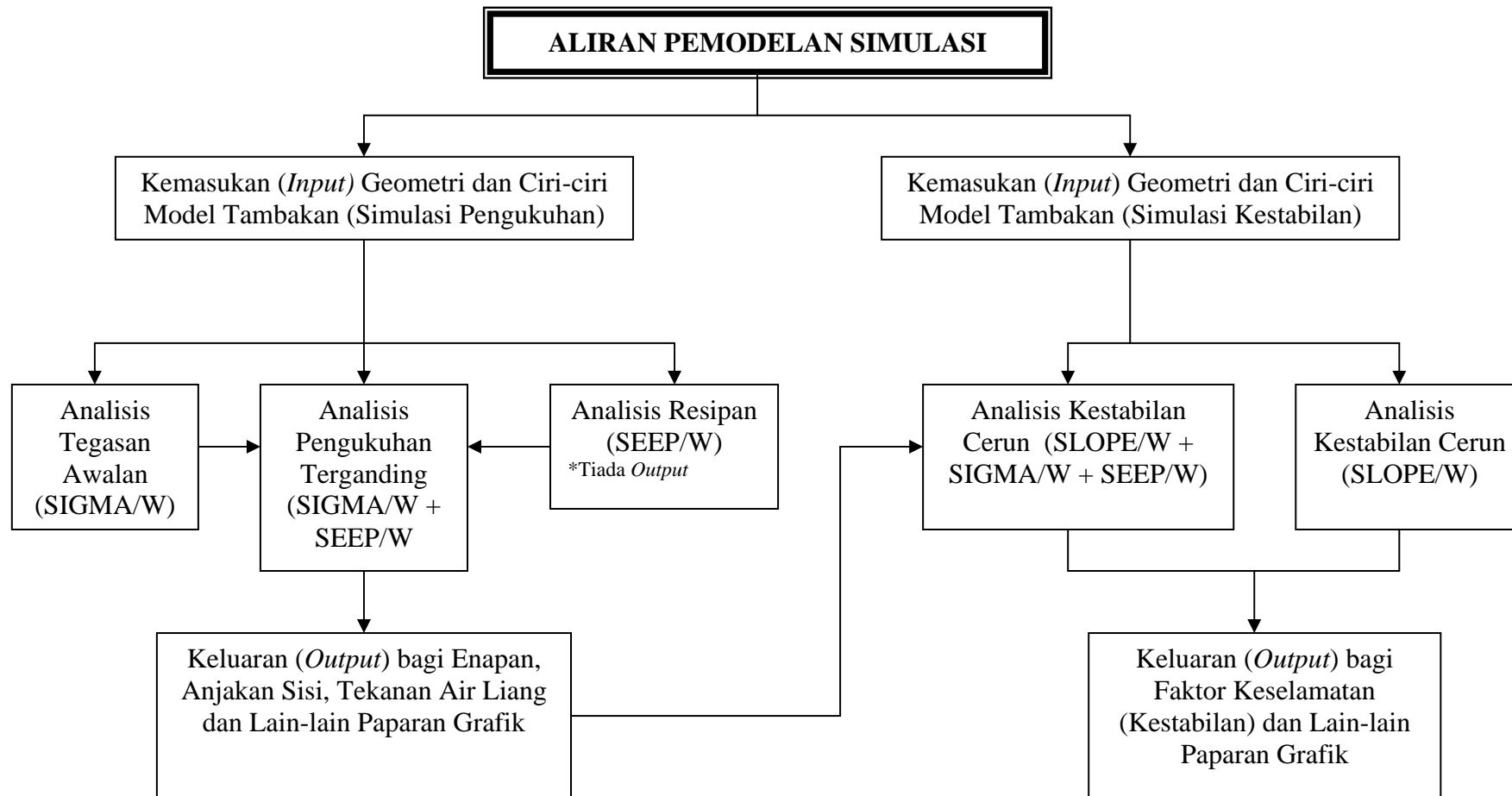


**Rajah 4.1 : Carta Aliran Skop Metodologi Kajian**

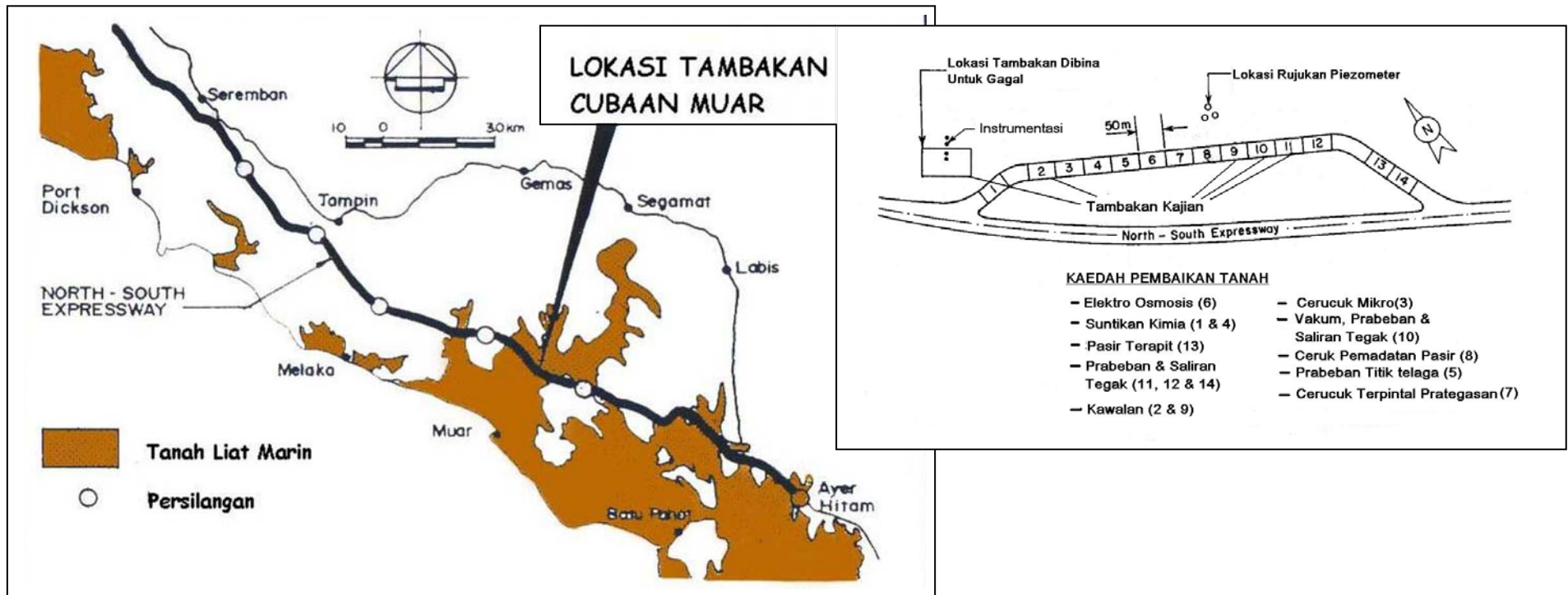




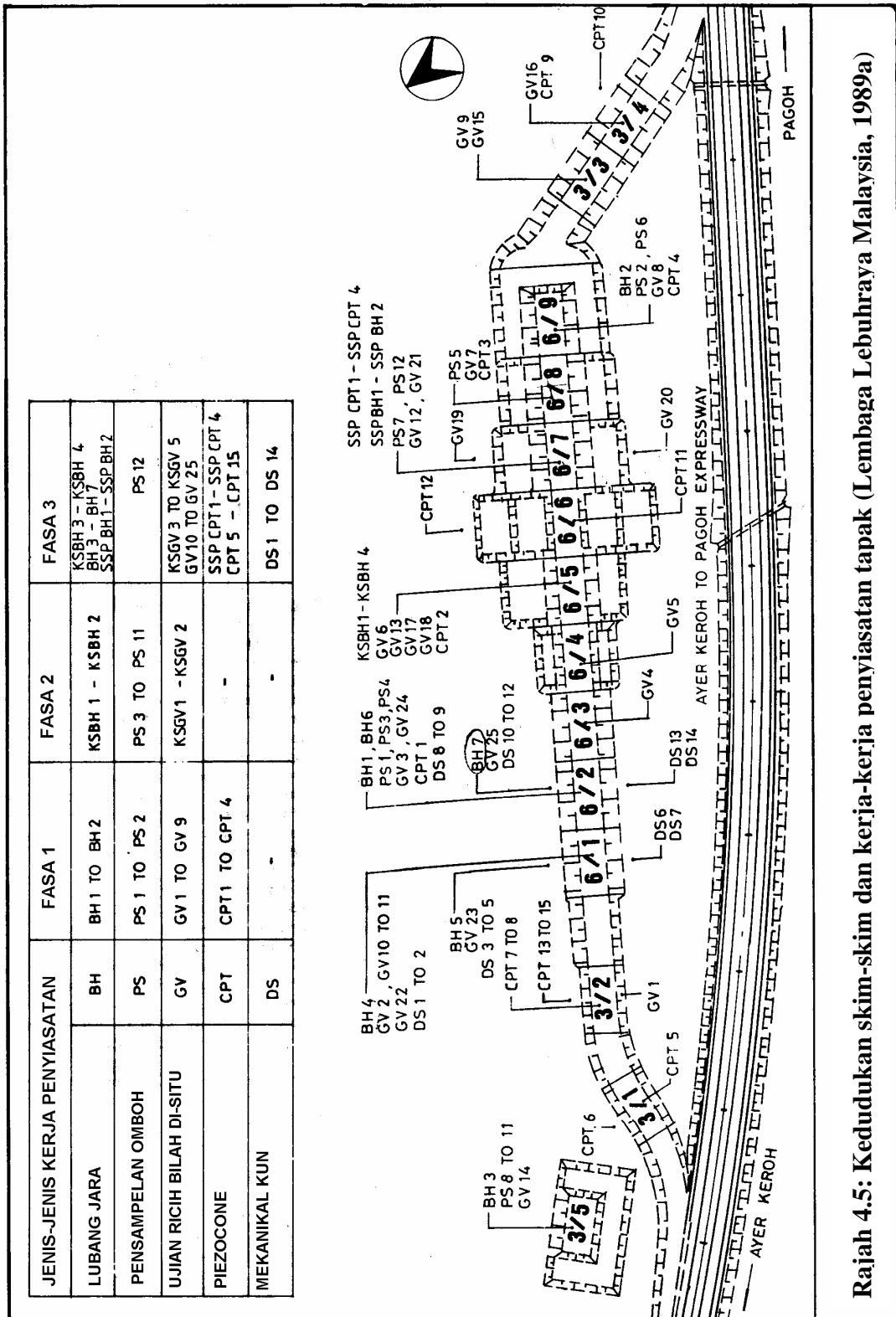
**Rajah 4.2: Carta Aliran Bagi Program Pengujian Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Liat Lembut.**



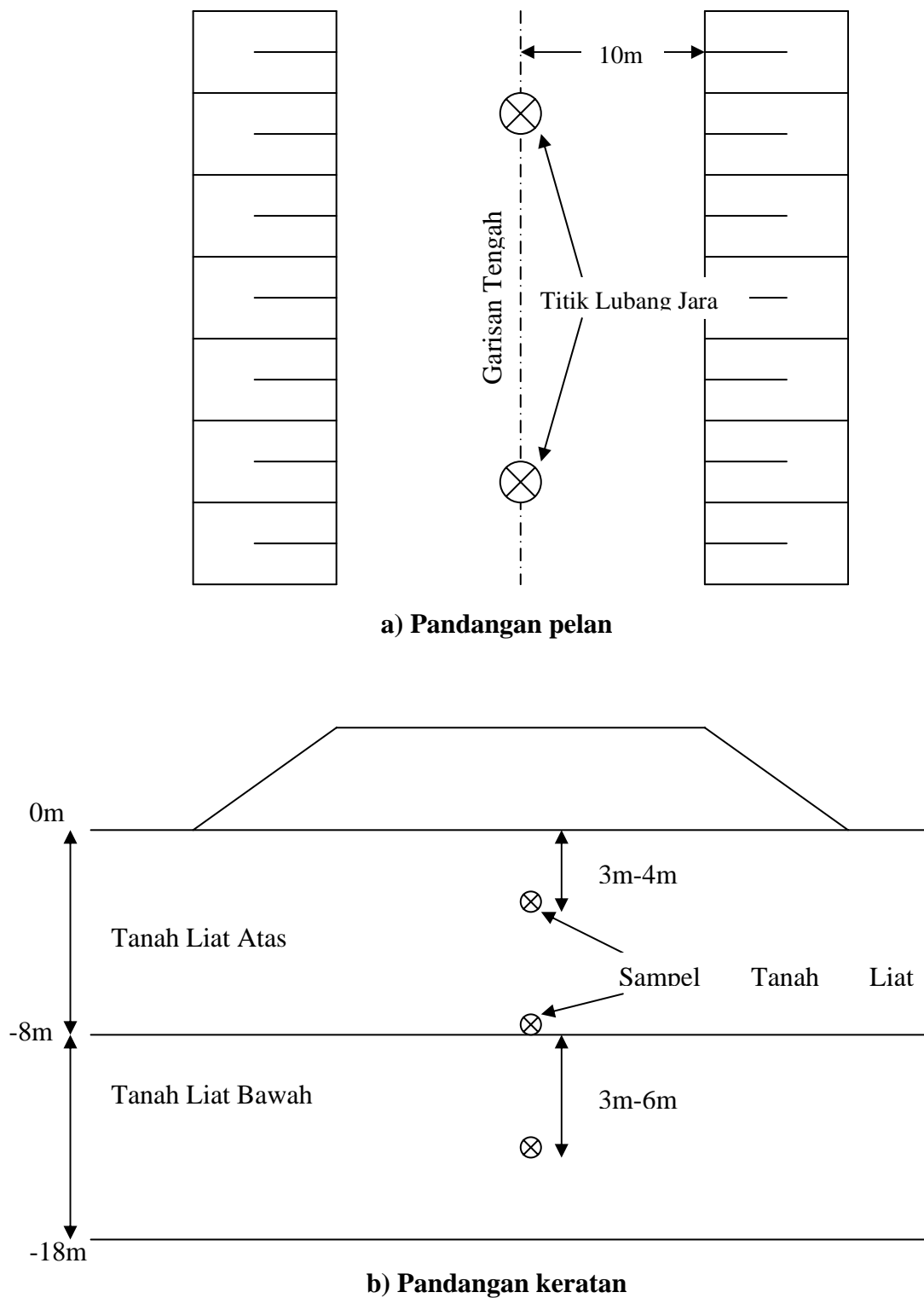
Rajah 4.3: Aliran Pemodelan Analisa Simulasi



Rajah 4.4 : Lokasi Tambakan Cubaan Muar di km 153 Lebuhraya Utara-Selatan (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989a)



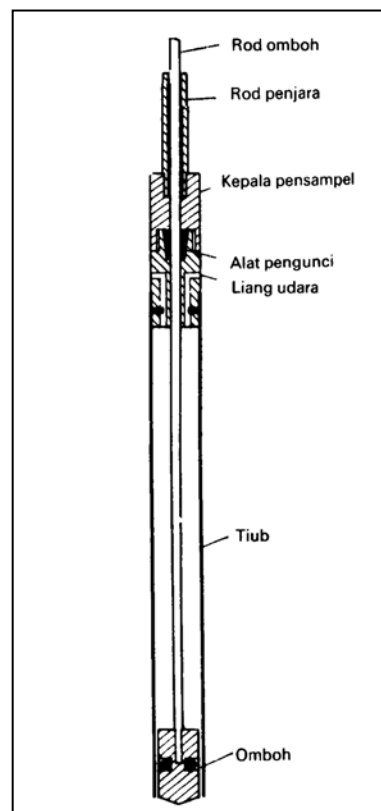
Rajah 4.5: Kedudukan skim-skim dan kerja-kerja penyiataan tapak (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989a)



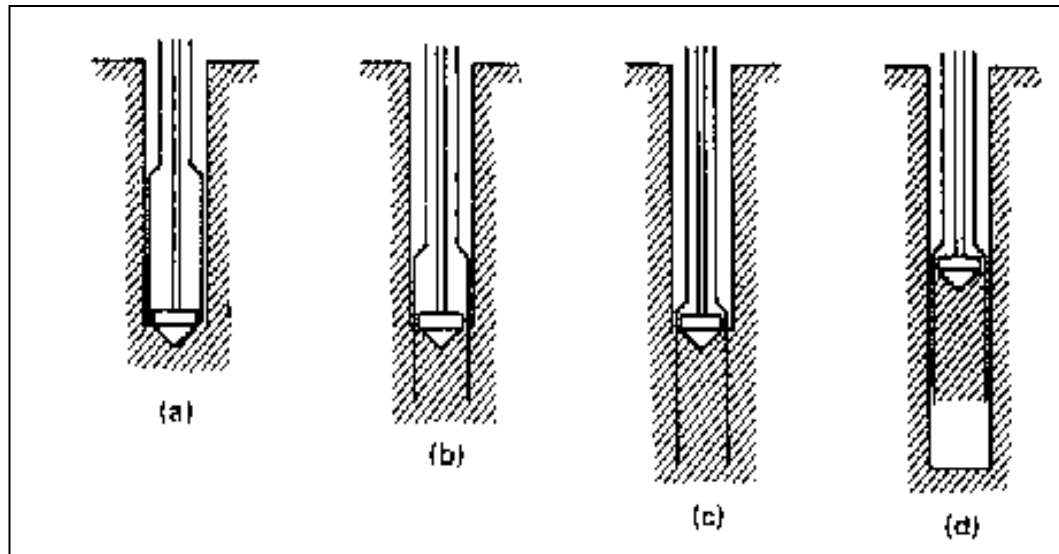
**Rajah 4.6 : Pandangan pelan dan keratan bagi titik lubang jara dan sampel tanah yang diambil di setiap tambakan terpilih.**



**Rajah 4.7 : Kerja-kerja penggerudian dengan menggunakan kaedah Putar Basuh (*Wash Boring*)**



**Rajah 4.8 : Pensampel Omboh Pegun**



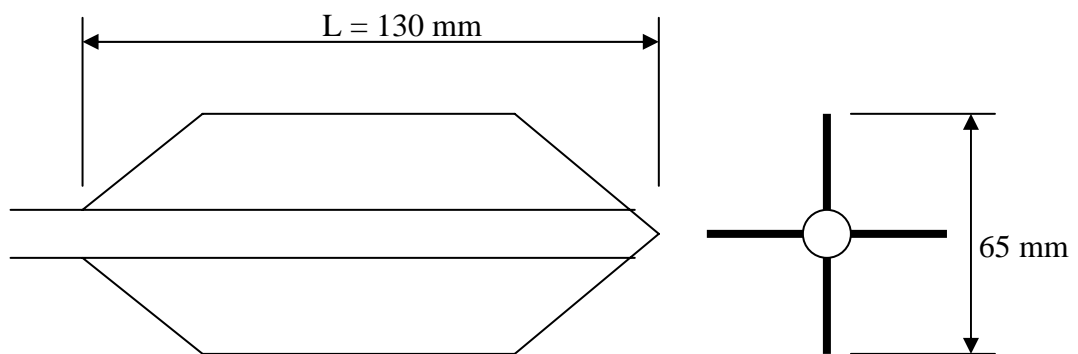
**Rajah 4.9 : Peringkat Pensampelan Omboh Pegun :** (a) Permulaan pensampel, omboh dikunci; (b) penusukan pensampel, omboh dibiarkan pegun; (c) peringkat akhir penusukan, omboh dikunci; (d) pensampel dan omboh dikeluarkan.



**Rajah 4.10 : Sampel Tanah Liat Lembut Yang Telah Diambil Oleh Pensampel Omboh Pegun Dalam Kerja-kerja Pensampelan**



**Rajah 4.11 : Sampel tanah yang telah ditutupi lilin.**

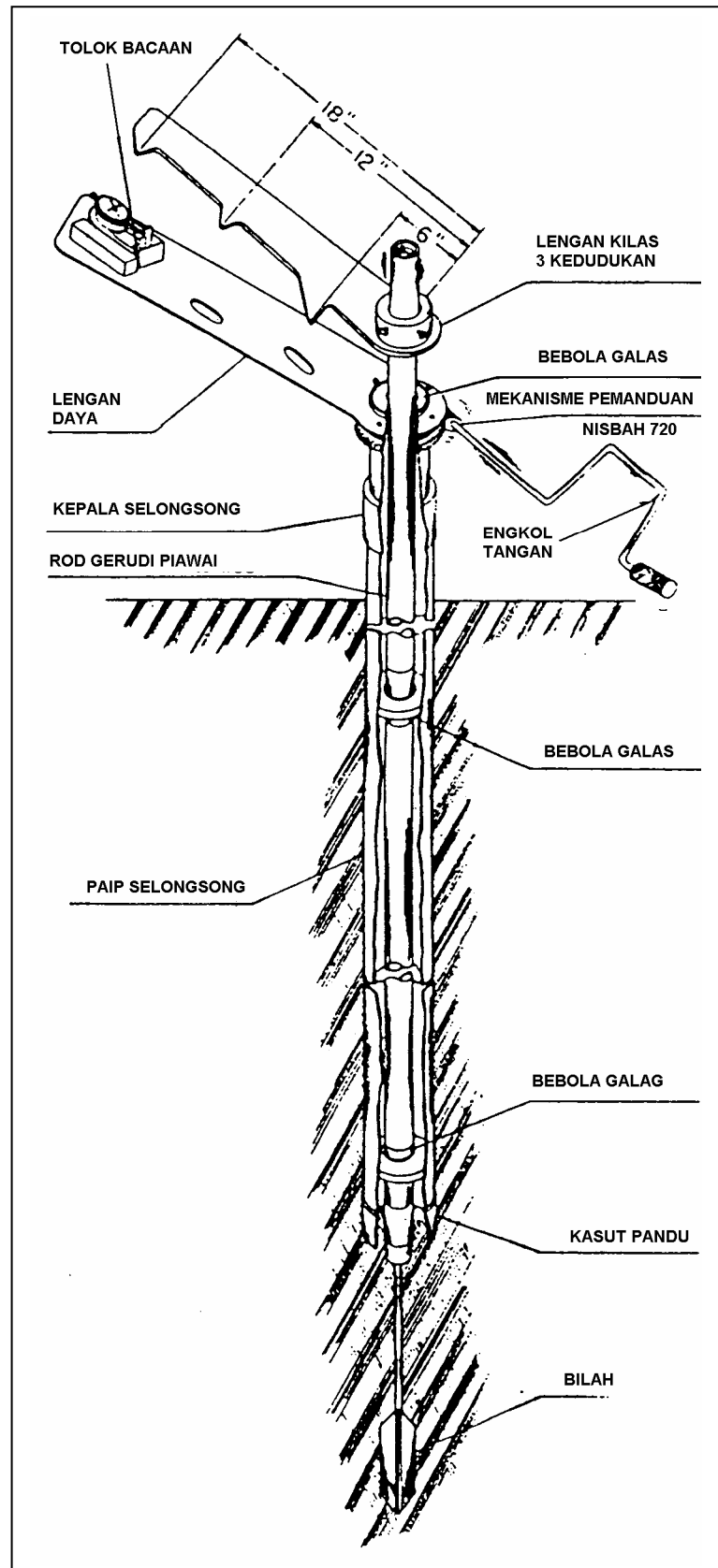


**Rajah 4.12: Pandangan sisi dan hujung bilah berbentuk prisma**



**Rajah 4.13: Tiga Saiz Bilah Yang Digunakan Dalam Ujian Ricih Bilah In-Situ**

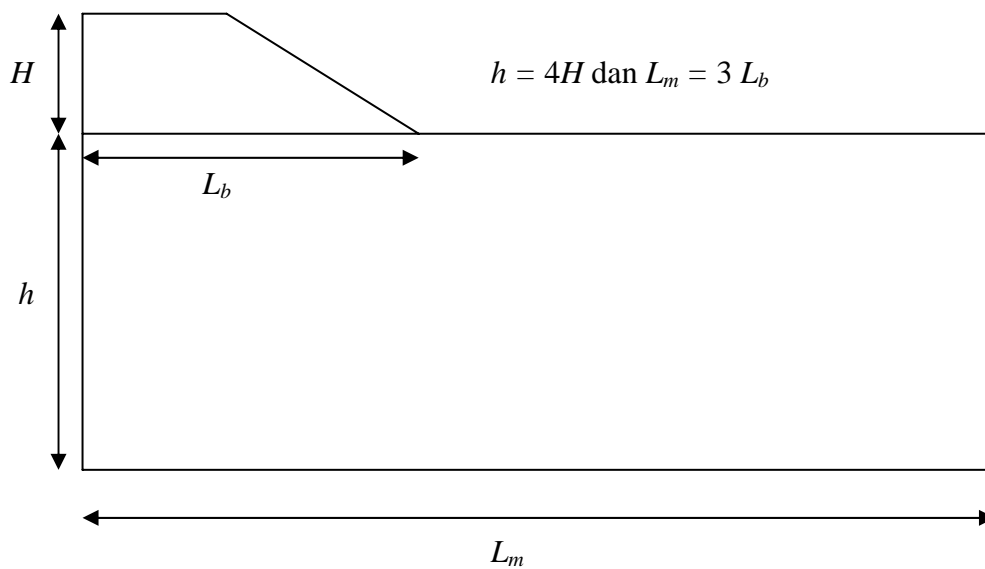




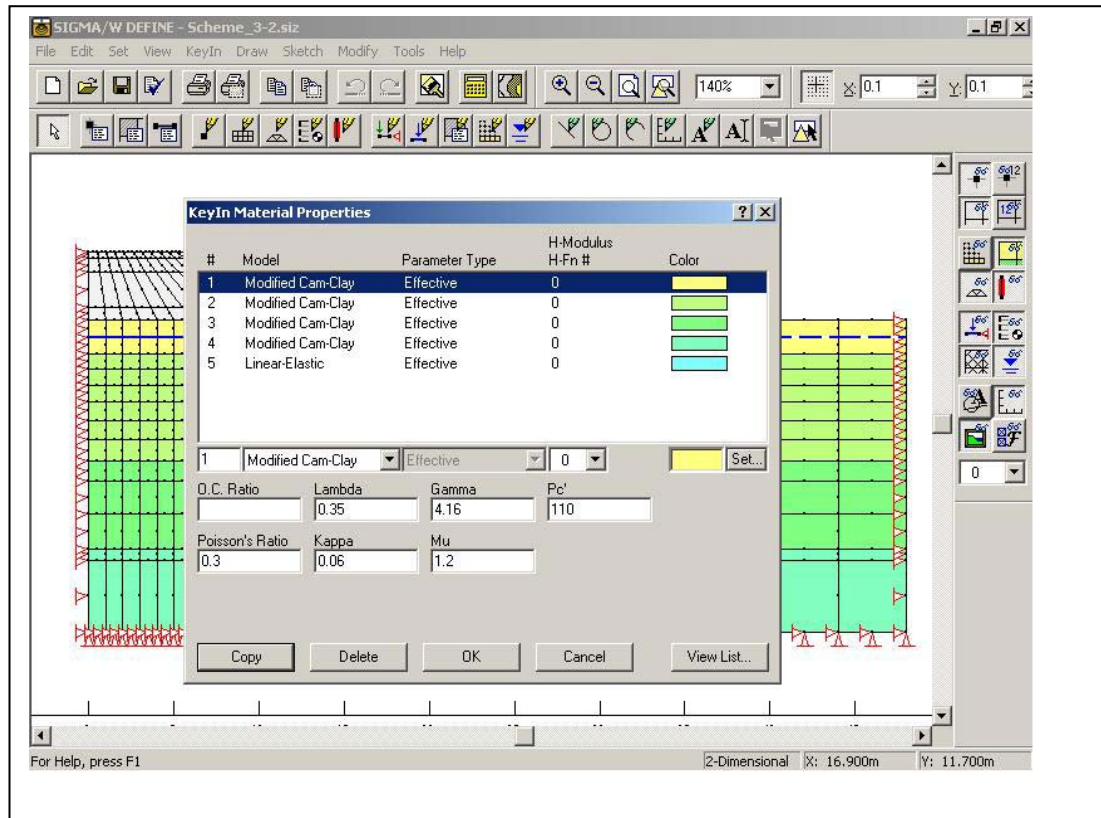
Rajah 4.14 : Set radas ujian ricih bilah jenis Acker termasuk kepala kilas



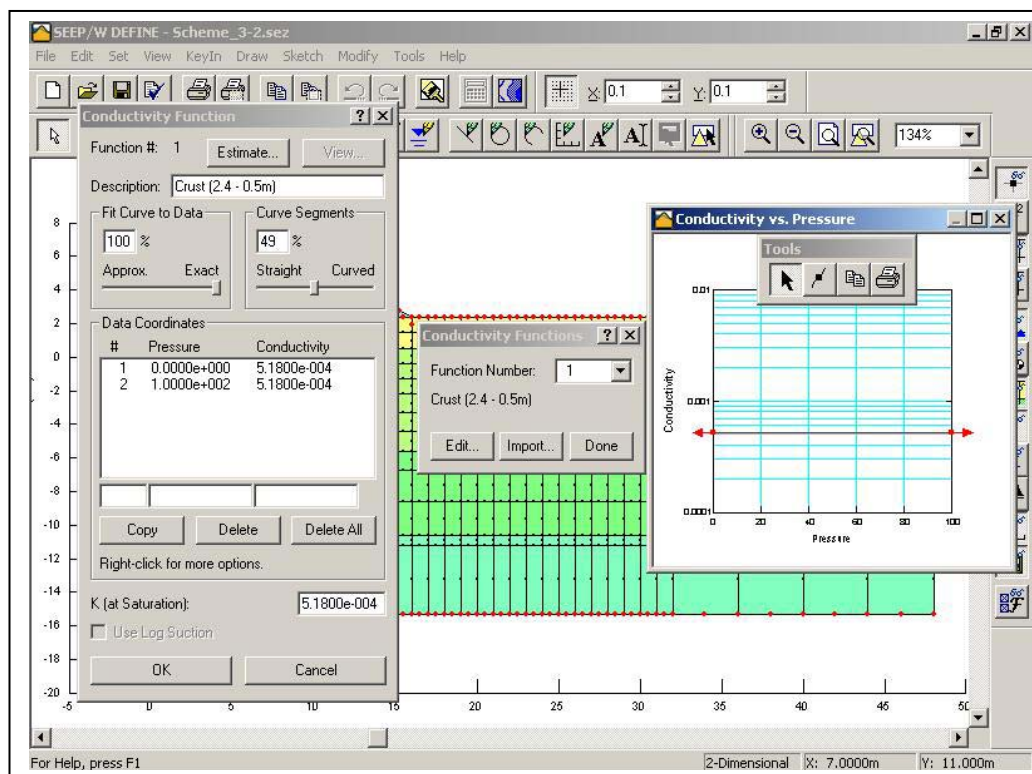
Rajah 4.15 : Ujian Ricih Bilah Yang Sedang Dijalankan Oleh Kontraktor



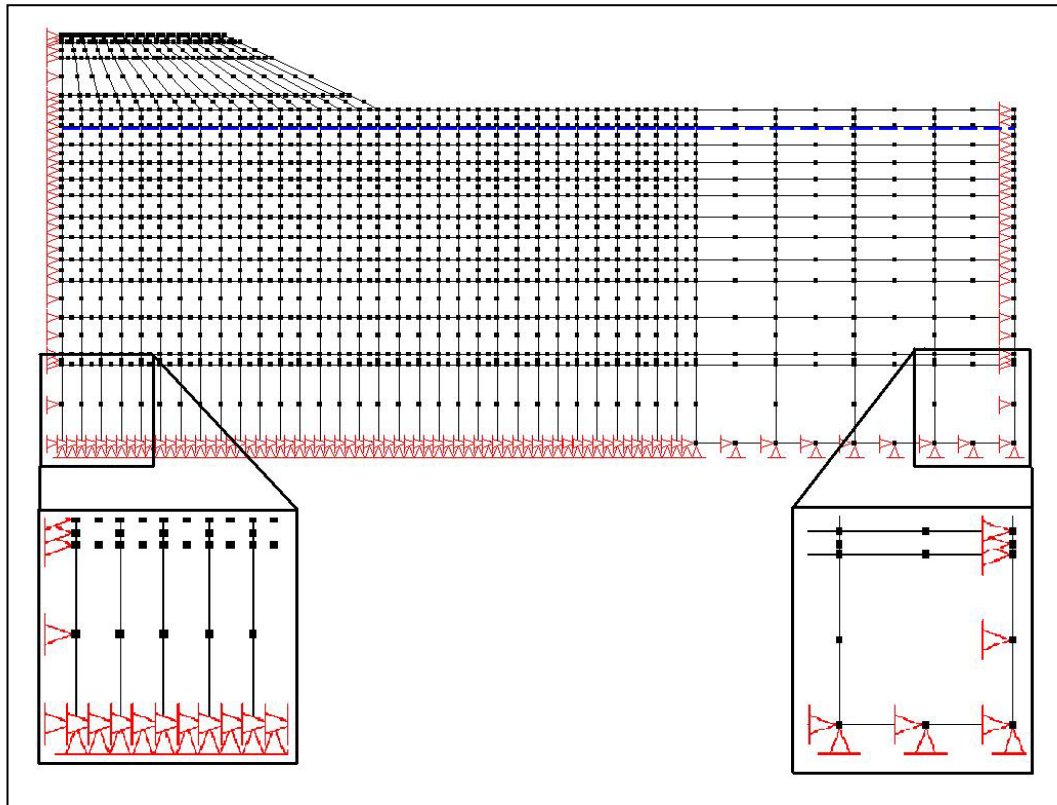
Rajah 4.16 : Ciri-ciri Dimensi Keratan Garis Melintang Model Tambakan (Mestat, 2001)



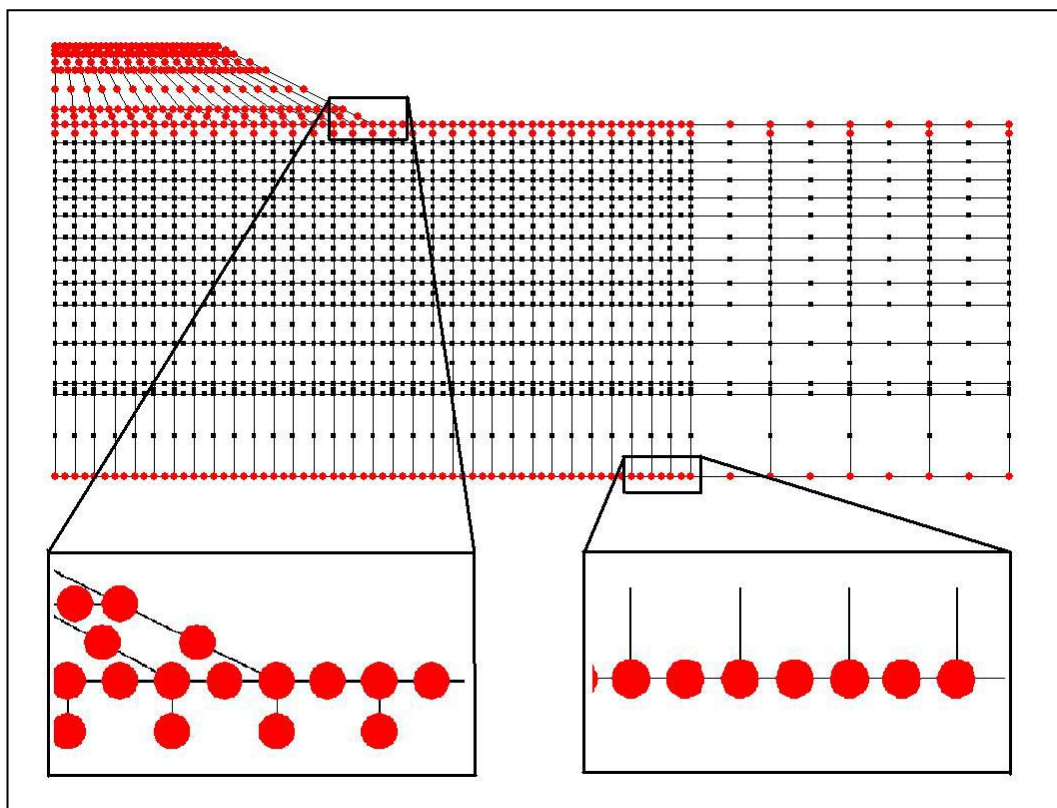
**Rajah 4.17 : Kemasukan data parameter tanah model Tanah Liat-Cam Terubahsuai di dalam analisis ubah bentuk.**



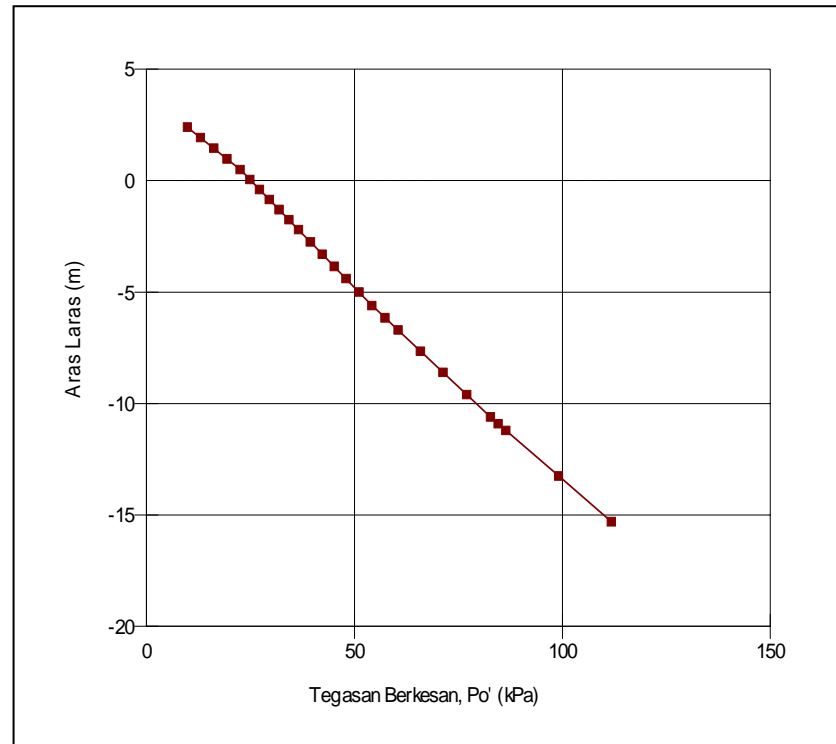
**Rajah 4.18 : Kemasukan data pekali kebolehtelapan di dalam analisis resipan**



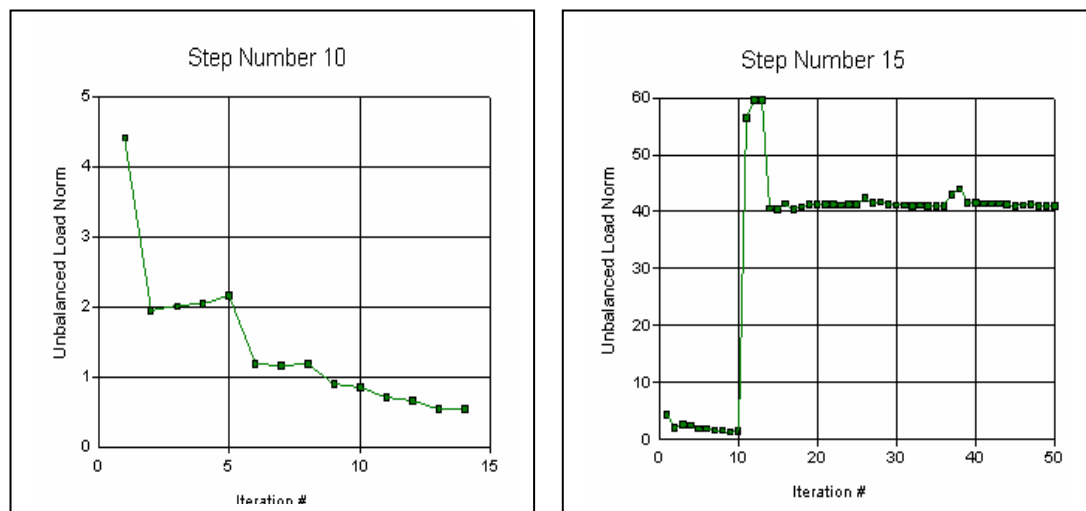
**Rajah 4.19 : Keadaan sempadan piawai bagi analisis ubah bentuk.**



**Rajah 4.20 : Keadaan sempadan piawai bagi analisis resipan**



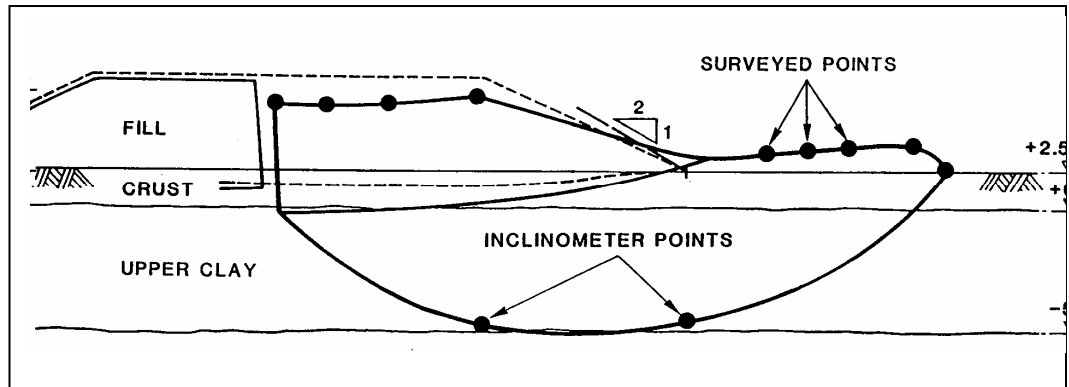
Rajah 4.21 : Tegasan tegak berkesan piawai melawan kedalaman.



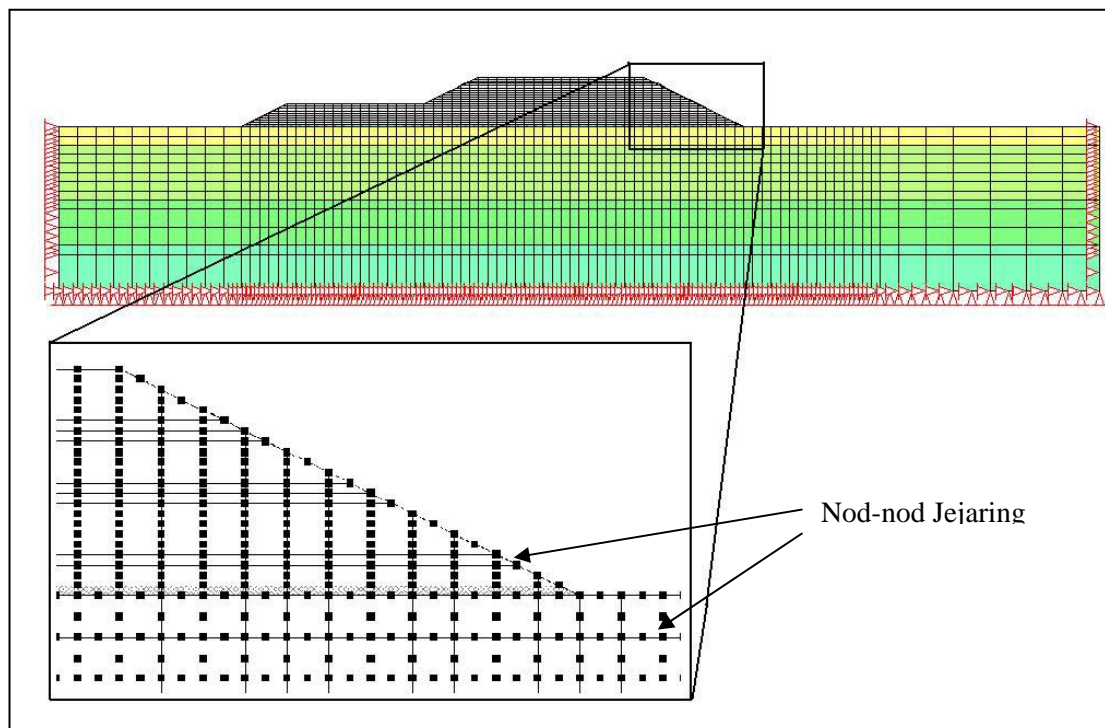
(a)

(b)

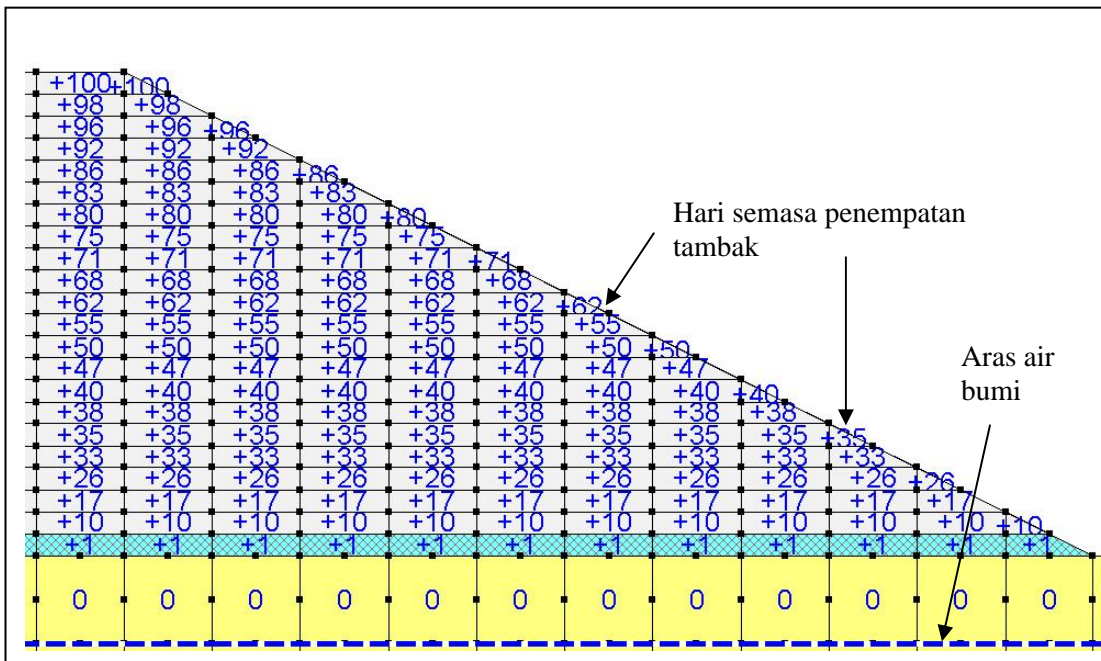
Rajah 4.22 : Perbandingan keputusan penumpuan; a) Perbezaan boleh diterima bagi kriteria beban tak-terimbang dan, b) Perbezaan tak boleh diterima bagi beban tak terimbang semasa analisis.



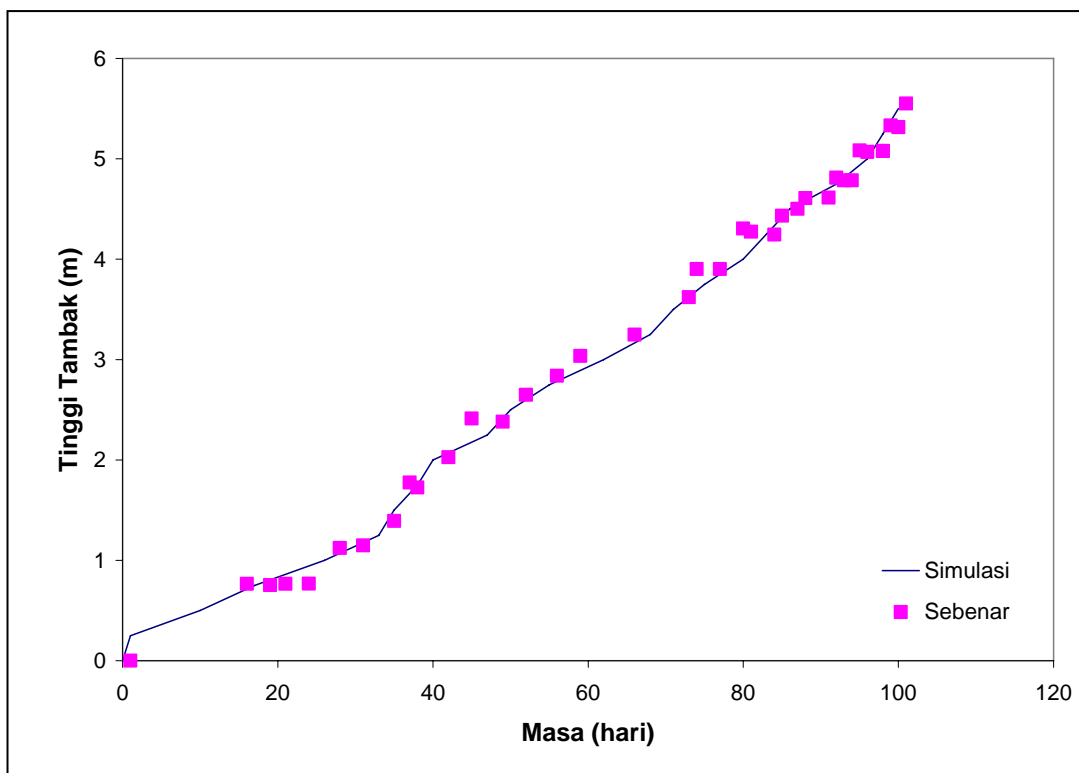
**Rajah 4.23 : Mekanisme kegagalan tambakan Skim 3/5 berdasarkan pengukuran meter condong dan tinjauan topografi.**



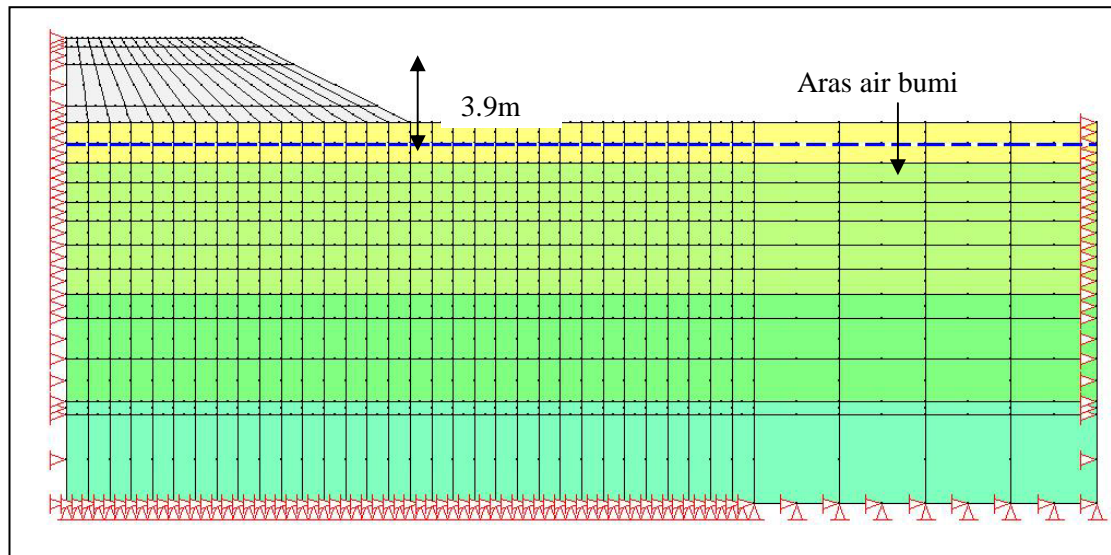
**Rajah 4.24 : Pendiskretan dan rekabentuk jejaring Tambakan Skim35**



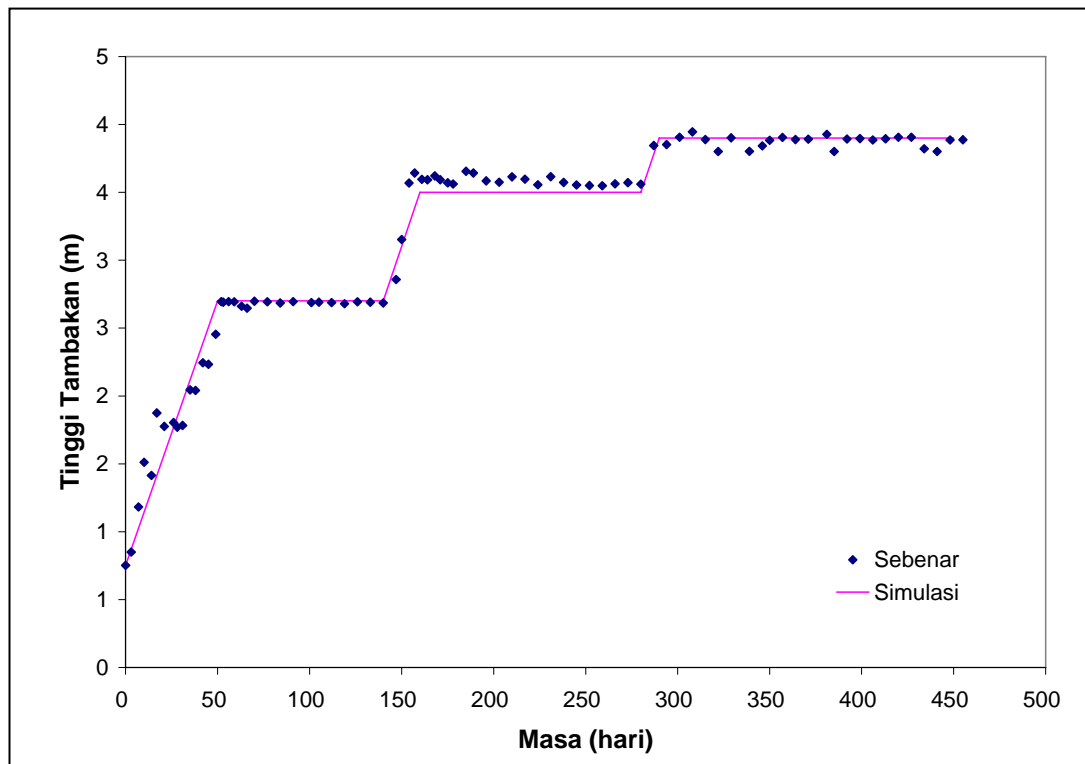
Rajah 4.25 : Simulasi penempatan tambak



Rajah 4.26 : Perbandingan penempatan tambak simulasi dengan sebenar bagi Tambakan Skim 3/5

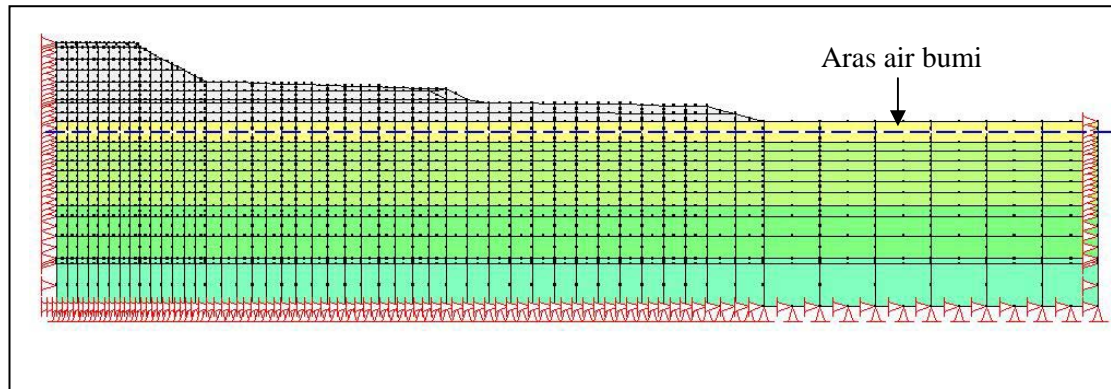


Rajah 4.27 : Pendiskretan dan rekabentuk jejaring Tambakan Skim 3/2

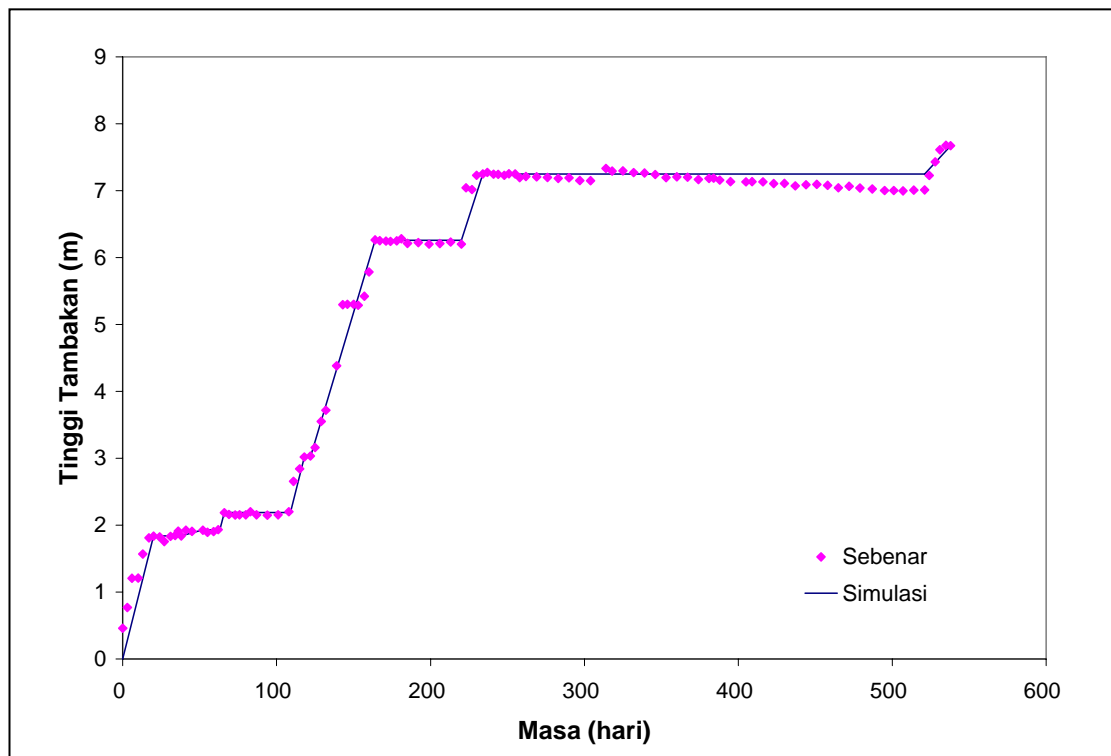


Rajah 4.28 : Perbandingan penempatan tambak simulasi dengan sebenar bagi Tambakan Skim 3/2

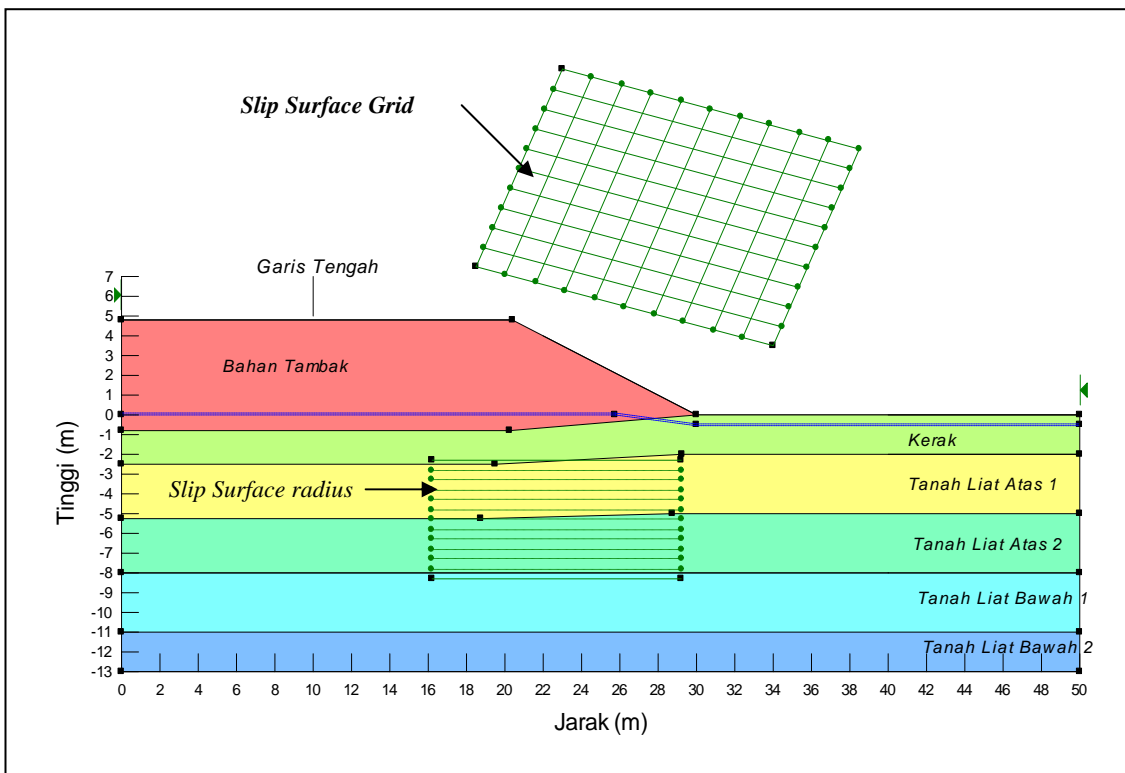




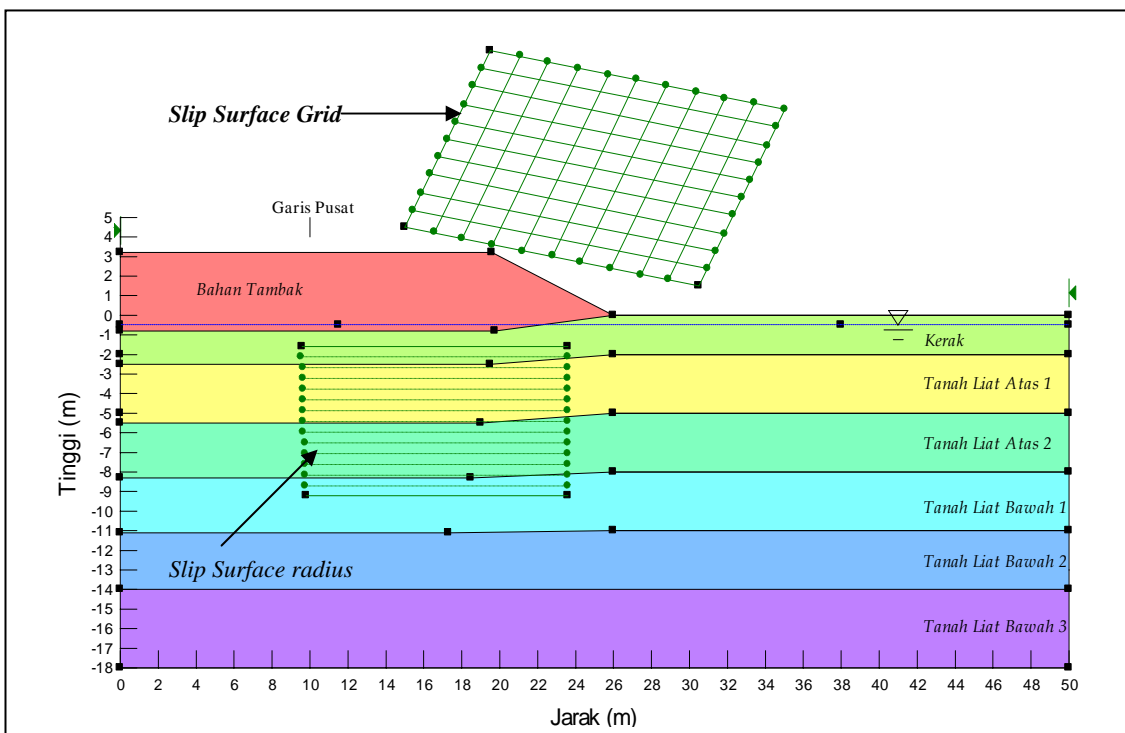
Rajah 4.29 : Pendiskretan dan rekabentuk jejaring Tambakan Skim 6/6



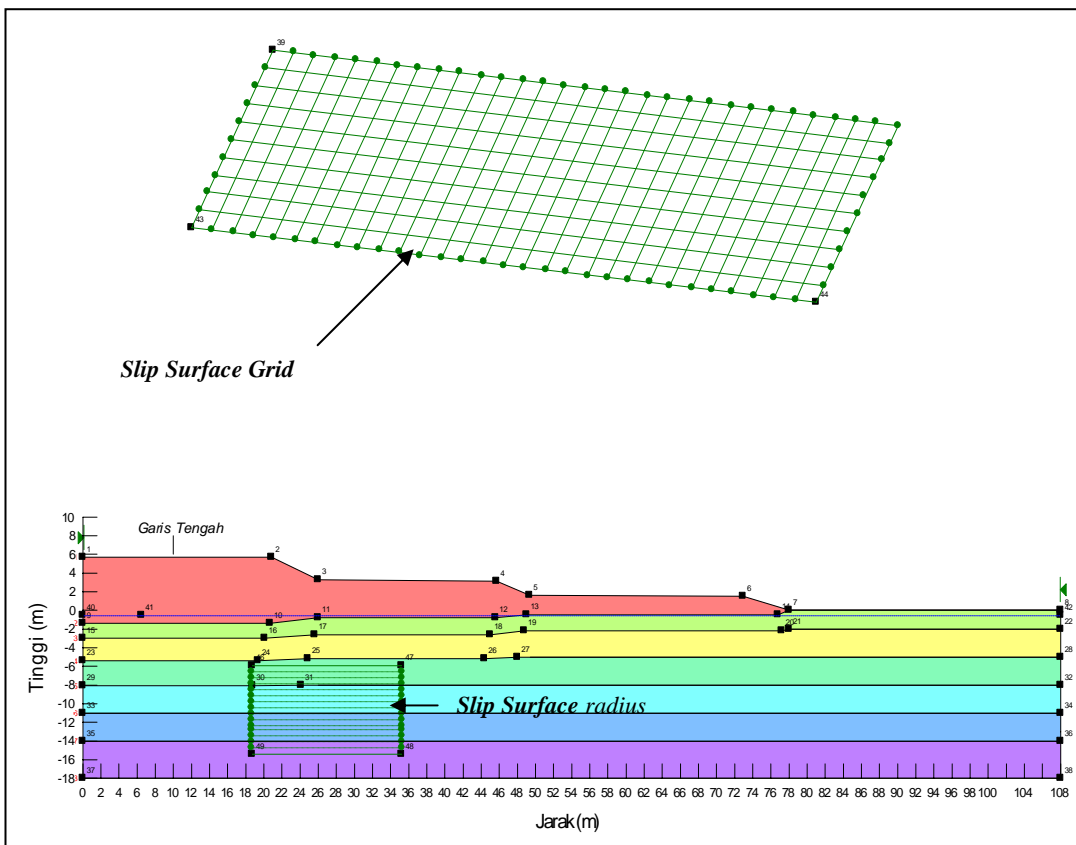
Rajah 4.30 : Perbandingan penempatan tambak simulasi dengan sebenar bagi Tambakan Skim 6/6



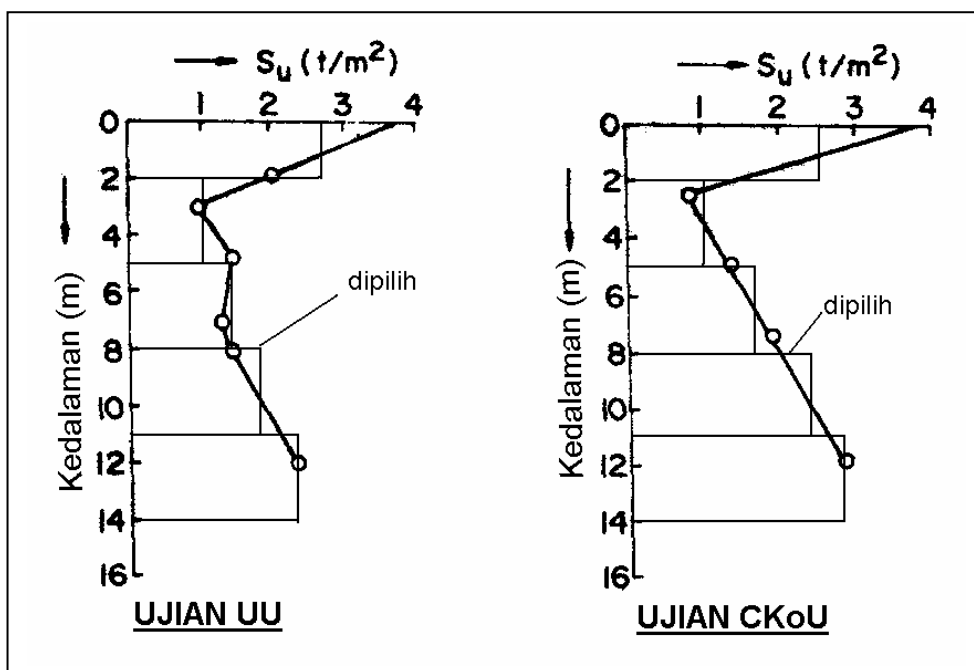
**Rajah 4.31 : Rekabentuk model analisis keseimbangan had Tambakan Skim 3/5**



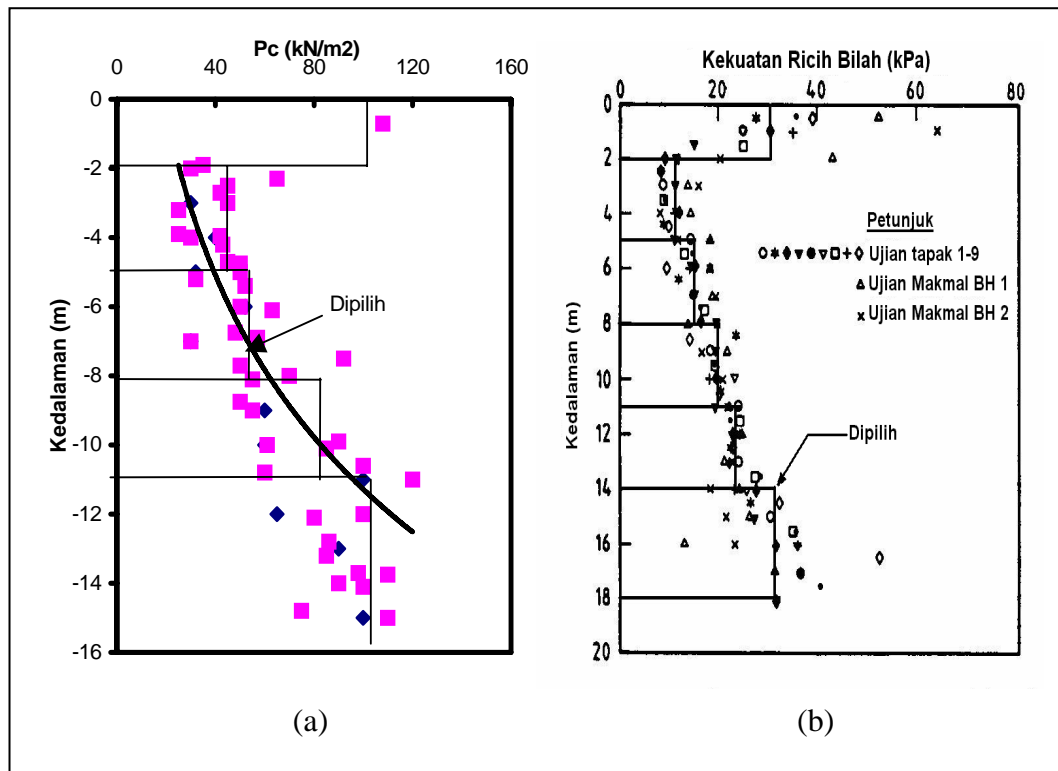
**Rajah 4.32 : Rekabentuk model analisis keseimbangan had Tambakan Skim 3/2**



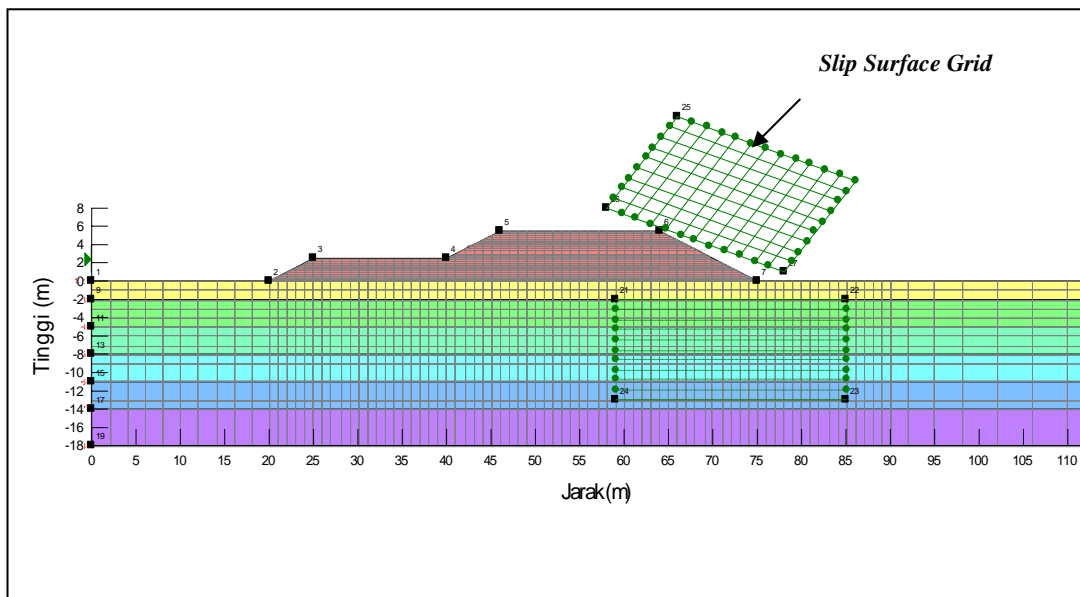
Rajah 4.33 : Rekabentuk analisis keseimbangan had Tambakan Skim 6/6



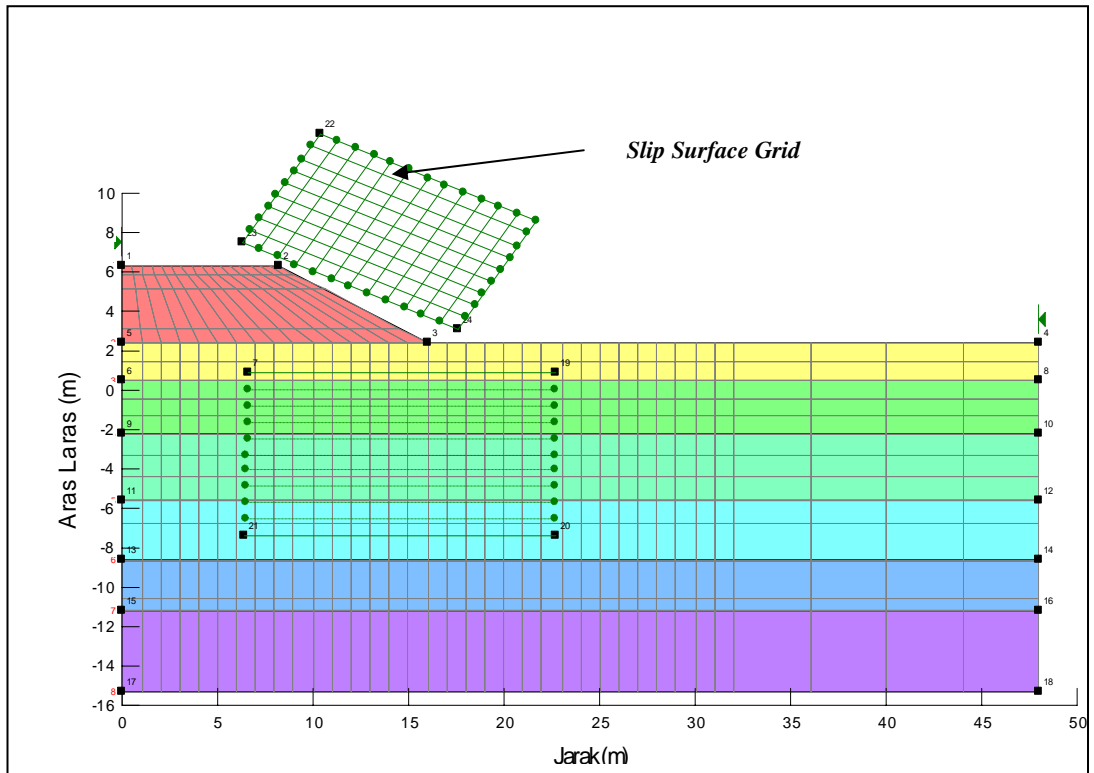
Rajah 4.34 : Parameter dipilih bagi ujian tiga paksi tak terkukuh tak tersalir (UU) dan terkukuh tak tersalir (CK<sub>o</sub>U)



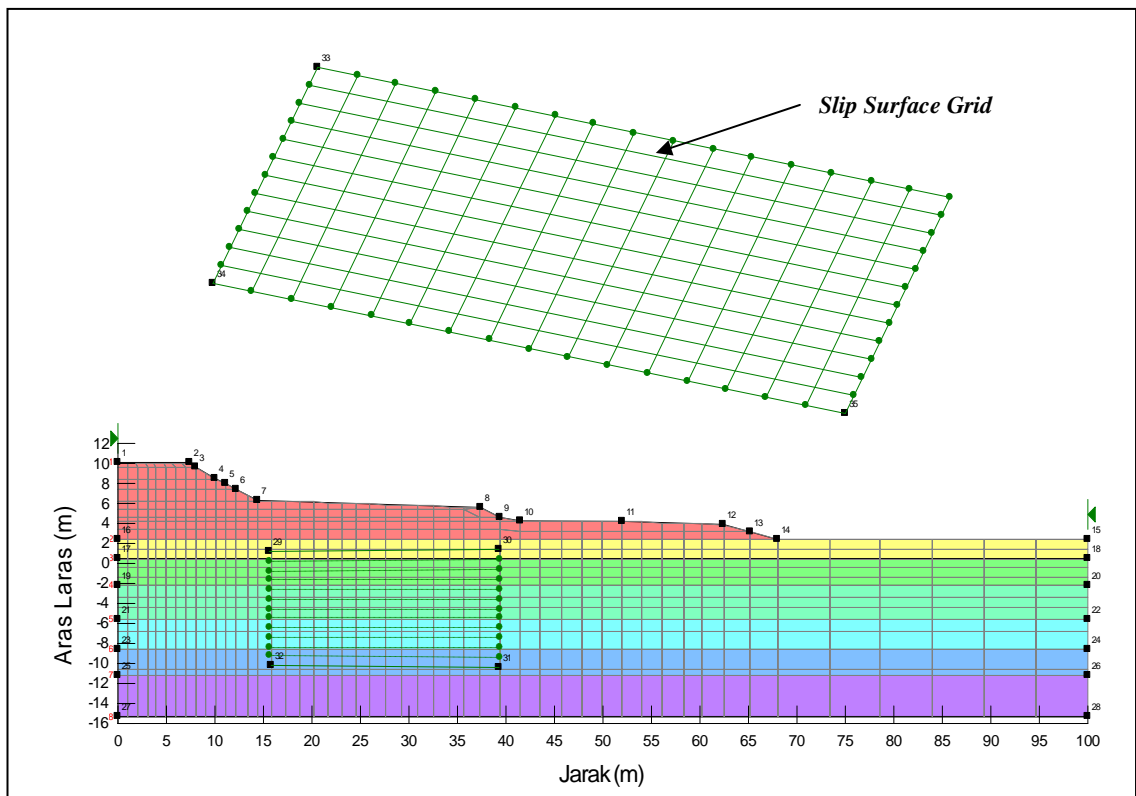
Rajah 4.35 : Parameter dipilih bagi; (a) Tekanan prapengukuhan,  $p_c$  dan (b) Ujian ricih bilah di-situ.



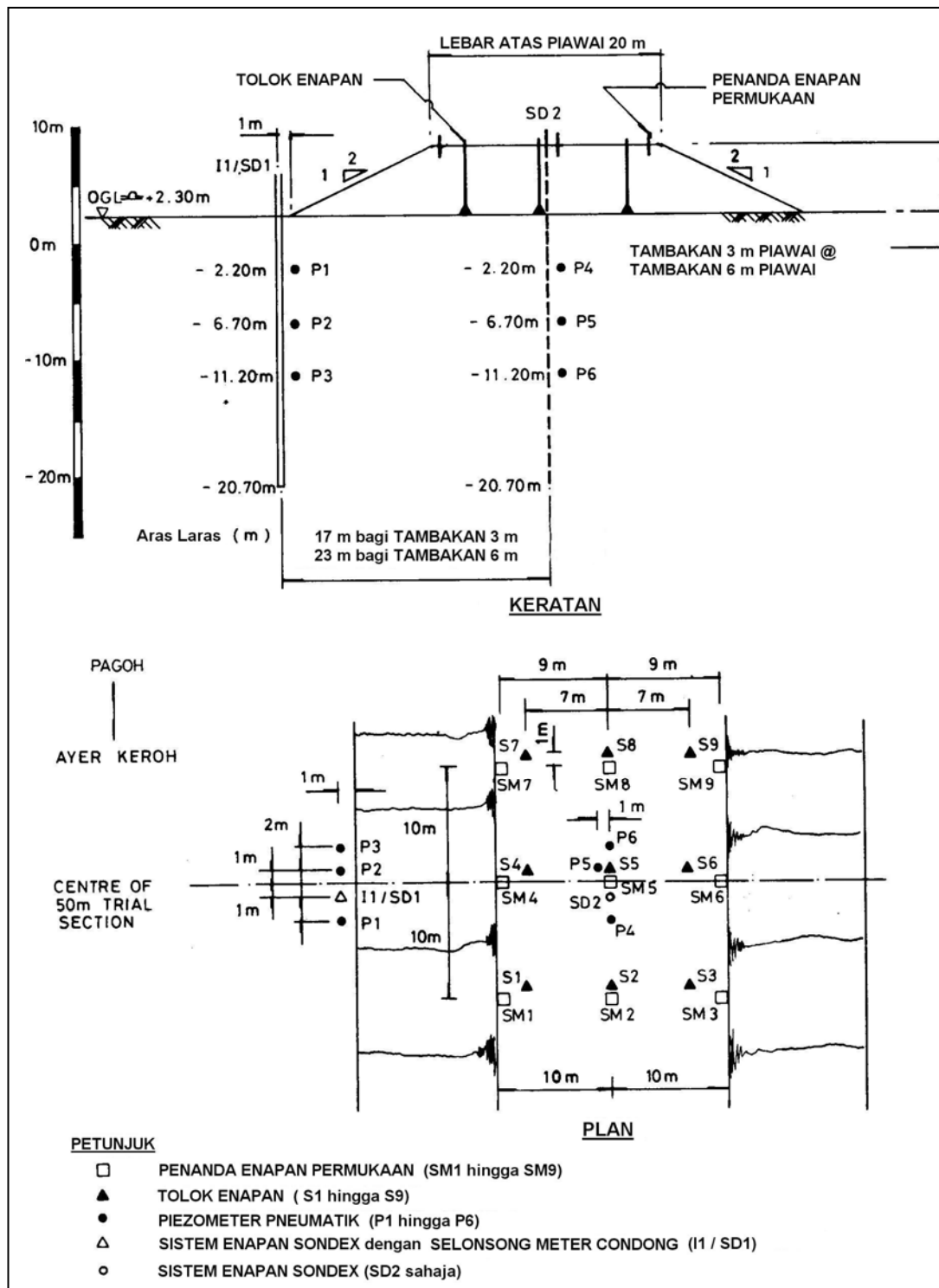
Rajah 4.36 : Model analisis unsur terhingga Tambakan Skim 3/5



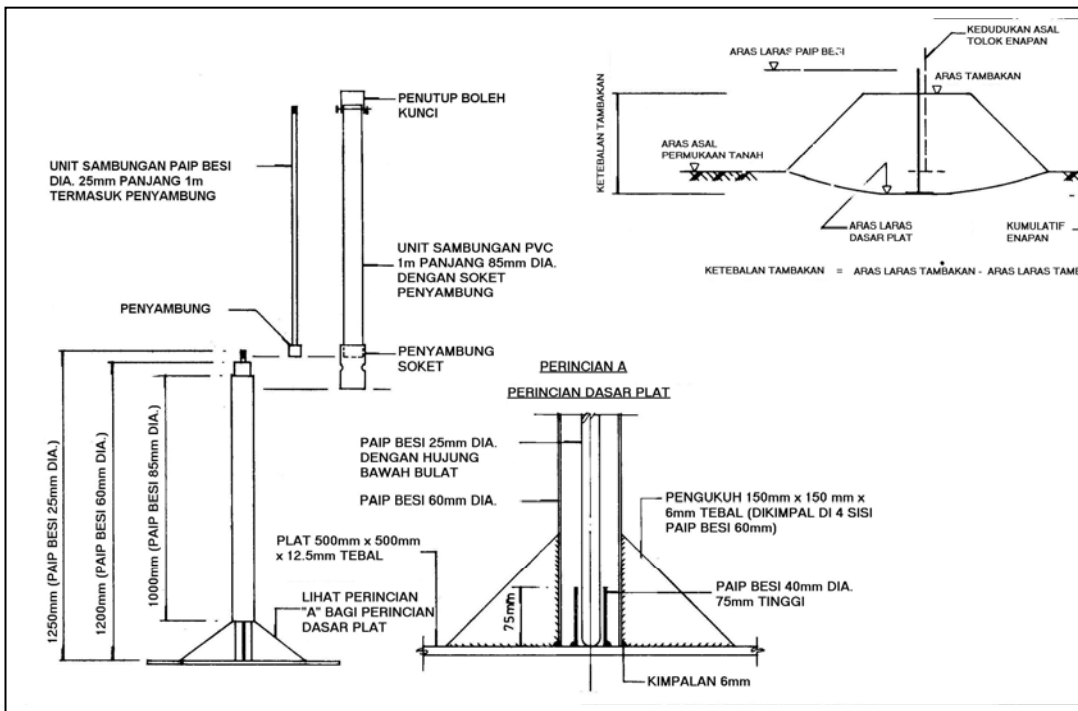
**Rajah 4.37 : Model analisis unsur terhingga Tambakan Skim 3/2**



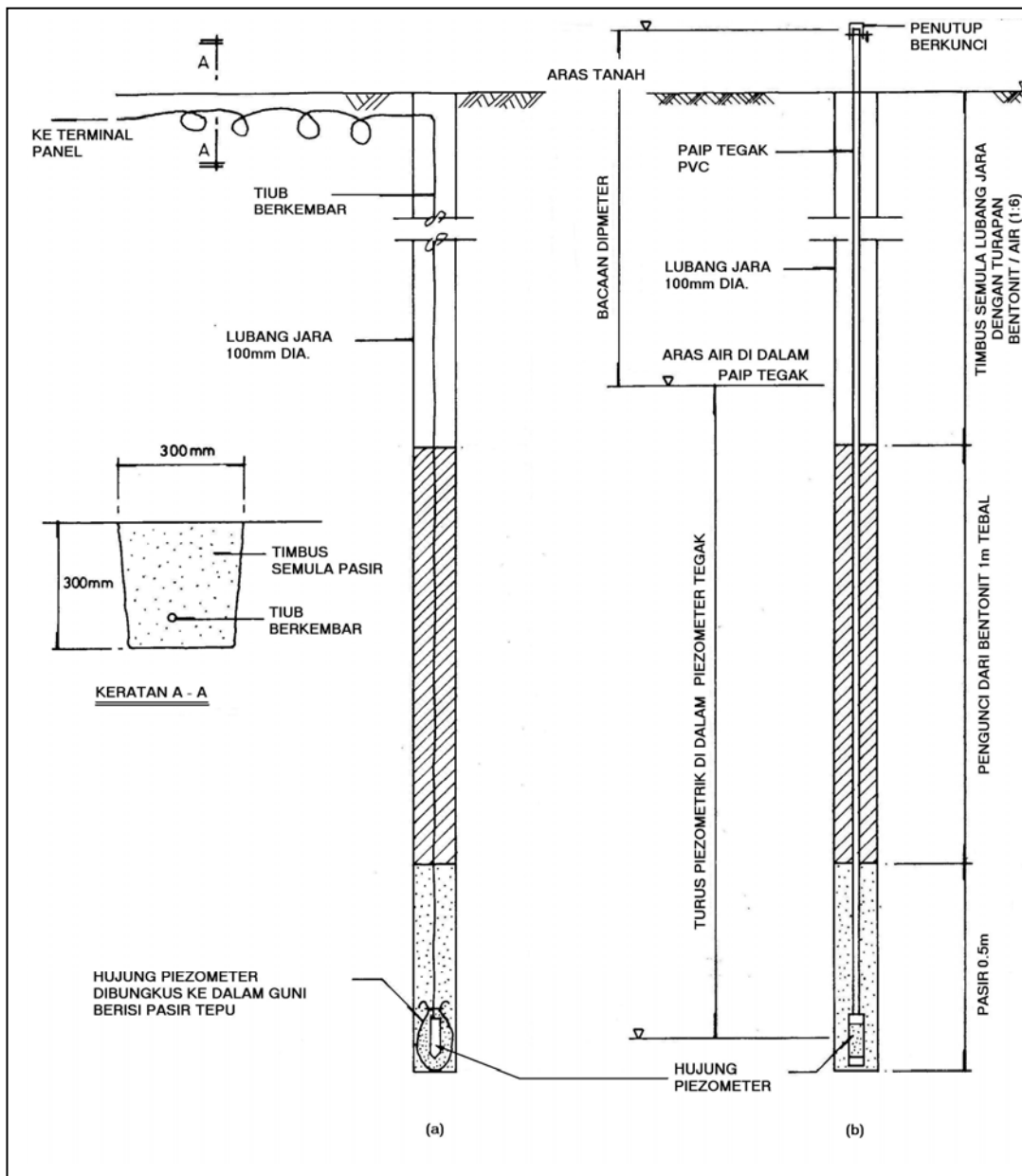
**Rajah 4.38 : Model analisis unsur terhingga Tambakan Skim 6/6**



**Rajah 4.39 : Lakaran skematik lokasi instrumentasi piawai (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)**



Rajah 4.40 : Tolok Enapan (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)



Rajah 4.41 : a) Pizometer Pneumatik, b) Piezometer paip tegak (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989)



## **BAB 5**

### **KEPUTUSAN CIRI-CIRI KEJURUTERAAN TANAH**

#### **5.1 Pengenalan**

Data mentah yang diperoleh dari ujikaji di tapak dan di makmal dianalisis dan dibuat kesimpulan berpandukan formula dan kaedah dalam BS 1377 (1990) dan Head (1986, 1988 dan 1992). Keputusan ujikaji yang telah dianalisis dikumpulkan dan dipersembahkan dalam bentuk jadual dan graf untuk mudah difahami. Beberapa korelasi telah diterbitkan antara parameter-parameter kejuruteraan tanah yang telah dianalisis. Ketepatan korelasi yang diwujudkan boleh dibahagikan kepada empat bahagian berdasarkan nilai pekali penentuan ( $R^2$ ) seperti yang diberikan oleh Marto (1996) dalam Jadual 5.1.

#### **5.2 Profil Tanah**

Profil tanah bagi kawasan-kawasan kajian ditunjukkan dalam Rajah 5.1a, 5.1b, 5.1c dan 5.1d. Didapati daripada Rajah 5.1a, ketebalan tanah liat lembut di

Muara Sungai Kuantan adalah mencapai sehingga 10 meter. Tanah liat tersebut umumnya dikelaskan sebagai tanah liat berkelodak yang sangat lembut berwarna kelabu gelap dan terbentuk dalam persekitaran delta. Tanah liat lembut tersebut terhampar di atas tanah liat kukuh yang juga terletak di atas lapisan pasir padat pada 21 meter.

Profil tanah liat lembut di Tanjung Karang, Selangor dalam Rajah 5.1b menunjukkan tebal tanah liat mencapai sehingga kedalaman 30 meter. Tanah liat lembut di Tanjung Karang adalah berwarna kelabu gelap dan mendapan tanah liat terbentuk dalam persekitaran marin kerana terdapat banyak serpihan kulit kerang dikesan.

Ketebalan tanah liat lembut Air Putih dan Mat Lagam di Kemaman masing-masing mencapai kedalaman sehingga 24 meter dan 15 meter seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5.1c dan 5.1d. Mendapan tanah liat di kedua-dua kawasan terbentuk dalam persekitaran sungai kerana sampel yang diambil adalah berhampiran dengan sungai yang berlainan yang kemudiannya bertemu di hujung muara sungai. Strata tanah di kedua-dua kawasan adalah hampir sama, tetapi tanah liat lembut di Air Putih terdapat sedikit bahan organik dan reputan kayu dikesan.

### **5.3 Keputusan Ujian Kekuatan Ricih Bilah di Tapak**

Ujian kekuatan ricih bilah dilakukan di semua kawasan kajian kecuali di Muara Sungai Kuantan. Keputusan ujian kekuatan ricih bilah ditunjukkan dalam Jadual 5.2. Julat kekuatan ricih tak terganggu adalah di antara 10.42 – 22.32 kPa manakala bagi kekuatan ricih diacu semula adalah di antara 2.98 – 11.90 kPa.

Kekuatan ricih tak terganggu dan kekuatan ricih diacu semula bagi ketiga-tiga lokasi didapati meningkat dengan kedalaman seperti ditunjukkan dalam Rajah 5.2 dan 5.3. Kekuatan ricih yang rendah disebabkan oleh kandungan lembapan semulajadi yang tinggi sehingga melebihi 100% bagi kajian ini. Faktor-faktor lain antaranya ialah kandungan organik dan kandungan garam yang mempengaruhi kekuatan ricih tanah liat seperti yang telah dinyatakan oleh Aziz (1993). Nilai purata kekuatan ricih tak terganggu adalah 16.4 kPa manakala kekuatan ricih diacu semula adalah 7.4 kPa. Ini menunjukkan tanah bagi ketiga-tiga lokasi boleh dikelaskan sebagai tanah liat sangat lembut hingga lembut berdasarkan pengelasan dalam BS 5930 (1981).

Sensitiviti tanah liat dengan kedalaman dalam Rajah 5.4 adalah berubah-ubah mengikut kedalaman. Walau bagaimanapun, julat sensitiviti tanah liat di ketiga-tiga lokasi didapati semakin berkurangan dengan kedalaman. Dalam Jadual 5.2, didapati purata sensitiviti tanah liat di ketiga-tiga lokasi tersebut adalah 2.3 dengan julat di antara 1.8 – 3.5. Oleh itu, tanah liat bagi ketiga-tiga lokasi tersebut dikelaskan sebagai tanah liat rendah hingga sederhana sensitif seperti yang dikelaskan oleh Skempton & Northey dalam Brand & Brenner (1981). Tanah liat sederhana sensitif bagi kajian ini menyamai kajian yang dilakukan oleh Ting & Ooi (1977) yang mana menurut beliau tanah liat pantai di Semenanjung Malaysia terdiri daripada kurang sensitif hingga sedikit jerlus. Umumnya, salah satu faktor utama yang mempengaruhi sensitiviti tanah liat ialah larut lesap garam oleh air liang.

## 5.4 Keputusan Ujian Ciri-Ciri Indeks Tanah di Makmal

### 5.4.1 Kandungan Lembapan Semulajadi

Ujian bagi menentukan kandungan lembapan semulajadi tanah dilakukan sebaik sahaja sampel-sampel kajian sampai di makmal bagi mengelakkan kandungan air di dalam tiub sampel hilang disebabkan oleh suhu persekitaran jika disimpan terlalu lama.

Didapati daripada Rajah 5.5, kandungan lembapan bagi keempat-empat lokasi meningkat pada kedalaman 1.5 m sehingga kedalaman 4 m dan kemudiannya menurun dengan kedalaman sehingga kedalaman 18 m. Kandungan lembapan tanah liat menurun kerana peratus lempung adalah berkurangan apabila kedalaman meningkat manakala kandungan kelodak dan pasir bertambah. Kelodak dan pasir kurang mempunyai sifat untuk menyerap atau memerangkap air berbanding lempung. Ini adalah kerana kandungan lempung yang tinggi akan menyebabkan keluasan permukaan yang tinggi dan dengan itu menyerap air dengan banyak berbanding dengan pasir dan kelodak. Walau bagaimanapun, kandungan lembapan di bahagian atas pada kedalaman 1.5 m adalah rendah disebabkan ianya hampir dengan permukaan tanah yang terdedah kepada pancaran matahari.

Daripada Jadual 5.3, kandungan lembapan semulajadi tanah bagi keempat-empat kawasan adalah ber julat di antara 18 – 139 %. Julat bagi kawasan ini adalah hampir menyamai kajian yang dijalankan oleh Ting & Ooi (1977) iaitu julatnya di antara 20 – 140% dan beberapa pengkaji lain seperti Abdullah & Chandra (1987), Kobayashi, *et al.* (1990), Aziz (1993), Ramli, *et al.* (1994) dan Hussein (1995).

Kandungan lembapan di kawasan Asia Tenggara umumnya adalah tinggi seperti dinyatakan oleh Cox (1968) kerana tanah liat di kawasan ini mengandungi kandungan organik yang tinggi. Kandungan organik yang tinggi dalam tanah dapat menyerap air dengan banyaknya. Rajah 4.6 menunjukkan, hubungan antara kandungan lembapan dengan kandungan organik dapat diwujudkan melalui persamaan di bawah;

$$w = 30.5(\% \text{ organik}) + 11 \quad (5.1)$$

dengan,

$$w = \text{kandungan lembapan semulajadi } (\%)$$

Rajah 5.7 menunjukkan korelasi di antara kandungan lembapan dengan kandungan lempung. Ia menunjukkan kandungan lembapan meningkat dengan pertambahan kandungan lempung. Peningkatan kandungan lembapan dapat dihubungkan melalui dua had persamaan, iaitu persamaan yang mewakili had atas dan had bawah. Persamaan bagi had-had tersebut adalah seperti di bawah;

$$w = 1.93(\% \text{ lempung}) + 53 \quad - \text{ had atas} \quad (5.2)$$

$$w = 0.43(\% \text{ lempung}) + 11 \quad - \text{ had bawah} \quad (5.3)$$

dengan,

$$w = \text{kandungan lembapan semulajadi } (\%)$$

#### 5.4.2 Taburan Saiz Zarah

Keputusan yang diperoleh dari ujian taburan saiz zarah ditunjukkan dalam Rajah 5.8a hingga 5.8d. bagi setiap kawasan kajian. Hasil dari analisis taburan saiz zarah, tanah liat lembut di Tanjung Karang pada Rajah 5.8a mengandungi 32 – 48% lempung, 36– 52% kelodak dan 5 – 25% pasir. Didapati kandungan pasir adalah tinggi pada kedalaman 10.5 m dan 13.5 m adalah kerana pada kedalaman ini terdapat

banyak pecahan-pecahan halus kulit-kulit kerang yang sukar asingkan tertinggal pada saiz ayakan bersama-sama pasir. Kandungan lempung dan kelodak secara relatifnya adalah tetap mengikut kedalaman.

Taburan saiz zarah tanah liat lembut di Air Putih secara relatifnya juga tetap dimana nilainya tidak jauh berbeza iaitu mengandungi 43 – 48% lempung, 42 – 55% kelodak dan 2 – 10% pasir. Lengkung dan pelotan taburan saiz zarah setiap kedalaman pada Rajah 5.8b juga adalah hampir sama.

Taburan saiz zarah tanah liat lembut di Kg Mat Lagam dalam Rajah 5.8c menunjukkan peratus kandungan tanah liat adalah kecil iaitu di antara julat 16 – 27% dan kandungan pasir di antara julat 4 – 35%. Manakala kandungan kelodak adalah tinggi iaitu julatnya adalah diantara 49 – 69%. Pada kedalaman 13.5 m didapati kandungan pasir adalah tinggi iaitu 35% dan kandungan kelodak adalah sedikit iaitu hanya 49%. Ini adalah kerana ketebalan tanah liat mencapai sehingga 15 m seperti ditunjukkan dalam gambarajah profil tanah di Kg Mat Lagam.

Di Muara Sungai Kuantan, pelotan dan lengkung taburan saiz zarah seperti dalam Rajah 5.8d adalah hampir sama dengan keputusan dari lokasi yang lain di mana peratus kandungan tanah liat berjulat di antara 17 – 45%, kandungan pasir di antara 7 – 30% dan kandungan kelodak di antara 48 – 53%.

#### **5.4.3 Berat Unit dan Graviti Tentu**

Berat unit pukal tanah ( $\gamma$ ) bagi keempat-empat kawasan kajian adalah dalam julat 13.2 – 20.5 kN/m<sup>3</sup> seperti ditunjukkan dalam Jadual 5.4. Perbandingan keputusan dengan pengkaji-pengkaji lepas di Semenanjung Malaysia menunjukkan julat nilai yang diperolehi mereka hampir sama dengan kajian yang dibuat. Korelasi

berat unit dengan kandungan lembapan semulajadi seperti dalam Rajah 5.9 menunjukkan berat unit berkurangan dengan penambahan kandungan lembapan semulajadi dan boleh dihubungkan dengan persamaan berikut;

$$\gamma = 0.0524(390-w) \quad (5.4)$$

dengan,

$\gamma$  = berat unit pukal tanah ( $\text{kN/m}^3$ )

w = kandungan lembapan semulajadi (%)

Graviti tentu zarah tanah ( $G_s$ ) bagi keseluruhan kawasan kajian adalah berbeza-beza iaitu dalam julat 2.42 – 2.65. Nilai graviti tentu yang berbeza-beza juga dapat dilihat bagi setiap kedalaman dalam semua kawasan kajian. Ini disebabkan oleh taburan saiz zarah yang berbeza-beza dengan setiap kedalaman. Selain itu, nilai graviti tentu yang berbeza-beza dipengaruhi oleh kandungan organik seperti serpihan kulit kerang dan reputan kayu yang dikesan dalam sampel kajian.

Rajah 5.10 menunjukkan korelasi di antara graviti tentu dengan nisbah lompong asal bagi kawasan kajian. Didapati graviti tentu tanah berkurang dengan pertambahan nisbah lompong asal dalam tanah liat. Walau bagaimanapun nilai  $R^2$  yang diperolehi adalah sangat kecil iaitu 0.47. Persamaan ini sesuai digunakan pada profil tanah yang sama kerana setiap kedalaman mempunyai taburan saiz zarah yang berbeza. Nisbah lompong yang tinggi menggambarkan isipadu pepejal adalah rendah dimana isipadu pepejal ini mempengaruhi ketumpatan tanah tersebut. Daripada persamaan untuk mendapatkan nilai graviti tentu,  $G_s = \rho_s / \rho_w$  dimana nilai  $\rho_w$  adalah malar maka semakin kecil nilai ketumpatan pepejal tanah, semakin kecil nilai graviti tentu tanah. Oleh itu, persamaan yang diperolehi daripada korelasi di antara graviti tentu tanah dengan nisbah lompong asal tanah boleh diwujudkan dengan persamaan berikut;

$$G_s = 2.63 - 0.0574e_o \quad (5.5)$$

dengan,

$G_s$  = graviti tentu tanah

$e_o$  = nisbah lompong asal

#### 5.4.4 Had Atterberg

Secara keseluruhannya, peratus had cecair pada kedalaman 1.5 m adalah bertambah sehingga kedalaman 4.5 m seperti dalam Rajah 5.11 tetapi kemudiannya menurun dengan kedalaman. Ini disebabkan keadaan tanah pada kedalaman yang berhampiran dengan permukaan tanah terdedah kepada matahari yang mengakibatkan pengeringan tanah.

Daripada Jadual 5.3, julat had cecair bagi keseluruhan sampel adalah dari 31% – 142%. Julat had cecair ini hampir menyamai kajian yang dilakukan oleh Ting & Ooi (1977). Walau bagaimanapun, julat yang diperolehi oleh beberapa pengkaji lepas seperti Aziz (1993), Ramli, *et al.* (1994) dan Hussein (1995) adalah di antara 40% – 150%.

Rajah 5.12 menunjukkan peratus had plastik adalah berubah-ubah mengikut kedalaman dengan purata 28%. Merujuk kepada Jadual 5.3, julat had plastik bagi kajian ini di antara 14 – 42%. Julat peratus had plastik ini hampir sama dengan kajian yang dilakukan oleh Ting & Ooi (1977), Aziz (1993), dan Hussein (1995). Walau bagaimanapun, untuk kedua-dua nilai had cecair dan had plastik perbandingan hanya dapat dilakukan dari keputusan pengkaji-pengkaji bagi kawasan pantai barat Semenanjung Malaysia manakala tiada data yang diperolehi di pantai timur Semenanjung Malaysia. Rajah 5.13 dan 5.14 menunjukkan indeks keplastikan dan indeks kecairan didapati tetap mengikut kedalaman dengan purata masing-masing



adalah 61% dan 0.83. Data yang diperolehi daripada had Atterberg dipelot di atas garisan-A. Persamaan bagi garisan cadangan dalam Rajah 5.15 bagi kawasan kajian ini di Semenanjung Malaysia adalah seperti berikut;

$$I_p = 0.77(w_L - 10) \quad (5.6)$$

dengan,

$I_p$  = indek keplastikan (%)

$w_L$  = had cecair (%)

Daripada carta keplastikan, tanah liat lembut di Tanjung Karang pada setiap kedalaman dapat dikelaskan kepada tanah liat yang mempunyai keplastikan yang tersangat tinggi. Tanah liat lembut di Air Putih pula dapat dikelaskan kepada tanah liat yang mempunyai keplastikan yang tinggi sehingga sangat tinggi. Manakala bagi tanah liat lembut di Kg Mat Lagam dikelaskan kepada tanah liat yang mempunyai keplastikan sangat tinggi sehingga tersangat tinggi. Tanah liat di Muara Sungai Kuantan mempunyai keplastikan rendah hingga sangat tinggi

Keplastikan yang rendah disebabkan oleh sifat-sifat mineralogi yang berbeza apabila kandungan lempung adalah hampir sama. Pelotan Indeks keplastikan dengan kandungan lempung bagi keempat-empat kawasan ditunjukkan dalam Rajah 5.16. Daripada rajah tersebut didapati, keaktifan tanah liat lembut di Tanjung Karang dan Kg. Mat Lagam adalah dalam sempadan “sangat aktif” manakala bagi Air putih adalah “normal”. Bagi tanah liat di Muara Sungai Kuantan keaktifan adalah berselerak dan berubah-ubah iaitu dari “tidak aktif” hingga “sangat aktif”. Aktiviti merupakan fungsi secara langsung bagi menentukan jenis-jenis mineral lempung dan kandungan lempung.

Rajah 5.17 menunjukkan kolerasi di antara had cecair dengan kandungan lempung bagi tanah yang diuji. Secara umumnya, didapati nilai had cecair bertambah dengan pertambahan kandungan lempung. Kecenderungan zarah

lempung untuk menarik atau menyerap air ke permukaan zarah tanah, menjadikan nilai had cecair lebih tinggi. Justeru itu kandungan air yang diserap dipengaruhi oleh kandungan lempung di dalam tanah. Pelotan dalam Rajah 5.17 menunjukkan keputusan dibatasi oleh dua persamaan iaitu;

$$w_L = 1.92 (\% \text{ lempung}) + 56 \quad \text{-had atas} \quad (5.7)$$

$$w_L = 0.39 (\% \text{ lempung}) + 24 \quad \text{-had bawah} \quad (5.8)$$

dengan,

$$w_L = \text{had cecair} (\%)$$

Kandungan organik juga mempengaruhi had Atterberg tanah liat lembut seperti kajian yang dijalankan oleh Aziz (1993) dan Hussein (1995). Rajah 5.18 menunjukkan nilai had cecair dan had plastik meningkat apabila kandungan organik meningkat. Persamaan korelasi yang telah diwujudkan antara had Atterberg dengan kandungan organik adalah seperti berikut;

$$w_L = 28.28 (\% \text{ organik}) + 23 \quad (5.9)$$

$$w_p = 6.49 (\% \text{ organik}) + 13 \quad (5.10)$$

dengan,

$$w_L = \text{had cecair} (\%)$$

$$w_p = \text{had plastik} (\%)$$

## 5.5 Keputusan Ujian Ciri-Ciri Pengukuhan Tanah di Makmal

Ujian pengukuhan satu dimensi menggunakan peralatan oedometer dilakukan ke atas sampel tanah tidak terganggu bagi semua kawasan kajian pada setiap kedalaman. Ujikaji pengukuhan ini bertujuan untuk mendapatkan parameter-

parameter pengukuhan tanah seperti nisbah lompong asal ( $e_0$ ), tekanan prapengukuhan ( $P_c$ ), indeks mampatan ( $C_c$ ), pekali kebolehmampatan isipadu ( $m_v$ ) dan pekali pengukuhan ( $c_v$ ). Nilai pekali kebolehtelapan ( $k$ ) juga diterbitkan daripada persamaan yang mengaitkannya dengan nilai  $c_v$  dengan  $m_v$  seperti yang dicadangkan oleh Head (1992).

### 5.5.1 Nisbah Lompong Asal

Nisbah lompong asal banyak dipengaruhi oleh ciri-ciri kejuruteraan tanah seperti kebolehmampatan, kebolehtelapan dan kekuatan ricih tanah. Oleh itu, penentuan nisbah lompong awal adalah penting bagi mengkaji pengaruhnya dalam struktur tanah. Julat nisbah lompong asal yang diperolehi adalah seperti dalam Jadual 5.5 iaitu antara 0.659 hingga 3.442. Nilai nisbah lompong asal bagi semua sampel tanah kajian ini adalah hampir sama dengan kajian yang dilakukan Ramli, *et al.* (1994) dan berada di dalam julat nisbah lompong asal kajian yang dilakukan beberapa pengkaji lain. Walau bagaimanapun sampel tanah bagi kawasan Tanjung Karang memberikan keputusan nisbah lompong asal yang agak tinggi daripada kawasan-kawasan lain. Ini mungkin disebabkan oleh kandungan lembapan semulajadi di kawasan tersebut yang tinggi iaitu mencapai sehingga 139%. Secara logiknya, nisbah lompong asal sesuatu tanah dipengaruhi oleh kandungan lembapan semulajadi tanah tersebut di mana semakin tinggi kandungan lembapan di dalam tanah, maka semakin tinggi nilai nisbah lompong asal. Ini dapat dilihat daripada persamaan bagi mendapatkan nisbah lompong seperti dibawah;

$$e = w G_s / S_r \quad (5.11)$$

dengan,

- $e$  = nisbah lompong
- $w$  = kandungan lembapan semulajadi (%)
- $G_s$  = graviti tentu

$S_r$  = darjah ketepuan

Daripada persamaan tersebut, apabila graviti tentu dan darjah ketepuan malar, maka sekiranya kandungan lembapan meningkat, nilai nisbah lompong juga meningkat. Kenyataan ini dapat disokong melalui korelasi yang diterbitkan antara nisbah lompong asal dan kandungan lembapan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5.19. Persamaan yang diperolehi adalah seperti berikut;

$$e_o = 0.02(w) + 0.09 \quad (5.12)$$

dengan,

$e_o$  = nisbah lompong asal

$w$  = kandungan lembapan semulajadi (%)

### 5.5.2 Tekanan Pra pengukuhan

Tekanan pra pengukuhan ( $P_c$ ) adalah tegasan tegak maksima yang pernah dialami oleh lapisan tanah pada suatu masa dahulu. Pelotan  $e - \log \sigma'$  menggunakan kaedah Casagrande dihasilkan untuk mendapatkan nilai tekanan pra pengukuhan. Nilai tekanan pra pengukuhan ini bergantung kepada bentuk lengkung tersebut dan sebarang bentuk gangguan yang berlaku ketika penyediaan sampel akan menghasilkan keputusan yang kurang tepat terhadap nilai  $P_c$ . Hasil daripada pelotan lengkung tersebut, julat  $P_c$  yang diperolehi bagi tanah liat lembut kawasan kajian adalah di antara 43 – 320 kN/m<sup>2</sup> seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 5.5.

Berdasarkan Rajah 5.20, didapati nilai  $P_c$  meningkat dengan kedalaman bagi keseluruhan kajian ini. Kajian yang dijalankan oleh Hussein (1995), Azmi & Raihan (1990) dan Ting, *et al.* (1988) di beberapa kawasan di Semenanjung Malaysia juga mendapati bahawa nilai  $P_c$  meningkat dengan kedalaman. Walau bagaimanapun,

menurut Hussein (1995), julat sebenar tekanan pra pengukuhan bergantung kepada jenis tanah dan kedalaman lapisan tanah pada kawasan yang tertentu. Manakala kesan dan pengaruh nilai  $P_c$  yang diperolehi daripada ujian pengukuhan di makmal adalah bergantung kepada tempoh penambahan tekanan dan nisbah penambahan tekanan seperti yang dinyatakan oleh Moh, *et al.* (1972).

Salah satu faktor yang penting yang mempengaruhi kekuatan dan ciri-ciri kebolehmampatan tanah liat adalah sejarah tegasan. Sejarah tegasan boleh digambarkan melalui nisbah pengukuhan lebih (OCR) iaitu nisbah di antara tekanan pra pengukuhan masa dahulu dan tekanan berkesan masa kini. Nilai OCR yang diperolehi daripada kajian ini adalah berjulat di antara 0.81 – 2.14. Oleh itu, tanah liat bagi kawasan kajian boleh dikategorikan sebagai tanah liat terkukuh normal hingga sedikit terkukuh lebih. Rajah 5.21 menunjukkan nilai OCR adalah semakin menurun sehingga kedalaman 15 m tetapi kemudiannya meningkat sehingga kedalaman mencapai 18 m. Ini menunjukkan tanah liat adalah sedikit terkukuh lebih apabila berhampiran dengan permukaan tanah dan mencapai terkukuh normal apabila kedalamannya meningkat. Tanah liat terkukuh lebih adalah disebabkan oleh zarah-zarah tanah adalah bersimen pada permukaan tanah. Tindakan penyimenan yang berlaku antara zarah-zarah tanah dapat dilihat hasil daripada keputusan sensitiviti tanah yang tinggi dipermukaan tanah iaitu mencapai sehingga 3.5.

### **5.5.3 Indeks Mampatan**

Julat nilai indeks mampatan ( $C_c$ ) yang diperolehi bagi kawasan kajian ini adalah 0.09 – 1.36 seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 5.5. Berdasarkan Head (1992), sampel bagi keempat-empat kawasan kajian dapat dikelaskan sebagai tanah liat berkeplastikan rendah sehingga tanah liat dengan keplastikan sederhana. Nilai indeks mampatan juga menunjukkan kekuatan tanah. Nilai indeks mampatan yang tinggi menunjukkan kekuatan tanah adalah rendah.

Daripada pelotan graf, indeks mampatan meningkat dengan pertambahan kandungan lembapan semulajadi seperti dalam Rajah 5.22. Apabila indeks mampatan dinormalkan ( $C_c/1+e_o$ ) atau juga dikenali sebagai nisbah mampatan (CR) didapati nilai  $C_c/1+e_o$  meningkat dengan pertambahan kandungan lembapan semulajadi seperti dalam Rajah 5.23. Persamaan yang boleh diwujudkan melalui kedua-dua hubungan  $C_c$  dan  $C_c/1+e_o$  dengan kandungan lembapan semulajadi adalah seperti dibawah;

$$C_c = 0.0095 (w - 13.6) \quad (5.13)$$

$$C_c/1+e_o = 0.0018 (w + 36.7) \quad (5.14)$$

dengan,

$C_c$  = indeks mampatan

$C_c/1+e_o$  = nisbah mampatan

$w$  = kandungan lembapan semulajadi (%)

Kandungan lembapan semulajadi mempengaruhi indeks mampatan tanah. Seperti yang diketahui, proses pengukuhan adalah merupakan proses pengeluaran air dari rongga-rongga tanah. Proses pengeluaran air ini yang mengambil masa tertentu mengakibatkan tanah termampat atau berlaku pengurangan isipadu tanah. Oleh itu, semakin banyak kandungan lembapan semulajadi dalam sesuatu tanah maka tanah tersebut mempunyai mampatan yang tinggi. Begitu juga perkaitan indeks mampatan dan nisbah mampatan dengan had cecair seperti dalam Rajah 5.24 dan 5.25. Didapati indeks mampatan dan nisbah mampatan juga meningkat dengan pertambahan had cecair. Persamaan yang dapat diwujudkan daripada kedua-dua hubungan ini adalah seperti berikut;

$$C_c = 0.01(w_L - 25) \quad (5.15)$$

$$C_c/1+e_o = 0.0019 (w_L + 23.8) \quad (5.16)$$

dengan,

$C_c$  = indeks mampatan

$C_c/1+e_o$  = nisbah mampatan

$w_L$  = had cecair (%)

Keputusan persamaan indeks mampatan dengan had cecair dipelotkan bersama dengan kajian terdahulu sebagai perbandingan dengan kajian ini seperti dalam Rajah 5.26. Didapati, persamaan garisan tanah liat bagi kajian ini berada di bawah garisan yang dicadangkan oleh Terzaghi & Peck (1967) dan Abdullah & Chandra (1987) kecuali Azzouz, *et al.* (1977).

Rajah 5.27 menunjukkan indeks mampatan meningkat dengan penambahan indek keplastikan tanah di mana persamaan hubungan dapat diwujudkan seperti berikut;

$$C_c = 0.013 (I_p - 10.8) \quad (5.17)$$

dengan,

$$\begin{aligned} C_c &= \text{indeks mampatan} \\ I_p &= \text{indeks keplastikan} \end{aligned}$$

Antara faktor-faktor lain yang mempengaruhi indeks mampatan selain daripada kandungan lembapan, had cecair dan indeks keplastikan ialah nisbah lompong. Ini adalah kerana tanah yang termampat hasil daripada proses pengukuhan merupakan perubahan isipadu tanah yang melibatkan lompong-lompong di dalam tanah. Indeks mampatan didapati meningkat dengan peningkatan nisbah lompong seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5.28. Persamaan yang dapat dihasilkan daripada pelotan graf antara kedua-dua hubungan ini adalah seperti berikut;

$$C_c = 0.412 (e_o - 0.23) \quad (5.18)$$

dengan,

$$\begin{aligned} C_c &= \text{indeks mampatan} \\ e_o &= \text{nisbah lompong asal} \end{aligned}$$

Kandungan organik juga memainkan peranan penting dalam mempengaruhi kebolehampatan tanah seperti yang diterangkan oleh Mitchell (1993). Rajah 5.29 menunjukkan persamaan hubungan antara indeks mampatan dan kandungan organik adalah seperti berikut;

$$C_c = 0.296 (\% \text{ organik} - 0.14) \quad (5.19)$$

dengan,

$$C_c = \text{indeks mampatan}$$

Indeks mampatan juga didapati meningkat dengan peningkatan kandungan lempung seperti dalam Rajah 5.30. Tanah yang berlempung tinggi mempunyai kebolehampatan yang tinggi berbanding pasir kerana sifat-sifat struktur lempung yang berzarah halus. Persamaan hubungan antara indeks mampatan dengan kandungan lempung adalah seperti berikut;

$$C_c = 0.018(\% \text{ lempung}) + 0.59 \quad - \text{ had atas} \quad (5.20)$$

$$C_c = 0.003(\% \text{ lempung}) + 0.05 \quad - \text{ had bawah} \quad (5.21)$$

dengan,

$$C_c = \text{indeks mampatan}$$

Oleh yang demikian daripada persamaan-persamaan yang dapat dihasilkan tersebut menunjukkan indeks mampatan tanah dipengaruhi oleh ciri-ciri asas kejuruteraan tanah seperti kandungan lembapan, had Atterberg, kandungan organik dan kandungan lempung tanah liat.



#### 5.5.4 Pekali Pengukuhan

Berdasarkan Jadual 5.5, julat nilai pekali pengukuhan yang ( $c_v$ ) diperolehi daripada keseluruhan sampel kajian adalah ber julat antara 1.24 hingga 8.72 m<sup>2</sup>/tahun. Menurut Head (1988), julat pekali pengukuhan yang diperolehi bagi kajian ini jelas menunjukkan tanah liat lembut bagi kawasan kajian adalah jenis tanah liat berkeplastikan sederhana. Nilai yang diperolehi didapati lebih kecil berbanding dengan kajian yang dilakukan oleh Hussein (1995) dan Ting & Ooi (1977) tetapi lebih besar jika dibandingkan dengan kajian yang dilakukan oleh Aziz (1993) dan Ramli, et al. (1994). Pekali pengukuhan yang tinggi menunjukkan kadar pengukuhan yang berlaku adalah agak tinggi. Walau bagaimanapun tiada korelasi yang dapat dihasilkan disebabkan data-data yang dipelot dengan parameter-parameter lain adalah berselerak dan tiada hubungan yang jelas dapat dilihat.

#### 5.5.5 Pekali Kebolehmampatan Isipadu

Pekali kebolehmampatan isipadu ( $m_v$ ) adalah perubahan isipadu seunit pertambahan di dalam tegasan berkesan. Nilai  $m_v$  untuk tanah adalah tidak tetap tetapi bergantung kepada julat tegasan di mana ianya dikira. Nilai  $m_v$  bagi kajian ini dikira untuk pertambahan tegasan sebanyak 100 kN/m<sup>2</sup> melebihi nilai tanggungan atas berkesan tanah di situ pada kedalaman yang dikehendaki seperti yang disarankan dalam BS 1377 (1990).

Julat nilai  $m_v$  bagi kajian ini adalah di antara 0.056 m<sup>2</sup>/MN hingga 2.084 m<sup>2</sup>/MN seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 5.5. Julat ini menyamai kajian yang dilakukan oleh Hussein (1995) di pantai barat dan pantai timur Semenanjung Malaysia iaitu dari 0.08 m<sup>2</sup>/MN hingga 4.7 m<sup>2</sup>/MN. Nilai  $m_v$ , yang diperolehi dari kajian ini memberikan keputusan bahawa kebolehmampatan tanah adalah dari rendah hingga sangat tinggi berdasarkan pengelasan yang dibuat oleh Head (1992).

Berdasarkan Rajah 5.31, nilai  $m_v$  didapati meningkat dengan peningkatan nisbah lompong. Persamaan yang dapat diwujudkan bagi kedua-dua parameter tersebut adalah seperti di berikut;

$$m_v = 0.574(e_o) - 0.41 \quad (5.22)$$

dengan,

$$m_v = \text{pekali kebolehmampatan isipadu (m}^2\text{/MN)}$$

Ini jelas menunjukkan nisbah lompong yang semakin besar mengakibatkan tanah mempunyai kebolehmampatan yang tinggi dan tanah adalah sangat lembut. Keadaan hubungan kedua-dua parameter ini dapat dikaitkan melalui persamaan berikut;

$$m_v = a_v / (1 + e_o) \quad (5.23)$$

dengan,

$$m_v = \text{pekali kebolehmampatan isipadu (m}^2\text{/MN)}$$

$$a_v = \text{pekali kebolehmampatan}$$

$$e_o = \text{nisbah lompong asal}$$

### 5.5.6 Pekali Kebolehtelapan

Nilai pekali kebolehtelapan ( $k$ ) bagi kajian ini diperolehi daripada persamaan yang diberikan oleh Head (1988) seperti di bawah;

$$k = c_v m_v \gamma_w \quad (5.24)$$

dengan,

$$c_v = \text{pekali pengukuhan (m}^2\text{/tahun)}$$

$m_v$  = pekali kebolehmampatan isipadu ( $m^2/MN$ )

$\gamma_w$  = berat unit air ( $kN/m^3$ )

Nilai ini boleh dikira menggunakan persamaan tersebut setelah nilai pekali pengukuhan dan pekali kebolehmampatan diketahui melalui ujikaji pengukuhan di makmal. Didapati daripada Jadual 5.5, julat kebolehtelapan tanah adalah di antara  $0.077 \times 10^{-9}$  m/s hingga  $2.403 \times 10^{-9}$  m/s. Berdasarkan Head (1988), kebolehtelapan bagi keseluruhan kajian ini menunjukkan kebolehtelapan yang sangat rendah. Maka, keputusan ini menunjukkan ciri tanah yang berkeupayaan menakung air, iaitu salah satu daripada sifat tanah liat lembut.

## 5.6 Keputusan Ujian Kekuatan Ricih Tanah

Penentuan kekuatan ricih di makmal diperolehi daripada ujian tiga paksi terkukuh tak tersalir menggunakan peralatan GDS. Dalam ujian ini, sampel dikukuhkan terlebih dahulu dengan membenarkan pengaliran air keluar sampel dengan sampel dikenakan tekanan keliling. Kemudian, semasa sampel dimampatkan, penyaliran tidak dibenarkan. Oleh itu, dengan mengukur magnitud tekanan air liang ( $u$ ), parameter kekuatan tanah berkesan iaitu  $c'$  dan  $\phi'$  dapat diperolehi. Sebanyak 6 sampel tanah digunakan dalam ujian kekuatan ricih tanah tiga paksi terkukuh tak tersalir ini. bagi mendapatkan parameter-parameter kekuatan ricih tanah liat lembut.

Jadual 5.6 menunjukkan parameter-parameter kekuatan ricih tanah iaitu nilai kejelekitan berkesan ( $c'$ ) dan sudut geseran dalam berkesan ( $\phi'$ ). Didapati nilai  $c'$  adalah menghampiri sifar iaitu dalam julat  $0 - 2$   $kN/m^2$  dan nilai  $\phi'$  adalah dalam julat  $17^\circ - 31^\circ$ . Seperti yang dijelaskan oleh ramai pengkaji lepas bahawa umumnya nilai

$c'$  yang diperolehi adalah sifar apabila tegasan berkesan mencapai tekanan kritikal. Sekiranya nilai tegasan berkesan tidak mencapai tekanan kritikal di mana biasanya berlaku pada lapisan atas kerak bumi, tanah liat seolah-olah berlaku terkukuh lebih. Nilai  $\phi'$  pula menghampiri atau berada dalam julat kajian yang dilakukan oleh Cox (1970a), Ting & Ooi (1977), Abdullah & Chandra (1987), Kobayashi, *et al.* (1990) dan Hussein (1995).

Sudut geseran dalam berkesan dipengaruhi oleh kandungan lempung, kandungan lembapan semulajadi dan indeks keplastikan. Graf hubungan antara sudut geseran dalam berkesan melawan kandungan lempung mempunyai nilai  $R^2$  yang sangat kecil bagi kajian ini, maka persamaan korelasi kedua-dua hubungan ini tidak dapat diwujudkan. Walau bagaimanapun graf hubungan antara sudut geseran dalam berkesan melawan kandungan lembapan semulajadi dan indeks mampatan dapat diwujudkan dalam Rajah 5.32 dan 5.33. Rajah 5.32 menunjukkan graf sudut geseran dalam berkesan melawan kandungan lembapan semulajadi. Persamaan korelasi antara kedua-dua parameter ini adalah seperti berikut;

$$\phi' = 0.14 (255 - w) \quad (5.25)$$

dengan,

$$\begin{aligned} \phi' &= \text{sudut geseran dalam berkesan } (^{\circ}) \\ w &= \text{kandungan lembapan semulajadi } (\%) \end{aligned}$$

Berdasarkan graf tersebut, didapati kandungan lembapan semulajadi berkurangan dengan peningkatan sudut geseran dalam berkesan tanah. Kandungan lembapan semulajadi dipengaruhi oleh sudut geseran dalam berkesan kerana kandungan lembapan yang tinggi dipengaruhi oleh kandungan lempung yang tinggi. Umumnya diketahui bahawa kandungan lempung berupaya menakung dan menyimpan air berbanding pasir dan kelodak. Zarah-zarah lempung tidak mempunyai sifat geseran tetapi mempunyai sifat kejelekitan. Indeks keplastikan secara tidak langsung juga mempengaruhi sudut geseran dalam berkesan kerana

indeks keplastikan bergantung kepada kandungan lempung. Oleh itu, Rajah 5.33 menunjukkan bahawa indeks keplastikan berkurangan apabila sudut geseran dalam berkesan bertambah. Persamaan korelasi yang dapat diwujudkan antara kedua-dua parameter ini adalah seperti berikut;

$$\phi' = 0.2 (183 - I_p) \quad (5.26)$$

dengan,

$\phi'$  = sudut geseran dalam berkesan ( $^{\circ}$ )

$I_p$  = indeks keplastikan (%)

Kajian yang dilakukan oleh beberapa pengkaji seperti Cox (1970a) dan Hussein (1995) juga mendapati apabila indeks keplastikan bertambah maka sudut geseran dalam berkesan berkurangan. Walau bagaimanapun nilai sudut geseran dalam berkesan bagi kajian yang dilakukan oleh Cox (1970a) di Asia Tenggara berjulat di antara  $20^{\circ}$  hingga  $25^{\circ}$ .

## 5.7 Ringkasan Korelasi

Seperti yang telah dilihat sebelumnya, banyak korelasi yang telah dihasilkan dari ujikaji yang dijalankan. Bagi rekabentuk awalan, para jurutera boleh menggunakan korelasi antara ciri-ciri kejuruteraan yang telah diwujudkan oleh pengkaji lepas. Sehingga kini, tidak banyak korelasi yang diterbitkan bagi tanah liat lembut terutamanya di kawasan pantai timur Semenanjung Malaysia. Beberapa korelasi yang telah diwujudkan antara ciri-ciri kejuruteraan tanah liat adalah seperti ditunjukkan dalam Jadual 5.7.

## **5.8 Katalog Ringkas Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Liat Lembut**

Empat katalog ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut bagi kawasan kajian dihasilkan bagi tujuan rekabentuk awalan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5.34 hingga 5.37. Katalog-katalog tersebut merupakan ringkasan segala keputusan-keputusan dan analisis yang dicapai dalam bab ini. Katalog-katalog ini adalah penting sebagai sumber maklumat dan data yang berguna kepada pihak-pihak yang terlibat dalam projek pembinaan dan kejuruteraan awam pada masa akan datang di kawasan kajian ini.

Data dan maklumat ini berguna untuk mengetahui sifat-sifat dan ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut di kawasan yang sama atau berdekatan untuk rekabentuk awalan. Dengan adanya pangkalan data dan maklumat ini, pihak-pihak tertentu mudah mengesan masalah yang mungkin wujud dan menyediakan langkah-langkah awal untuk mengatasinya. Contohnya, data mengenai kebolehmampatan dan pengukuhan tanah di kawasan tanah liat lembut adalah penting untuk mengatasi masalah enapan yang berlaku. Dengan ini, kaedah-kaedah pembaikan yang lebih ekonomi dan selamat dapat dihasilkan.

**Jadual 5.1: Ketepatan korelasi (Marto, 1996)**

Nilai R <sup>2</sup>	Jenis Korelasi
< 0.25	Korelasi yang kurang baik
0.25 – 0.55	Korelasi yang agak baik
0.56 – 0.80	Korelasi yang baik
> 0.80	Korelasi yang sangat baik

**Jadual 5.2: Keputusan ujian ricih bilah di-situ**

Lokasi	Kedalaman (m)	Kekuatan Ricih Tak Terganggu (kPa)	Kekuatan Ricih di Acu Semula (kPa)	Sensitiviti
Tanjung Karang, Selangor	3.0 – 3.45	11.91	5.95	2.0
	6.0 – 6.45	16.37	7.44	2.2
	9.0 – 9.45	19.35	8.93	2.2
	12.0 – 12.45	22.32	11.90	1.9
Air Putih, Kemaman, Terengganu	3.0 – 3.45	13.39	4.46	3.0
	6.0 – 6.45	14.88	7.44	2.0
	9.0 – 9.45	16.37	8.93	1.8
	12.0 – 12.45	19.35	10.42	1.9
Kg. Mat Lagam, Kemaman, Terengganu	3.0 – 3.45	10.42	2.98	3.5
	6.0 – 6.45	13.39	4.46	3.0
	9.0 – 9.45	17.86	7.44	2.4
	12.0 – 12.45	17.86	8.93	2.0

**Jadual 5.3: Kandungan lembapan semulajadi dan sifat-sifat keplastikan tanah**

	<b>Kedalaman (m)</b>	<b>Kandungan Lembapan Semulajadi w (%)</b>	<b>Had Cecair w<sub>L</sub> (%)</b>	<b>Had Plastik w<sub>P</sub> (%)</b>	<b>Indeks Keplastikan I<sub>P</sub> (%)</b>	<b>Indeks Kecairan I<sub>L</sub></b>	<b>Keaktifan A</b>
Tanjung Karang, Selangor	1.50 - 2.25	132	137	36	101	0.95	2.40
	4.50 - 5.25	139	142	42	100	0.97	2.08
	7.50 - 8.25	137	140	42	98	0.97	2.23
	10.50 - 11.25	112	115	33	82	0.96	2.10
	13.50 - 14.25	103	106	26	80	0.96	2.50
Air Putih, Kemaman, Terengganu	1.50 - 2.25	54	66	24	42	0.71	0.88
	4.50 - 5.25	69	77	25	52	0.85	1.18
	7.50 - 8.25	67	74	28	46	0.85	0.96
	10.50 - 11.25	65	71	24	47	0.87	1.09
	13.50 - 14.25	64	70	23	47	0.87	1.00
Kg Mat Lagam, Kemaman, Terengganu	1.50 - 2.25	81	91	28	63	0.84	2.33
	4.50 - 5.25	85	89	26	63	0.94	3.71
	7.50 - 8.25	80	92	28	64	0.81	2.67
	10.50 - 11.25	79	91	32	59	0.80	2.19
	13.50 - 14.25	77	78	30	48	0.98	3.00
Muara Sungai Kuantan	6.50 - 7.25	75	80	22	58	0.91	2.23
	15.50 - 16.25	30	42	17	25	0.52	0.56
	18.50 - 19.25	18	31	14	17	0.24	1.00



**Jadual 5.4: Berat unit, graviti tentu, kandungan zarah tanah dan pengelasan tanah**

	Kedalaman	$\gamma_b$ (kN/m <sup>3</sup> )	$G_s$	Pasir %	Kelodak %	Lempung %	Pengelasan Tanah
Tanjung Karang, Selangor	1.50 - 2.25	13.4	2.45	8	50	42	CE
	4.50 - 5.25	13.2	2.42	6	46	48	CE
	7.50 - 8.25	13.6	2.46	5	51	44	CE
	10.50 - 11.25	15.2	2.50	25	36	39	CE
	13.50 - 14.25	16.8	2.65	16	52	32	CE
Air Putih, Kemaman, Terengganu	1.50 - 2.25	17.6	2.57	6	46	48	CH
	4.50 - 5.25	15.2	2.55	9	47	44	CV
	7.50 - 8.25	16.4	2.56	10	42	48	CV
	10.50 - 11.25	17.5	2.50	2	55	43	CV
	13.50 - 14.25	16.0	2.50	2	51	47	CV
Kg Mat Lagam, Kemaman, Terengganu	1.50 - 2.25	15.8	2.51	7	66	27	CE
	4.50 - 5.25	15.8	2.53	23	60	17	CV
	7.50 - 8.25	15.9	2.50	11	65	24	CE
	10.50 - 11.25	15.8	2.43	4	69	27	CE
	13.50 - 14.25	17.1	2.50	35	49	16	CV
Muara Sungai Kuantan	6.50 - 7.25	15.5	2.60	22	52	26	CV
	15.50 - 16.25	19.9	2.59	7	48	45	CI
	18.50 - 19.25	20.5	2.62	30	53	17	CL

**Jadual 5.5: Parameter-parameter pengukuhan tanah**

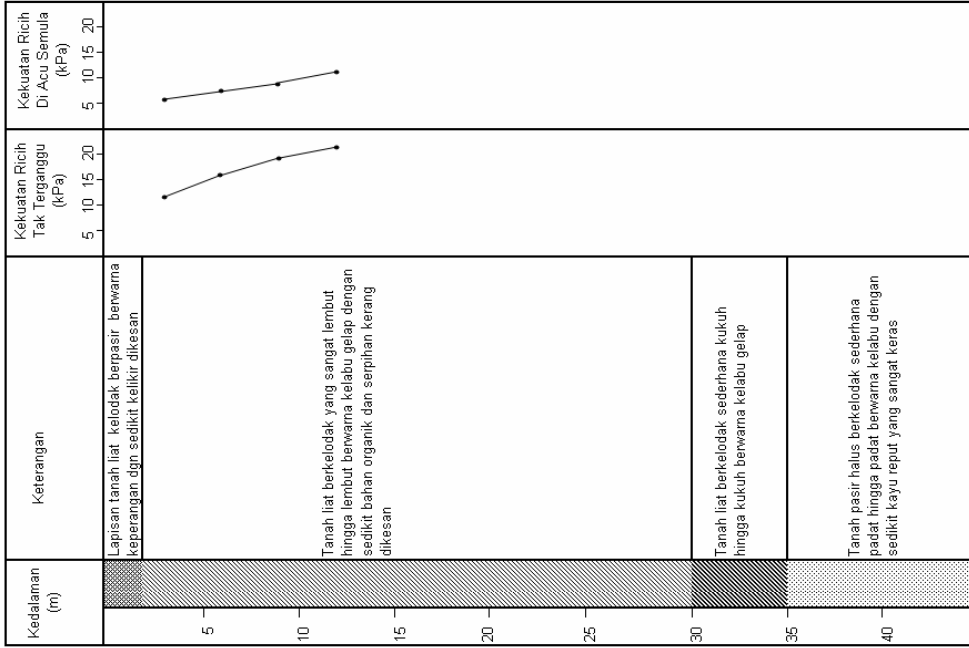
	Kedalaman (m)	Tegasan Berkesan di Situ $P_o$ (kN/m <sup>2</sup> )	Tekanan Prapegukuhan $P_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	Nisbah Pengukuhan Lebih (OCR)	Pekali Pengukuhan $c_v$ (m <sup>2</sup> /tahun)	Indeks Mampatan $C_c$	Pekali Kebolehmampatan Isipadu, $m_v$ (m <sup>2</sup> /MN)	Nisbah Lompasng Asal $e_o$	Pekali Kebolehtelapan $k$ (x10 <sup>-9</sup> ) m/s
Tanjung Karang, Selangor	1.50 - 2.25	20	43	2.14	3.72	1.36	2.084	3.093	2.403
	4.50 - 5.25	59	86	1.45	1.24	1.21	1.714	3.442	0.659
	7.50 - 8.25	102	114	1.12	3.25	1.10	0.769	3.247	0.775
	10.50 - 11.25	160	150	0.94	3.66	0.90	1.043	1.945	1.183
	13.50 - 14.25	227	215	0.95	6.62	0.55	0.110	1.219	0.226
Air Putih, Kemaman, Terengganu	1.50 - 2.25	26	42	1.59	8.72	0.26	0.056	1.188	0.151
	4.50 - 5.25	68	83	1.21	2.62	0.72	0.095	1.827	0.077
	7.50 - 8.25	123	125	1.02	2.16	0.45	0.583	1.518	0.390
	10.50 - 11.25	184	150	0.82	4.04	0.54	0.588	1.508	0.736
	13.50 - 14.25	216	200	0.93	2.63	0.54	0.401	1.510	0.327
Kg Mat Lagam, Kemaman, Terengganu	1.50 - 2.25	24	44	1.86	5.64	0.40	0.394	1.813	0.689
	4.50 - 5.25	71	86	1.21	4.51	0.9	0.586	1.833	0.819
	7.50 - 8.25	119	123	1.03	3.67	0.70	0.773	1.782	0.879
	10.50 - 11.25	166	195	1.18	3.27	0.46	0.504	1.252	0.511
	13.50 - 14.25	231	200	0.87	4.40	0.68	0.455	1.814	0.621
Muara Sungai Kuantan	6.50 - 7.25	101	120	1.19	2.81	0.53	0.756	1.816	0.659
	15.50 - 16.25	308	250	0.81	3.86	0.16	0.113	0.707	0.135
	18.50 - 19.25	379	320	0.84	5.13	0.09	0.100	0.659	0.159

**Jadual 5.6: Parameter-parameter kekuatan ricih tanah**

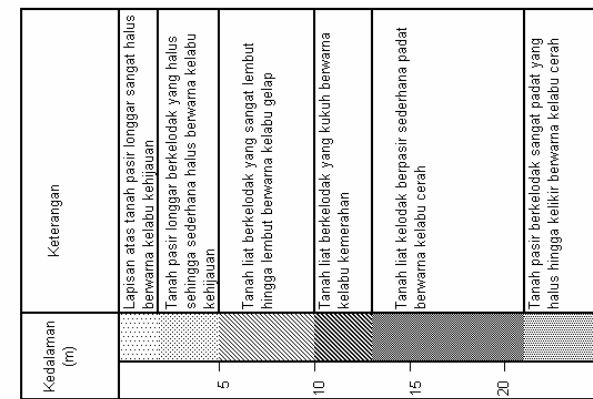
	Kedalaman (m)	Kejelekitan Berkesan, $c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	Sudut Geseran Berkesan, $\phi'$ (°)
Tanjung Karang, Selangor	4.50 - 5.25	1.1	17
	10.50 - 11.25	0	18
Air Putih, Kemaman, Terengganu	4.50 - 5.25	1.2	24
	7.50 - 8.25	0.2	28
Kg Mat Lagam, Kemaman, Terengganu	4.50 - 5.25	0	22
	10.50 - 11.25	1.2	26
Muara Sungai Kuantan	6.50 - 7.25	1.4	27
	15.50 - 16.25	2.0	31

**Jadual 5.7: Ringkasan korelasi yang diterbitkan**

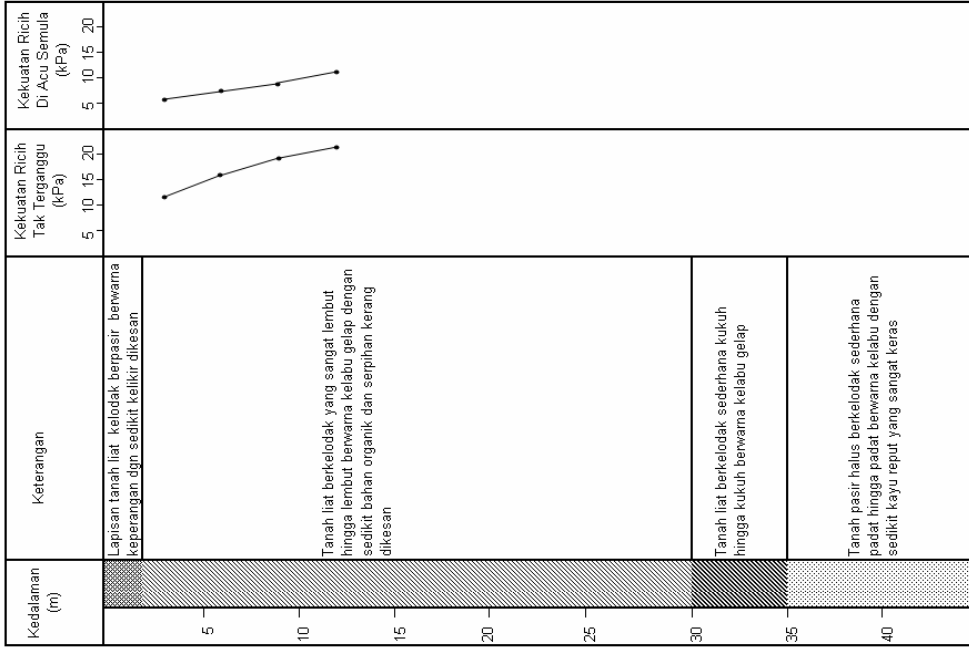
Bil	Korelasi	Persamaan	R <sup>2</sup>
1	Kekuatan ricih tak terganggu(kPa)& kedalaman(m)	$S_u=1.008d-8.999$	0.80
2	Kekuatan ricih diacu semula(kPa)& kedalaman(m)	$S_R=1.186d-1.324$	0.78
3	Kandungan lembapan(%)& kandungan organik(%)	$w = 30.5(\% \text{ organik})+11$	0.81
4	Kandungan lembapan(%)& kandungan lempung(%)	Had atas: $w=1.93(\% \text{ lempung})+53$ Had bawah: $w=0.43(\% \text{ lempung})+11$	-
5	Berat unit (kN/m <sup>3</sup> )& kandungan lembapan(%)	$\gamma = 0.0524(390-w)$	0.81
6	Graviti tentu & nisbah lompong	$G_s = 2.63-0.0574 e_o$	0.47
7	Had cecair(%)& kandungan lempung(%)	Had atas: $w_L=1.92(\% \text{ lempung})+56$ Had bawah: $w_L=0.39(\% \text{ lempung})+24$	-
8	Had cecair(%)& kandungan organik(%)	$w_L=28.28(\% \text{ organik})+23$	0.81
9	Had plastik(%)& kandungan organik(%)	$w_p=6.49(\% \text{ organik})+13$	0.74
10	Nisbah lompong & kandungan lembapan(%)	$e_o=0.02w+0.09$	0.8
11	Tekanan pra pengukuhan(kPa)& kedalaman(m)	$P_c=0.065d-0.73$	0.97
12	Indeks mampatan & kandungan lembapan(%)	$C_c=0.0095(w-13.6)$	0.82
13	Nisbah mampatan & kandungan lembapan(%)	$CR=0.0018(w+36.7)$	0.64
14	Indeks mampatan & had cecair(%)	$C_c=0.01(w_L-25)$	0.80
15	Nisbah mampatan & had cecair(%)	$CR=0.0019(w_L+23.8)$	0.60
16	Indeks mampatan & indeks keplastikan(%)	$C_c=0.013(I_p-10.8)$	0.79
17	Indeks mampatan & nisbah lompong	$C_c=0.412(e_o-0.23)$	0.85
18	Indeks mampatan & kandungan organik(%)	$C_c=0.296(\% \text{ organik}-0.14)$	0.70
19	Indeks mampatan & kandungan lempung(%)	Had atas: $C_c=0.018(\% \text{ lempung})+0.59$ Had bawah: $C_c=0.003(\% \text{ lempung})+0.05$	-
20	Pekali mampatan isipadu(m <sup>2</sup> /MN)& nisbah lompong	$m_v=0.574e_o-0.41$	0.66
21	Sudut geseran berkesan(°)& kandungan lembapan(%)	$\phi' = 0.14 (255 - w)$	0.89
22	Sudut geseran berkesan(°) & indeks keplastikan(%)	$\phi' = 0.2 (183 - w)$	0.88

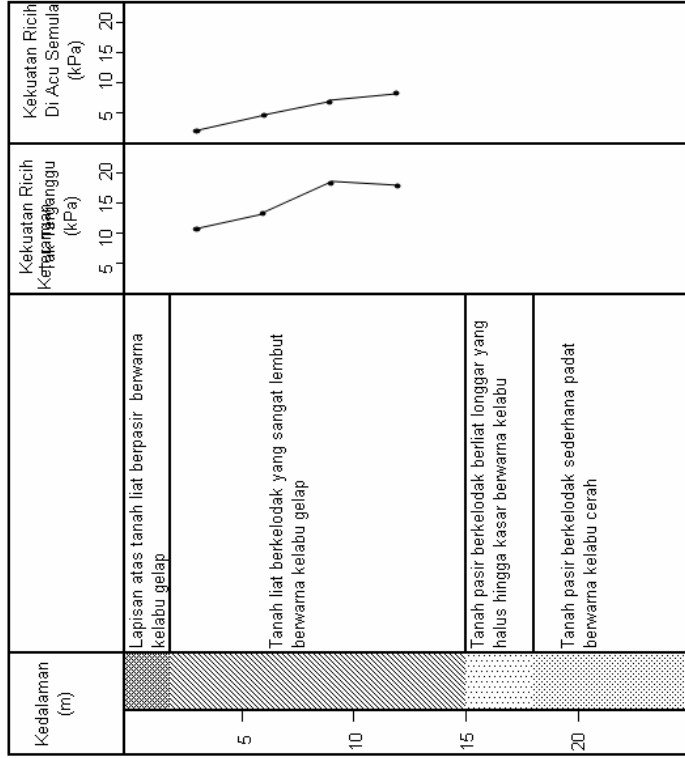


**Rajah 5.1a: Profil Tanah di Muara Sungai Kuantan**

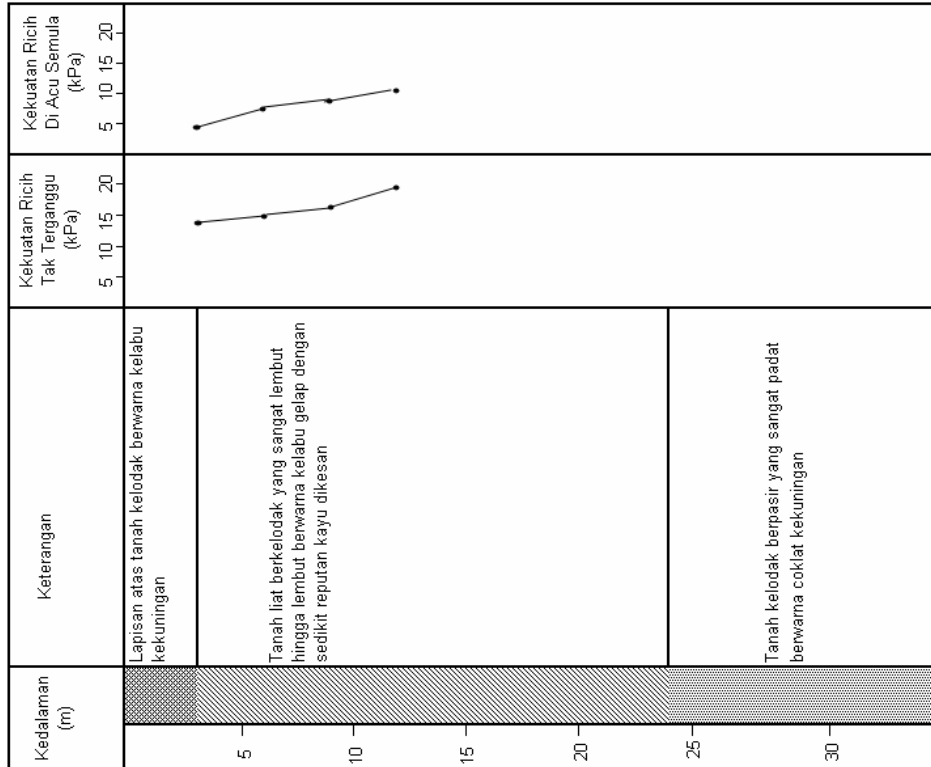


**Rajah 5.1b: Profil Tanah dan Keputusan Ujian Ricih Bilah Di-Situ di Tanjung Karang, Selangor**

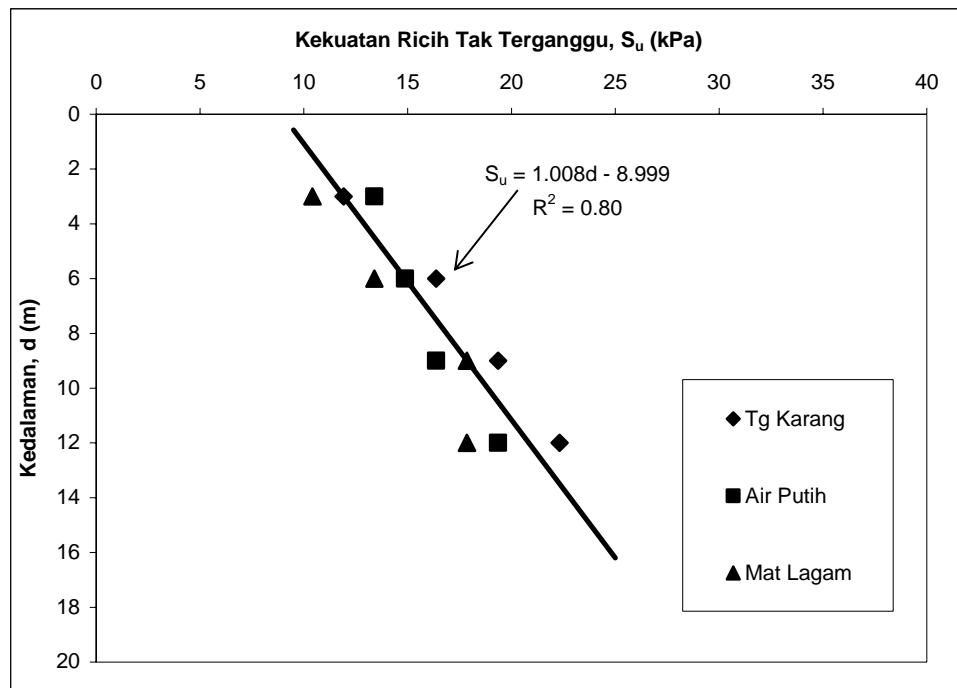




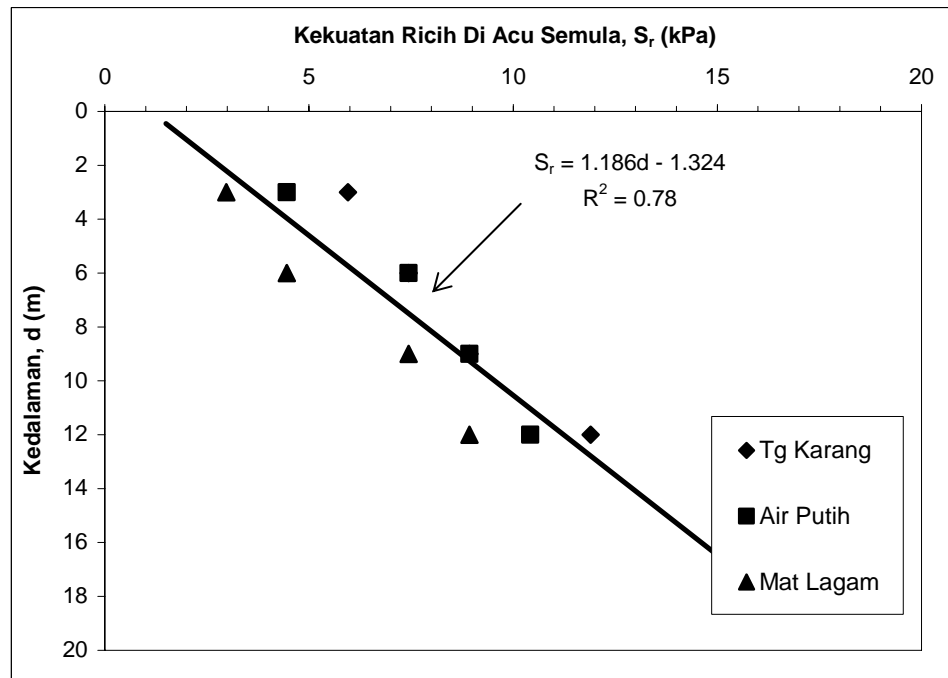
Rajah 5.1d: Profil Tanah dan Keputusan Ujian Ricih Bilah Di-Situ



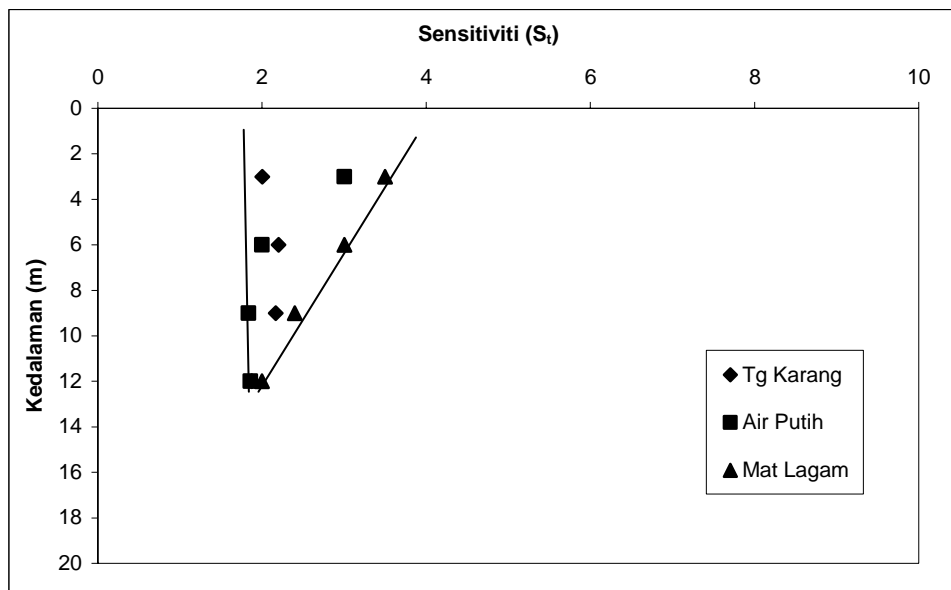
Rajah 5.1c: Profil Tanah dan Keputusan Ujian Ricih Bilah Di-Situ di Air Putih, Kemaman



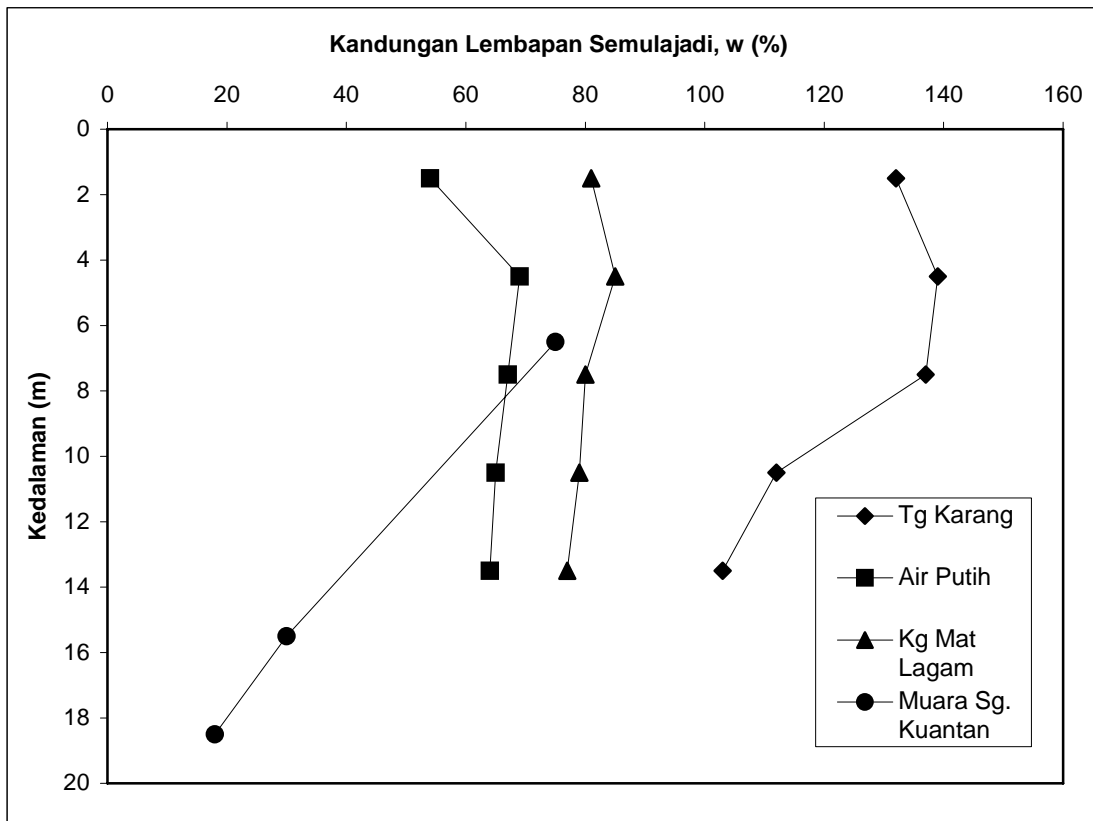
**Rajah 5.2: Korelasi kekuatan ricih tak terganggu dengan kedalaman daripada ujian ricih bilah di-situ**



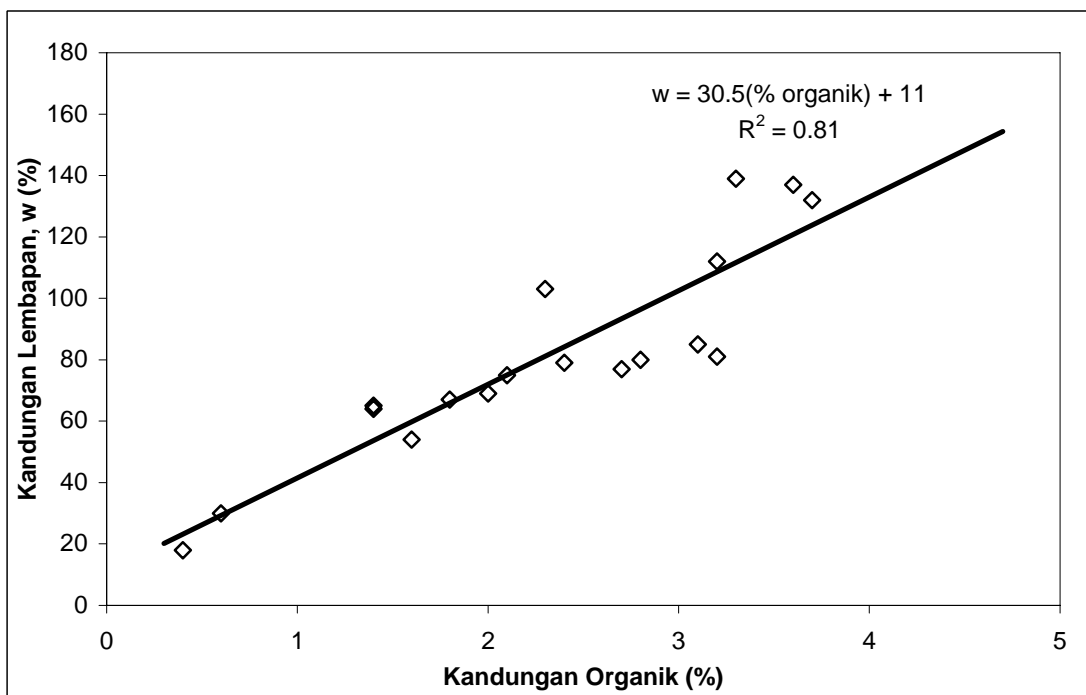
**Rajah 5.3: Korelasi kekuatan ricih diacu semula dengan kedalaman daripada ujian ricih bilah di-situ**



**Rajah 5.4: Hubungan sensitiviti dengan kedalaman**

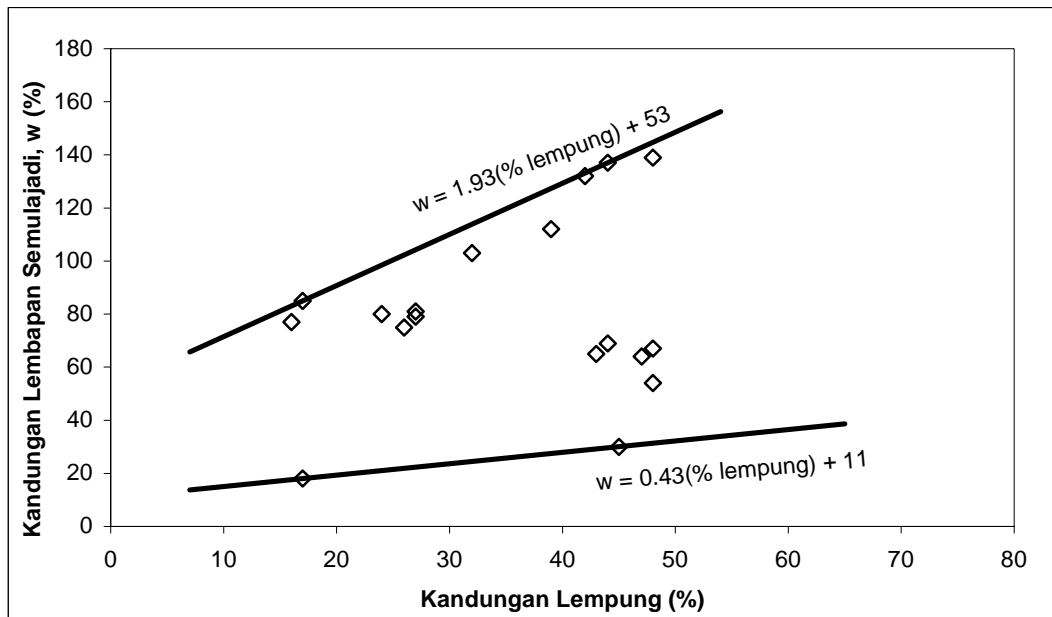


Rajah 5.5: Hubungan kandungan lembapan semulajadi dengan kedalaman

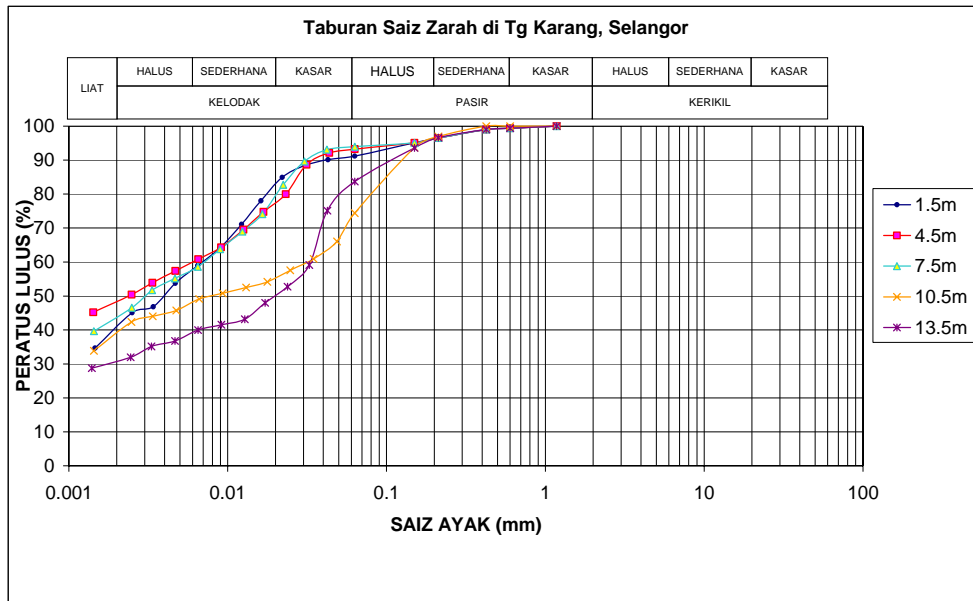


Rajah 5.6: Korelasi kandungan lembapan semulajadi dengan kandungan organik

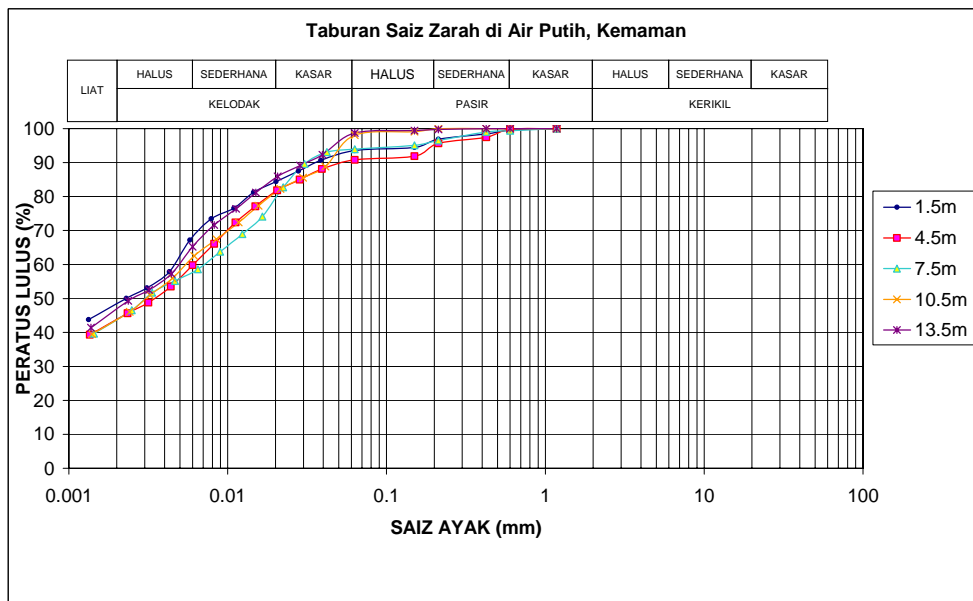




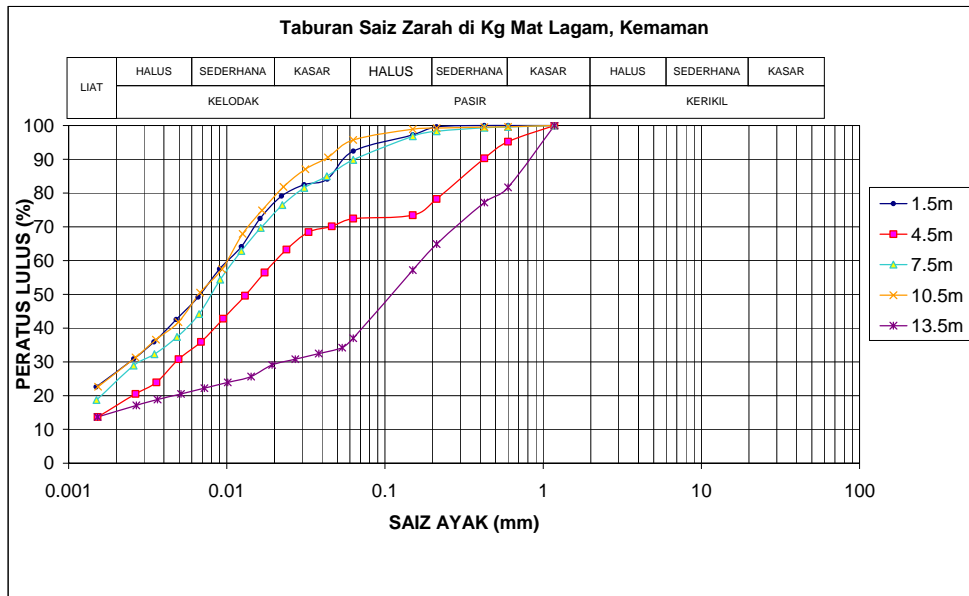
**Rajah 5.7: Korelasi kandungan lembapan semulajadi dengan kandungan lempung**



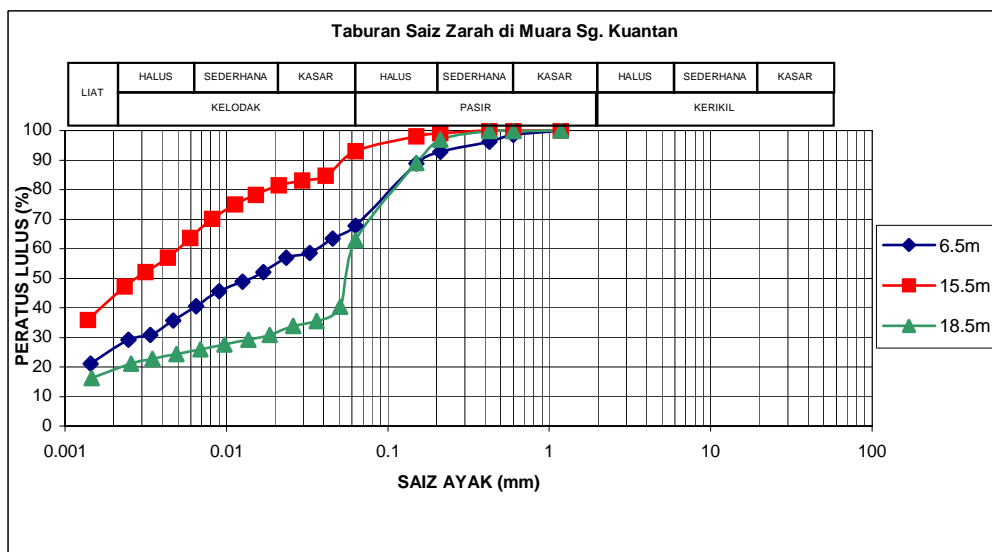
**Rajah 5.8a: Taburan saiz zarah di Tanjung Karang, Selangor**



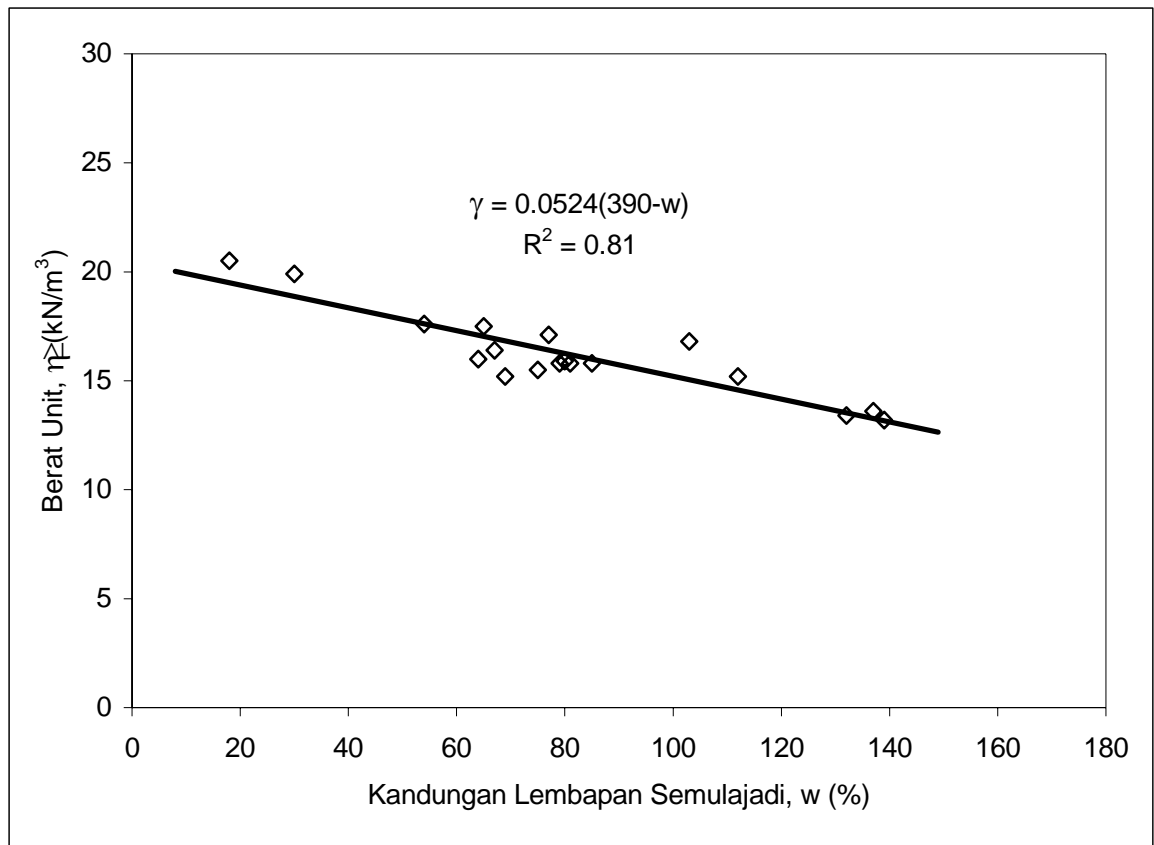
**Rajah 5.8b: Taburan saiz zarah di Air Putih, Kemaman**



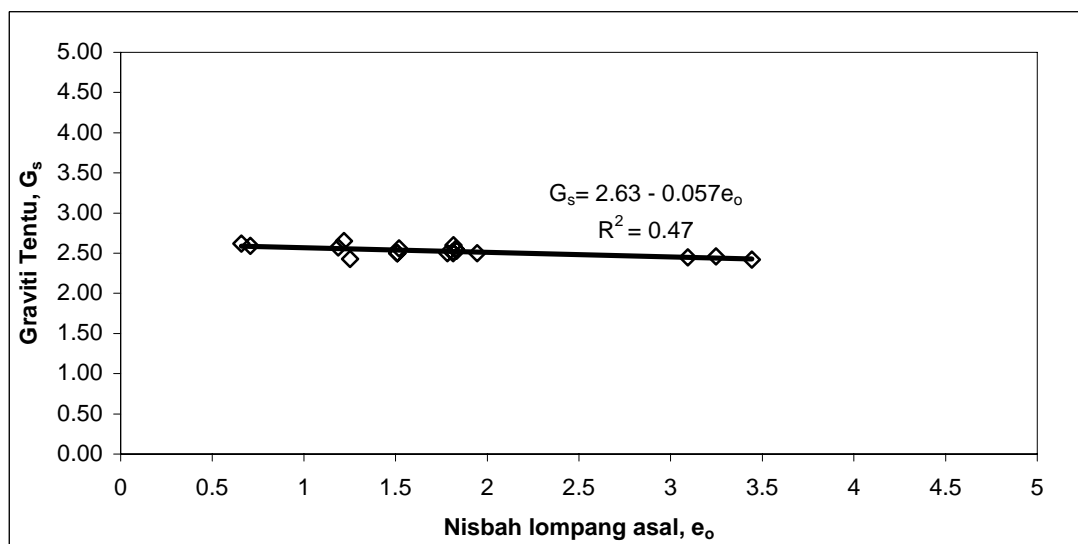
**Rajah 5.8c: Taburan saiz zarah di Kg. Mat Lagam, Kemaman**



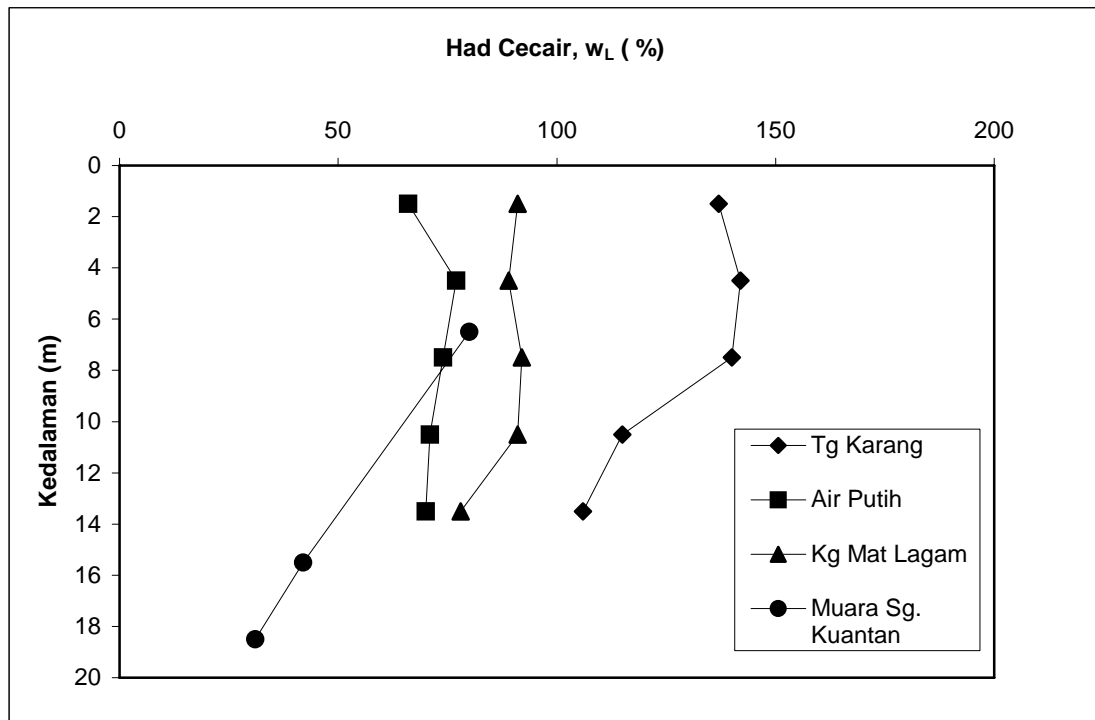
**Rajah 5.8d: Taburan saiz zarah di Muara Sg. Kuantan**



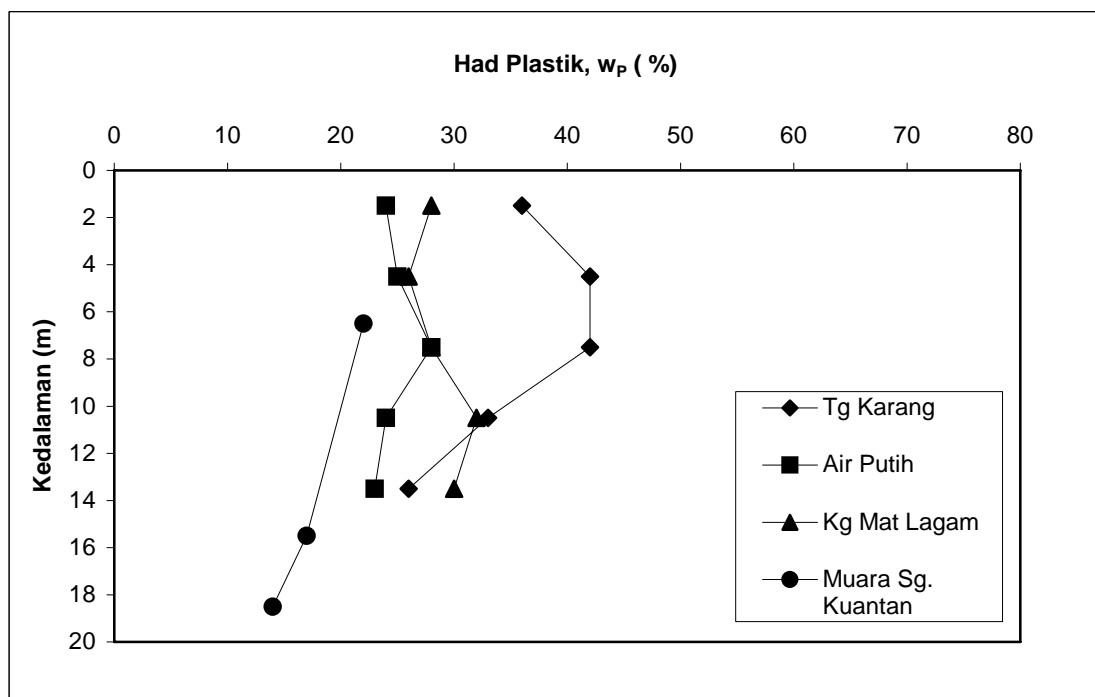
**Rajah 5.9: Korelasi berat unit dengan kandungan lembapan semulajadi**



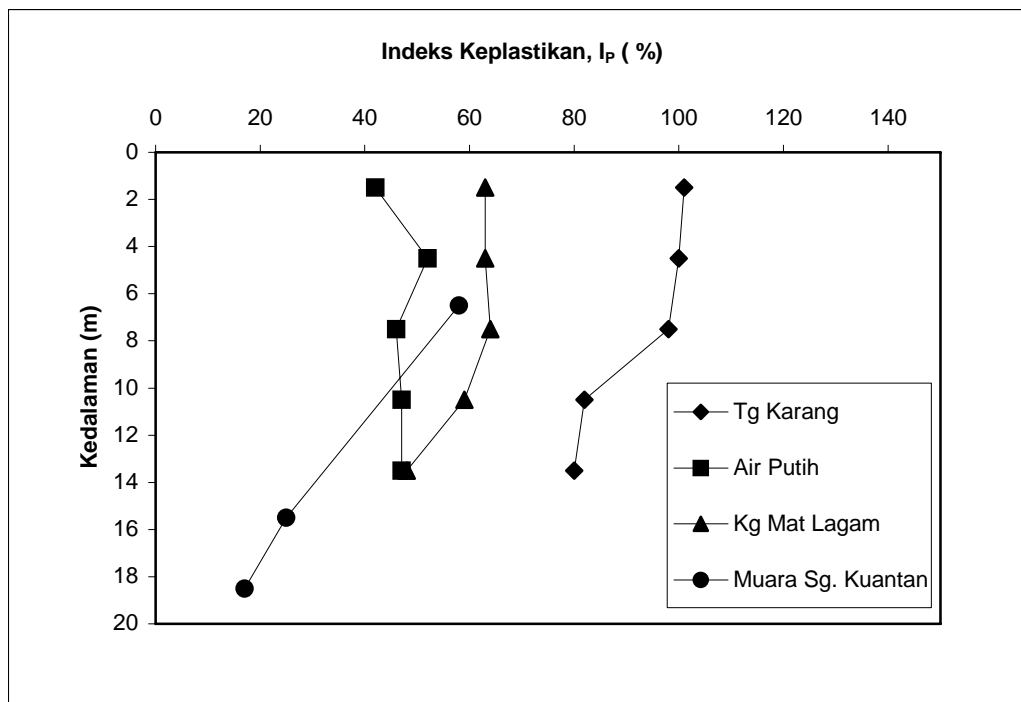
**Rajah 5.10: Korelasi graviti tentu dengan nisbah lompang asal**



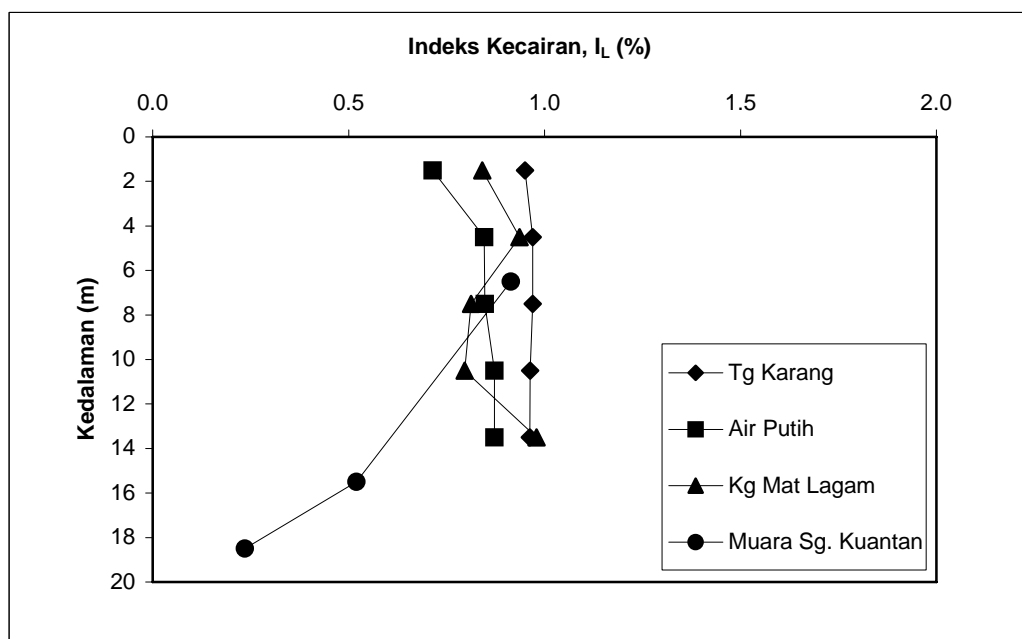
**Rajah 5.11: Hubungan had cecair dengan kedalaman**



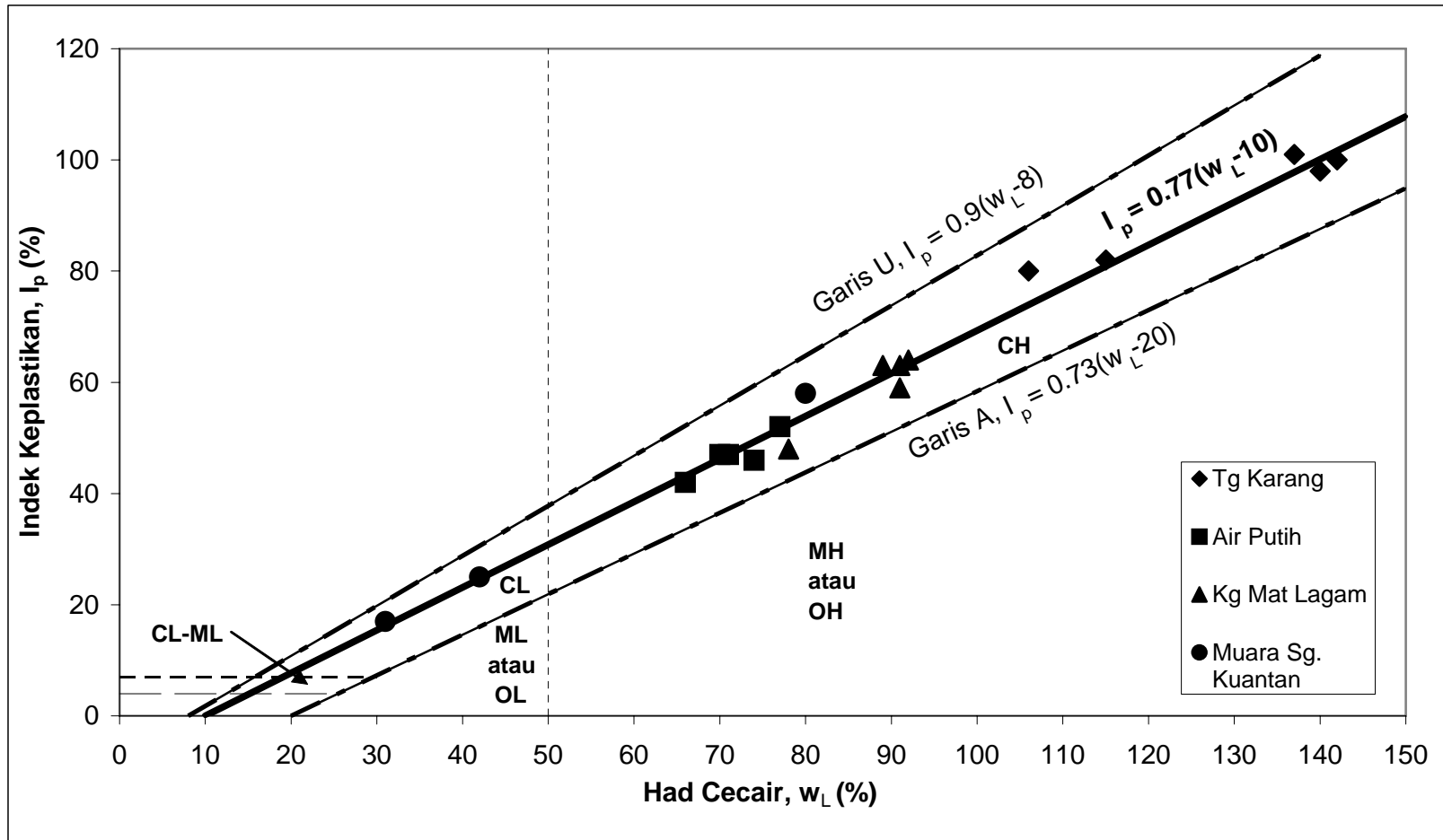
**Rajah 5.12: Hubungan had plastik dengan kedalaman**



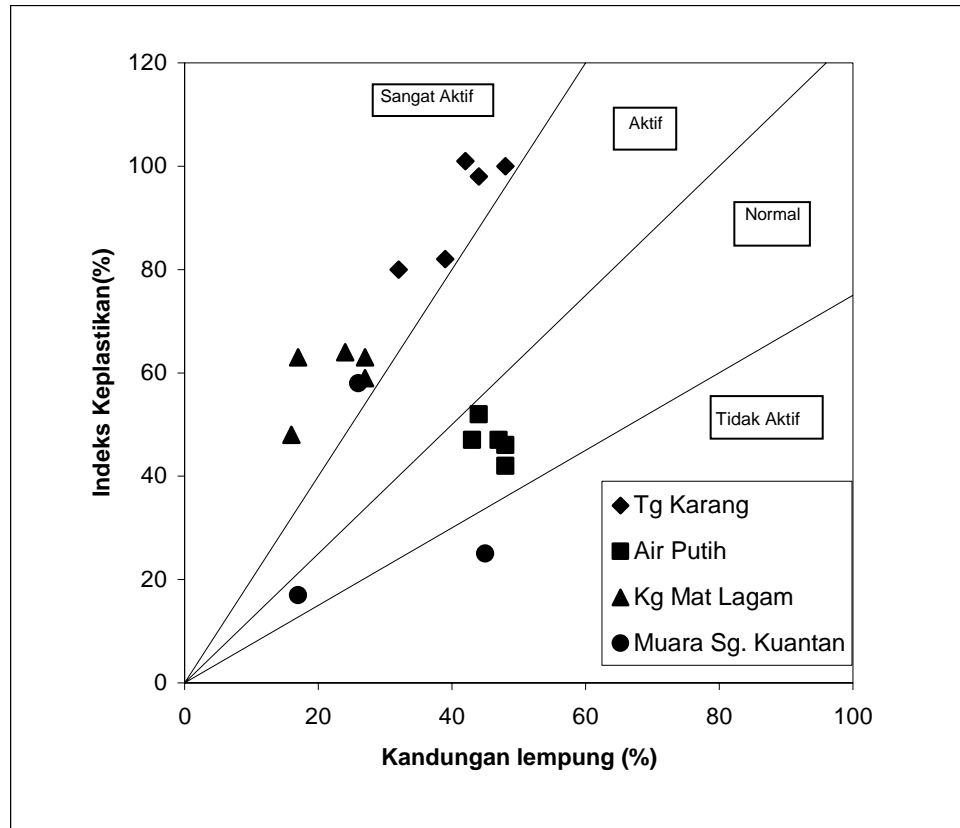
**Rajah 5.13: Hubungan indeks keplastikan dengan kedalaman**



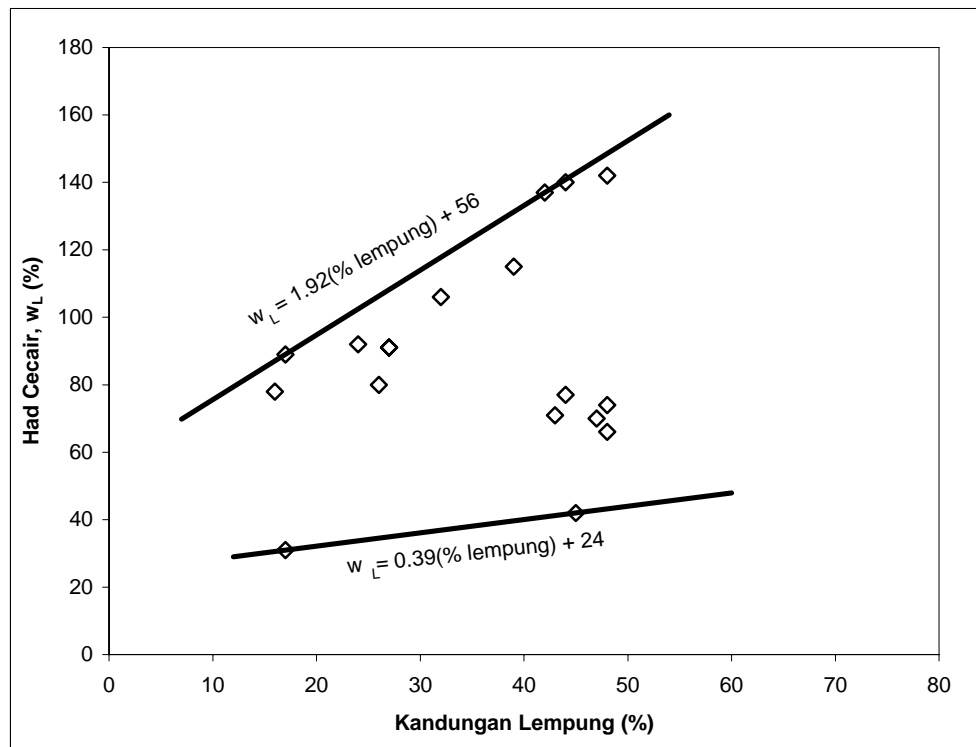
**Rajah 5.14: Hubungan indeks kecairan dengan kedalaman**



Rajah 5.15: Kedudukan tanah liat lembut dalam carta keplastikan tanah Casagrande

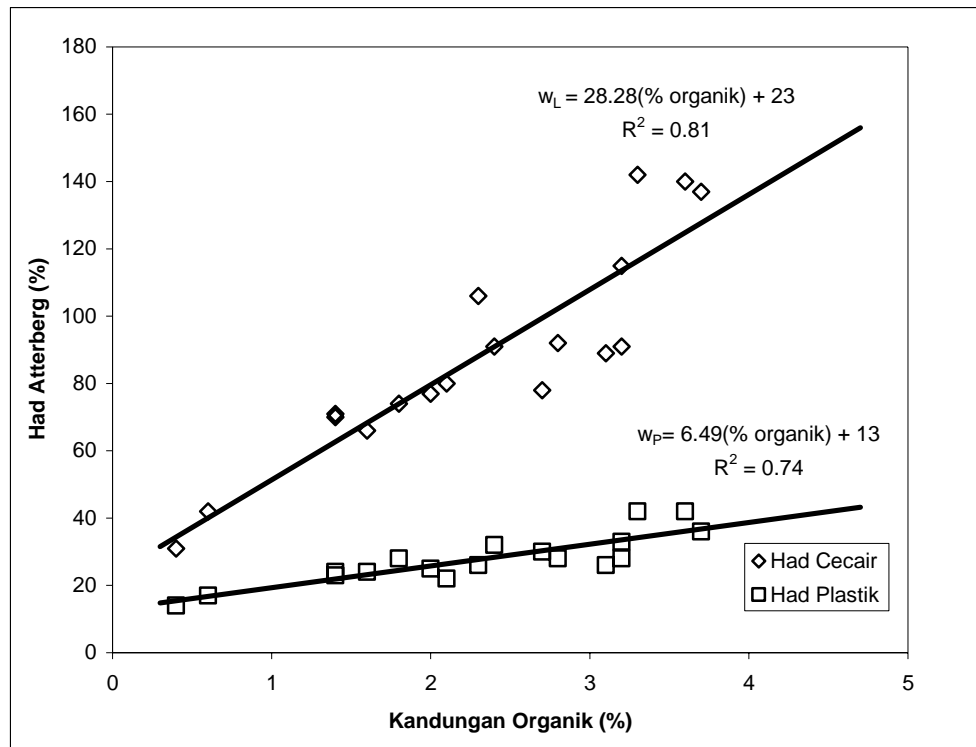


Rajah 5.16: Hubungan indeks keplastikan dengan kandungan lempung

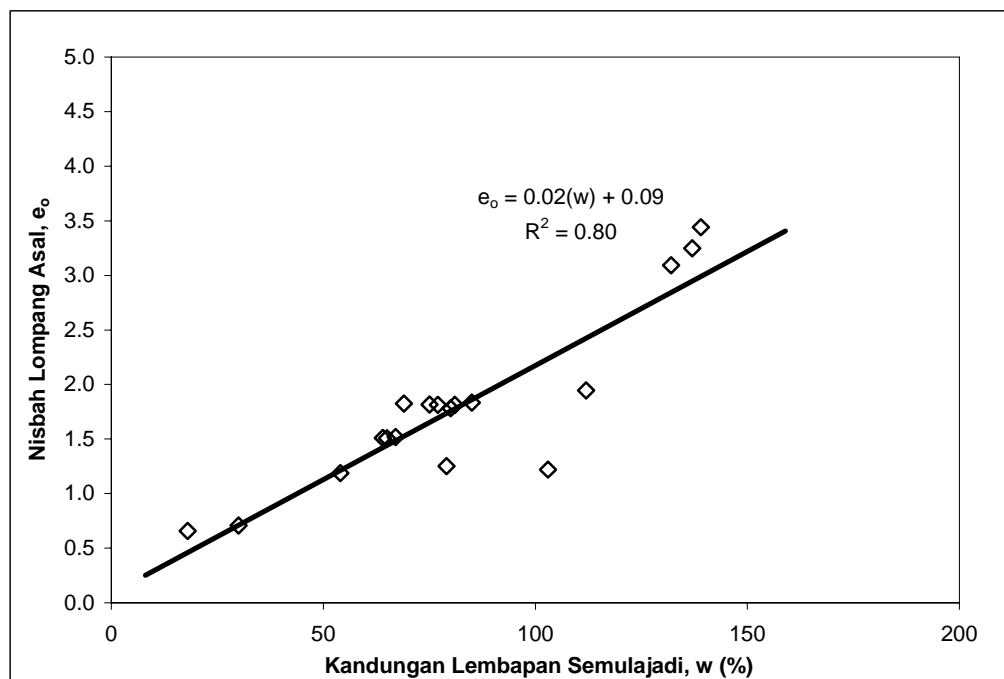


Rajah 5.17: Korelasi had cecair dengan kandungan lempung

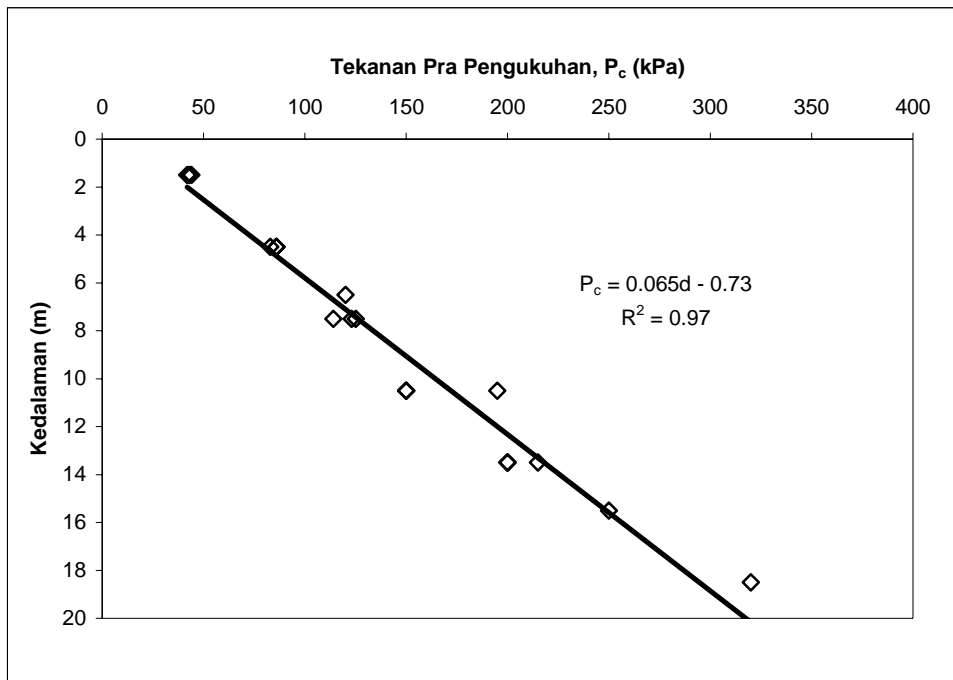




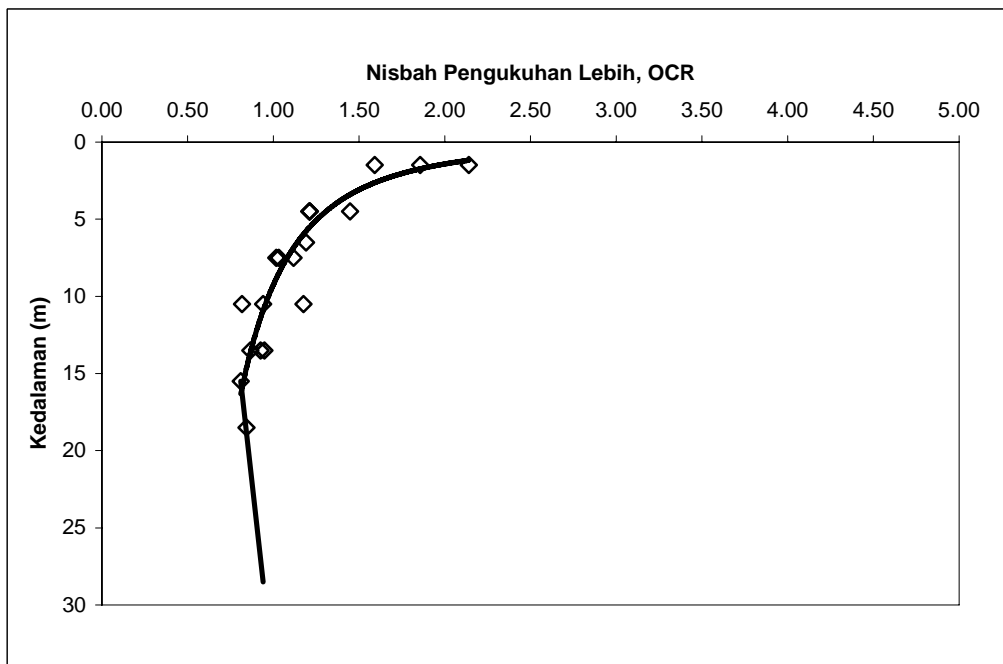
Rajah 5.18: Korelasi had Atterberg dengan kandungan organik



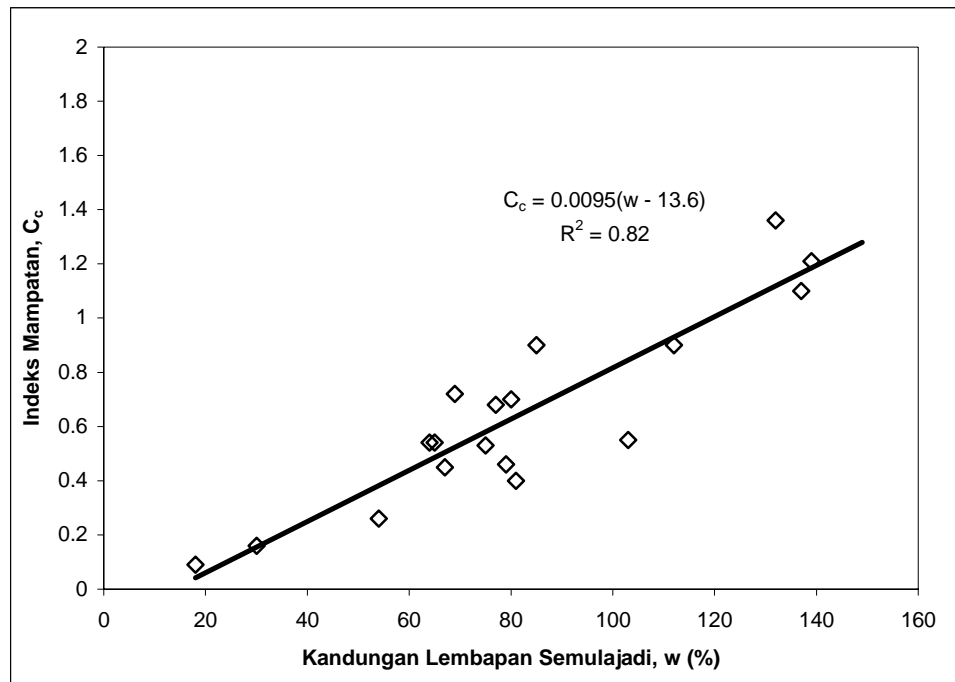
Rajah 5.19: Korelasi nisbah lompang asal dengan kandungan lembapan semulajadi



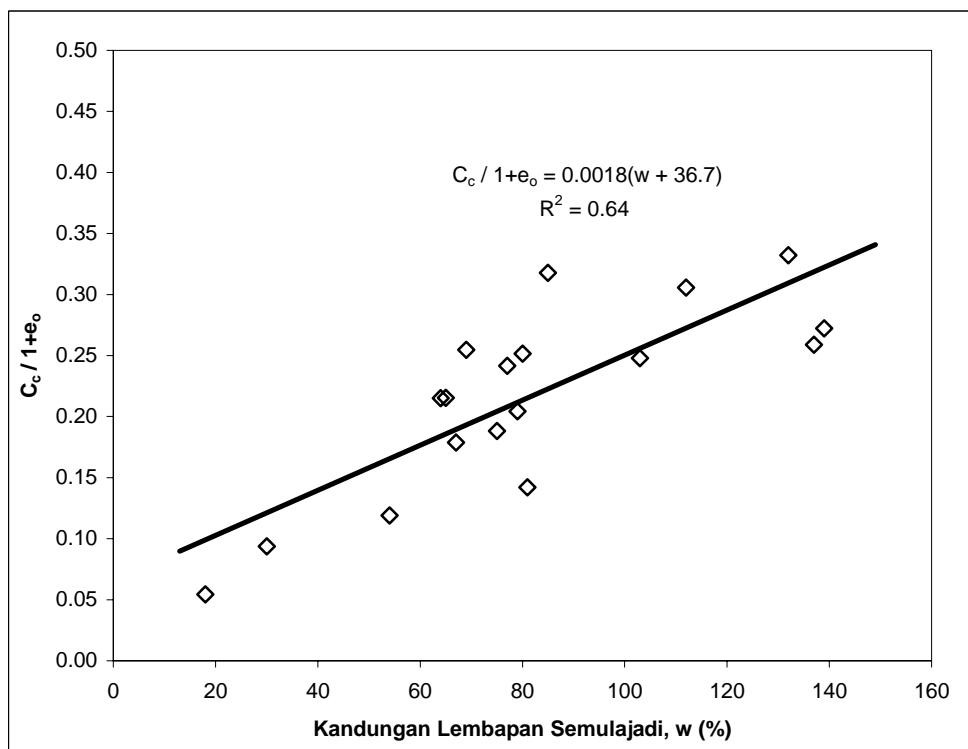
Rajah 5.20: Korelasi tekanan pra pengukuhan dengan kedalaman



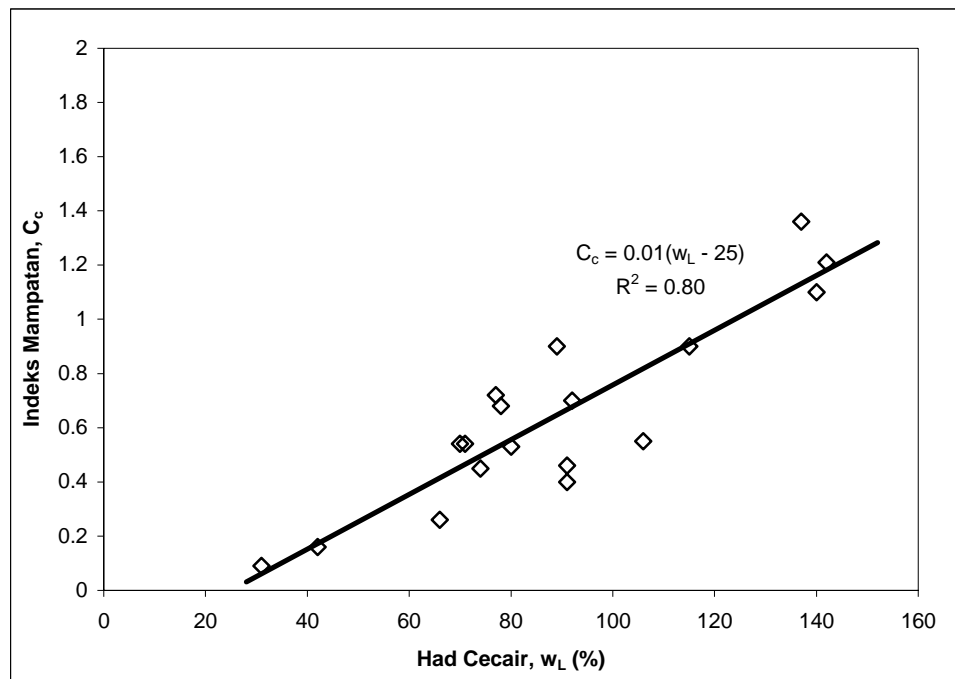
Rajah 5.21: Hubungan nisbah pengukuhan lebih dengan kedalaman



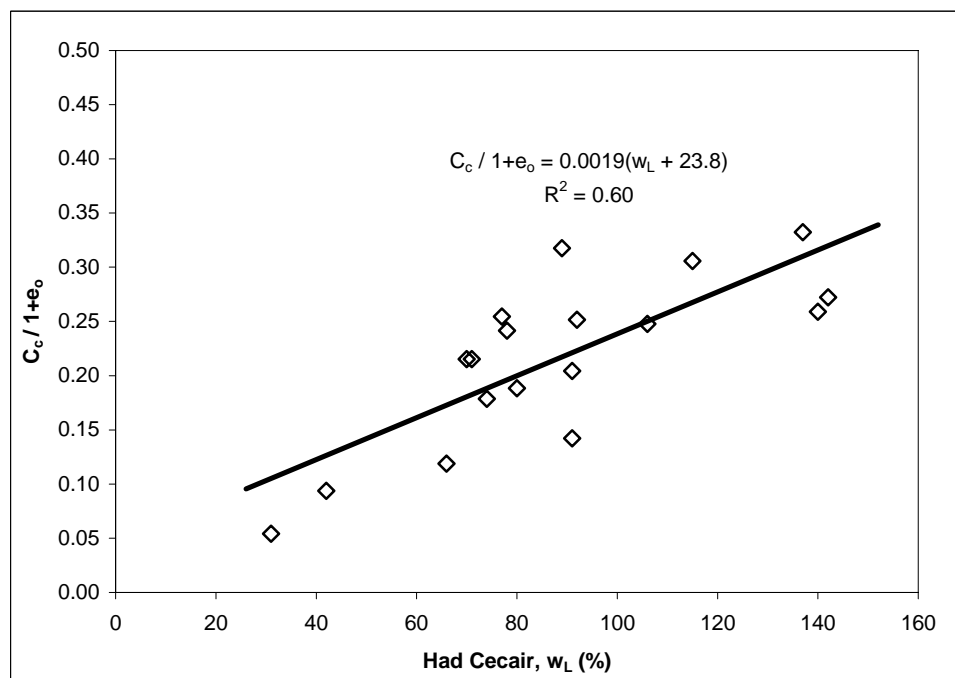
**Rajah 5.22: Korelasi indeks mampatan dengan kandungan lembapan semulajadi**



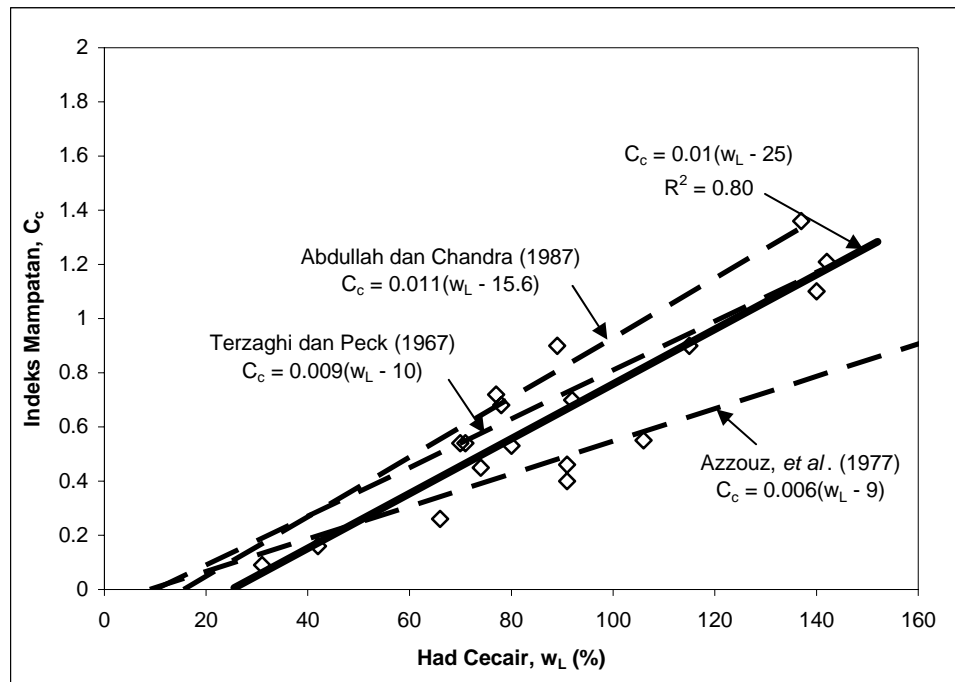
**Rajah 5.23: Korelasi indeks mampatan ternormal dengan kandungan lembapan semulajadi**



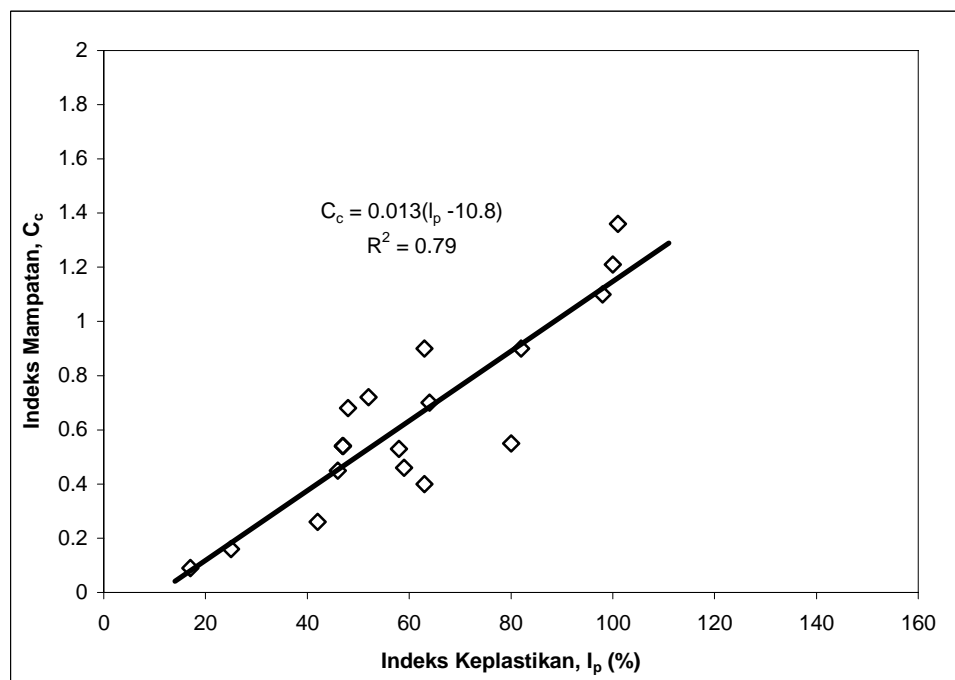
**Rajah 5.24: Korelasi indeks mampatan dengan had cecair**



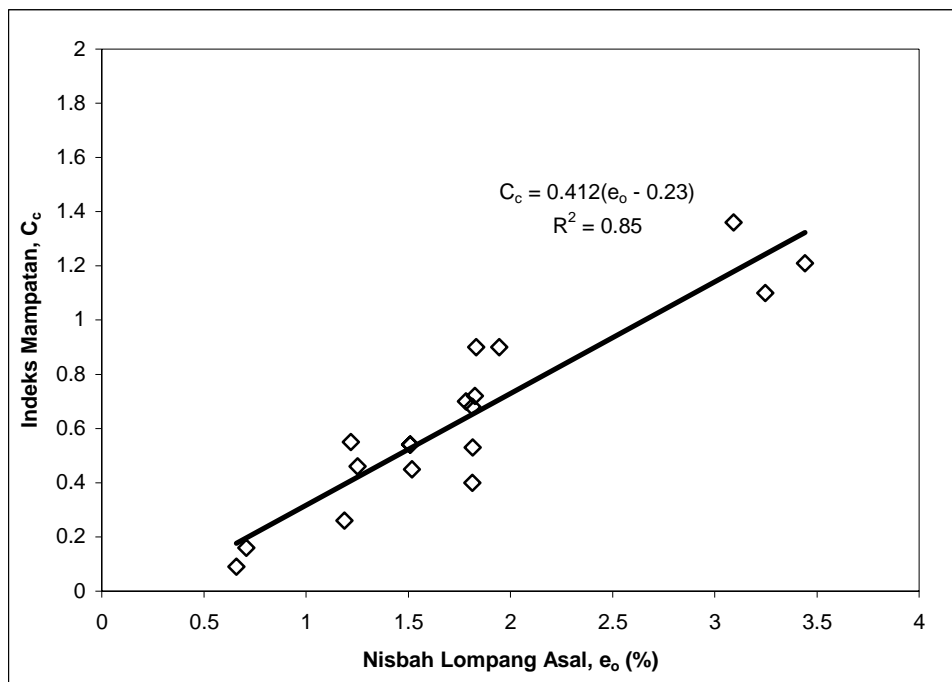
**Rajah 5.25: Korelasi indeks mampatan ternormal dengan had cecair**



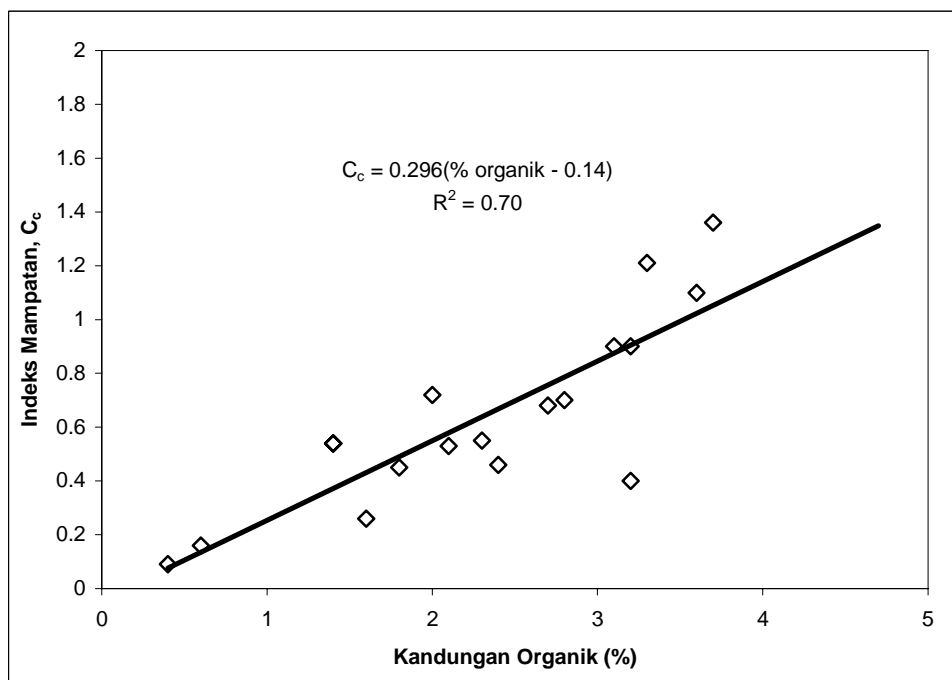
**Rajah 5.26: Perbandingan korelasi antara indeks mampatan dan had cecair dengan pengkaji-pengkaji lain**



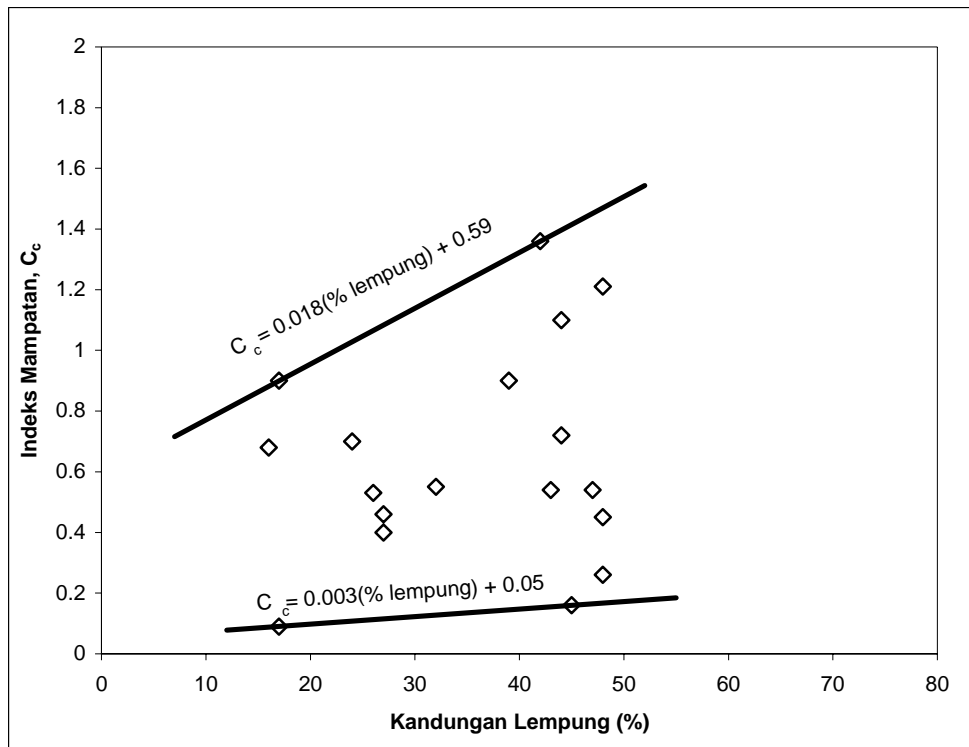
**Rajah 5.27: Korelasi indeks mampatan dengan indeks keplastikan**



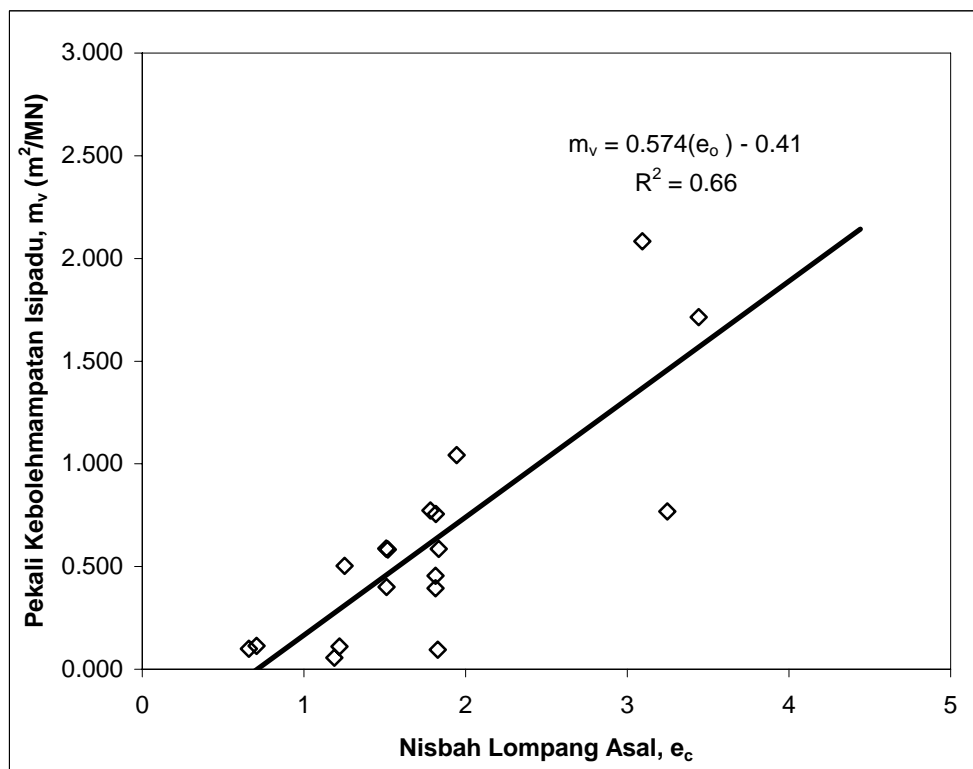
**Rajah 5.28: Korelasi indeks mampatan dengan nisbah lompang asal**



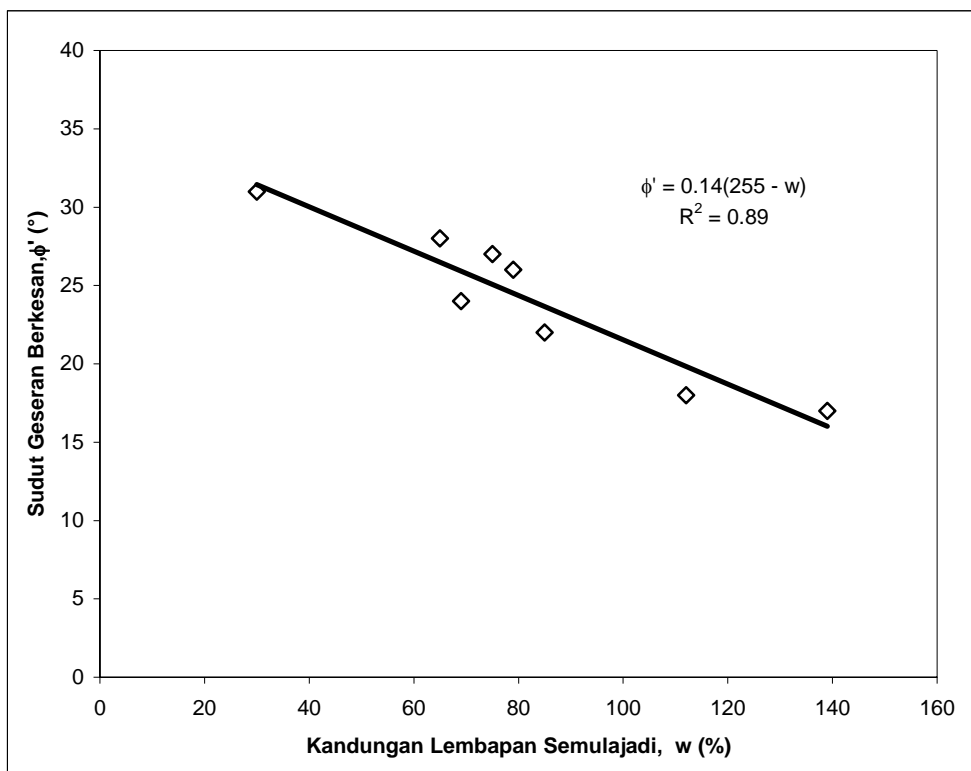
**Rajah 5.29: Korelasi indeks mampatan dengan kandungan organik**



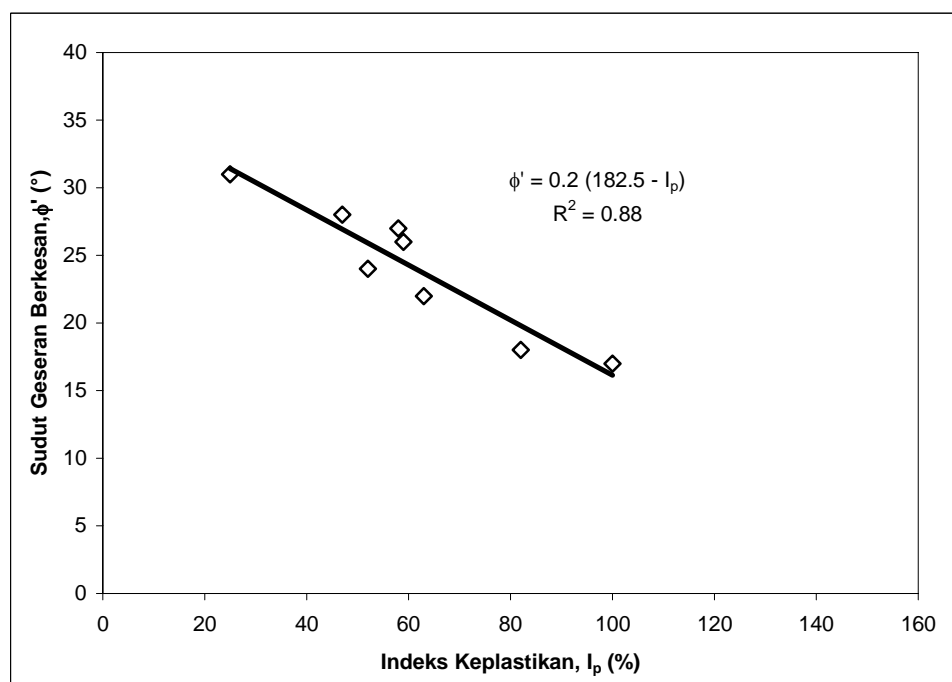
Rajah 5.30: Korelasi indeks mampatan dengan kandungan lempung



Rajah 5.31: Korelasi pekali kebolehmampatan isipadu dengan nisbah lompang asal




**Rajah 5.32: Korelasi sudut geseran berkesan dengan kandungan lembapan semulajadi**




**Rajah 5.33: Korelasi sudut geseran berkesan dengan indeks keplastikan**




	Jenis Ujikaji	Kedalaman (m)					
		1.50-2.25	4.50-5.25	7.50-8.25	10.50-11.25	13.50-14.25	
 <p><b>Lokasi</b> Tanjung Karang, Selangor, Malaysia</p> <p><b>Perkara</b> Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Liat Lembut</p>	<b>Taburan Saiz Zarah</b>	% Lempung	42	48	44	39	32
		% Kelodak	50	46	51	36	52
		% Pasir	8	6	5	25	16
	<b>Graviti Tentu</b>	G <sub>s</sub>	2.45	2.42	2.46	2.50	2.65
	<b>Kand. Lembapan</b>	w (%)	132	139	137	112	103
	<b>Ciri-ciri Keplastikan</b>	w <sub>L</sub> (%)	137	142	140	115	106
		w <sub>p</sub> (%)	36	42	42	33	26
		I <sub>p</sub> (%)	101	100	98	82	80
		I <sub>L</sub>	0.95	0.97	0.97	0.96	0.96
		Aktiviti, A	2.4	2.08	2.23	2.10	2.50
	<b>Ciri-ciri Pengukuhan</b>	P <sub>c</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	43	86	114	150	215
		OCR	2.14	1.45	1.12	0.94	0.95
		C <sub>c</sub>	1.36	1.21	1.10	0.90	0.55
		c <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /thn)	3.72	1.24	3.25	3.66	6.62
		m <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /MN)	2.084	1.714	0.769	1.043	0.110
		e <sub>o</sub>	3.093	3.442	3.247	1.945	1.219
	<b>Pekali Kebolehtelapan</b>	k (x10 <sup>-9</sup> ) m/s	2.403	0.659	0.775	1.183	0.226
	<b>Kekuatan Ricih</b>	c' (kN/m <sup>2</sup> )	-	1.1	-	0	-
φ' (°)		-	17	-	18	-	


Rajah 5.34: Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut di Tanjung Karang, Selangor

	Jenis Ujikaji	Kedalaman (m)					
		1.50-2.25	4.50-5.25	7.50-8.25	10.50-11.25	13.50-14.25	
	<b>Taburan Saiz Zarah</b>	% Lempung	48	44	48	43	47
		% Kelodak	46	47	42	55	51
		% Pasir	6	9	10	2	2
	<b>Graviti Tentu</b>	G <sub>s</sub>	2.57	2.55	2.56	2.50	2.50
	<b>Kand. Lembapan Semujadi</b>	w (%)	54	69	67	65	64
	<b>Ciri-ciri Keplastikan</b>	w <sub>L</sub> (%)	66	77	74	71	70
		w <sub>p</sub> (%)	24	25	28	24	23
		I <sub>p</sub> (%)	42	52	46	47	47
		I <sub>L</sub>	0.71	0.85	0.85	0.87	0.87
		Aktiviti, A	0.88	0.18	0.96	1.09	1.00
<b>Lokasi</b> <b>Air Putih, Kemaman, Terengganu, Malaysia</b>  <b>Perkara</b> <b>Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Liat Lembut</b>	<b>Ciri-ciri Pengukuhan</b>	P <sub>c</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	42	83	125	150	200
		OCR	1.59	1.21	1.02	0.82	0.93
		C <sub>c</sub>	0.26	0.72	0.45	0.54	0.54
		c <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /thn)	8.72	2.62	2.16	4.04	2.63
		m <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /MN)	0.056	0.095	0.583	0.588	0.401
	e <sub>o</sub>	1.188	1.827	1.518	1.508	1.510	
	<b>Pekali Kebolehtelapan</b>	k (x10 <sup>-9</sup> ) m/s	0.151	0.077	0.390	0.736	0.327
	<b>Kekuatan Ricih</b>	c' (kN/m <sup>2</sup> )	-	1.2	-	0.2	-
		φ' (°)	-	24	-	28	-

Rajah 5.35: Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut di Air Putih, Kemaman, Terengganu

	Jenis Ujikaji	Kedalaman (m)					
		1.50-2.25	4.50-5.25	7.50-8.25	10.50-11.25	13.50-14.25	
	<b>Taburan Saiz Zarah</b>	% Lempung	27	17	24	27	16
		% Kelodak	66	60	65	69	49
		% Pasir	7	23	11	4	35
	<b>Graviti Tentu</b>	G <sub>s</sub>	2.51	2.53	2.50	2.43	2.50
	<b>Kand. Lembapan Semujadi</b>	w (%)	81	85	80	79	77
	<b>Ciri-ciri Keplastikan</b>	w <sub>L</sub> (%)	91	89	92	91	78
		w <sub>p</sub> (%)	28	26	28	32	30
		I <sub>p</sub> (%)	63	63	64	59	48
		I <sub>L</sub>	0.84	0.94	0.81	0.80	0.98
		Aktiviti, A	2.33	3.71	2.67	2.19	3.00
<b>Lokasi</b> <b>Kg Mat Lagam, Kemaman, Terengganu, Malaysia</b>  <b>Perkara</b> <b>Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Liat Lembut</b>	<b>Ciri-ciri Pengukuhan</b>	P <sub>c</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	44	86	123	195	200
		OCR	1.86	1.21	1.03	1.18	0.87
		C <sub>c</sub>	0.40	0.90	0.70	0.46	0.68
		c <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /thn)	5.64	4.51	3.67	3.27	4.40
		m <sub>v</sub> (m <sup>2</sup> /MN)	0.394	0.586	0.773	0.504	0.455
		e <sub>o</sub>	1.813	1.833	1.782	1.252	1.814
	<b>Pekali Kebolehtelapan</b>	k (x10 <sup>-9</sup> ) m/s	0.689	0.819	0.879	0.511	0.621
	<b>Kekuatan Ricih</b>	c' (kN/m <sup>2</sup> )	-	0	-	1.2	-
		φ' (°)	-	22	-	26	-

Rajah 5.36: Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut di Kg Mat Lagam, Kemaman Terengganu

	Jenis Ujikaji	Kedalaman (m)			
		6.50-2.25	15.50-16.25	18.50-19.25	
	<b>Taburan Saiz Zarah</b> % Lempung % Kelodak % Pasir	26	45	17	
		52	48	53	
		22	7	30	
	<b>Graviti Tentu</b>	$G_s$	2.60	2.59	2.62
	<b>Kand. Lembapan Semujadi</b>	$w$ (%)	75	30	18
<b>Ciri-ciri Keplastikan</b>		$w_L$ (%)	80	42	31
		$w_p$ (%)	22	17	14
		$I_p$ (%)	58	25	17
		$I_L$	0.91	0.52	0.24
		Aktiviti, A	2.23	0.56	1.00
<b>Ciri-ciri Pengukuhan</b>		$P_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	120	250	320
		OCR	1.19	0.81	0.84
		$C_c$	0.53	0.16	0.09
		$c_v$ (m <sup>2</sup> /thn)	2.81	3.86	5.13
		$m_v$ (m <sup>2</sup> /MN)	0.756	0.113	0.100
		$e_o$	1.816	0.707	0.659
	<b>Pekali Kebolehtelapan</b>	$k$ ( $\times 10^{-9}$ ) m/s	0.659	0.135	0.159
<b>Kekuatan Ricih</b>		$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	1.4	2	-
		$\phi'$ (°)	27	31	-

Rajah 5.37: Katalog ringkas ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut di Muara Sungai Kuantan, Kuantan, Pahang

## **BAB 6**

### **KEPUTUSAN DAN ANALISIS UJIKAJI MAKMAL**

#### **6.1 Pengenalan**

Bab ini menghuraikan ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut di bawah tambakan cubaan Muar. Keputusan ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut adalah berdasarkan ujian makmal yang dijalankan ke atas sampel tanah liat lembut Muar oleh penulis dengan bantuan pelajar-pelajar Sarjana Muda Kejuruteraan Awam dan juga pihak swasta. Ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut yang diperolehi dari ujian makmal dan di-situ dibandingkan dengan keputusan kajian terdahulu yang diterbitkan oleh Lembaga Lebuhraya Malaysia (1989a).

Jenis-jenis tambakan yang terlibat dalam pensampelan ini adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 6.1. Di dalam jadual tersebut, ciri-ciri tambakan seperti beban ( $\Delta\sigma$ ) yang bertindak ke atas sampel tanah liat turut ditunjukkan yang mana,  $\Delta\sigma$  dikira berdasarkan Carta Osterberg (Osterberg, 1957). Nilai berat unit tanah bahan tambak yang digunakan adalah berdasarkan Lembaga Lebuhraya Malaysia (1989) iaitu  $20.5 \text{ kN/m}^3$ . Daripada pengiraan tersebut, Skim 6/7 didapati telah menghasilkan pertambahan tegasan terbesar iaitu  $200 \text{ kN/m}^2$  pada aras permukaan tanah liat dan tegasan terkecil dihasilkan oleh Skim 3/2 iaitu  $80 \text{ kN/m}^2$ . Jadual tersebut

menunjukkan perbezaan agihan tegasan yang dihasilkan pada kedalaman 8 m (sempadan lapisan tanah liat atas dan bawah) dengan tegasan pada permukaan aras tanah adalah kecil. Ini dapat memberikan gambaran awal bahawa lapisan tanah liat bawah turut mengalami pertambahan tegasan yang besar.

## 6.2 Ciri-ciri Asas

Ciri-ciri asas yang dipaparkan dalam bab ini adalah kandungan lembapan, graviti tentu, had-had Atterberg dan taburan saiz zarah. Keputusan bagi ujian makmal ciri-ciri asas ini dinyatakan dalam bab seterusnya.

### 6.2.1 Kandungan Lembapan dan Graviti Tentu

Ringkasan keputusan bagi nilai kandungan lembapan (*MC*) dan graviti tentu tanah bagi setiap jenis tambakan yang dipilih ditunjukkan pada Jadual 6.2. Taburan bagi nilai kandungan lembapan mengikut kedalaman ditunjukkan di Rajah 6.1. Rajah 6.1 menunjukkan kandungan lembapan bagi semua jenis tambakan yang dipilih adalah berjulat antara 41 % - 87 % untuk lapisan tanah liat atas dan 49 % - 72 % bagi lapisan tanah liat bawah. Nilai ini berkurang sehingga 49 % bagi lapisan atas berbanding julat asal adalah 80 % - 120 %. Namun demikian, kandungan lembapan lapisan bawah masih di dalam julat asal iaitu 50 % - 70 %. Pengurangan yang berlaku ini hampir serupa dengan kajian Bergado *et al.* (2002) terhadap tanah liat lembut bagi projek Lapangan Terbang Antarabangsa Bangkok.

Skim 6/7 dan 6/8 merupakan skim yang menunjukkan perubahan besar terhadap pengurangan nilai kandungan lembapan dengan nilainya sebanyak 41 % -

67 % sahaja. Ini kerana, skim ini telah menggunakan kaedah saliran tegak untuk mempercepatkan proses pengukuhan yang mana enapan yang terhasil merupakan yang terbesar berbanding jenis tambakan lain. Perkara ini sesuai dengan prinsip pengukuhan 1-dimensi, di mana kandungan air di dalam tanah akan keluar dari sampel tanah apabila dikenakan pertambahan tegasan.

Perbandingan terhadap kedua-dua lapisan iaitu tanah liat atas dan bawah dapat menggambarkan bahawa darjah pengukuhan yang berlaku pada lapisan tanah liat bawah adalah rendah berbanding tanah liat atas. Ini dapat ditunjukkan oleh perubahan yang kecil bagi kandungan lembapan pada lapisan bawah.

### **6.2.2 Had-had Atterberg**

Had-had Atterberg yang diperolehi dari analisis ujian makmal adalah had cecair (*LL*), had plastik (*PL*), indeks keplastikan (*PI*) dan indeks kecairan (*LI*). Keputusan bagi ciri-ciri had Atterberg ini ditunjukkan seperti di Jadual 6.3 dan taburan bagi nilai tersebut ditunjukkan di Rajah 6.2 hingga 6.5.

Daripada Rajah 6.2, didapati julat bagi *LL* untuk lapisan tanah liat atas adalah 50 % - 91 % dan julat bagi lapisan tanah liat bawah adalah 50 % - 81 %. Berbanding keputusan kajian lepas, julat had cecair bagi lapisan tanah liat atas adalah 50 % - 80 % (Rajah 2.14) dan 45 % - 65 % bagi lapisan tanah liat bawah. Ini menunjukkan kebanyakan sampel tanah liat atas telah mengalami peningkatan *LL* mengikut nilai purata sehingga 22 % (Jadual 6.5) kecuali sampel tanah liat atas bagi Skim 6/7 yang berkurang sebanyak 24 %. Manakala perubahan yang ditunjukkan oleh sampel tanah liat bawah adalah lebih kecil sedikit iaitu kurang daripada 16 %.

Begitu juga dengan *PL* yang mana berlaku peningkatan sehingga 41 % bagi lapisan tanah liat atas dan 36 % bagi lapisan bawah. Julat had plastik untuk lapisan tanah liat atas adalah 26 % - 45 % berbanding kajian lepas sebanyak 20 % - 38 % (Rajah 2.14). Manakala lapisan tanah liat bawah adalah 21 % - 40 % berbanding 18 % - 32 % bagi kajian lepas. Dalam hal ini, tiada penjelasan kukuh dapat disimpulkan kerana tiada atau kurang penjelasan daripada kajian lepas untuk mengaitkan pembebanan atau pertambahan tegasan dengan perubahan yang berlaku terhadap had-had atterberg ini. Berdasarkan Aziz (1993), nilai keplastikan tanah banyak dipengaruhi oleh jenis tanah, kandungan mineral tanah liat dan kandungan organik.

Nilai *PI* dan *LI* bergantung pada nilai *LL*, *PL* dan kandungan lembapan. Oleh itu, nilai *PI* dan *LI* kurang penting dalam penilaian terhadap perubahan yang berlaku. Keputusan bagi nilai *PI* dan *LI* ini turut ditunjukkan di Jadual 6.3 dan taburannya ditunjukkan seperti di Rajah 6.4 dan 6.5. Dengan mengabaikan Skim 6/7, nilai *PI* yang diperolehi berada dalam julat 37 % - 52 % bagi lapisan tanah liat atas berbanding kajian lepas berjulat 35 % - 56 %. Manakala lapisan tanah liat bawah pula berjulat 27 % - 37 % berbanding kajian lepas berjulat 18 % - 35 % (Rajah 2.14). Bagi *LI* pula, julat lapisan atas adalah 0.6 – 1.05 berbanding kajian lepas berjulat 0.9 – 2.0 (Rajah 2.14). Manakala lapisan bawah, *LI* berjulat 0.3 – 1.2 (Rajah 6.5) berbanding kajian lepas berjulat 1.0 – 1.5 (Rajah 2.14).

### 6.2.3 Taburan Saiz Zarah

Ujikaji penentuan taburan saiz zarah berpandukan BS 1377: Part 2: 1990 telah memberikan keputusan seperti yang diringkaskan dan ditunjukkan dalam Jadual 6.4. Taburan saiz zarah mengikut kedalaman dan jenis tambakan ditunjukkan di Rajah 6.6. Daripada rajah tersebut, didapati kandungan zarah tanah liat bagi lapisan atas berjulat 26 % - 55 % dan hampir sama dengan kandungan di lapisan bawah iaitu 33 % - 55 %. Keputusan ini hampir menyamai keputusan dahulu iaitu berjulat 25 % - 65 % bagi lapisan atas dan 35 % - 55 % bagi lapisan bawah. Ini menunjukkan



walaupun pembebanan tambahan boleh menyusun semula struktur tanah liat, namun ia tidak akan mempengaruhi peratusan kandungan sesuatu zarah.

#### **6.2.4 Ringkasan**

Secara keseluruhannya, peratusan perbezaan ciri-ciri asas bagi kajian terkini dan lepas ditunjukkan seperti di Jadual 6.5. Daripada pemerhatian terhadap keputusan tersebut, didapati perubahan terhadap ciri-ciri asas tanah banyak berlaku di lapisan tanah liat atas. Daripada Rajah 6.3, secara keseluruhan didapati kedudukan kandungan lembapan semulajadi bagi sampel tanah liat atas terletak di bawah had cecair berbanding kajian lepas (Rajah 2.14) menunjukkan kandungan lembapan melebihi had cecair. Ini menunjukkan proses pemadatan dan pengukuhan yang berlaku telah menyebabkan sebahagian air keluar daripada sampel tanah liat dengan lompong yang wujud telah terisi dengan zarah-zarah tanah liat akibat penyusunan semula struktur tanah liat.

### **6.3 Ciri-ciri Kebolehmampatan**

Sebanyak tiga puluh (30) sampel tanah pada kedudukan tegak dan ufuk telah diuji di dalam ujian oedometer satu dimensi dengan pengenaaan setiap beban selama 24 jam. Parameter yang dicari di dalam ujian ini adalah seperti nisbah lompong asal ( $e_o$ ), tekanan prapengukuhan ( $p_c$ ), indeks mampatan ( $C_c$ ), pekali kebolehmampatan isipadu ( $m_v$ ) dan pekali pengukuhan ( $c_v$ ). Keputusan bagi tekanan prapengukuhan ( $P_c$ ) ditunjukkan dalam Jadual 6.7. Ringkasan bagi parameter yang diperolehi dari keputusan ujian pengukuhan ini ditunjukkan dalam Jadual 6.6.

### 6.3.1 Tekanan Prapengukuhan ( $p_c$ ) dan Nisbah Terkukuh Lebih ( $OCR$ )

Nilai tekanan prapengukuhan diperolehi daripada plotan graf  $e - \log_{10} p$  di mana ia terletak pada titik yang menyebabkan lengkung mula turun dengan segera. Ia juga boleh menggambarkan alahan yang mula berlaku pada sesuatu jenis tanah. Keputusan bagi taburan  $p_c$  mengikut kedalaman ditunjukkan pada Rajah 6.7 dan ringkasan bagi setiap skim ini ditunjukkan dalam Jadual 6.6. Daripada Rajah 6.7 tersebut, nilai  $p_c$  didapati bagi tanah liat atas adalah ber julat 70 – 120 kN/m<sup>2</sup>. Semua jenis tambakan didapati mengalami peningkatan terhadap nilai  $p_c$  iaitu dari 20 – 65 kN/m<sup>2</sup> dari garisan normal keputusan lepas dan peratus perbezaan bagi kajian lepas dan terkini untuk setiap skim ditunjukkan seperti di Jadual 6.7. Antara kelima-lima jenis tambakan, Skim 6/7 mempunyai nilai  $p_c$  tertinggi iaitu 120 kN/m<sup>2</sup> dengan peningkatan sehingga 161 %.

Bagi lapisan tanah liat bawah pula, julat  $p_c$  adalah 60 – 260 kN/m<sup>2</sup>. Keputusan yang ditunjukkan oleh Skim 3/2, 3/4 dan 6/8 adalah lebih rendah dari garisan normal keputusan lepas. Berdasarkan Holtz dan Kovacs (1981), beliau menyatakan gangguan pada sampel tanah liat yang peka boleh memberikan kesan kepada lengkung pengukuhan yang seterusnya memberikan nilai yang kurang tepat terhadap  $p_c$ . Walau bagaimanapun, nilai  $p_c$  ini masih lagi hampir dengan garisan normal keputusan lepas. Sama seperti di lapisan atas, Skim 6/7 menunjukkan nilai  $p_c$  tertinggi iaitu 260 kN/m<sup>2</sup>. Bagi lapisan antara tanah liat atas dan bawah, nilai  $p_c$  yang ditunjukkan lebih hampir kepada garisan normal keputusan lepas dan boleh dikatakan sebagai tiada atau kurang perubahan.

Bagi pengiraan nisbah terkukuh lebih ( $OCR$ ), aras permukaan bumi asal digunapakai untuk mengira tegasan tanggungan atas tegak terkini ( $\sigma'_{vo}$ ). Ringkasan keputusan dan taburan nilai  $OCR_{maks}$  dan  $OCR_{min}$  bagi setiap skim masing-masing ditunjukkan dalam Jadual 6.6 dan Rajah 6.8. Julat  $OCR_{maks}$  bagi lapisan atas dan bawah masing-masing adalah 2.26 – 3.64 dan 0.66 – 2.85. Berbanding kajian lepas, julat lapisan atas adalah 1.2 – 1.9 dan lapisan bawah ber julat 0.9 – 1.7 seperti dalam

Rajah 2.14. Ini menunjukkan lapisan atas telah mengalami peningkatan nilai  $OCR$  sehingga 135 % berbanding peningkatan  $OCR$  sebanyak 107 % bagi lapisan bawah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 6.7. Penggunaan istilah  $OCR_{maks}$  dan  $OCR_{min}$  di sini adalah merujuk pada keadaan piezometrik maksimum dan minimum.

Ini dapat disimpulkan bahawa, proses pengukuhan yang berlaku ke atas lapisan tanah liat lembut ini lebih banyak memberikan kesan pada lapisan atas berbanding dengan lapisan bawah terutama yang berdekatan dengan sempadan boleh telap. Antara kelima-lima jenis tambakan, Skim 6/7 telah menunjukkan perubahan kelakuan yang amat ketara hasil daripada kesan saliran tegak dan vakum di samping pembebanan yang besar.

### 6.3.2 Nisbah Lompang Awal ( $e_o$ )

Nisbah lompang awal ( $e_o$ ) banyak mempengaruhi ciri-ciri kejuruteraan tanah termasuklah kebolehmampatan, kebolehtelapan dan kekuatan ricih tanah. Taburan bagi nilai  $e_o$  ditunjukkan pada Rajah 6.9. Julat bagi  $e_o$  ini didapati bernilai 1.13 hingga 2.23 bagi lapisan tanah liat atas dan 1.35 hingga 1.75 bagi lapisan tanah liat bawah. Ini menunjukkan perbezaan yang agak ketara bagi lapisan atas yang mana julat keputusan lepas adalah 2.2 hingga 3.0, iaitu penurunan hingga 44 %. Penurunan ini disebabkan kandungan lembapan semulajadi dalam lapisan tanah liat atas berkurangan akibat proses pengukuhan. Ini sesuai dengan keadaan di mana lompang yang terisi air tadi telah diisi pula dengan zarah-zarah tanah hasil daripada penyusunan semula struktur tanah. Tambahan lagi, Leroueil *et al.* (1990) menyatakan bahawa Taylor (1942) dan Bjerrum (1967) telah membuktikan penuaan tanah liat di bawah tegasan berkesan tetap, akan mengurangkan nisbah lompang. Keputusan ini juga menunjukkan Skim 6/7 telah menunjukkan perubahan yang paling besar berbanding skim lain terutama tambakan 6m.

Berbanding dengan lapisan bawah, keputusan yang diperolehi sekarang masih atau dekat dengan julat keputusan terdahulu iaitu 1.4 hingga 2.0. Walau bagaimanapun, Skim 6/7 dan 6/8 telah menunjukkan penurunan masing-masing sehingga 22 % dan 24 %. Ini menunjukkan kesan pembebanan dari tambahan kurang memberikan kesan pada lapisan bawah dan hanya lebih terserak ke lapisan tanah liat atas.

### 6.3.3 Indeks Mampatan ( $C_c$ )

Indeks mampatan ( $C_c$ ) merupakan kecerunan bahagian lurus bagi lengkung  $e - \log_{10} p$ . Cerun pada lengkung yang menurun dengan segera selepas  $p_c$  digunakan dalam mengira nilai  $C_c$ . Keputusan dan taburan nilai  $C_c$  bagi setiap tambahan terpilih masing-masing ditunjukkan pada Jadual 5.6 dan Rajah 6.10. Daripada Rajah 6.10, didapati julat  $C_c$  lapisan atas adalah dari 0.36 hingga 1.36 berbanding kajian lepas 1.0 hingga 2.2. Dari segi purata, ini menunjukkan nilai  $C_c$  semakin berkurang sehingga 68 % dengan Skim 6/7 mencatat perubahan terbesar seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 6.7.

Bagi lapisan bawah pula, julat  $C_c$  adalah 0.42 hingga 0.86 berbanding kajian lepas 0.6 hingga 1.3 dengan penurunan sehingga 56 %. Penurunan nilai  $C_c$  ini sesuai dengan penurunan yang berlaku pada nilai  $e_o$  di mana  $C_c$  berkadar langsung dengan  $e_o$  seperti yang ditunjukkan oleh Yusof (2003). Faktor lain yang mungkin mempengaruhi nilai  $C_c$  ini adalah peratusan kandungan mineral monmorilonit di dalam zarah tanah liat. Seperti yang dinyatakan oleh Holtz & Kovacs (1981), kandungan mineral ini dapat mempengaruhi kandungan lembapan semulajadi seterusnya boleh mempengaruhi nilai  $C_c$ .

Bagi indeks mampatan ternormal ( $C_c / 1 + e_o$ ), julat yang dihasilkan bagi lapisan tanah liat atas adalah 0.17 – 0.42 seperti yang ditunjukkan di Rajah 6.11,

berbanding kajian lepas 0.3 – 0.55. Dari segi purata, penurunan yang berlaku adalah sehingga 52 % iaitu pada Skim 6/7. Manakala lapisan bawah pula, julat  $C_c / 1 + e_o$  adalah 0.18 – 0.32 berbanding kajian lepas 0.23 – 0.43 yang membawa penurunan sehingga 45 % pada Skim 6/8. Secara keseluruhannya, tambakan yang mempunyai kesan saliran tegak telah menunjukkan perubahan yang paling besar terutamanya tambakan 6 m.

#### 6.3.4 Pekali Pengukuhan Menegak ( $c_v$ ) dan Mengufuk ( $c_h$ )

Nilai pekali pengukuhan yang diperolehi di sini adalah berdasarkan nilai purata pekali pengukuhan sampel yang dikenakan beban  $100 \text{ kN/m}^2$  ke atas iaitu selepas titik alah atau nilai  $p_c$ . Keputusan bagi pekali pengukuhan  $c_v$  dan  $c_h$  ini ditunjukkan seperti di Jadual 6.6. Daripada jadual tersebut didapati julat  $c_v$  bagi lapisan tanah liat atas adalah  $0.52 - 1.14 \text{ m}^2/\text{tahun}$  berbanding kajian lepas berjulat  $1.0 - 1.9 \text{ m}^2/\text{tahun}$ . Bagi lapisan tanah liat bawah pula, nilai  $c_v$  berjulat  $0.50 - 0.76 \text{ m}^2/\text{tahun}$ . Ini menunjukkan telah berlaku pengurangan sehingga 63 % bagi lapisan atas dan 74 % bagi lapisan bawah seperti yang ditunjukkan di Jadual 6.7. Perubahan ini menyaksikan semua tambakan mengalami perubahan besar dengan julat antara 19 % -74 % kecuali lapisan tanah liat atas Skim 6/7. Ini mungkin disebabkan gangguan sampel pada tanah liat ini yang seterusnya mempengaruhi lengkung pengukuhan yang dihasilkan.

Bagi pekali pengukuhan mengufuk ( $c_h$ ) pula, julat  $c_h$  lapisan tanah liat atas adalah  $0.98 - 1.44 \text{ m}^2/\text{tahun}$  berbanding kajian lepas  $0.9 - 2.7 \text{ m}^2/\text{tahun}$ . Bagi lapisan tanah liat bawah, julat  $c_h$  antara  $0.78 - 1.51 \text{ m}^2/\text{tahun}$  berbanding kajian lepas  $1.8 - 2.5 \text{ m}^2/\text{tahun}$ . Ini menyaksikan perubahan sehingga 47 % dan 65 % masing-masing bagi lapisan tanah liat atas dan bawah. Secara umumnya, didapati perubahan yang lebih besar berlaku terhadap  $c_v$  berbanding  $c_h$  di mana lapisan tanah liat bawah menunjukkan perubahan lebih besar. Walaupun demikian, kebanyakan perubahan

yang berlaku melibatkan julat yang kecil dan perkara ini sukar untuk ditafsirkan kerana tiada kesimpulan yang dilaporkan pada kajian lepas.

## **6.4 Kekuatan Ricih**

### **6.4.1 Ujian Ricih Bilah**

Pengujian kekuatan ricih tak tersalir tanah liat lembut Muar ini adalah berdasarkan penggunaan alatan ricih bilah Acker. Di dalam ujian ini, bilah yang berbentuk prisma di masukkan ke sampel tanah liat tak terganggu sedalam tiga kali panjang bilah sebelum diputar hingga gagal. Sebanyak tiga titik kedalaman bagi setiap jenis tambakan terpilih telah diuji kecuali Skim 3/4 dan Skim 6/6 hanya dua titik yang diuji.

Jadual 6.8 menunjukkan keputusan ujian ricih bilah di-situ di mana nilai kekuatan ricih taktersalir diuji semula dan kepekaan turut dicatatkan. Manakala Rajah 6.12 menunjukkan perbandingan keputusan kajian terkini dan kajian lepas bagi setiap tambakan terpilih. Daripada Jadual 6.8, didapati kebanyakan tanah liat yang diuji mempunyai kepekaan sederhana (2 – 4) kecuali Skim 3/2 yang mempunyai kepekaan lebih daripada 5 (sangat peka - sedikit jerlus).

Daripada pemerhatian terhadap Rajah 6.12, didapati tambakan 6 m menunjukkan peningkatan yang agak besar sesuai dengan ramalan dan kajian lepas oleh Bjerrum (1972). Peningkatan kekuatan ricih tak tersalir sehingga 180 % pada lapisan tanah liat atas telah dicatatkan bagi Skim 6/8. Manakala lapisan tanah liat bawah, Skim 6/6 telah menunjukkan peningkatan terbesar sehingga 126 %. Lambe

(1972) telah melaporkan kekuatan ricih taktersalir dalam kajiannya di Lagunillas Venezuela mencapai peningkatan sehingga 100 % dalam masa tiga tahun. Manakala Bourges *et al.* (1973) melaporkan peningkatan sehingga 70 % dalam sebelas bulan. Di dalam kajian ini, Skim 6/7 telah menunjukkan peningkatan sehingga 100 % dalam 17 bulan dan meningkat lagi sebanyak 20 % selepas 14 tahun. Ini menunjukkan kadar peningkatan kekuatan ricih tak tersalir tanah liat bergantung pada jumlah bebanan dan juga kaedah pembaikan tanah yang mampu mempercepatkan proses pengukuhan. Walaupun proses pengukuhan sekunder mengambil masa yang panjang, ia turut meningkatkan kekuatan ricih tak tersalir seperti yang ditunjukkan oleh Skim 6/7 tersebut.

Berbanding dengan tambakan 3 m, peningkatan terhadap kekuatan ricih tak tersalir yang dikaji hanya berlaku pada lapisan tanah liat atas. Bagi lapisan tanah liat bawahnya, keputusan yang ditunjukkan adalah kurang meyakinkan di mana, kekuatan ricih bilah yang diperolehi adalah lebih rendah atau hampir sama dengan kajian lepas. Kes ini sama seperti yang dicatat oleh Holtz & Lindskog (1972) di tambakan ujian skala penuh Ska-Edeby, Sweden di mana bacaan yang dicatat adalah hampir sama selepas 10 tahun binaan walaupun ia telah mengalami enapan sebanyak 0.6 m. Ini mungkin disebabkan enapan yang dicatat adalah disebabkan rayapan mengufuk tanah liat tersebut. Faktor-faktor lain yang mungkin mempengaruhi keputusan ricih bilah ini seperti yang dinyatakan oleh Andresen (1981) adalah dimensi bilah, bentuk bilah, kedalaman bilah dimasukkan, kadar pusingan bilah, geseran dan kesan tiksotrofik.

Secara keseluruhannya, didapati tanah liat lembut di bawah tambakan Skim 6/7 telah mengalami perubahan yang paling besar seperti yang ditunjukkan di Rajah 6.13. Ini sesuai dengan kesan kaedah pembaikan tanah yang dijalankan di mana kesan saliran tegak, prabeban dan vakum telah menyebabkan pengukuhan dapat berlaku dengan lebih berkesan dan cepat sehingga ke lapisan tanah liat bawah.

#### 6.4.2 Ujian Tiga Paksi Terkukuh Tak Bersalir (CU)

Jadual 6.10 menunjukkan parameter-parameter kekuatan ricih berkesan tanah liat lembut di bawah tambakan cubaan Muar. Bagi lapisan tanah liat atas, julat nilai kejelekitan berkesan ( $c'$ ) adalah 7 – 26 kN/m<sup>2</sup>, manakala lapisan tanah liat bawah adalah 5 – 30 kN/m<sup>2</sup>. Berbanding dengan kajian lepas oleh Balasubramaniam *et al.* (1989), nilai  $c'$  bagi lapisan tanah liat atas berjulat antara 8 – 22 kN/m<sup>2</sup> dan lapisan bawah berjulat 9 – 16 kN/m<sup>2</sup>. Sekiranya keputusan kajian terkini dibandingkan dengan nilai purata kajian lepas, ia memberikan perbezaan yang tidak seragam di mana terdapatnya kenaikan dan penurunan bagi nilai  $c'$  seperti yang ditunjukkan di Jadual 6.11. Kenaikan yang dicatat adalah sehingga 140 % dan penurunannya sehingga 67 %.

Bagi sudut geseran dalaman berkesan ( $\phi'$ ) pula, julat bagi lapisan tanah liat atas adalah 15° - 22°, berbanding kajian lepas berjulat 7° - 12.5°. Manakala lapisan tanah liat bawah, julat  $\phi'$  adalah 19° - 23° berbanding kajian lepas berjulat 17° - 20°. Daripada perbandingan ini, didapati purata peningkatan  $\phi'$  mencapai sehingga 120 % yang diperolehi dari Skim 6/8.

### 6.5 Ringkasan

Daripada perbandingan yang telah dibuat terhadap ciri-ciri asas, pengukuhan dan kekuatan ricih tanah bagi kajian ini dengan yang lepas menunjukkan terdapatnya perubahan yang besar terutamanya ujian pengukuhan dan kekuatan ricih. Perubahan yang berlaku ini sesuai dengan kaedah pembaikan tanah yang dibuat terhadap skim-skim dan juga tegasan yang bertindak ke atas tanah liat. Skim yang memberikan kesan terbesar terhadap perubahan kelakuan tanah liat lembut adalah Skim 6/7 yang menggunakan kaedah saliran tegak, prabeban dan vakum dalam pembaikan tanah.



**Jadual 6.1: Pertambahan tegasan di bawah Tambakan Cubaan Muar yang dikaji**

<b>Jenis Tambakan</b>	<b>Kaedah Pembaikan Tanah</b>	<b>Ketinggian Tambakan (m)</b>	<b><math>\Delta\sigma</math> di permukaan asal (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\Delta\sigma</math> di kedalaman 8 m (kN/m<sup>2</sup>)</b>
Skim 3/2	Kawalan (Tiada pembaikan)	3.9	80	75
Skim 3/4	Prabeban & Saliran Tegak	6.07 (dikurangkan hingga 5.36 m pada hari ke-305)	124	119
Skim 6/6	Kawalan (Tiada pembaikan)	7.25	149	144.5
Skim 6/7	Prabeban, Saliran Tegak & Vakum	9.76	200	195
Skim 6/8	Prabeban & Saliran Tegak	8.53	175	171.5

**Jadual 6.2: Nilai kandungan lembapan semulajadi dan graviti tentu**

Jenis Tambakan	Lapisan Tanah	Kandungan Lembapan Semulajadi (%)	Graviti Tentu $G_s$
Skim 3/2 (Kawalan)	Tanah Liat Atas	66 - 85	2.67
	Tanah Liat Bawah	62 - 67	2.67
Skim 3/4 (Saliran Tegak)	Tanah Liat Atas	43 - 87	2.63 - 2.67
	Tanah Liat Bawah	60 - 72	2.67
Skim 6/6 (Kawalan)	Tanah Liat Atas	55 - 77	2.66
	Tanah Liat Bawah	54 - 58	2.68
Skim 6/7 (Saliran Tegak & Vakum)	Tanah Liat Atas	41 - 66	2.68
	Tanah Liat Bawah	50 - 53	2.68
Skim 6/8 (Saliran Tegak)	Tanah Liat Atas	44 - 67	2.71 - 2.74
	Tanah Liat Bawah	49 - 54	2.68

**Jadual 6.3: Ciri-ciri keplastikan tanah**

Jenis Tambakan	Lapisan Tanah	Had Plastik, $PL$ (%)	Had Cecair, $LL$ (%)	Indeks Keplastikan, $PI$ (%)	Indeks Kecairan, $LI$	Keaktifan A
Skim 3/2 (Kawalan)	Tanah Liat Atas	26 - 36	74 - 76	38 - 50	0.88 - 1.05	1.12 - 1.22
	Tanah Liat Bawah	26	63	37	1.00 - 1.05	0.93
Skim 3/4 (Saliran Tegak)	Tanah Liat Atas	37 - 45	89 - 91	46 - 52	0.87 - 0.89	0.92 - 0.95
	Tanah Liat Bawah	21 - 26	52 - 60	31 - 34	1.00 - 1.03	1.03
Skim 6/6 (Kawalan)	Tanah Liat Atas	33 - 38	75 - 83	37 - 50	0.82 - 0.97	0.93 - 0.97
	Tanah Liat Bawah	25 - 27	53 - 56	28 - 29	1.03 - 1.11	0.58
Skim 6/7 (Saliran Tegak & Vakum)	Tanah Liat Atas	27	50	23	0.61	0.85 - 1.00
	Tanah Liat Bawah	28 - 40	56 - 81	28 - 36	0.58 - 0.82	0.56
Skim 6/8 (Saliran Tegak)	Tanah Liat Atas	29	78	49	0.67	0.98 - 1.36
	Tanah Liat Bawah	23 - 34	50 - 70	27 - 35	0.46 - 0.96	0.63

**Jadual 6.4: Kandungan zarah dan pengelasan tanah**

<b>Jenis Tambakan</b>	<b>Lapisan Tanah</b>	<b>Tanah Liat (%)</b>	<b>Kelodak (%)</b>	<b>Pasir (%)</b>	<b>Pengelasan Tanah (BSCS)</b>
Skim 3/2 (Kawalan)	Tanah Liat Atas	41	59	0	CV
	Tanah Liat Bawah	40	60	0	CH
Skim 3/4 (Saliran Tegak)	Tanah Liat Atas	55	45	0	CI - CV
	Tanah Liat Bawah	33	53	14	CH
Skim 6/6 (Kawalan)	Tanah Liat Atas	54	46	0	CH - CV
	Tanah Liat Bawah	48	52	0	CH
Skim 6/7 (Saliran Tegak & Vakum)	Tanah Liat Atas	27	35	38	CI - CV
	Tanah Liat Bawah	55	45	0	CH
Skim 6/8 (Saliran Tegak)	Tanah Liat Atas	36	41	23	CV
	Tanah Liat Bawah	43	57	0	CI

**Jadual 6.5: Perbezaan nilai purata ciri-ciri asas tanah liat di bawah Tambakan  
Cubaan Muar bagi kajian terkini dan lepas**

<b>Jenis Tambakan</b>	<b>Lapisan Tanah</b>	<b>Kandungan Lembapan (%)</b>	<b>Had Plastik, <i>PL</i> (%)</b>	<b>Had Cecair, <i>LL</i> (%)</b>	<b>Indeks Keplastikan, <i>PI</i> (%)</b>	<b>Indeks Kecairan, <i>LI</i> (%)</b>
Skim 3/2 (Kawalan)	Tanah Liat Atas	-24	7	1	-4	-36
	Tanah Liat Bawah	-0	7	-2	32	-18
Skim 3/4 (Saliran Tegak)	Tanah Liat Atas	-35	41	22	7	-41
	Tanah Liat Bawah	1.5	-4	6	23	-18
Skim 6/6 (Kawalan)	Tanah Liat Atas	-34	24	5	-4	-40
	Tanah Liat Bawah	-13.8	4	4	7	-14
Skim 6/7 (Saliran Tegak & Vakum)	Tanah Liat Atas	-46	-7	-24	-50	-59
	Tanah Liat Bawah	-20	36	16	14	-44
Skim 6/8 (Saliran Tegak)	Tanah Liat Atas	-44	0	5	7	-55
	Tanah Liat Bawah	-20	16	13	11	-43

**Jadual 6.6: Parameter-parameter pengukuhan tanah liat lembut Muar**

Jenis Tambakan	Lapisan Tanah	Tekanan Prapengukuhan $P_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	Nisbah Terkukuh Lebih ( $OCR_{maks}$ )	Nisbah Terkukuh Lebih ( $OCR_{min}$ )	Nisbah Lompang Asal ( $e_0$ )	Indeks Mampatan, $C_c$	Indeks Mampatan ternormal, $C_c / 1 + e_0$	Pekali Pengukuhan Tegak, $c_v$ (m <sup>2</sup> /tahun)	Pekali Pengukuhan Ufuk, $c_h$ (m <sup>2</sup> /tahun)
Skim 3/2 (Kawalan)	Tanah Liat Atas	100	3.64	2.43	1.87	1.12	0.39	0.59	1.04
	Tanah Liat Bawah	100	1.11	1.02	1.75	0.87	0.32	0.61	0.78
Skim 3/4 (Saliran Tegak)	Tanah Liat Atas	80	2.66	1.87	2.23	1.36	0.42	0.76	0.98
	Tanah Liat Bawah	60	0.66	0.60	1.67	0.55	0.21	0.51	0.81
Skim 6/6 (Kawalan)	Tanah Liat Atas	90	2.72	1.96	1.98	0.86	0.29	0.52	1.16
	Tanah Liat Bawah	80	1.68	1.39	1.53	0.47	0.19	0.76	0.79
Skim 6/7 (Saliran Tegak & Vakum)	Tanah Liat Atas	120	3.26	2.47	1.13 - 1.78	0.36 - 0.68	0.17 - 0.24	1.14	1.44
	Tanah Liat Bawah	150 - 260	2.76 - 2.85	2.41 - 2.62	1.39	0.53	0.22	0.50	1.51
Skim 6/8 (Saliran Tegak)	Tanah Liat Atas	70	2.26	1.62	1.69 - 1.75	0.57 - 0.61	0.21 - 0.22	0.63	1.23
	Tanah Liat Bawah	75 - 90	1.10 - 1.64	1.00 - 1.37	1.35	0.42	0.18	0.58	0.82

**Jadual 6.7: Perbezaan nilai purata ciri-ciri pengukuhan tanah liat di bawah Tambakan Cubaan Muar bagi kajian terkini dan lepas**

Jenis Tambakan	Lapisan Tanah	$P_c$ (%)	$OCR_{maks}$ (%)	$OCR_{min}$ (%)	$e_o$ (%)	$C_c$ (%)	$C_c / 1 + e_o$ (%)	$c_v$ (%)	$c_h$ (%)
Skim 3/2 (Kawalan)	Tanah Liat Atas	117	135	87	-28	-30	-9	-58	-39
	Tanah Liat Bawah	5	-18	-11	-2	-8	-3	-69	-65
Skim 3/4 (Saliran Tegak)	Tanah Liat Atas	74	72	44	-14	-15	-2	-46	-42
	Tanah Liat Bawah	-39	-51	-47	-6	-42	-36	-73	-63
Skim 6/6 (Kawalan)	Tanah Liat Atas	96	75	51	-24	-46	-33	-63	-47
	Tanah Liat Bawah	-16	24	21	-14	-51	-42	-60	-64
Skim 6/7 (Saliran Tegak & Vakum)	Tanah Liat Atas	161	110	90	-44	-68	-52	-19	-15
	Tanah Liat Bawah	116	107	119	-22	-44	-33	-74	-31
Skim 6/8 (Saliran Tegak)	Tanah Liat Atas	52	46	25	-34	-63	-50	-55	-28
	Tanah Liat Bawah	-13	1	3	-24	-56	-45	-69	-63

**Jadual 6.8: Keputusan ujian ricih bilah di-situ**

Jenis Tambakan	Aras Laras (m)	Kekuatan Ricih, $s_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	Kekuatan Ricih, $s_r$ (kN/m <sup>2</sup> )	Kepekaan
Skim 3/2	-4.425	16.37	1.49	10.99
	-7.425	17.86	1.49	12.0
	-10.425	17.86	2.98	5.99
Skim 3/4	-4.52	33.48	33.48	1.0
	-7.52	7.02	2.73	2.57
	-10.52	23.40	8.20	2.85
Skim 6/6	-5.1	26.79	13.39	2.0
	-11.1	51.34	24.6	2.08
Skim 6/7	-6.05	44.64	15.63	2.86
	-9.05	55.8	21.21	2.63
Skim 6/8	-4.65	42.41	24.10	1.76
	-7.65	33.48	8.93	3.75
	-10.65	31.25	10.04	3.11

**Jadual 6.9: Kekuatan ricih tak tersalir dinormalkan**

Jenis Tambakan	Aras Laras (m)	$s_u/p_o$ min	$s_u/p_o$ maks
Skim 3/2	-4.425	0.44	0.34
	-7.425	0.34	0.29
	-10.425	0.25	0.23
Skim 3/4	-4.52	0.44	0.34
	-7.52	0.34	0.29
	-10.52	0.25	0.23
Skim 6/6	-5.1	0.66	0.53
	-11.1	0.68	0.62
Skim 6/7	-6.05	0.99	0.81
	-9.05	0.89	0.79
Skim 6/8	-4.65	1.12	0.87
	-7.65	0.63	0.54
	-10.65	0.43	0.39

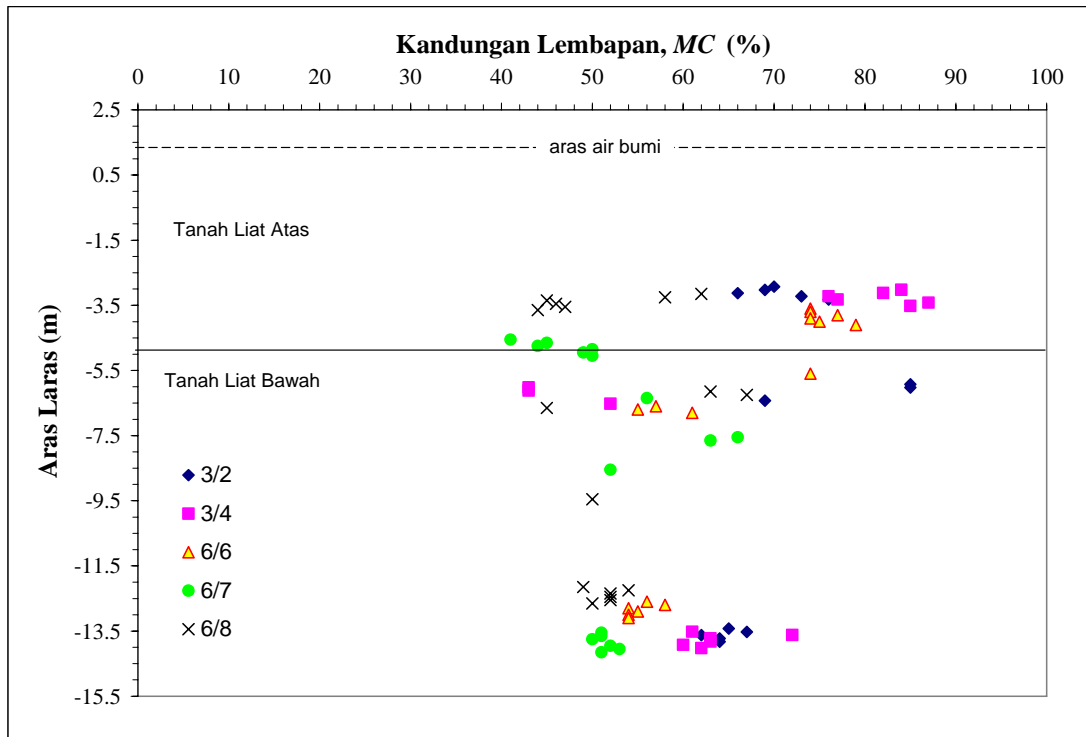
**Jadual 6.10: Parameter-parameter kekuatan ricih berkesan tanah**

Jenis Tambakan	Lapisan Tanah	Kejelekitan Berkesan, $c'$ ( $\text{kN/m}^2$ )	Sudut Geseran Berkesan, $\phi'$ ( $^\circ$ )
Skim 3/2	Tanah Liat Atas	7	15
	Tanah Liat Bawah	18	19
Skim 3/4	Tanah Liat Atas	26	18
	Tanah Liat Bawah	5	23
Skim 6/6	Tanah Liat Atas	8	20
	Tanah Liat Bawah	10	21
Skim 6/7	Tanah Liat Atas	25	19
	Tanah Liat Bawah	20	21
Skim 6/8	Tanah Liat Atas	10	22
	Tanah Liat Bawah	30	19

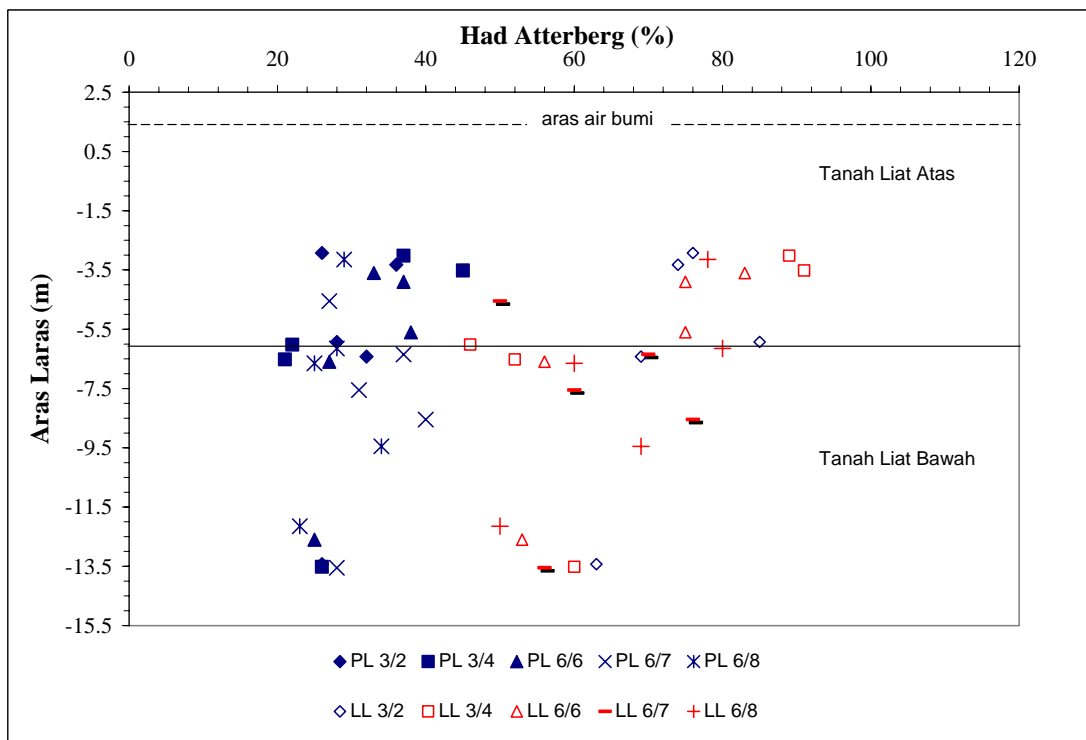
**Jadual 6.11: Perbezaan nilai purata parameter-parameter kekuatan ricih berkesan tanah bagi kajian terkini dan lepas**

Jenis Tambakan	Lapisan Tanah	Kejelekitan Berkesan, $c'$ (%)	Sudut Geseran Berkesan, $\phi'$ (%)
Skim 3/2	Tanah Liat Atas	-53	50
	Tanah Liat Bawah	44	5
Skim 3/4	Tanah Liat Atas	73	80
	Tanah Liat Bawah	-67	24
Skim 6/6	Tanah Liat Atas	-47	100
	Tanah Liat Bawah	-20	14
Skim 6/7	Tanah Liat Atas	67	90
	Tanah Liat Bawah	60	14
Skim 6/8	Tanah Liat Atas	-33	120
	Tanah Liat Bawah	140	3

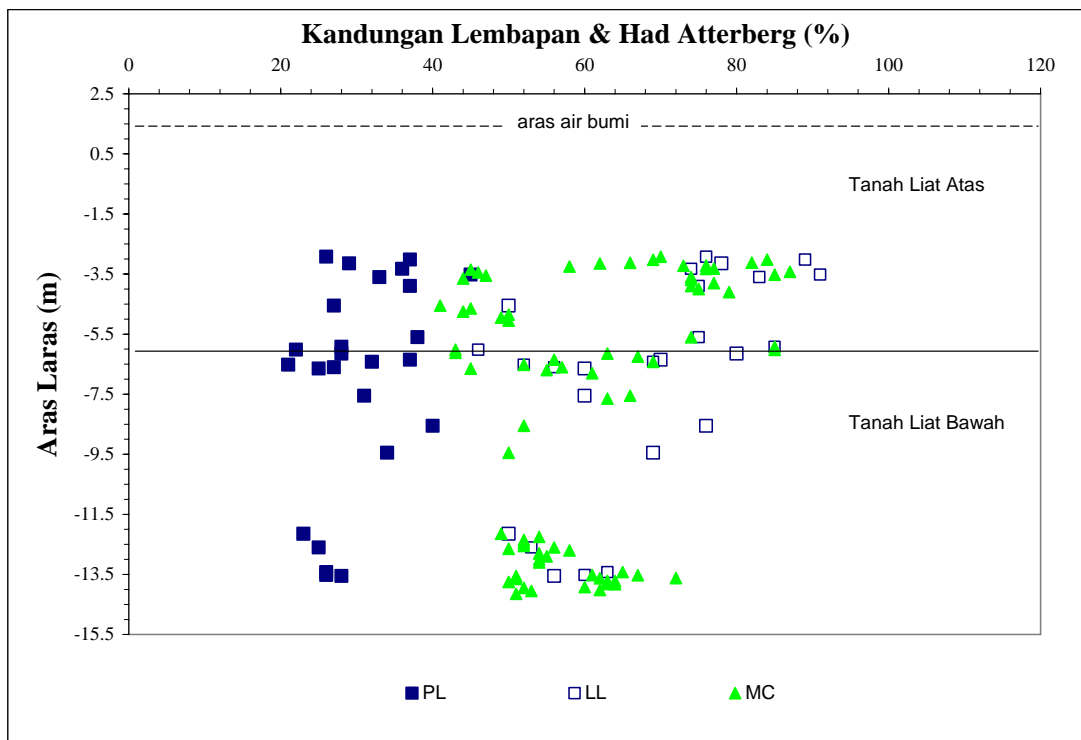




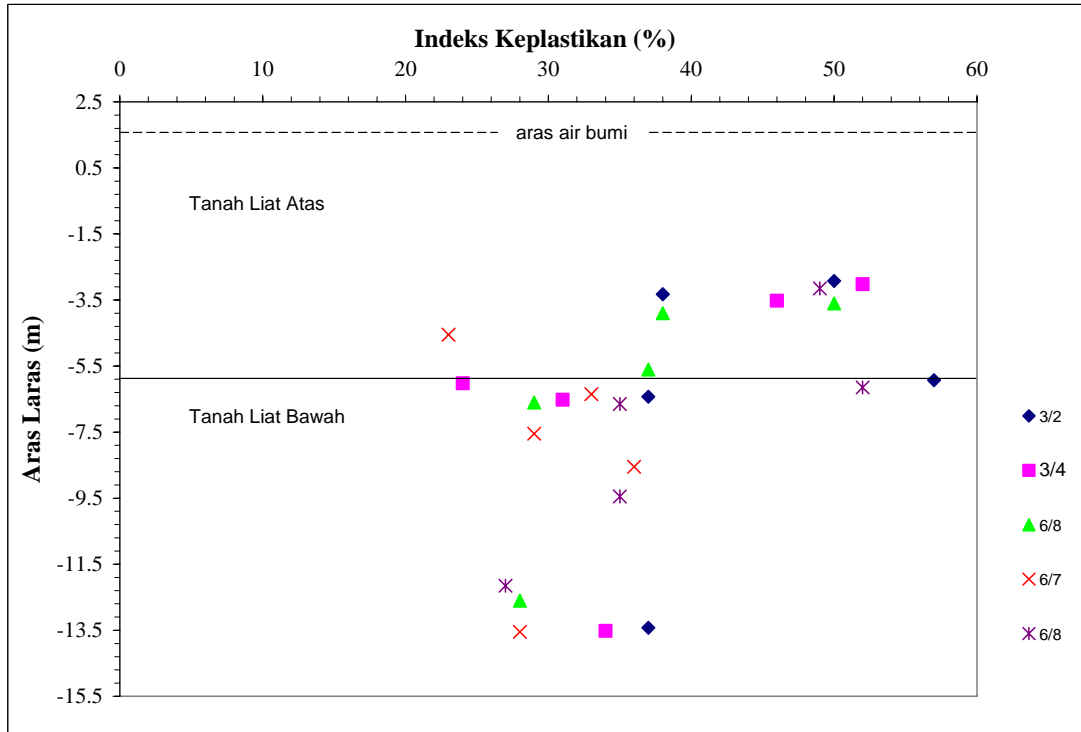
**Rajah 6.1: Taburan kandungan lembapan mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih**



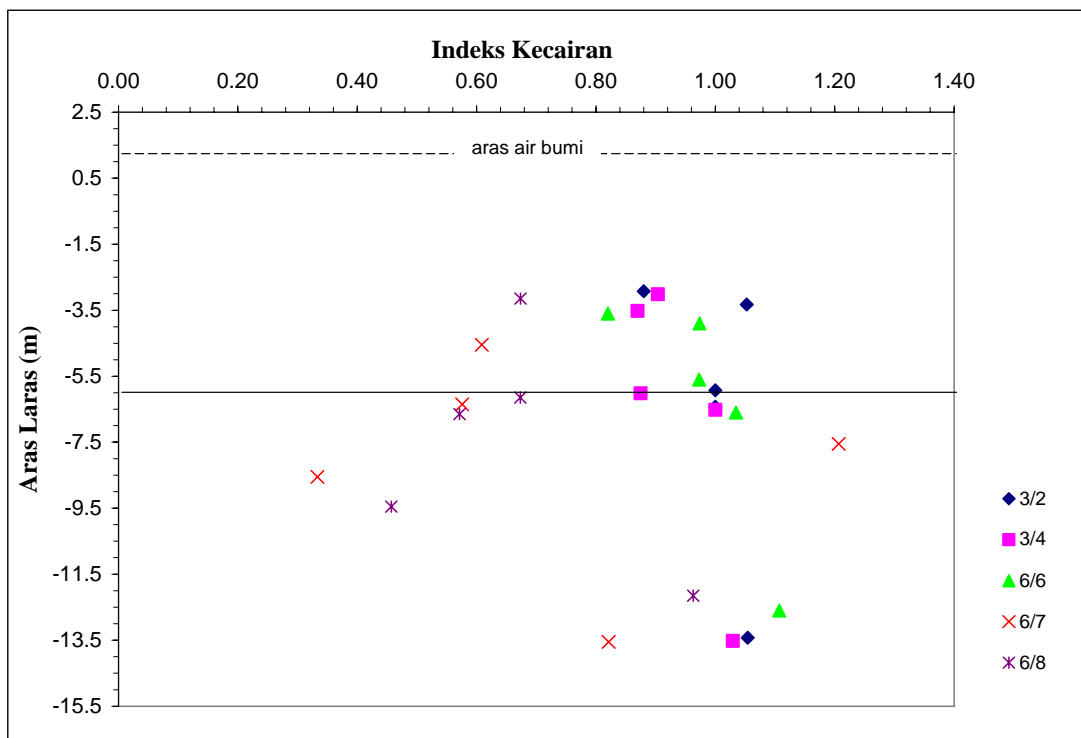
**Rajah 6.2: Taburan had plastik dan had cecair mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih**



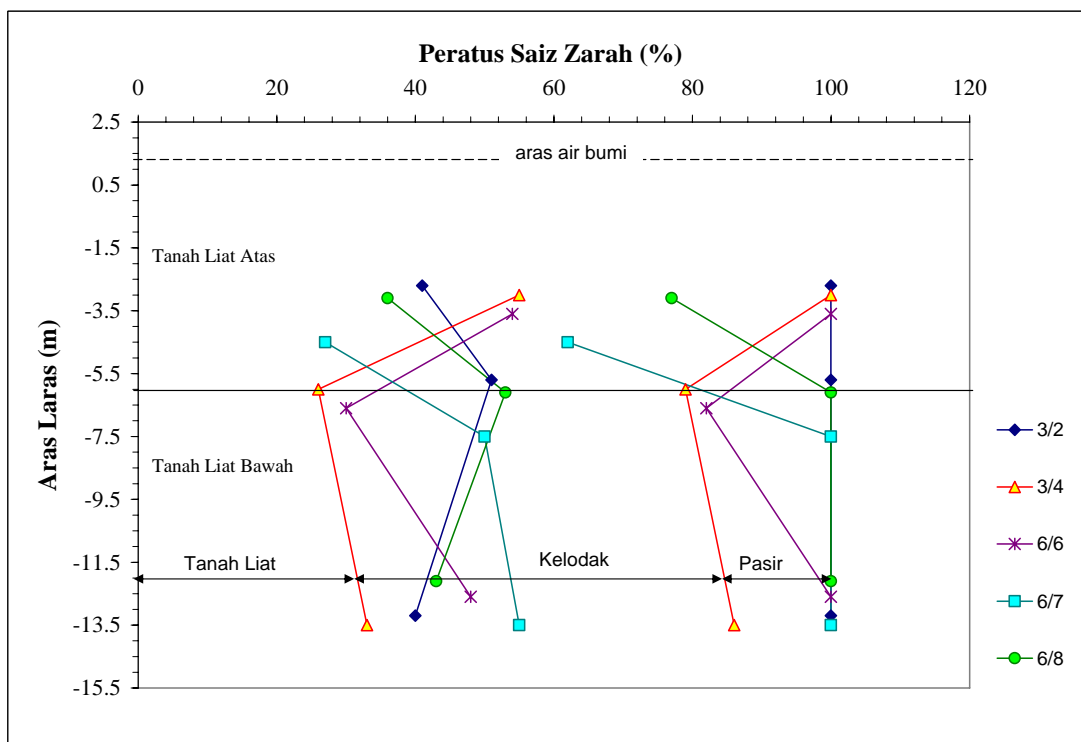
**Rajah 6.3: Taburan kandungan lembapan dan had Atterberg mengikut kedalaman**



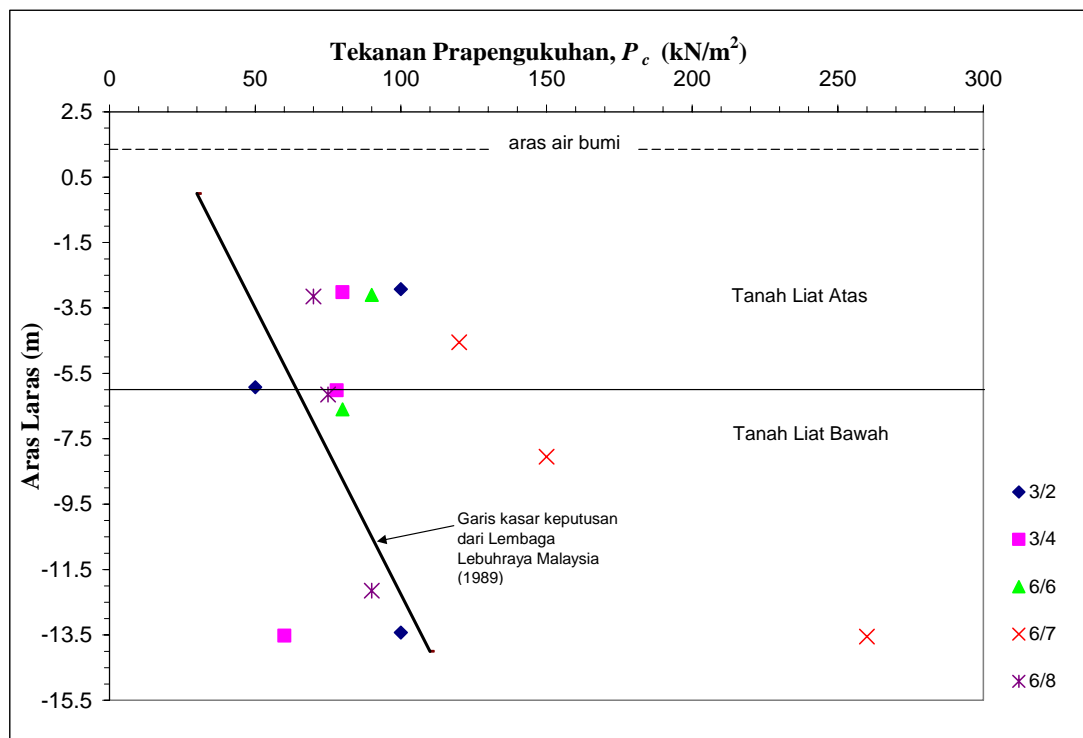
**Rajah 6.4: Taburan indeks keplastikan mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih**



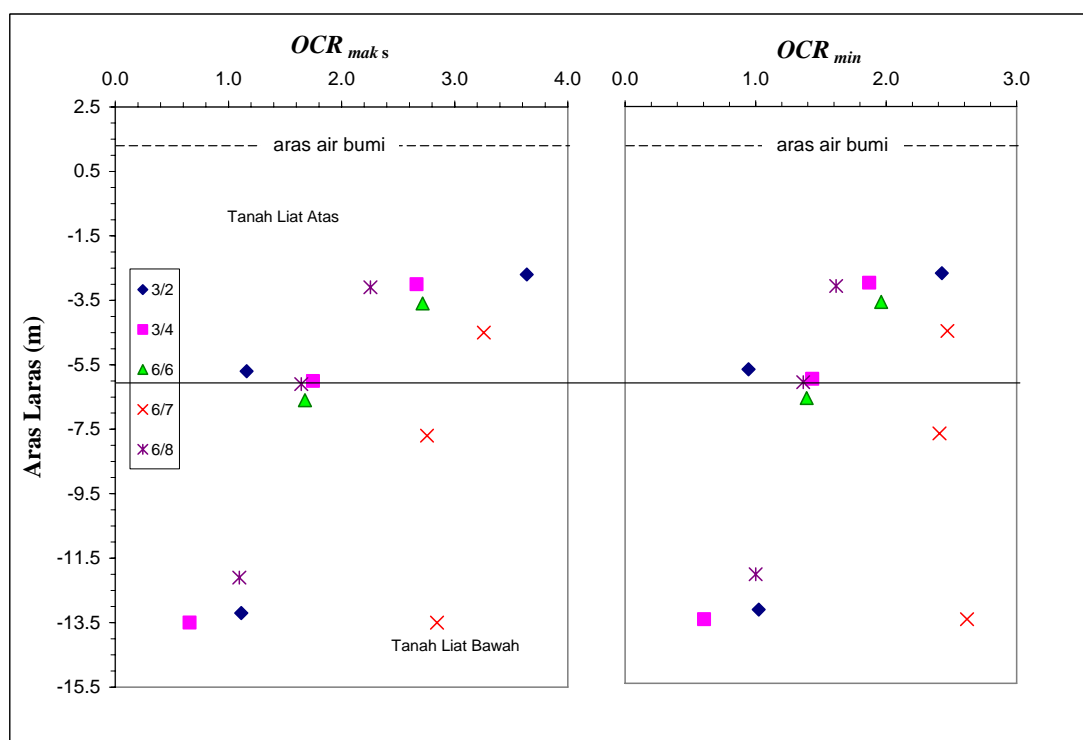
**Rajah 6.5: Taburan indeks kecairan mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih**



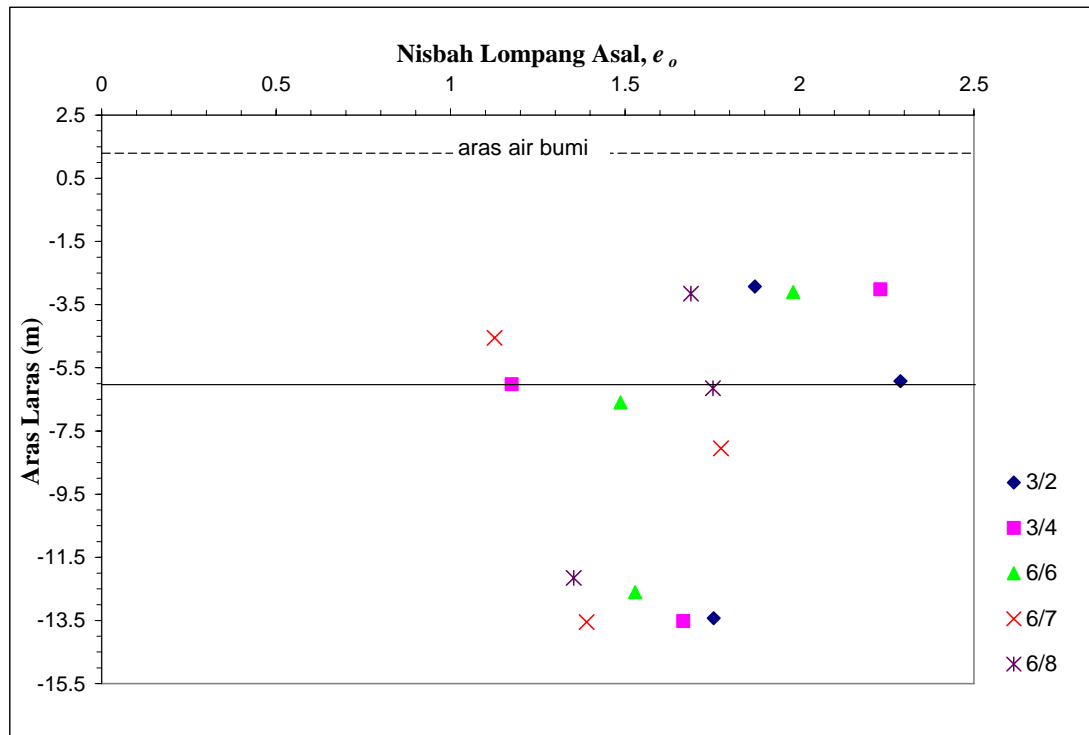
**Rajah 6.6: Taburan peratusan saiz zarah mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih**



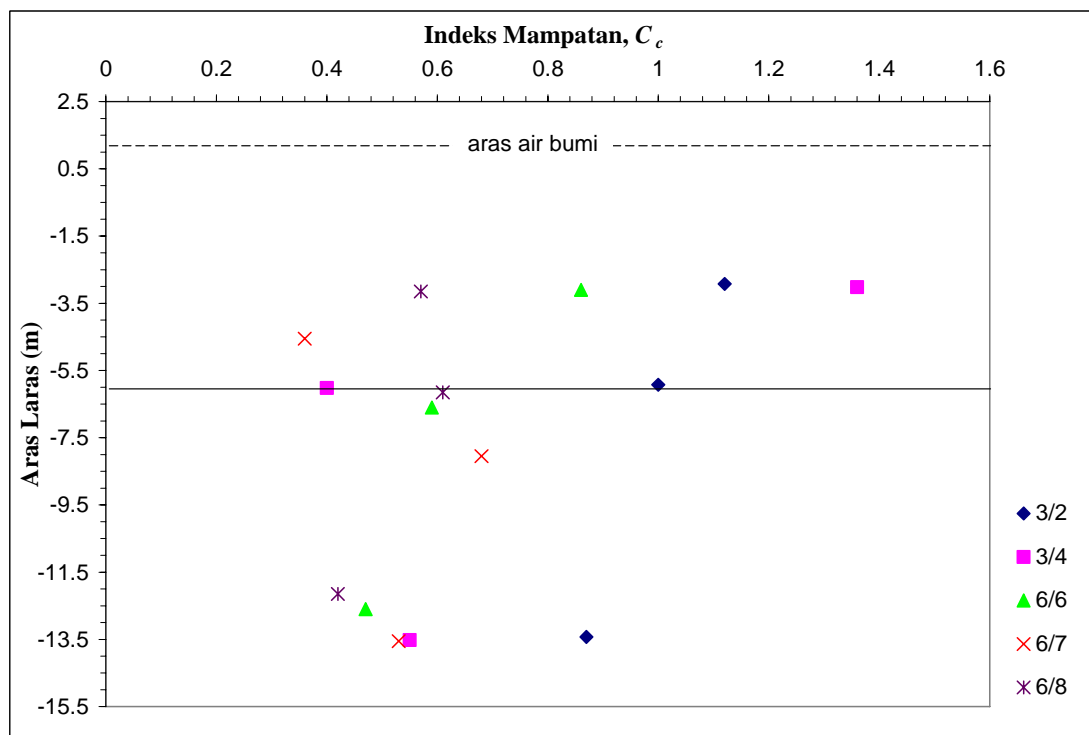
**Rajah 6.7: Taburan tekanan prapengukuhan mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih**



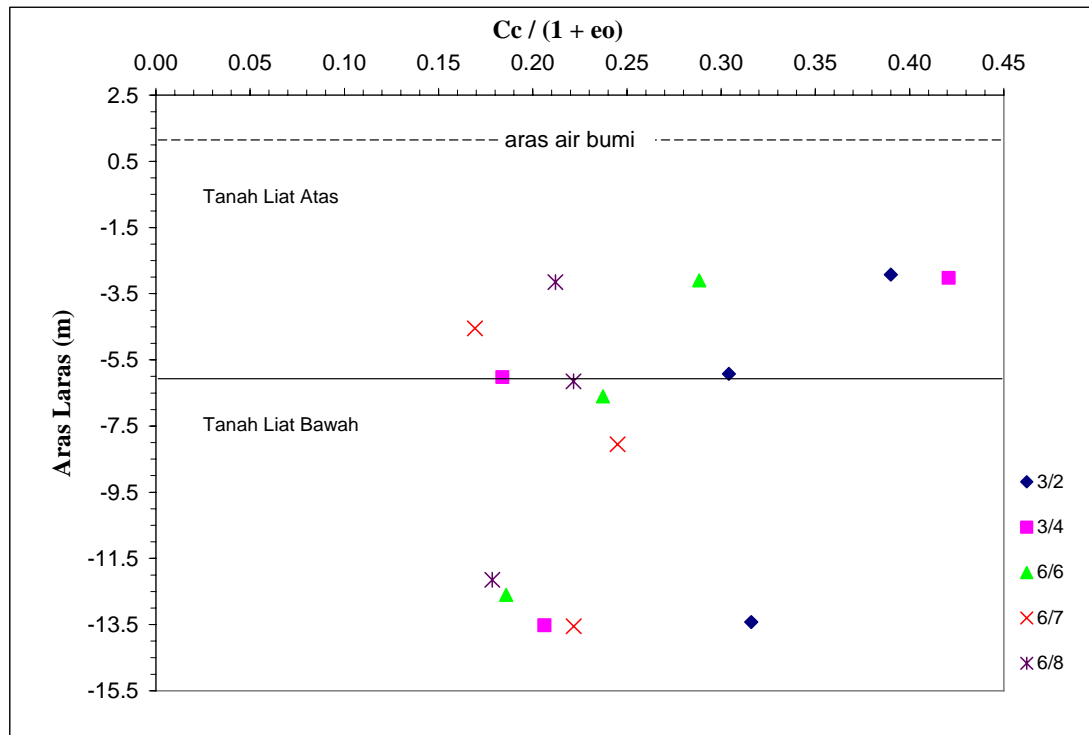
**Rajah 6.8: Taburan  $OCR_{maks}$  dan  $OCR_{min}$  mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih**



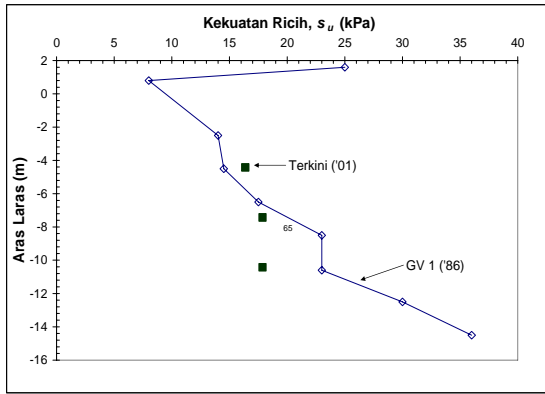
**Rajah 6.9: Taburan nisbah lompang asal mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih**



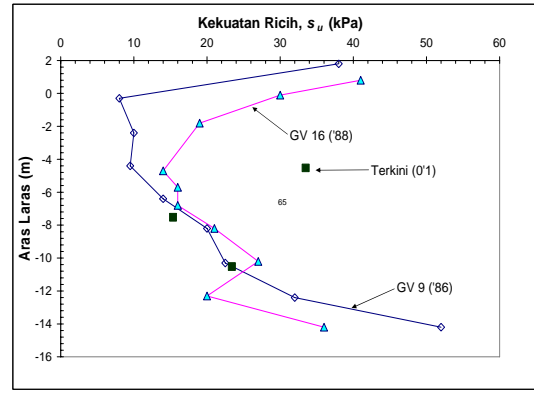
**Rajah 6.10: Taburan indeks mampatan mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih**



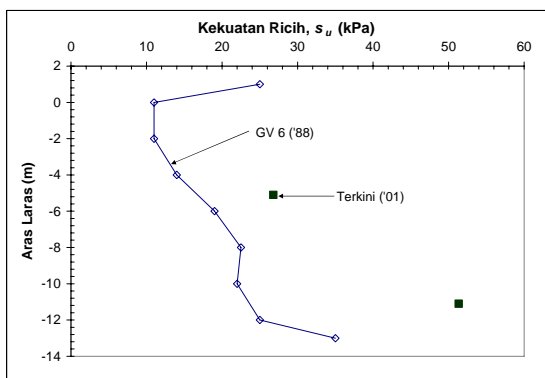
**Rajah 6.11: Taburan  $C_c/(1 + e_o)$  mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih**



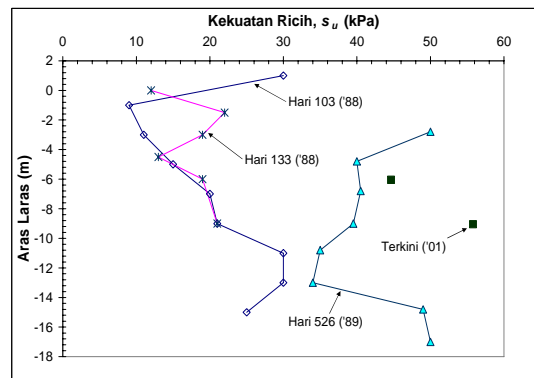
a) Skim 3/2



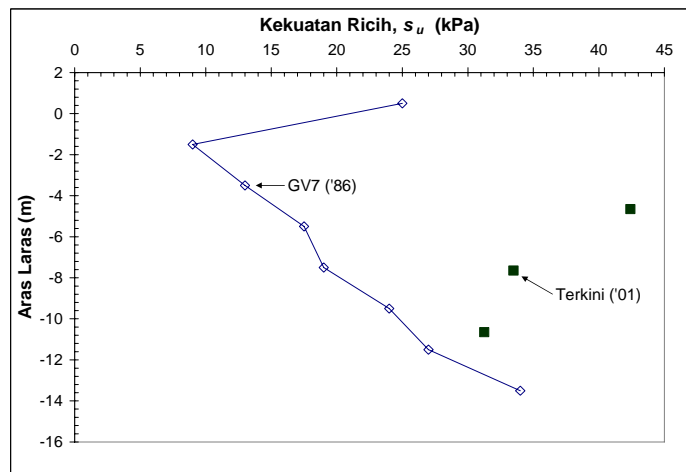
b) Skim 3/4



c) Skim 6/6

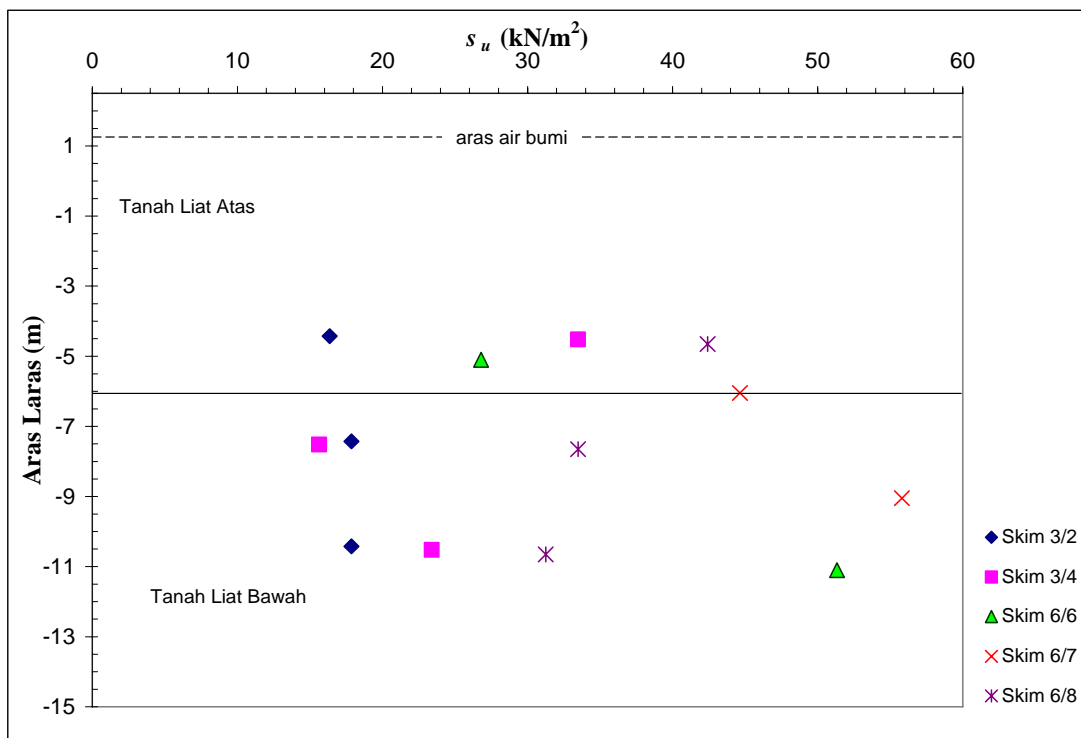


d) Skim 6/7

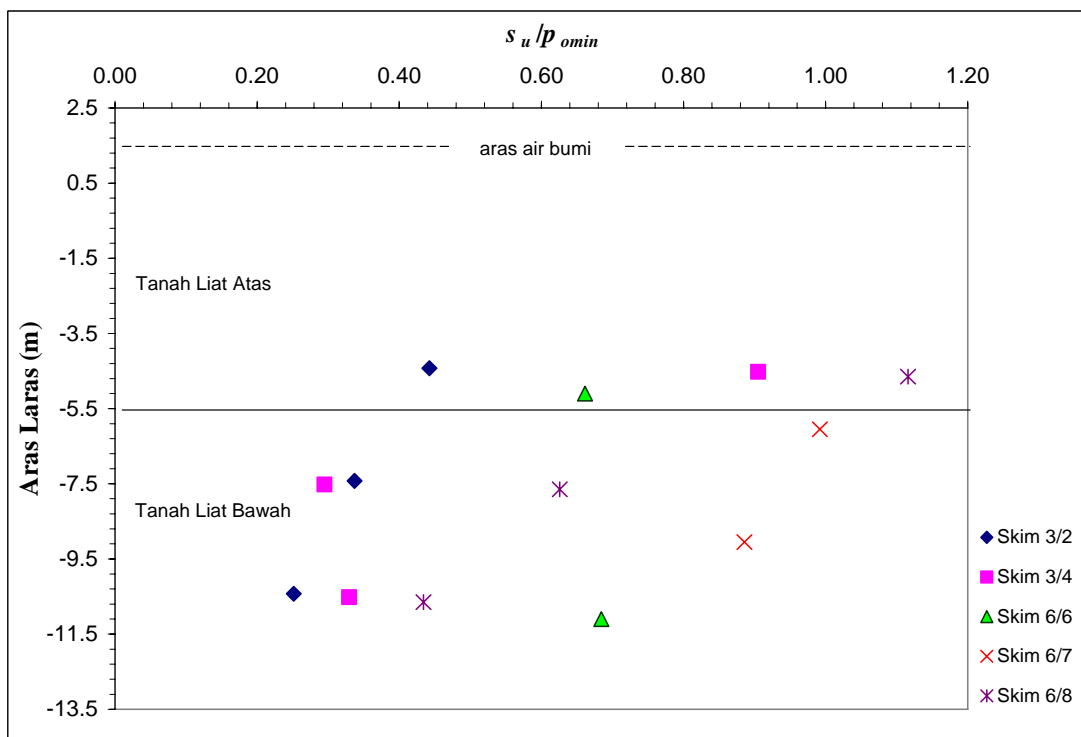


e) Skim 6/8

Rajah 6.12 : Perbandingan keputusan ujian ricih bilah terkini dengan kajian lepas

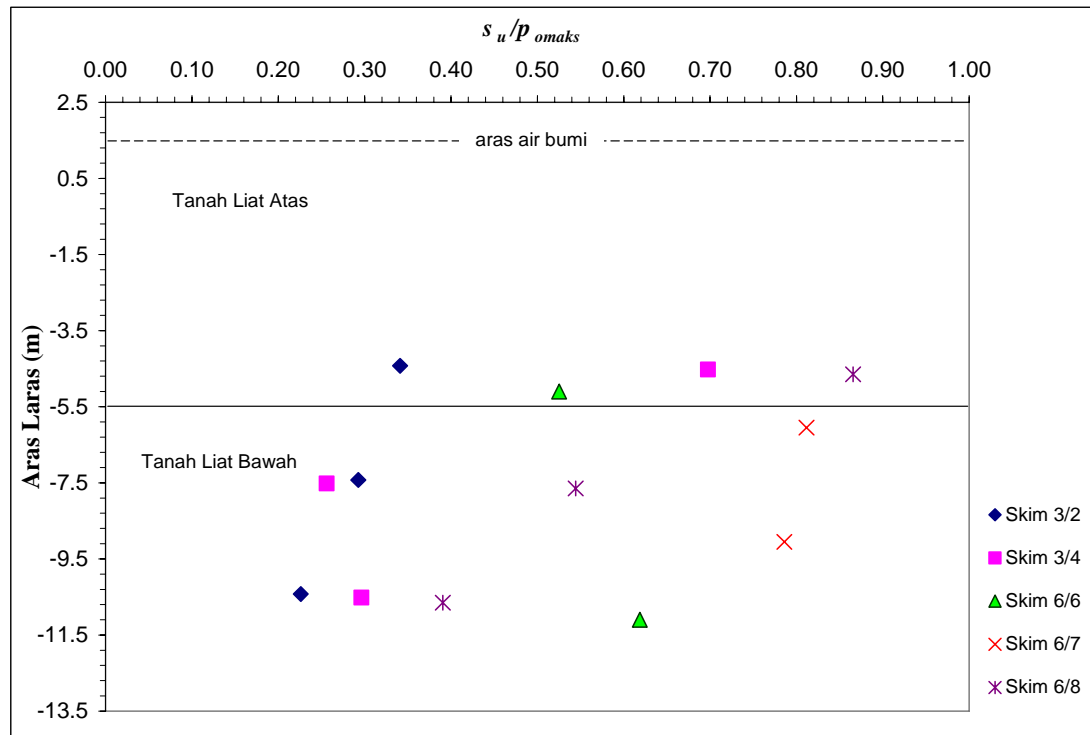


**Rajah 6.13: Taburan nilai kekuatan ricih tak tersalir ( $s_u$ ) mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih**



**Rajah 6.14: Taburan nilai  $s_u / p_{omin}$  mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih**





**Rajah 6.15: Taburan nilai  $s_u / p_{omaks}$  mengikut kedalaman bagi setiap tambakan dipilih**

## **BAB 7**

### **KEPUTUSAN DAN ANALISIS SIMULASI TAMBAKAN**

#### **7.1 Pengenalan**

Bab ini menghuraikan perlakuan tanah liat lembut di bawah Tambakan Cubaan Muar berdasarkan analisis simulasi kestabilan cerun dan pengukuhan ke atas Tambakan Dibina Untuk Gagal (Skim 3/5), Tambakan Kawalan 3 m (Skim 3/2) dan Tambakan Kawalan 6 m (Skim 6/6) seperti yang telah dibincangkan di Bab 4. Bagi menentukan perlakuan tanah liat lembut di bawah tambakan, tiga perisian komputer keluaran GEOSLOPE Incorporation iaitu SIGMA/W, SEEP/W dan SLOPE/W telah digunakan. Parameter-parameter yang ditentukan ialah tebal kegagalan, kestabilan cerun, tekanan air liang lebihan, anjakan tegak (enapan dan lambung) dan anjakan sisi. Parameter-parameter yang diperolehi daripada analisa simulasi ini dibandingkan dengan keputusan sebenar di tapak dan hasil kajian beberapa penyelidik terdahulu.

## **7.2 Penentuan Tebal Kegagalan Tambakan Dibina Untuk Gagal**

Penentuan tebal kegagalan hanya melibatkan Tambakan Dibina Untuk Gagal. Bagi Tambakan Kawalan 3 m dan 6 m, penentuan tebal gagal tidak dipertimbangkan di dalam analisis disebabkan tambakan ini berada dalam keadaan stabil dan selamat selepas binaan siap dengan memenuhi kriteria yang ditetapkan.

Dua kaedah telah digunakan di dalam analisis kestabilan cerun Tambakan Dibina Untuk Gagal iaitu kaedah unsur terhingga dan kaedah konvensional (keseimbangan had). Analisis kestabilan cerun berdasarkan kaedah unsur terhingga ditentukan dengan menggunakan gandingan perisian SLOPE/W, SIGMA/W dan SEEP/W. Manakala kaedah konvensional (kaedah keseimbangan had) pula melibatkan perisian SLOPE/W sahaja, yang mana empat kaedah konvensional telah dipilih iaitu Kaedah Biasa, Janbu, Bishop dan Keseimbangan Had Umum.

### **7.2.1 Analisis Kaedah Unsur Terhingga**

Keputusan bagi taburan faktor keselamatan menggunakan kaedah unsur terhingga ditunjukkan dalam Rajah 7.1. Tebal kegagalan ramalan yang terhampir, menggunakan data keadaan tegasan model Tanah Liat-Cam Terubahsuai adalah 5.25 m. Seperti yang dijangka, model ini dapat memberikan keputusan yang lebih baik berbanding model lain disebabkan perbandingan keseluruhan perlakuan sebelum ini dengan bacaan sebenar menunjukkan reaksi yang lebih baik.

Permukaan kegagalan yang berlaku pada ketebalan 5.25 m ditunjukkan dalam Rajah 7.2c. Dalam Rajah 7.2 tersebut, zon alah upaya juga ditunjukkan yang mana wujud perubahan kontur terikan ricih maksimum yang dialami kawasan tanah liat

lembut atas. Ini jelas menunjukkan kegagalan yang berlaku bermula di bahagian bawah lapisan tanah liat lembut atas iaitu bersempadan dengan tanah liat bawah.

### **7.2.2 Analisis Kaedah Keseimbangan Had**

Analisis kestabilan berdasarkan kaedah keseimbangan had telah dijalankan terhadap 35 siri simulasi yang mana lima jenis parameter kekuatan tanah telah digunakan seperti yang telah dibincangkan dalam Bab 4. Analisis keseimbangan had ini terbahagi kepada dua jenis analisis iaitu:

- i) analisis tanpa kesan enapan dan
- ii) analisis dengan kesan enapan.

#### **i) Analisis Tanpa Kesan Enapan**

Ringkasan bagi keputusan analisis tanpa kesan retakan dan enapan ditunjukkan dalam Jadual 7.1 dan taburan faktor keselamatan bagi setiap parameter yang digunakan ditunjukkan dalam Rajah 7.3. Analisis yang menggunakan parameter kekuatan ricih tak diperbetulkan didapati memberikan keputusan yang lebih baik berbanding parameter lain dengan julat perbezaan tebal sebenar sebanyak 2.2 % – 7.3 % bagi kaedah Biasa, Bishop, Janbu dan GLE. Tetapi, perbezaan kedalaman permukaan gelinciran adalah besar dengan julat 32.9 % – 39 %. Walau bagaimanapun, ia masih di dalam zon kegagalan seperti yang dilaporkan oleh Brand (1989).

Berbeza dengan keputusan yang diperolehi dari analisis yang menggunakan parameter ujian tak terkukuh taktersalir (*UU*) dan persamaan empirik, kedua-dua analisis ini menghasilkan keputusan yang tepat terhadap kedalaman gelinciran

permukaan walaupun ketebalan gagal ramalan jauh lebih rendah. Ini disebabkan, parameter kekuatan ricih tak tersalir yang digunakan di lapisan tanah liat lembut atas adalah rendah berbanding kekuatan ricih dari ujian lain.

Daripada empat kaedah pengiraan faktor keselamatan yang digunakan, kaedah Keseimbangan Had Umum (*GLE*) didapati manganggar faktor keselamatan yang lebih tinggi berbanding dengan tiga kaedah lain.

## ii) Analisis Dengan Kesan Enapan

Bagi melihat pengaruh enapan dalam penentuan faktor keselamatan, sebanyak sembilan belas siri simulasi telah dijalankan yang mana ringkasan keputusan ditunjukkan dalam Jadual 7.2. Taburan faktor keselamatan yang diperolehi dari setiap parameter yang digunakan ditunjukkan dalam Rajah 7.4. Secara keseluruhannya, didapati faktor keselamatan yang dianggar telah meningkat 3 % hingga 16 % berbanding dengan hasil analisis yang mengabaikan kesan enapan. Ini sesuai dengan keadaan hubungan, pertambahan tinggi tambakan berkadar songsang dengan faktor keselamatan. Daripada Jadual 7.2, didapati ketebalan gagal ramalan meningkat sehingga lebih 5.5 m dan lain-lain analisis menunjukkan penghampiran terhadap ketebalan gagal sebenar terutama bagi analisis yang menggunakan *CKoU* dan parameter ricih bilah diperbetulkan. Walau bagaimanapun, nilai faktor keselamatan bagi ricih bilah tak diperbetulkan hampir dengan 1.0 pada ketebalan gagal sebenar iaitu antara 0.08 hingga 0.12.

### 7.2.3 Perbincangan

Secara keseluruhannya, tebal kegagalan tambak bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal yang diperolehi daripada analisis unsur terhingga adalah lebih hampir

dengan keadaan sebenar seperti yang ditunjukkan pada Rajah 7.5. Kesan daripada perubahan tekanan air liang lebihan dan tegasan yang berlaku di dalam tanah liat lembut atas akibat pertambahan beban semasa analisis simulasi telah mempengaruhi nilai faktor keselamatan pada cerun. Dalam erti kata lain, penggunaan gabungan perisian SEEP/W, SIGMA/W dan SLOPE/W telah memberikan keputusan yang lebih tepat. Rajah 7.5 menunjukkan ramalan nilai tebal kegagalan tambak yang dihasilkan oleh kaedah unsur terhingga dan kaedah yang mengambilkira kesan enapan hampir dengan nilai tebal kegagalan sebenar.

Bagi ramalan terhadap kedalaman gelinciran, analisis unsur terhingga telah menghasilkan keputusan yang hampir tepat dan lebih baik berbanding penyelidikan lepas.

### **7.3 Penentuan Faktor Keselamatan**

Dalam menganggar faktor keselamatan, analisis unsur terhingga yang menggunakan parameter tegasan berkesan telah digunakan disebabkan keputusan yang ditunjukkan di dalam analisis Tambakan Skim 3/5 yang menggunakan kaedah ini adalah baik. Keputusan taburan faktor keselamatan bagi Tambakan Kawalan 3 m dan 6 m ditunjukkan dalam Rajah 7.6 dan 7.7. Merujuk rajah tersebut, faktor keselamatan semakin menurun disebabkan pertambahan beban dan tekanan air liang semasa pembinaan dijalankan. Selepas pembinaan tamat, pertambahan beban tidak lagi berlaku dan proses pengukuhan yang berjalan telah menyebabkan tanah mengempap dan tekanan air liang lebihan dilesapkan berkadar langsung dengan masa. Ini seterusnya membolehkan faktor keselamatan meningkat semula selepas faktor keselamatan minimum dicatat pada ketebalan maksimum tambakan dibuat. Perkara ini sesuai dengan penjelasan yang dibuat oleh Bishop dan Bjerrum (1960).

Faktor keselamatan minimum yang dianggar ketika tamatnya pembinaan (tahun 1988) bagi Tambakan Kawalan 3 m adalah 1.44 seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 7.8. Manakala faktor keselamatan minimum bagi Tambakan Kawalan 6 m adalah 2.0 seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 7.9. Daripada perbandingan terhadap Tambakan Kawalan 3 m dan 6 m, didapati faktor keselamatan yang dihasilkan oleh Tambakan Kawalan 3 m adalah lebih rendah daripada Tambakan Kawalan 6 m walaupun ketebalan Tambakan Kawalan 3 m adalah lebih rendah daripada Tambakan Kawalan 6 m. Ini disebabkan binaan tanggaa pada tambakan 6 m telah mengurangkan tinggi cerun dan seterusnya dapat mengurangkan beban pada cerun tambakan 6 m tersebut.

Walaupun pengabaian enapan asas di dalam analisis kestabilan adalah untuk lebih selamat, tetapi untuk memahami mekanisme kegagalan tambakan dan untuk analisis semula kekuatan tanah lembut, faktor ini tidak boleh diabaikan. Bagi tambakan ini, analisis semula terhadap purata kekuatan ricih tak tersalir tanah liat lembut dengan menggunakan ketebalan tambak sebenar termasuk kesan enapan telah meningkatkan faktor keselamatan sehingga 16 % berbanding analisis kaedah tanpa kesan enapan. Di dalam amalan praktik, faktor pembetulan kekuatan ricih bilah ditentukan daripada analisis semula tambakan-tambakan dibina untuk gagal. Jika faktor pembetulan itu ditentukan dengan mengambilkira kesan enapan, ia sepatutnya digunakan dalam keadaan yang sama dalam analisis simulasi.

#### **7.4 Simulasi Pengukuhan Tanah Liat Lembut Di Bawah Tambakan Cubaan Muar**

Dalam analisa simulasi pengukuhan Tambakan Cubaan Dibina Untuk Gagal, jejaring unsur terhingga yang ditunjukkan pada Rajah 4.22 telah digunakan. Simulasi penempatan tambak yang digunakan seperti dalam Rajah 4.23 dan 4.24 yang mana

sebanyak 22 lapisan dengan setiap lapisan setebal 0.25 m telah dibuat bagi mendapatkan keputusan yang lebih tepat.

Bagi Tambakan Kawalan 3 m dan 6 m, pendiskretan unsur-unsur terhingga bagi tanah liat lembut yang ditunjukkan masing-masing pada Rajah 4.25 dan 4.27 telah digunakan untuk analisis. Analisis keputusan bagi tambakan ini melibatkan jangka masa pendek dan jangka masa panjang. Walau bagaimanapun, sebahagian bacaan instrumentasi yang diperolehi dari Lembaga Lebuhraya Malaysia hanya melibatkan jangka masa pendek sahaja kecuali bacaan enapan yang diperolehi sehingga tahun 1999.

#### **7.4.1 Kelakuan Tekanan Air Liang lebihan**

##### **7.4.1.1 Tambakan Dibina Untuk Gagal (Skim 3/5)**

Keputusan ramalan taburan tekanan air liang lebihan dengan ketebalan tambak pada kedalaman 4.5 m iaitu di titik P2, P5 dan P7 bagi ketiga-tiga model juzuk tanah ditunjukkan dalam Rajah 7.10.

Daripada Rajah 7.10, didapati ketiga-tiga model menghasilkan jawapan positif yang mana tekanan air liang lebihan meningkat dengan peningkatan ketinggian tambak. Tekanan air liang lebihan di titik P2 yang berada di bawah garis pusat tambakan menunjukkan catatan tertinggi berbanding di bawah bahu (P5) dan hilir (P7) tambakan. Ini sesuai dengan taburan tegasan yang berlaku di bawah pusat tambakan lebih tinggi berbanding dengan tegasan di luar pusat tambakan. Antara ketiga-tiga model ini, Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai didapati telah menganggar lebih tinggi berbanding dengan model lain.



Perbandingan terhadap keputusan ramalan dengan sebenar ditunjukkan pada Rajah 7.11. Daripada rajah tersebut, semua model telah telah terlebih anggaran pada ketebalan 1 hingga hampir 4 m dengan Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai mencatat anggaran tertinggi sehingga melepasi garisan  $\bar{B}$  ( $du = d\sigma_v$ ) pada ketinggian tambak 3.5 m. Keputusan ramalan dari analisis ini serupa dengan laporan oleh Indraratna *et al.* (1992) bagi penggunaan analisis tak tersalir 'tulen' dan Chai *et al.* (1994) yang menggunakan analisis unsur terhingga yang berdasarkan kepada model Tanah Liat-Cam terubahsuai. Keputusan sebenar menunjukkan kemajuan tekanan air liang lebihan diperingkat awal (tebal tambak 1 hingga 2 m) amat rendah. Menurut Indraratna *et al.* (1992), perbezaan ini mungkin boleh dihubungkan dengan fakta yang mana peringkat awal pembinaan tanggaaan di bahagian barat tambakan, kadar penambakan dikurangkan buat sementara. Dalam analisis, kadar pembinaan dianggap berlaku secara tetap. Tambahan lagi, penambakan seterusnya boleh mengurangkan kebolehtelapan di-situ bagi lapisan tanah liat yang seterusnya meningkatkan kadar pembentukan tekanan air liang lebihan. Kelakuan ini dapat ditunjukkan di titik P2 (Rajah 7.11a) bagi tebal tambak 2 m - 4 m.

Seperti yang dijangka, tekanan air liang lebihan berkurangan di sepanjang arah sisi dengan pengurangan kesan surcaj. Namun demikian, Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai menunjukkan perbezaan agak besar berbanding Model Elastik Plastik dan Linear Elastik yang lebih hampir dengan bacaan sebenar pada ketinggian tambak lebih 4 m.

Taburan tekanan air liang lebihan di bawah titik tengah tambakan mengikut kedalaman bagi semua model ditunjukkan pada Rajah 7.12 dan perbandingan dengan bacaan sebenar untuk setiap meter tambak ditunjukkan pada Rajah 7.13. Rajah 7.12 menunjukkan taburan tekanan air liang lebihan untuk semua model membentuk corak yang hampir sama pada tebal tambak 3 m dan ke atas yang mana bacaan pada lapisan atas dan bawah lebih kecil berbanding lapisan tengah.

Merujuk pada Rajah 7.13, semua model ramalan menunjukkan perbezaan besar pada ketebalan tambak 1 dan 2 m terutamanya pada aras laras + 2 hingga -2 m. Corak taburan tekanan air liang pada ketebalan tambak 3 m dan ke atas menunjukkan keseragaman walaupun terlebih anggaran. Secara keseluruhan, model Elastik Plastik dan Linear Elastik telah meramal tekanan air liang lebih dengan lebih baik berbanding model Tanah Liat-Cam Terubahsuai.

#### **7.4.1.2 Tambakan Kawalan 3 m (Skim 3/2) dan 6 m (Skim 6/6)**

##### **i) Tekanan Air Liang Lebih Semasa Pembinaan**

Perbandingan antara taburan tekanan air liang lebih ramalan dengan pengukuran sebenar melawan ketebalan tambak pada pelbagai kedudukan tambakan kawalan 3 m ditunjukkan dalam Rajah 7.14. Manakala bagi tambakan kawalan 6 m ditunjukkan dalam Rajah 7.15. Titik P1, P2 dan P3 merupakan titik piezometer di bawah hilir tambakan manakala titik P4, P5 dan P6 adalah di bawah garis titik tengah tambakan.

Seperti yang dijangka, tekanan air liang lebih ramalan meningkat dengan bertambahnya ketebalan tambakan. Dengan mengabaikan titik P3 dan P6, didapati Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai didapati telah menunjukkan ramalan tertinggi bagi kedua-dua jenis tambakan. Berbeza dengan penjelasan daripada Tavenas dan Leroueil (1980), perbezaan ramalan yang tertinggi ditunjukkan di aras laras -2.20 m iaitu titik P1 dan P4 yang mana ia paling hampir dengan sempadan saluran. Ini kerana kadar pembebanan yang cepat di dalam simulasi ini menyebabkan kenaikan tekanan air liang lebih tidak dapat dilesap dengan segera. Kelakuan yang ditunjukkan Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai ini menggambarkan tanah asas mengalami alahan dari peringkat awal pembebanan dengan nilai  $\bar{B} (du/d\sigma_v) = 1$ . Anggaran yang agak tepat ditunjukkan di titik P2 (Tambakan Kawalan 3 m) kecuali diperingkat

akhir penambakan, yang mana nilai tekanan air liang lebih meningkat mendadak disebabkan kadar penambakan yang cepat.

Seperti yang ditunjukkan oleh kelakuan sebelum ini, Model Linear Elastik telah meramal dengan agak rendah dengan nilai  $\bar{B} < 0.5$ . Seperti yang telah dibincang di dalam Bab 3, Model Linear Elastik hanya mempertimbangkan dua parameter tanah dalam analisis tegasan (perisian SIGMA/W), iaitu modulus Young,  $E$  dan nisbah Poisson,  $\nu$ . Di dalam analisis pengukuhan terganding (perisian SIGMA/W dan SEEP/W), hasil terikan yang kecil, turut menyebabkan tekanan air liang kecil.

Bagi ramalan tekanan air liang ini, titik P3 dan P6 terpaksa diabaikan disebabkan kelakuan yang ditunjukkan adalah kurang munasabah yang mana Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai menunjukkan tekanan air liang lebih di peringkat pertama pembinaan adalah terlalu tinggi. Manakala Model Elastik Plastik dan Linear Elastik memberikan nilai negatif yang terlalu tinggi. Ini mungkin disebabkan jejaring yang digunakan kurang sesuai yang mana unsur yang digunakan untuk titik P3 dan P6 ini lebih kecil dan terletak di antara unsur yang lebih besar.

## ii) Tekanan Air Liang Lebih Melawan Kedalaman

Keputusan perbandingan taburan tekanan air liang lebih melawan kedalaman di bawah garispusat Tambakan Kawalan 3 m dan 6 m ditunjukkan masing-masing dalam Rajah 7.16 dan 7.17. Bagi Tambakan Kawalan 3 m (Rajah 7.16), keputusan yang ditunjukkan Model Elastik Plastik adalah lebih hampir dengan perlakuan sebenar terutama di titik atas (P4) dan tengah (P5). Model Linear Elastik menunjukkan terkurang anggar dengan tekanan air liang lebih yang sangat kecil. Manakala Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai telah terlebih anggar sehingga 50 %.

Bagi Tambakan Kawalan 6 m (Rajah 7.17), Model Elastik Plastik dan Tanah Liat-Cam Terubahsuai telah menunjukkan ramalan yang hampir sama pada ketebalan tambak 1 hingga 6 m. Namun demikian, model-model ini telah terlebih anggar, yang mana Model Elastik Plastik lebih hampir dengan bacaan sebenar.

### **iii) Tekanan Air Liang Lebihan Melawan Masa**

Keputusan perbandingan taburan tekanan air liang melawan masa bagi pelbagai titik ditunjukkan dalam Rajah 7.20 hingga 7.22 (Tambakan Kawalan 3 m) dan Rajah 7.23 hingga 7.25 (Tambakan Kawalan 6 m). Daripada rajah tersebut, kelihatan corak taburan tekanan air liang lebihan meningkat dengan bertambahnya beban dan semakin berkurang dengan bertambahnya masa akibat pelepasan dari proses pengukuhan. Peningkatan mendadak yang ditunjukkan oleh taburan tekanan air liang lebihan pada setiap peningkatan beban disebabkan oleh proses simulasi pembebanan di dalam SIGMA/W. Simulasi pembebanan yang dibuat oleh SIGMA/W adalah berdasarkan kepada ketebalan lapisan tambak pada hari yang ditetapkan. Oleh itu, kadar pembebanan yang terhasil turut menjadi besar sekiranya ketebalan lapisan tambak besar.

Daripada Rajah 7.20 hingga 7.23 tersebut, dapat diperhatikan Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai telah terlebih anggar paling besar berbanding model lain seperti yang telah dibincangkan di Bahagian 7.3.1.1. Manakala Model Linear Elastik telah terkurang anggar dengan peningkatan tekanan air liang lebihan yang amat kecil berbanding pertambahan tegasan besar yang dikenakan. Bagi kes tambakan 3 m, nilai tekanan air liang lebihan di titik P2 (Rajah 7.21) didapati meningkat dengan pertambahan masa. Ini mungkin disebabkan tegasan pada arah sisi semakin bertambah di kawasan tersebut akibat proses pengukuhan.

## 7.4.2 Kelakuan Anjakan Tegak (Enapan dan Lambung)

### 7.4.2.1 Tambakan Dibina Untuk Gagal (Skim 3/5)

Profil keputusan anjakan tegak yang ditunjukkan di sini adalah berdasarkan kedudukan instrumentasi di tapak yang mana S1 (0 m) terletak di garis pusat tambakan, H9 di hilir tambakan (20 m dari pusat) dan H1 di luar hilir tambakan (40 m dari pusat). Profil ramalan anjakan tegak bagi setiap meter tebal tambak ditunjukkan dalam Rajah 7.24 dan perbandingan antara anjakan tegak ramalan dengan bacaan sebenar ditunjukkan dalam Rajah 7.25.

Merujuk pada Rajah 7.25, didapati Model Elastik Plastik dan Linear Elastik hanya meramal enapan dengan agak baik pada ketinggian tambak 1 dan 2 m, tetapi telah terkurang anggar pada ketinggian tambak berikutnya. Kedua-dua model ini meramal enapan dengan agak baik pada peringkat ini disebabkan tanah liat di bawah tambakan ini masih bersifat terkukuh lebih dan model ini amat sesuai dengan keadaan tanah tersebut (Geo-Slope, 2001). Selepas tambakan mula menunjukkan alahan (*yielding*) pada ketinggian tambak 3 m, kadar peningkatan enapan diramal tidak besar berbanding kadar enapan sebenar. Di hilir dan luar dari tambakan pula, ramalan yang dibuat bagi ketinggian tambak 2 m dan ke atas adalah terlebih anggar.

Bagi model Tanah Liat Cam-Terubahsuai pula, ramalan enapan yang dibuat telah terlebih anggar pada ketinggian tambak 1 dan 2 m (di bawah kawasan pembebanan) tetapi terkurang anggar pada ketinggian berikutnya. Ini berlaku mungkin disebabkan ketidaksesuaian parameter yang digunakan berbanding parameter yang digunakan oleh Indraratna *et al.* (1992). Walaupun penulis menggunakan parameter dan model juzuk tanah yang sama dengan Chai *et al.* (1994), namun keputusan yang diperolehi oleh Chai *et al.* adalah lebih baik. Dua parameter yang mempengaruhi analisis pengukuhan ialah pekali kebolehtelapan,  $k$  dan pekali kebolehmampatan isipadu  $m_v$ . Penulis menganggap, parameter-parameter

ini sebagai pemalar, sedangkan parameter-parameter ini boleh berubah dengan masa dan nilai tegasan.

#### **7.4.2.2 Tambakan Kawalan 3 m (Skim 3/2) dan 6 m (Skim 6/6)**

##### **i) Enapan Melawan Masa**

Keputusan bagi taburan enapan ramalan melawan masa di bawah garis pusat tambakan (S5) bagi Tambakan Kawalan 3 m dan 6 m ditunjukkan masing-masing pada Rajah 7.26 dan Rajah 7.27. Daripada rajah-rajah tersebut, kesemua ramalan enapan didapati terkurang anggar. Bagi Tambakan Kawalan 3 m, Model Linear Elastik dan Elastik Plastik telah menunjukkan perbezaan yang sangat besar sehingga 75 % ketika 600 hari dan 85 % ketika 4200 hari. Dalam ramalan ini, hasil simulasi yang agak baik ditunjukkan oleh Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai dengan perbezaan pada 600 hari dan 4200 hari masing-masing adalah 8 % dan 9 % sahaja.

Sama seperti Tambakan Kawalan 3 m, ramalan perlakuan enapan Tambakan Kawalan 6 m yang ditunjukkan oleh semua model turut terkurang anggar. Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai telah menunjukkan hasil simulasi yang baik dengan perbezaan 8 % ketika 600 hari dan 2 % ketika 4200 hari. Bagi Model Linear Elastik dan Elastik Plastik, keputusan yang diperolehi telah terkurang anggar lebih daripada 60 % ketika 600 hari dan lebih daripada 75 % ketika 4200 hari. Ini menunjukkan, tempoh masa yang panjang tidak memberikan kesan yang besar pada peningkatan jumlah enapan berbanding perlakuan yang ditunjukkan oleh Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai.

## ii) **Enapan Melawan Kedalaman**

Keputusan bagi taburan enapan melawan kedalaman bagi Tambakan Kawalan 3 m dan 6 m ditunjukkan masing-masing dalam Rajah 7.28 dan 7.29. Daripada rajah tersebut, corak taburan enapan ramalan didapati hampir sama dengan pengukuran sebenar. Secara keseluruhannya, enapan ramalan yang ditunjukkan oleh model Tanah Liat-Cam Terubahsuai berlaku di bahagian tanah liat atas dengan peratus enapan jumlah lebih daripada 84 % seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 7.3 dan 7.4. Di lapisan tanah liat bawah pula, didapati berlaku sedikit keadaan lambung iaitu pada aras laras -10.0 hingga -14.0 m. Ini mungkin disebabkan oleh keadaan jejaring yang digunakan kurang sesuai di lapisan ini. Perkara yang sama turut berlaku pada Model Elastik Plastik di mana keadaan lambung maksimum berlaku pada aras laras -9 hingga -14 m. Manakala simulasi analisis Model Linear Elastik tidak menunjukkan kelakuan lambung pada zon tanah liat bawah.

### **6.4.3 Kelakuan Anjakan Sisi**

#### **6.4.3.1 Tambakan Dibina Untuk Gagal (Skim 3/5)**

Permukaan gelinciran sebenar dapat diterjemahkan oleh hubungan titik anjakan sisi maksimum yang diukur oleh meter condong I1, I2 dan I3. Permulaan kegagalan ini dapat dikesan dengan mempertimbangkan reaksi terhadap I2 dan I3. Pada kedudukan I2 dan I3 ini, reaksi terhadap anjakan adalah lebih sensitif semasa pembinaan tambakan berbanding I1 yang terletak 10 m jauh dari hilir tambakan. Bagi menunjukkan kelakuan masing-masing, Rajah 7.30 hingga 7.33 ditunjukkan bagi mewakili hubungannya.

Taburan anjakan sisi maksimum ramalan pada kedalaman 4.5 m (aras laras – 2.0 m) ditunjukkan dalam Rajah 7.30. Seperti yang dijangka, semua model yang digunakan menunjukkan anjakan maksimum pada I2 dan I3 adalah lebih tinggi berbanding anjakan pada I1. Dalam rajah tersebut, model Tanah Liat-Cam Terubahsuai menunjukkan kadar kenaikan anjakan sisi maksimum agak ketara selepas ketebalan tambak 4 m. Manakala model Elastik Plastik menunjukkan taburan agak linear dengan peningkatan ketebalan oleh I2 dan perkara sama berlaku pada I3 bagi model Linear Elastik. Kelakuan lain ditunjukkan oleh model Linear Elastik yang mana kadar pertambahan anjakan sisi maksimum di I2 agak menurun pada ketebalan tambak 3 m.

Perbandingan terhadap anjakan sisi maksimum ramalan dengan anjakan sisi sebenar ditunjukkan pada Rajah 7.31. Daripada rajah tersebut, didapati hanya model Tanah Liat-Cam Terubahsuai didapati menunjukkan corak yang hampir sama dengan bacaan sebenar di ketiga-tiga meter condong, I1, I2 dan I3. Kelakuan ini menunjukkan yang ia lebih realistik dalam meramal tinggi genting dengan pertimbangan terhadap perubahan anjakan walaupun anjakan sisi maksimum ramalan ini telah terlebih anggar sehingga 260 %.

Walaupun model Linear Elastik dan Elastik Plastik agak linear di I1, namun ia masih terlebih anggar dengan masing-masing sebanyak 80 % dan 130 %. Bagi meter condong di I2 dan I3, model Elastik Plastik dan Linear Elastik telah bertembung dengan bacaan sebenar pada ketebalan tambak 4 m di plotan graf tersebut.

Profil bagi anjakan sisi mengikut kedalaman bagi semua kedudukan ditunjukkan dalam Rajah 7.32 dan 7.33. Di dapati corak taburan yang ditunjukkan oleh model Tanah Liat-Cam Terubahsuai (Rajah 7.32(a)) agak berbeza berbanding model lain. Perbezaan ubah bentuk yang tidak seragam di aras laras -5.5 m dan -10.5 m menunjukkan perbezaan lapisan di dalam pendiskretan analisa simulasi ini, yang



mana terdapat perbezaan yang agak ketara terhadap ciri-ciri tanah liat yang digunakan.

Perbandingan terhadap keputusan bacaan sebenar ditunjukkan dalam Rajah 7.33. Daripada rajah tersebut, model Tanah Liat-Cam Terubahsuai didapati menunjukkan corak taburan yang hampir sama dengan bacaan sebenar walaupun terlebih anggar. Seperti yang dijangka, anjakan sisi maksimum berlaku di kedalaman 5 m dari permukaan. Anjakan yang kecil pada bacaan sebenar di aras laras -7 m mungkin disebabkan kehadiran sedikit lapisan berpasir di kawasan tersebut. Ini menyebabkan meter condong yang ditanam merentasi lapisan tersebut tidak menunjukkan kelakuan sebenar tanah liat bawah akibat dari sekatan lapisan berpasir. Bentuk yang agak membujur di lapisan tanah liat atas menunjukkan tanah liat di lapisan tersebut adalah lebih lembut atau telah memasuki fasa terkukuh biasa berbanding lapisan '*crust*' berhampiran permukaan.

Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 7.30 hingga 7.33, secara umumnya analisis pengukuhan terganding berdasarkan teori model Tanah Liat-Cam Terubahsuai telah terlebih anggar dalam meramal anjakan sisi. Indraratna *et al.* (1992) menyatakan sebab berlakunya perbezaan ini mungkin boleh dikaitkan dengan beberapa faktor iaitu, ketepatan parameter tanah, implikasi sistem aliran air dalam tanah dihubungkan dan simulasi keadaan terikan satah (*plane strain*).

#### **6.4.3.2 Tambakan Kawalan 3 m (Skim 3/2) dan 6 m (Skim 6/6)**

##### **i) Anjakan Sisi Melawan Kedalaman**

Perbandingan terhadap profil keputusan anjakan sisi bagi Tambakan Kawalan 3 m ditunjukkan dalam Rajah 7.34. Daripada rajah tersebut, corak taburan anjakan sisi ramalan didapati berlainan sedikit dengan corak bacaan sebenar. Anjakan sisi

berkurangan dengan kedalaman selepas anjakan sisi maksimum dicapai oleh model simulasi berbanding dengan bacaan sebenar yang menunjukkan anjakan sisi malar selepas kedalaman 8 m. Kelakuan ini mungkin disebabkan ciri-ciri tanah yang digunakan dalam analisis kurang sesuai pada lapisan tanah liat bawah. Kemungkinan lain, bacaan instrumentasi di tapak dipengaruhi oleh kehadiran sedikit lapisan berpasir pada sempadan tanah liat atas dan tanah liat bawah yang mengganggu anjakan pada meter condong.

Berdasarkan Rajah 7.34 tersebut, Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai didapati telah menunjukkan keputusan yang lebih baik berbanding model lain. Namun demikian, model ini telah terlebih anggar sehingga 40 % pada hari ke-609. Tiga corak kumpulan taburan anjakan sisi pada model ini mewakili pembebanan yang berbeza bagi setiap corak taburan. Ini menunjukkan kadar anjakan sisi yang besar berlaku semasa pertambahan beban dijalankan dan semasa keadaan rehat (tanpa pertambahan beban), kadar anjakan sisi yang dicatat amatlah kecil.

Seperti yang dicatatkan oleh keputusan sebelum ini, Model Elastik Plastik dan Linear Elastik memberikan keputusan yang sangat berbeza yang mana ia telah terkurang anggar sehingga 53 % (Model Elastik Plastik) dan 70 % (Model Linear Elastik) berbanding dengan bacaan di tapak. Faktor parameter tanah yang dipertimbangkan dalam keperluan model-model ini telah memberikan perbezaan yang besar terhadap keputusan yang diperolehi berbanding Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai.

Bagi Tambakan Kawalan 6 m (Rajah 7.35), perlakuan anjakan sisi yang ditunjukkan oleh Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai telah terlebih anggar pada hari ke-66, 108 dan 220 iaitu pada peringkat pembinaan. Selepas pembinaan selesai, anjakan sisi ramalan hanya menunjukkan peningkatan yang sedikit yang mana, ia telah terkurang anggar sehingga 29 % pada hari ke-528. Bagi Model Elastik Plastik, anjakan sisi ramalan yang dicatatkan pada hari ke-220 hampir menyamai dengan bacaan sebenar. Pada peringkat awal iaitu hari ke-66 dan 108, ia telah terlebih anggar

sedikit dan selepas pembinaan iaitu pada hari ke-528, peningkatan anjakan sisi adalah sangat kecil berbanding perubahan yang sangat besar pada bacaan sebenar. Manakala bagi Model Linear Elastik pula, model tersebut telah menganggar hampir sama dengan bacaan sebenar selepas hari ke-108. Sebelum hari ke-108, model tersebut telah terkurang anggar.

## ii) Anjakan Sisi Melawan Masa

Keputusan bagi anjakan sisi melawan masa bagi Tambakan Kawalan 3 m dan 6 m masing-masing ditunjukkan dalam Rajah 7.36 dan 7.37. Daripada rajah tersebut dapat diperhatikan kenaikan anjakan sisi secara mendadak berlaku setiap pertambahan beban dan kemudian meningkat dengan kadar yang amat kecil semasa keadaan rehat. Kelakuan simulasi ini sama seperti analisis simulasi yang dibuat oleh Lembaga Lebuhraya Malaysia (1989b). Perbezaan anjakan yang besar yang ditunjukkan Rajah 7.36 dan 7.37 ini mungkin disebabkan pekali kebolehtelapan ufuk yang digunakan dalam simulasi terlalu besar berbanding keadaan sebenar. Dalam simulasi ini, pekali kebolehtelapan ufuk yang digunakan adalah dua kali lebih besar daripada pekali kebolehtelapan tegak.

## iii) Hubungan Anjakan Sisi Dengan Enapan

Rajah 7.38 dan 7.39 menunjukkan graf hubungan antara enapan dengan anjakan sisi bagi Tambakan Kawalan 3 m dan 6 m. Didapati corak taburan analisis simulasi pada kedua-dua rajah ini serupa dengan bacaan sebenar. Namun demikian, kadar peningkatan anjakan sisi berbanding enapan amat berbeza dengan bacaan sebenar. Perbezaan yang ketara adalah ketika pembebanan dilakukan. Bagi analisis simulasi Tambakan Kawalan 3 m, peningkatan mendadak nisbah anjakan sisi maksimum,  $y_m$  dengan enapan maksimum,  $s$  adalah 0.44 hingga 0.69 berbanding 0.07 hingga 0.137 ketika masa rehat. Perkara yang sama turut berlaku pada analisis simulasi Tambakan Kawalan 6 m yang mana kadar peningkatan nisbah  $y_m/s$  yang

mendadak berlaku ketika peningkatan beban dalam proses simulasi. Peningkatan yang ketara pada anjakan sisi diperhatikan berlaku ketika pembinaan tambakan dibuat, yang mana sebelum itu (peringkat tanggaa dibina) anjakan sisi yang berlaku adalah kecil.

## 6.5 Ringkasan

Secara keseluruhan, analisa simulasi yang dijalankan terhadap tiga tambakan cubaan terpilih iaitu Skim 3/5, 3/2 dan 6/6 telah menunjukkan kelakuan yang pelbagai. Daripada tiga model jujuk tanah yang digunakan sebagai asas pemilihan parameter tanah, Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai telah menunjukkan prestasi atau corak taburan yang paling memuaskan diikuti oleh Model Elastik Plastik dan Model Linear Elastik.

Walau bagaimanapun, ramalan yang dibuat oleh Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai pada analisa simulasi Tambakan Skim 3/5 telah terlebih anggar sehingga 221 % seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 7.5. Ramalan yang agak baik oleh model ini dicatat oleh kelakuan enapan ataupun anjakan tegak. Perbandingan dengan peramal lain ditunjukkan dalam Jadual 7.6 hingga 7.9. Berdasarkan Jadual 7.6 ramalan yang dibuat oleh penulis tentang ketebalan tambak ketika gagal dan kedalaman permukaan gelinciran adalah yang terbaik dari semua peramal dengan perbezaan masing-masing 2.8 % dan 3.7 %. Bagi analisis tekanan air liang (Jadual 7.7), penulis mencatat ramalan tertinggi berbanding peramal lain dan hampir menyamai ramalan yang dibuat oleh Nakase. Di dalam analisis anjakan tegak dan sisi, penulis telah menunjukkan ramalan yang agak baik berbanding peramal lain seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 7.8. Secara keseluruhannya, ramalan yang dibuat oleh penulis terhadap ketebalan tambakan semasa gagal, kedalaman permukaan gelinciran dan anjakan tegak adalah yang terbaik berbanding peramal lain.

Ringkasan bagi peratus perbezaan kelakuan sebenar dengan simulasi bagi Tambakan Kawalan 3 m (Skim 3/2) dan 6 m (Skim 6/6) ditunjukkan dalam Jadual 7.10 dan 7.11. Secara keseluruhannya Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai menunjukkan perlakuan yang lebih baik berbanding model lain kecuali kelakuan anjakan sisi bagi Skim 3/2. Manakala ringkasan bagi perbandingan dengan peramal lain iaitu Lembaga Lebuhraya Malaysia (LLM) ditunjukkan dalam Jadual 7.12 dan 7.13. Daripada perbandingan tersebut, simulasi analisis kelakuan enapan sahaja yang menunjukkan keputusan yang agak baik berbanding kelakuan lain.

**Jadual 7.1: Keputusan ketebalan gagal ramalan Skim 3/5 bagi analisis kaedah keseimbangan had tanpa kesan enapan**

<b>Penentuan Parameter Tanah Liat</b>	<b>Kaedah Pengiraan Faktor Keselamatan</b>	<b>Ketebalan Gagal Ramalan (m)</b>	<b>Kedalaman Gelinciran (m)</b>	<b>Perbezaan Tebal Sebenar (%)</b>	<b>Perbezaan Kedalaman Gelinciran (%)</b>
Ricih Bilah Tak Diperbetulkan	Biasa	5.2	5	5.5	39
	Bishop	5.1	5	7.3	39
	Janbu	5.15	5	6.4	39
	GLE	5.38	5.5	2.2	32.9
Ricih Bilah Diperbetulkan	Biasa	4.4	5	20	39
	Bishop	4.2	5	23.6	39
	Janbu	4.3	5	21.8	39
	GLE	4.55	6.5	17.3	20.7
CKoU	Biasa	4.58	5	16.7	39
	Bishop	4.42	5	19.6	39
	Janbu	4.33	5	21.7	39
	GLE	4.83	5.5	12.2	32.9
UU	Biasa	4.42	8	19.6	2.4
	Bishop	4.32	8	21.5	2.4
	Janbu	4.28	8	22.2	2.4
	GLE	4.80	8	12.7	2.4
Persamaan Empirik	Biasa	4.21	8	23.5	2.4
	Bishop	4.1	8	25.5	2.4
	Janbu	4.08	8	25.8	2.4
	GLE	4.10	8	25.5	2.4

**Jadual 7.2: Keputusan ketebalan gagal ramalan Skim 3/5 bagi analisis kaedah keseimbangan had yang ada kesan enapan**

Penentuan Parameter Tanah Liat	Kaedah Pengiraan Faktor Keselamatan	Ketebalan Gagal Ramalan (m)	Kedalaman Gelinciran (m)	Perbezaan Tebal Sebenar (%)	Perbezaan Kedalaman Gelinciran (%)
Ricih Bilah Tak Dibetulkan	Biasa	> 5.5	5*	-	39
	Bishop	> 5.5	5*	-	39
	Janbu	> 5.5	5*	-	39
	GLE	> 5.5	7*	-	14.6
Ricih Bilah Dibetulkan	Biasa	5.0	5	9	39
	Bishop	4.83	5	12.2	39
	Janbu	5.0	5	9	39
	GLE	5.18	7	5.8	14.6
CKoU	Biasa	5.30	5	3.6	39
	Bishop	5.10	5	7.3	39
	Janbu	5.30	5	3.6	39
	GLE	> 5.5	7*	-	14.6
UU	Biasa	4.92	7.5 – 8	10.5	2.4 – 8.5
	Bishop	4.85	7.5 – 8	11.8	2.4 – 8.5
	Janbu	4.85	8	11.8	2.4
	GLE	4.85	8	11.8	2.4
Persamaan Empirik	Biasa	4.85	8	11.8	2.4
	Bishop	4.73	8	14	2.4
	Janbu	4.73	8	14	2.4
	GLE	4.85	8	11.8	2.4

Nota: (\*) diambil dari analisis ketebalan tambak 5.5 m

**Jadual 7.3: Perbandingan peratusan enapan tanah liat atas bagi Tambakan Kawalan 3 m**

Masa (hari)	Bacaan Sebenar (%)	Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai (%)	Model Elastik Plastik (%)	Model Linear Elastik (%)
52	93	84	78	66
119	91	90	89	67
164	87	88	86	67
238	82	91	89	67
538	77	94	89	69

**Jadual 7.4: Perbandingan peratusan enapan tanah liat atas bagi Tambakan Kawalan 6 m**

Masa (hari)	Bacaan Sebenar (%)	Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai (%)	Model Elastik Plastik (%)	Model Linear Elastik (%)
52	80	-	-	69
118	85	-	-	65
164	82	93	87	63
234	76	92	84	63
538	69	94	81	65
605	69	94	81	65

**Jadual 7.5: Peratus perbezaan kelakuan sebenar dengan model simulasi Tambakan Dibina Untuk Gagal (Skim 3/5)**

Kelakuan	Model Jujuk Tanah					
	Tanah Liat-Cam Terubahsuai		Elastik Plastik		Linear Elastik	
	H = 3 m	H = 4 m	H = 3 m	H = 4 m	H = 3 m	H = 4 m
Tekanan Air Liang Lebihan	50%	31%	32%	14%	36%	15%
Enapan	-29%	-26%	-90%	-91%	-66%	-67%
Anjakan Sisi	221%	105%	111%	16%	98%	4%



**Jadual 7.6: Perbandingan keputusan analisis kegagalan bagi Tambakan Skim 3/5**

Peramal	Analisis Kestabilan Utama				Sub analisis Kestabilan	Ramalan	
	Kaedah	Kekuatan Tanah Liat Lembut	Kekuatan Tambakan	Berat Unit Tanah Tambak ( $\text{kN/m}^3$ )		Ketebalan Tambak (m)	Kedalaman Permukaan Gelinciran (m)
Balasubramaniam	Fellenius, tak tersalir	Bilah : Nilai purata diperbetulkan	$c = 19 \text{ kPa}$ $\phi = 26^\circ$	20.5	Tegasan berkesan Bishop	5.0	5.0
Nakase	Fellenius, tak tersalir	Bilah : Nilai purata diperbetulkan	$c = 20 \text{ kPa}$ $\phi = 0$	20	-	3.8	7.2 – 11.0
Poulos	Fellenius, tak tersalir	$s_u = 0.27 \sigma_v$ (purata bilah)	$c = 0$ $\phi = 30^\circ$	20	FEM dan ujian <i>centrifuge</i>	3.5	4.6
Magnan	Fellenius, tak tersalir	Bilah : sempadan terendah tak diperbetulkan	Sifar (Retakan)	20	FEM, tak tersalir	3.8	5.9
Penulis	Kaedah unsur terhingga	Ujian kekuatan ricih berkesan (Bala <i>et al.</i> , 1989)	$c = 19 \text{ kPa}$ $\phi = 26^\circ$	20.5	-	5.25	7.9
Sebenar						5.4	8.2

**Jadual 7.7 : Perbandingan analisis tekanan air liang lebih yang diukur di bawah Tambakan Skim 3/5**

Peramal	Kaedah Analisis	Parameter Tanah Liat	Tekanan Air Liang Lebih Diramal (m)					
			Piezometer P2		Piezometer P5		Piezometer P7	
			H = 2m	H = 3.5m	H = 2m	H = 3.5m	H = 2m	H = 3.5m
Balasubramaniam	Tegasan dari penggunaan <i>FEM</i> ( <i>CRISP</i> ) dengan <i>Skempton's 'A'</i> parameter untuk memberikan $\Delta u$ tak tersalir, kemudiannya dilesapkan oleh pengukuhan satu-dimensi	Nilai 'A' dari ujian tiga paksi. $c_v = 50c_v(\text{makmal})$	1.3	1.4	1.1	1.2	0.3	0.2
Magnan	$\Delta u = 0.8\Delta\sigma_v - (p_c - \sigma'_v)$ dengan $\Delta\sigma_v$ diperolehi dari carta <i>Bouissinesq</i>	-	2.8	5.5	2.6	5.0	0.9	1.6
Nakase	$\Delta u$ diukur terus di dalam ujian centrifuge pada model tambakan, dan keputusan disemak oleh analisis <i>FEM</i>	Model dari tanah liat Kawasaki	3.5	6.0	3.2	5.2	1.8	3.0
Poulos	Model pengukuhan <i>FEM</i> dengan pelbagai $k$	$k_v = 3m_v c_v \gamma_w$ $k_h = 1.5k_v$ Bila $H < 1\text{m}$ , nilai $k$ adalah 20 kali	2.6	5.2	2.3	3.9	0.5	1.7
Penulis	Analisis pengukuhan terganggu <i>FEM SIGMA/W</i> dan <i>SEEP/W</i>	Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai	3.6	7.2	3.6	6.2	1.6	2.5
Sebenar			2.0	6.0	2.1	4.4	1.0	1.8

**Jadual 7.8: Perbandingan nilai sebenar dan ramalan anjakan tanah di bawah Tambakan Skim 3/5**

Peramal	Kaedah Analisis	Parameter Tanah Liat	Ajakan-ajakan Diramal (cm)					
			Tegak pada Permukaan				Ufuk pada Kedalaman 4.5 m pada I2	
			S2		H7		H = 2m	H = 3m
			H = 2m	H = 3m	H = 2m	H = 3m		
Balasubramaniam	Model keadaan genting FEM (CRISP) digunakan bagi tegasan dan anjakan tak tersalir. Ditambah dengan enapan pengukuhan satu-dimensi	Parameter keadaan genting dari ujian makmal. $c_v$ (makmal) bagi pengukuhan	17	30	-6	-9	13	19
Magnan	Menggunakan pengalaman dan keputusan kajian parametric terdahulu berdasarkan model keadaan genting FEM (MELANIE)	Parameter keadaan genting dari ujian makmal (kajian parametrik terdahulu)	19	30	-4	-5	6	9
Nakase	Anjakan diukur terus dari ujian centrifuge ke atas model tambakan dan keputusan disemak oleh analisis FEM	Model dari tanah liat Kawasaki	5	10	-4	-9	18	33
Poulos	Analisis FEM (tak tersalir dan tersalir)	Tegasan-terikan Elastik-plastik. $E_u = 190s_u$ ; $\nu' = 0.1$ Parameter lain dari ujian makmal.	15	24	-2	-5	6	12
Purata	Analisis pengukuhan terganding FEM SIGMA/W dan SEEP/W	Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai (selepas Bergado & Chai, 1993)	13	21	0.5	2	11	18
Sebenar			7	24	0	0	4	7

**Jadual 7.9: Perbandingan keadaan kegagalan ramalan dan sebenar bagi Tambakan Skim 3/5**

Peramal	Tebal Tambakan (m)	Tinggi Tambakan (m)	Kedalaman Permukaan Gelinciran (m)	Enapan Tambakan Maksimum (m)	Lambung Permukaan Maksimum (m)	Anjakan Sisi Maksimum (m)	Tekanan Air Liang Lebihan pada Piezometer P2 (m)
Balasubramaniam	5.0	4.35	5.0	0.65	0.18	0.35	1.0
Nakase	3.5	3.20	4.6	0.30	0.25	0.50	6.2
Poulos	3.8	3.45	5.9	0.35	0.05	0.16	5.7
Magnan	3.8	3.25	7.2 – 11.0	0.55	0.09	0.12	7.0
Penulis	5.25	4.69	7.9	0.56	0.17	0.50	11.6
Sebenar	5.4	4.70	8.2	0.70	0.15	0.37	9.3

\* Nota : Tinggi tambakan diperolehi daripada hasil tolak tebal tambakan dengan enapan.

**Jadual 7.10: Peratus perbezaan kelakuan sebenar dengan model simulasi  
Tambahan Kawalan 3 m**

Kelakuan	Model Juzuk Tanah					
	Tanah Liat-Cam Terubahsuai		Elastik Plastik		Linear Elastik	
	Hari ke- 300	Hari ke- 4200	Hari ke- 300	Hari ke- 4200	Hari ke- 300	Hari ke- 4200
Tekanan Air Liang Lebihan	30%	-	-7%	-	-82%	-
Enapan	-11%	-9%	-73%	-85%	-65%	86%
Anjakan Sisi	73%	-	-35%	-	-60%	-

**Jadual 7.11: Peratus perbezaan kelakuan sebenar dengan model simulasi  
Tambahan Kawalan 6 m**

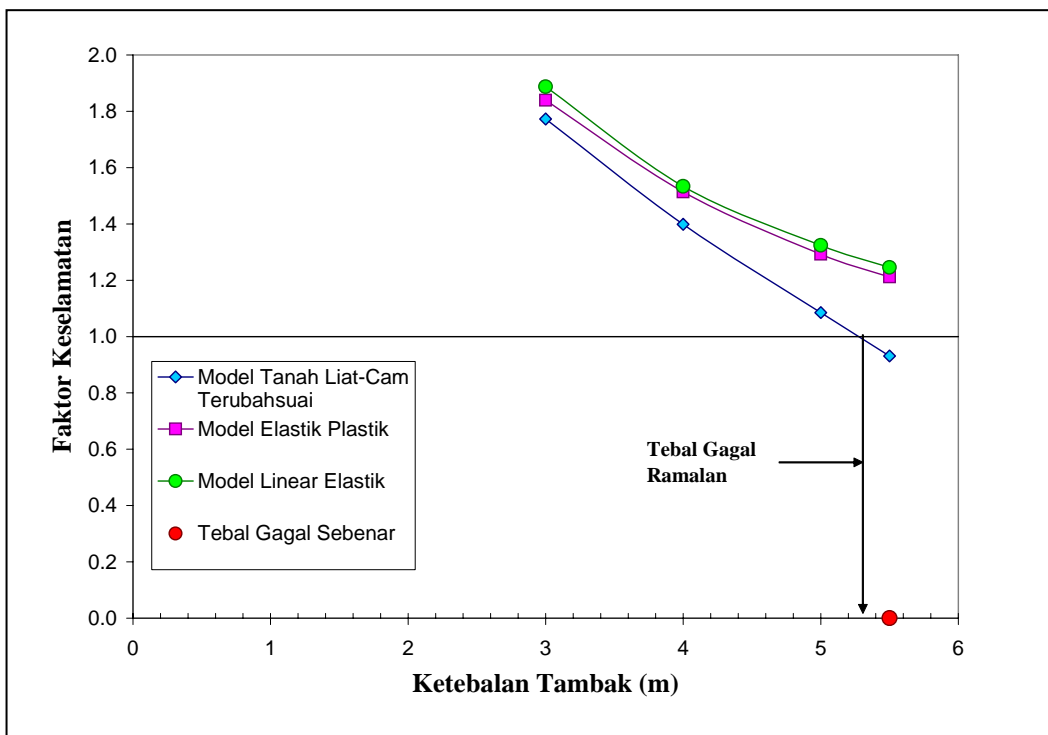
Kelakuan	Model Juzuk Tanah					
	Tanah Liat-Cam Terubahsuai		Elastik Plastik		Linear Elastik	
	Hari ke- 250	Hari ke- 4200	Hari ke- 250	Hari ke- 4200	Hari ke- 250	Hari ke- 4200
Tekanan Air Liang Lebihan	25%	-	11%	-	-76%	-
Enapan	-23%	-2%	-69%	-76%	-51%	-80%
Anjakan Sisi	-28%	-	-57%	-	-75%	-

**Jadual 7.12: Perbandingan antara peramal bagi kelakuan Tambahan Kawalan  
3 m (Skim 3/2)**

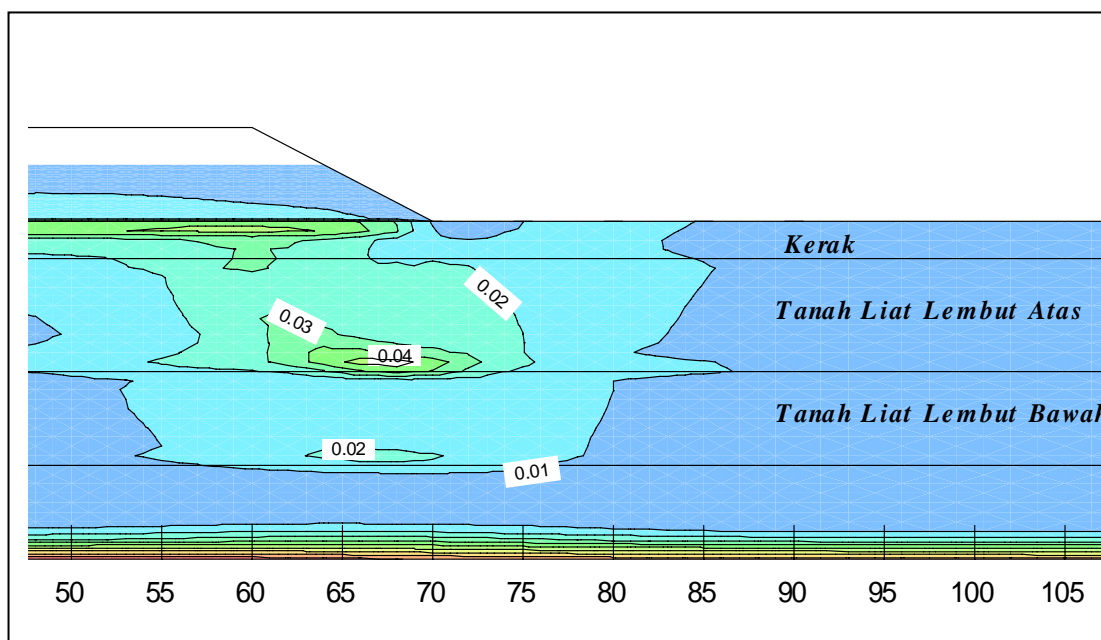
Peramal	Kelakuan					
	Tekanan Air Liang Lebihan, P4 (m)		Enapan Maksimum (m)		Anjakan Sisi Maksimum (mm)	
	Hari ke- 518	Hari ke- 4200	Hari ke- 518	Hari ke- 4200	Hari ke- 518	Hari ke- 4200
LLM	3.4	-	1.20	-	230	-
Penulis	6.22	2.0	0.88	1.46	266	267
Sebenar	4.75	-	0.97	1.60	200	-

**Jadual 7.13: Perbandingan antara peramal bagi kelakuan Tambakan Kawalan 6 m (Skim 6/6)**

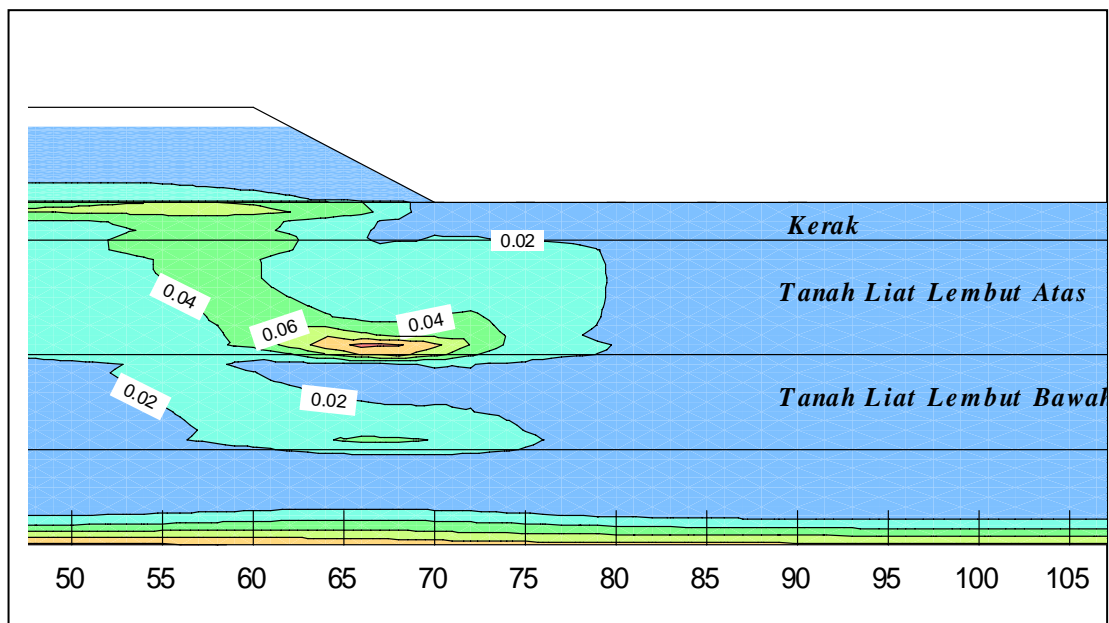
Peramal	Kelakuan					
	Tekanan Air Liang Lebihan, P4 (m)		Enapan Maksimum (m)		Anjakan Sisi Maksimum (mm)	
	Hari ke-400	Hari ke-4200	Hari ke-524	Hari ke-4200	Hari ke-524	Hari ke-4200
LLM	11.5	-	1.85	-	235	-
Penulis	11.5	3.03	1.16	2.52	219	390
Sebenar	7.4	-	1.34	2.57	330	-



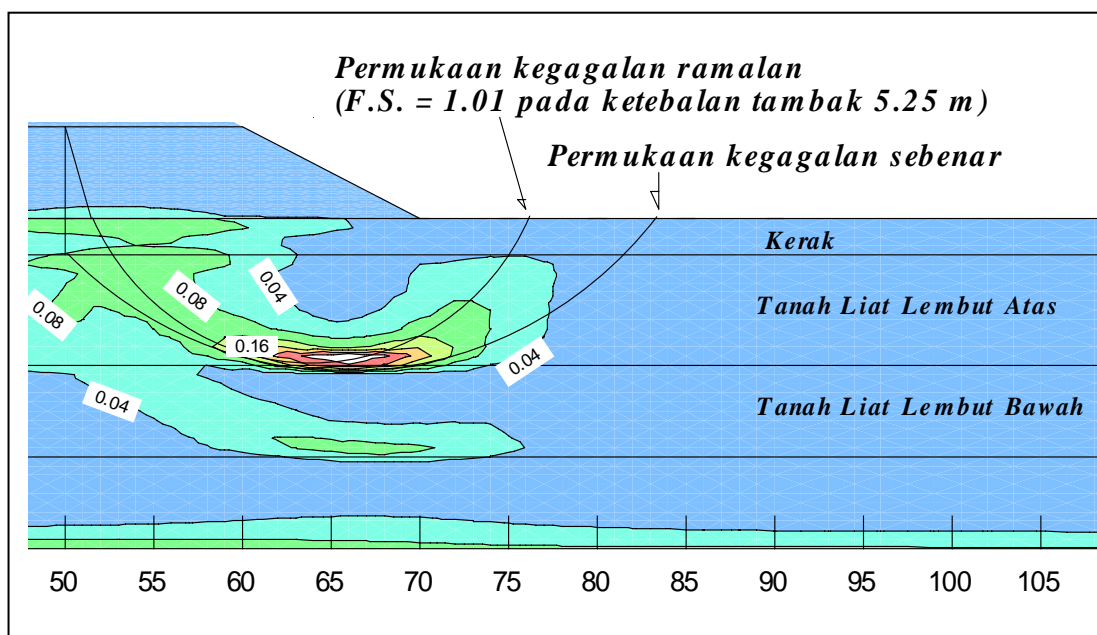
**Rajah 7.1: Tebal kegagalan ramalan daripada analisis tegasan unsur terhingga bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal.**



**a) Ketebalan tambak 3 m**



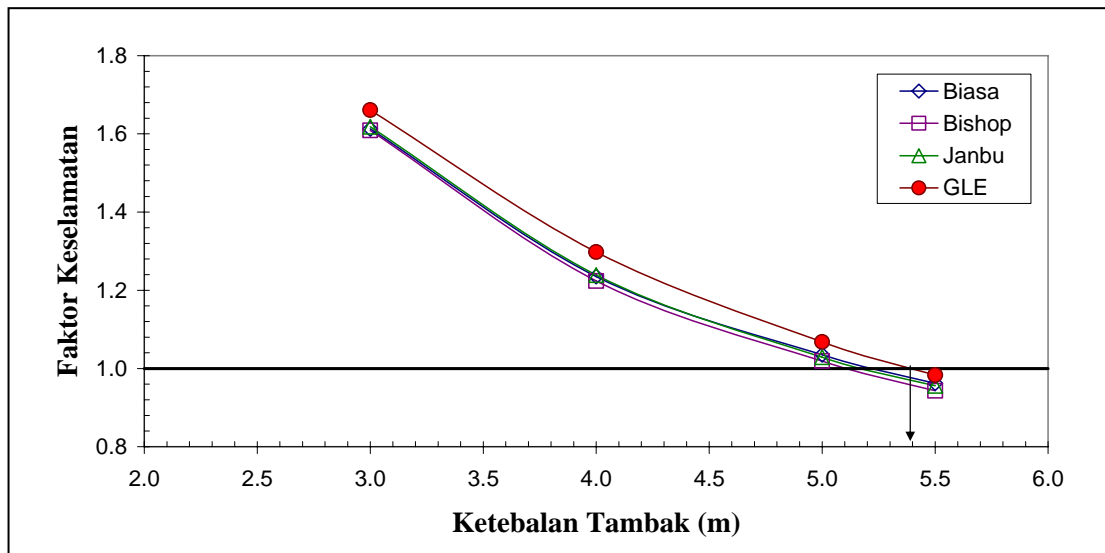
b) Ketebalan tambak 4 m



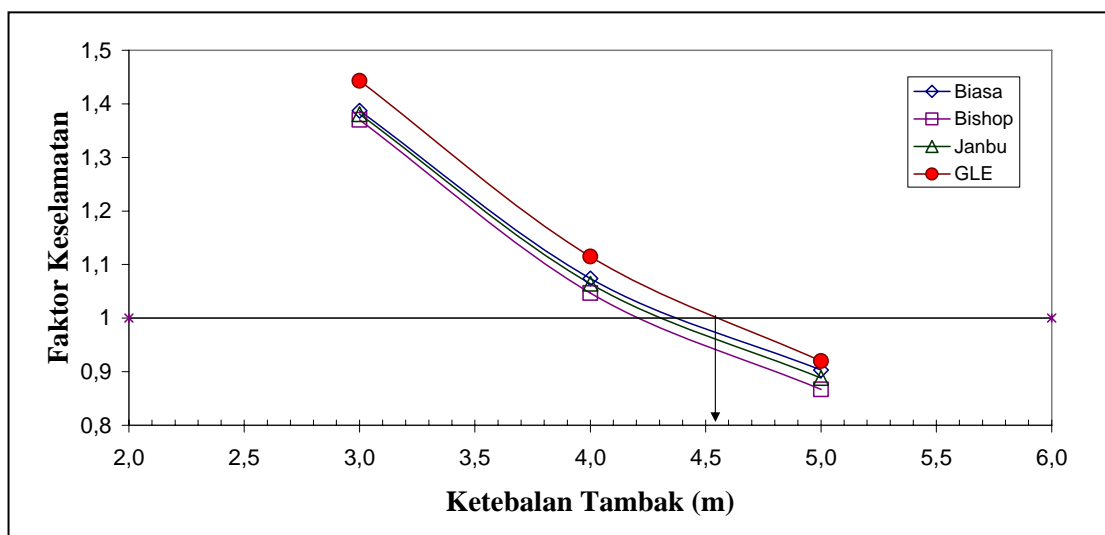
c) Ketebalan tambak 5.25 m

**Rajah 7.2 : Perubahan terikan ricih bagi berbagai ketebalan tambak dan kedudukan permukaan kegagalan ramalan berdasarkan kaedah unsur terhingga bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal**

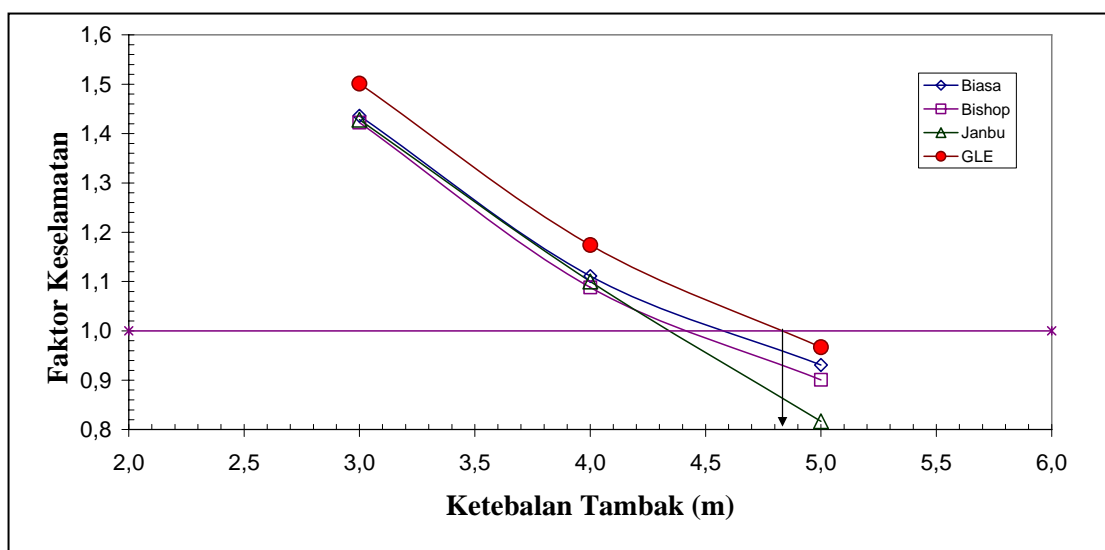




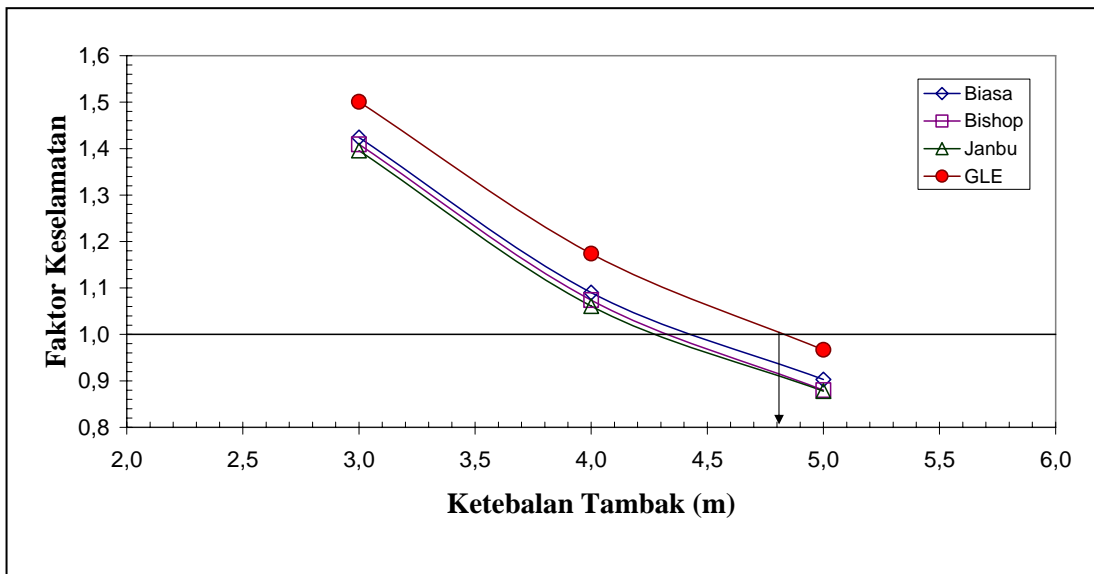
a) Parameter kekuatan ricih bilah tak diperbetulkan



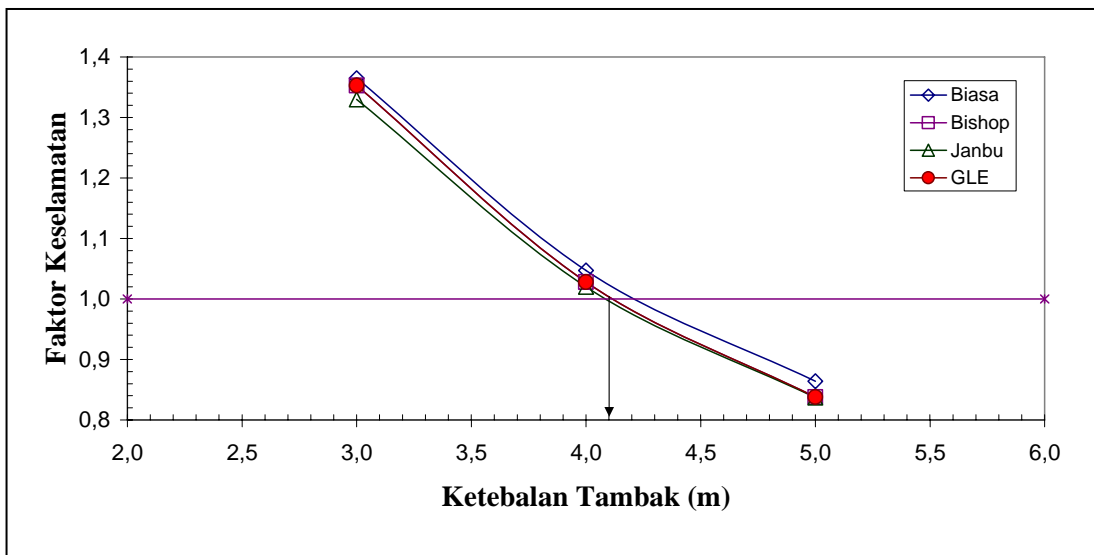
b) Parameter kekuatan ricih bilah dibetulkan



c) Parameter ujian terkukuh tak bersalir (*CKoU*)

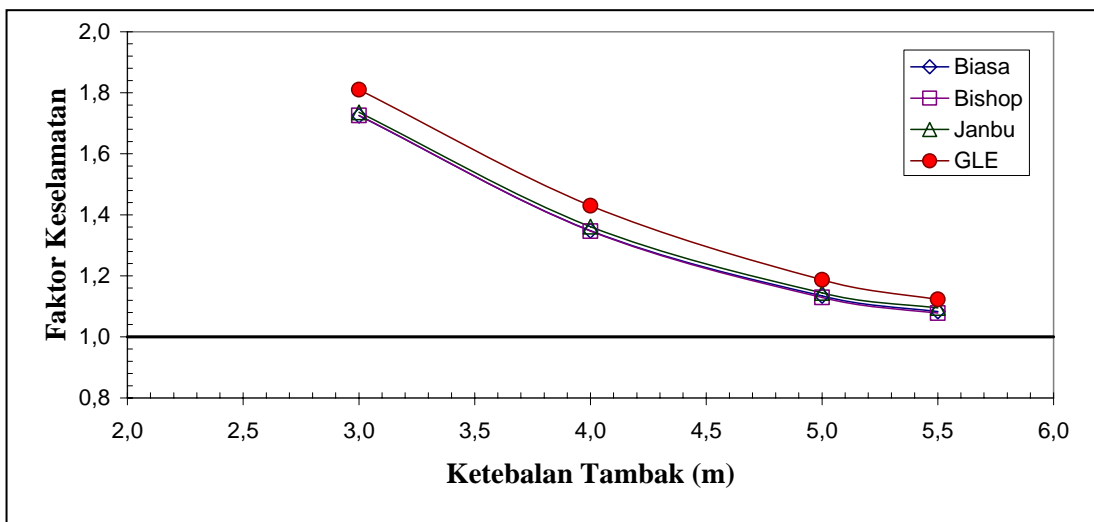


d) Parameter ujian tak terkukuh tak bersalir (UU)

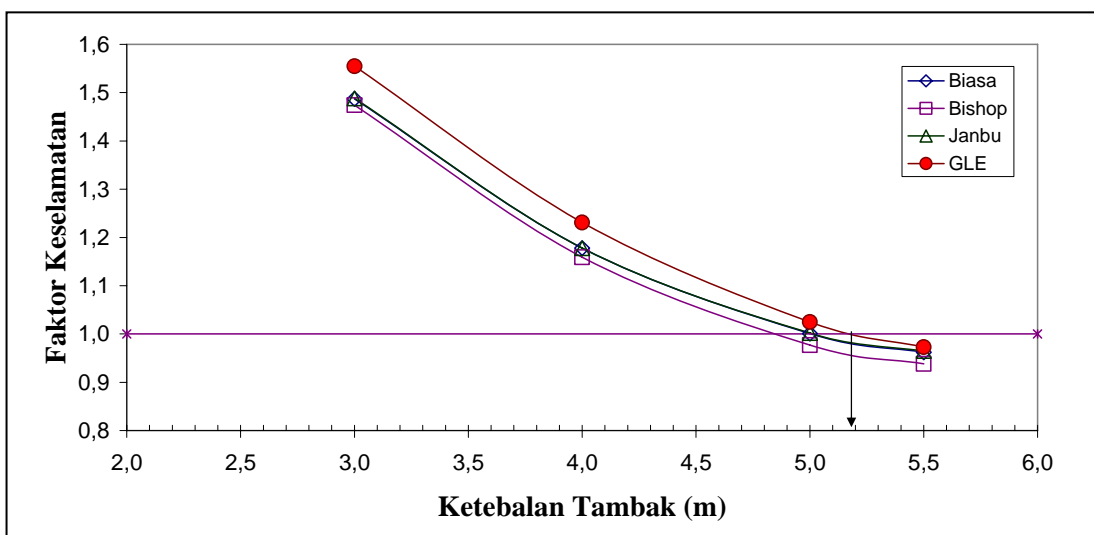


e) Parameter persamaan empirik

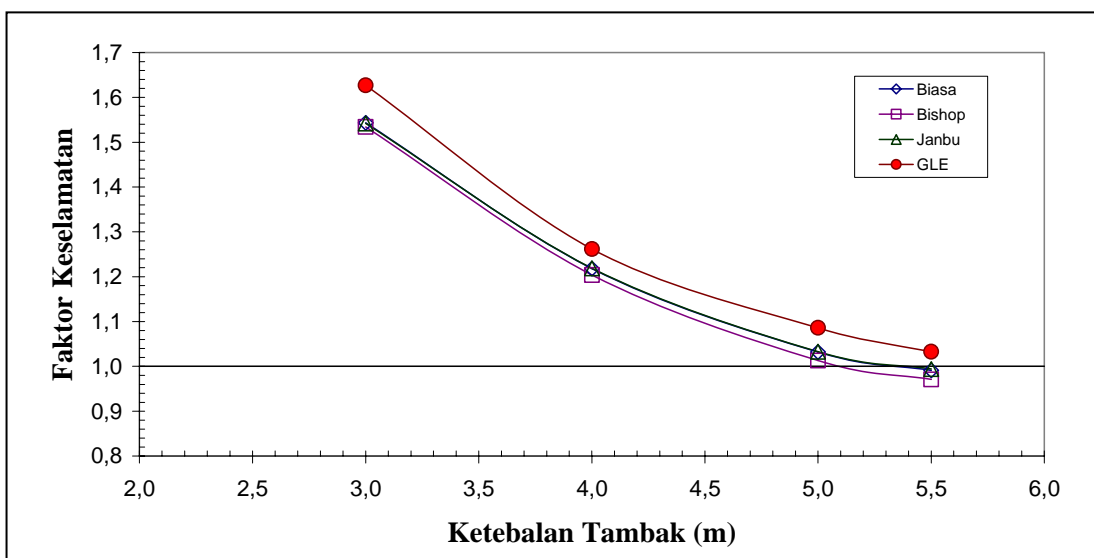
Rajah 7.3 : Taburan faktor keselamatan dengan ketebalan tambak bagi analisis yang tiada kesan enapan bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal



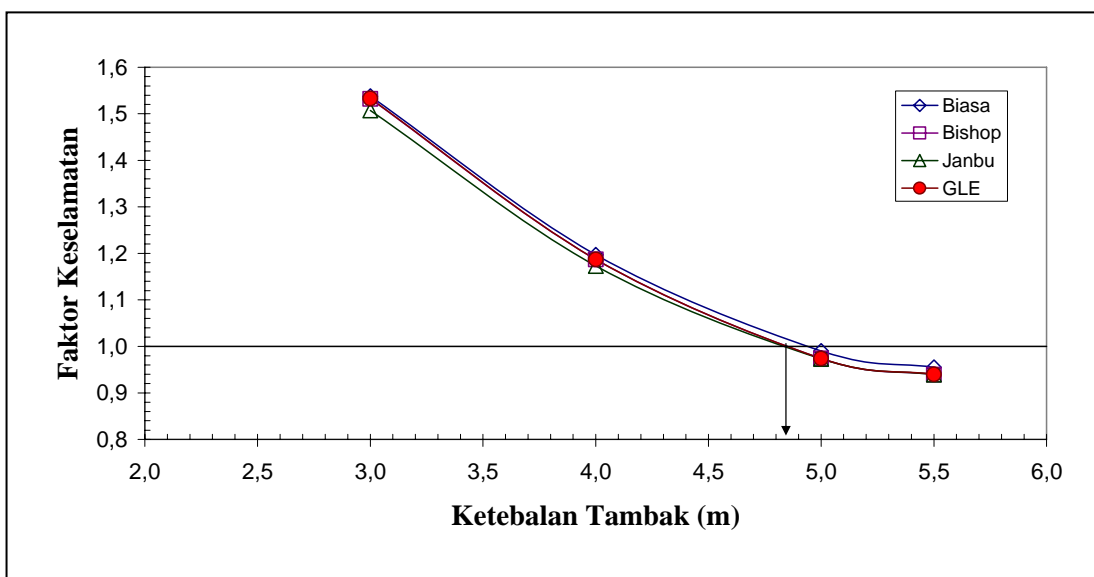
a) Parameter ricih bilah tak diperbetulkan



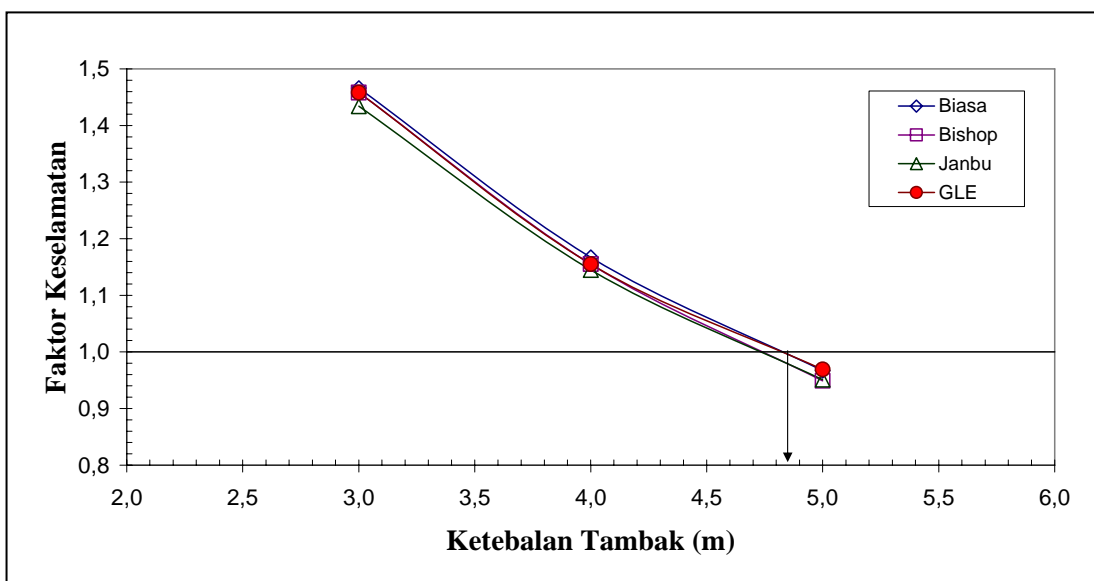
b) Parameter ricih bilah diperbetulkan



c) Parameter ujian terkukuh tak bersalir (CKoU)

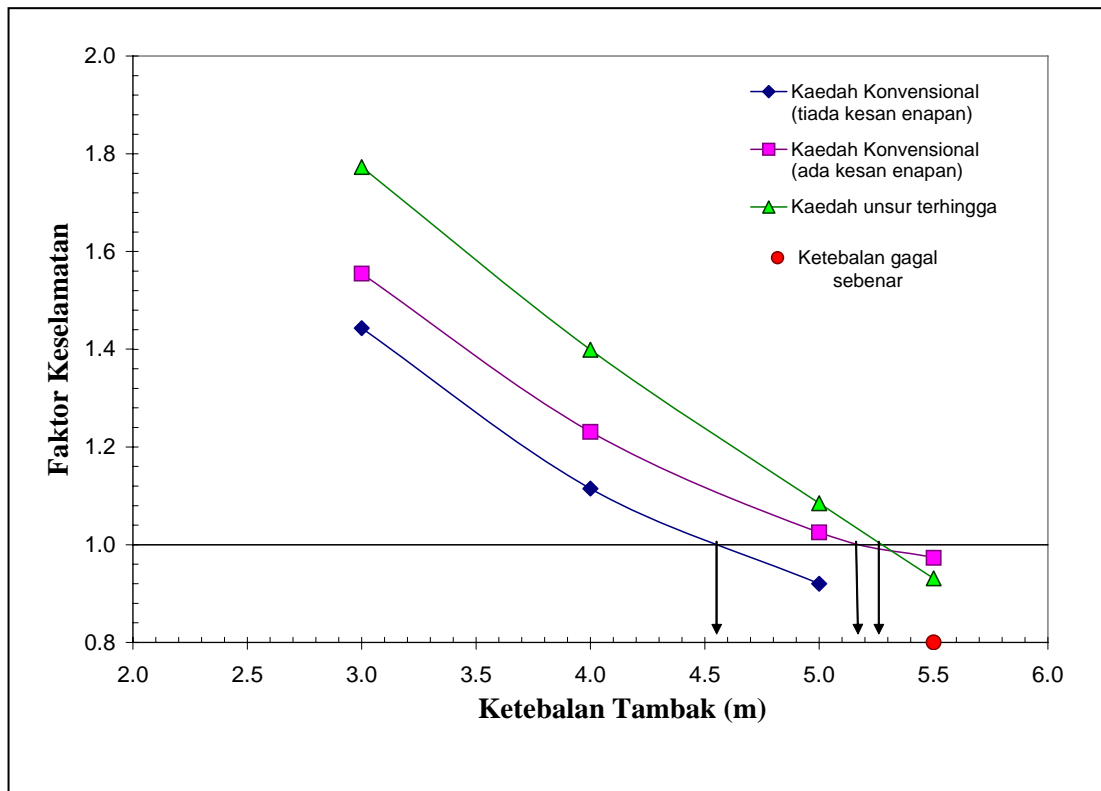


d) Parameter ujian tak terkukuh tak bersalir (UU)

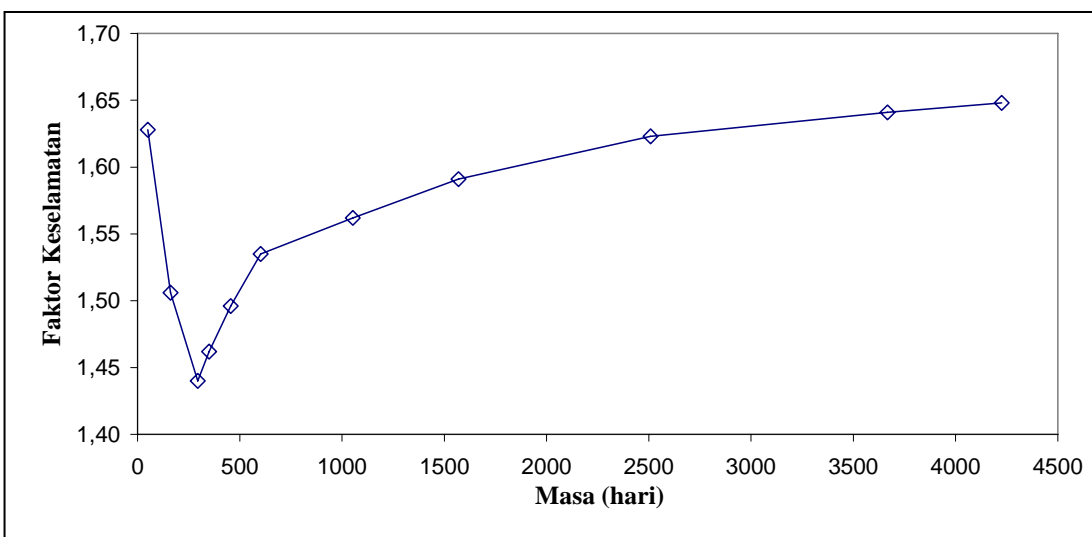
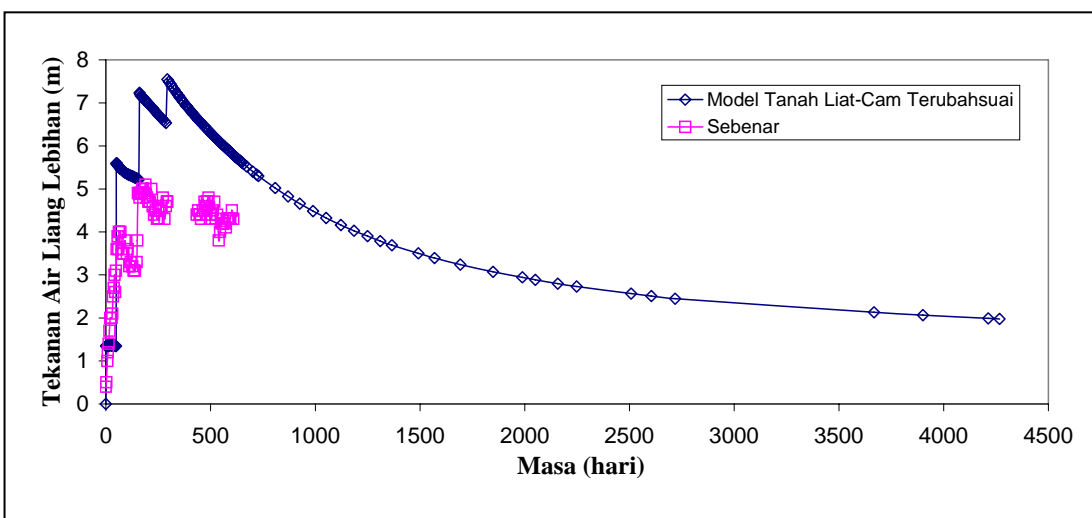
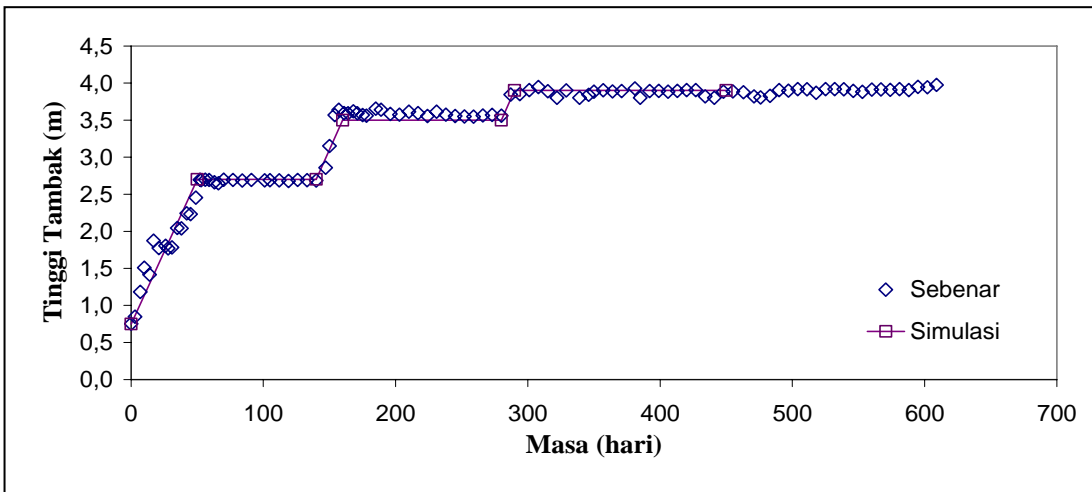


e) Parameter persamaan empirik

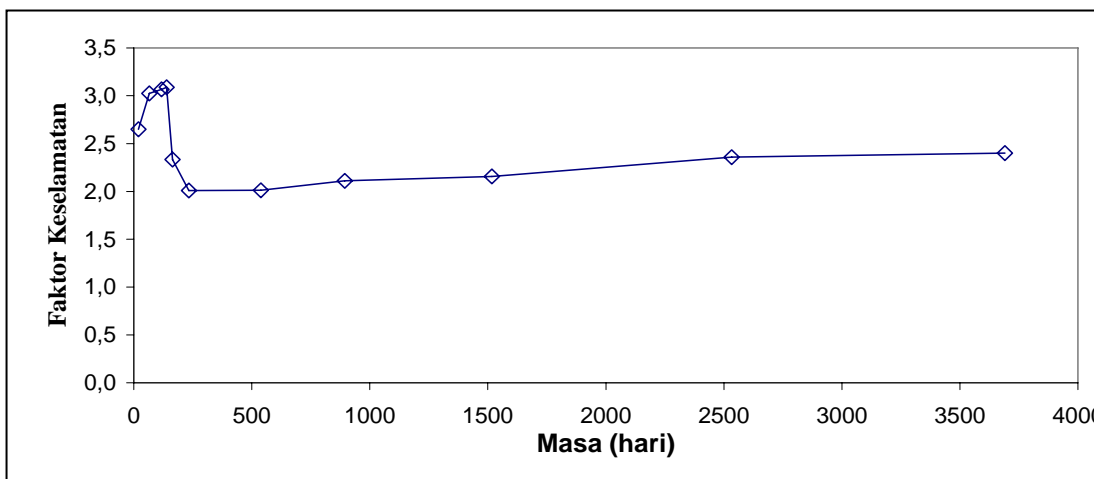
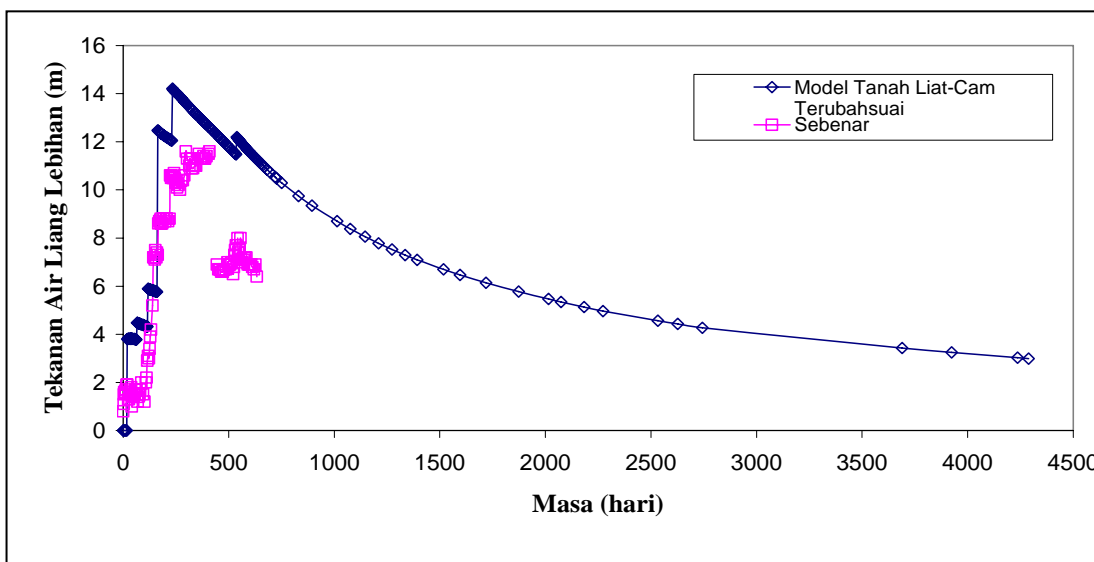
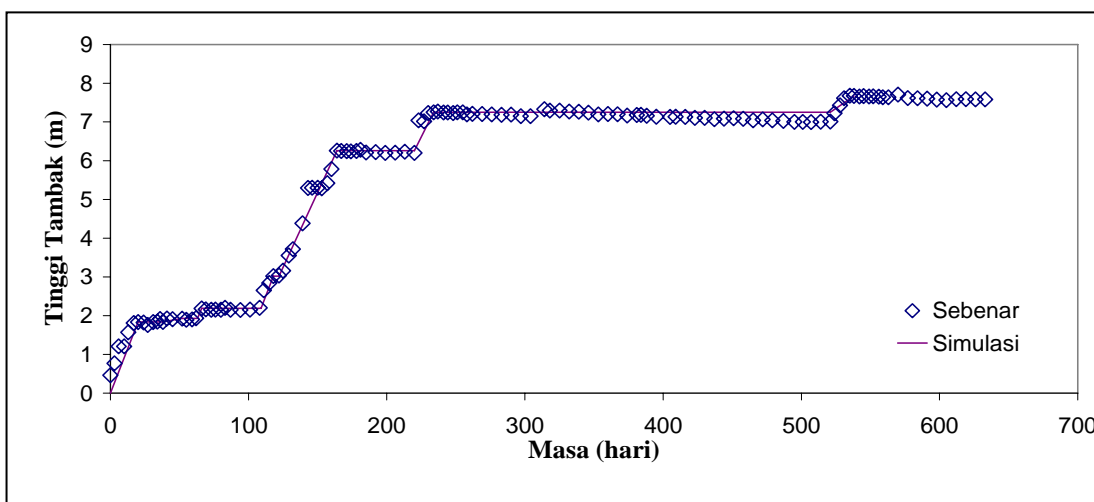
Rajah 7.4 : Taburan faktor keselamatan dengan ketebalan tambak bagi analisis yang ada kesan enapan) bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal



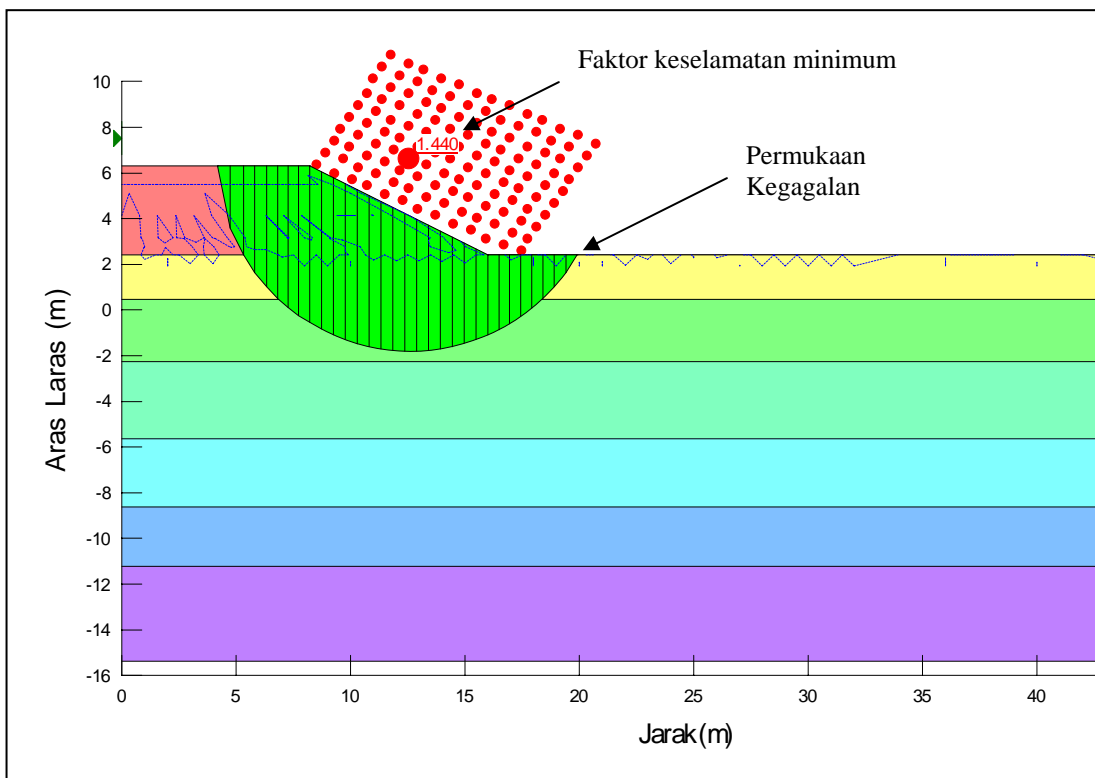
**Rajah 7.5 : Perbandingan faktor keselamatan kaedah konvensional Keseimbangan Had Umum (GLE) dengan kaedah unsur terhingga bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal**



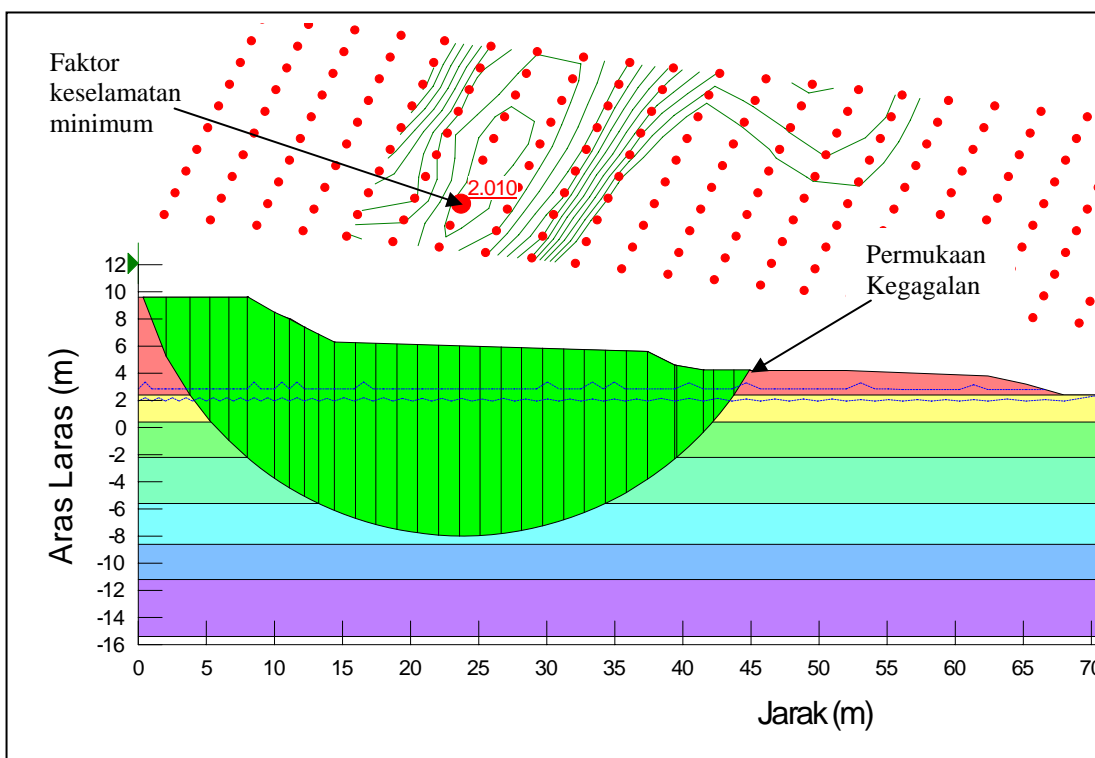
**Rajah 7.6 : Taburan perubahan faktor keselamatan dengan masa bagi Tambakan Kawalan 3 m.**



**Rajah 7.7 : Taburan perubahan faktor keselamatan dengan masa bagi Tambakan Kawalan 6 m.**

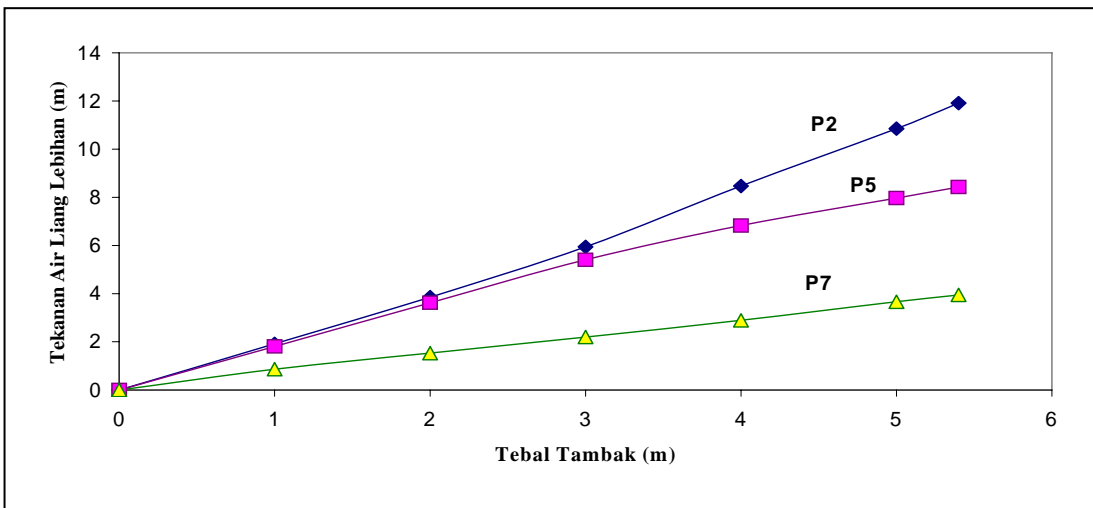


**Rajah 7.8: Permukaan kegagalan gelinciran Tambakan Kawalan 3 m**

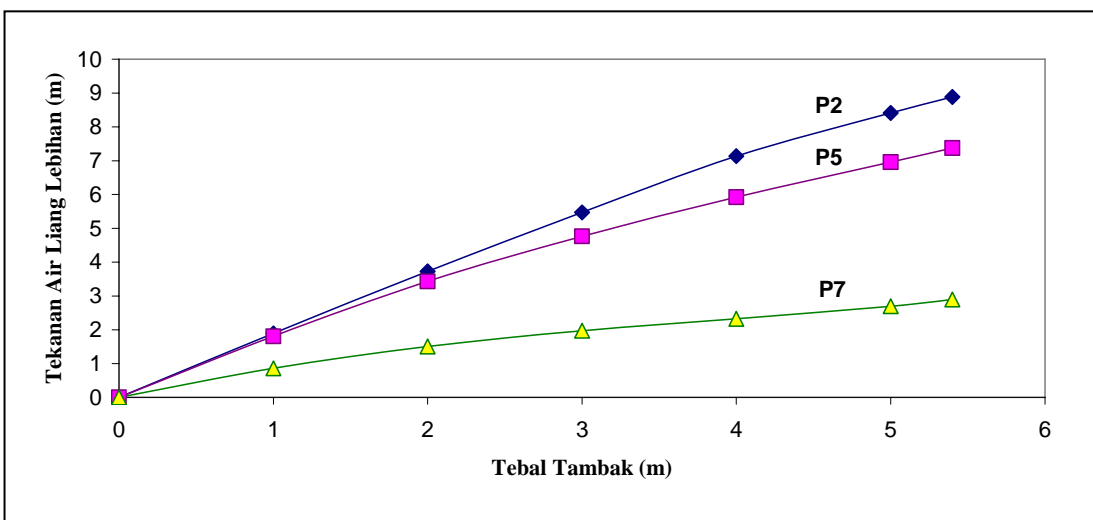


**Rajah 7.9: Permukaan kegagalan gelinciran Tambakan Kawalan 6 m**

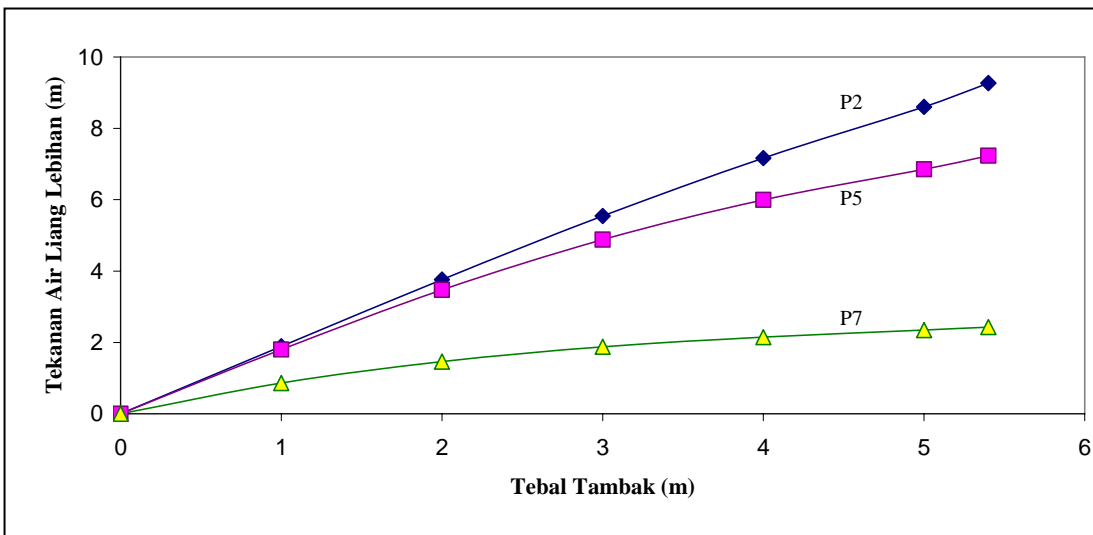




a) Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai

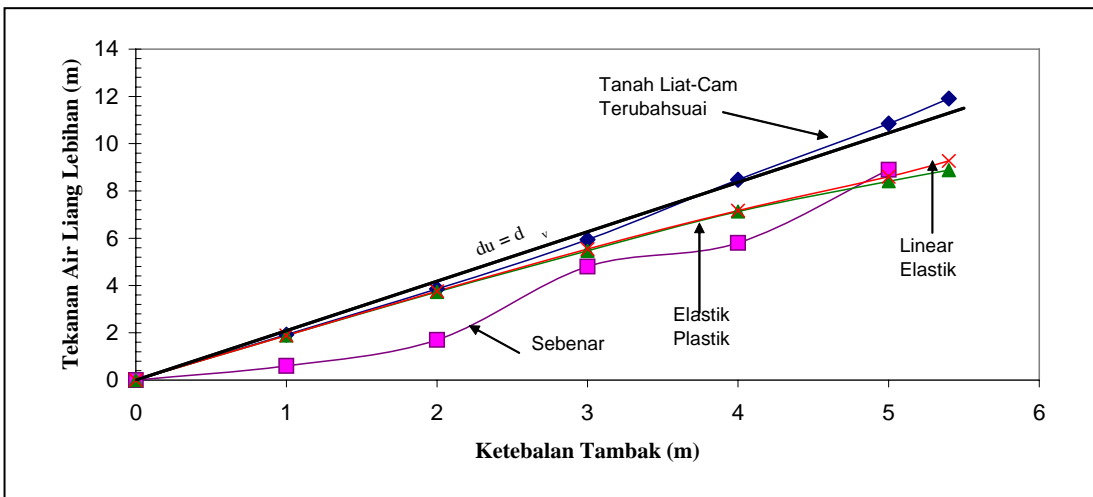


b) Model Elastik Plastik

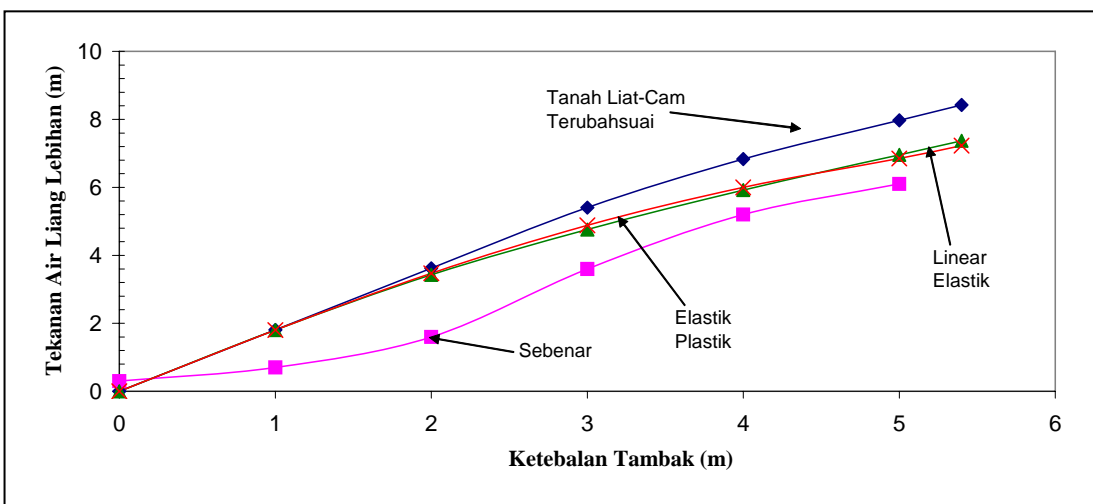


c) Model Linear Elastik

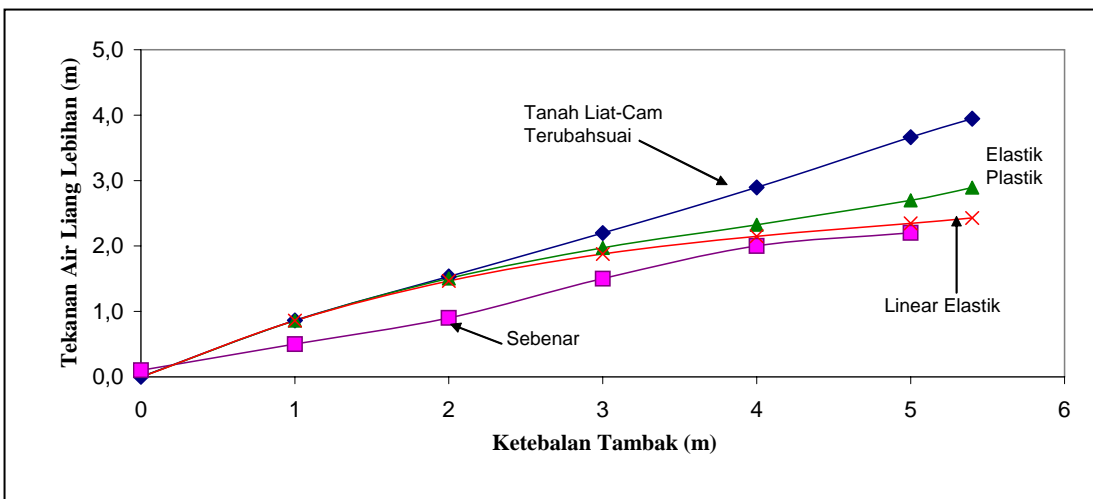
Rajah 7.10 : Taburan tekanan air liang lebihan mengikut ketebalan tambak untuk setiap model juzuk tanah bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal



a) P2

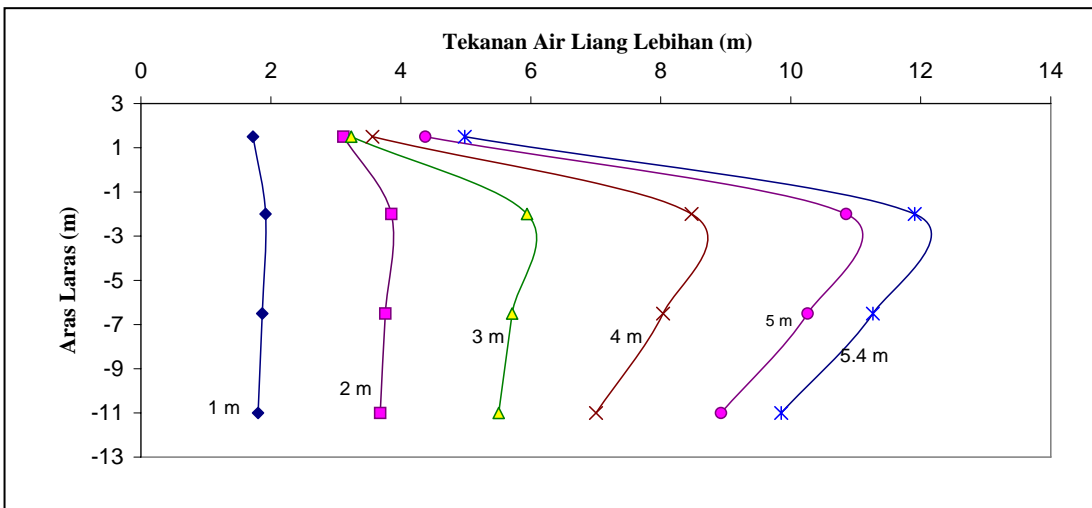


b) P5

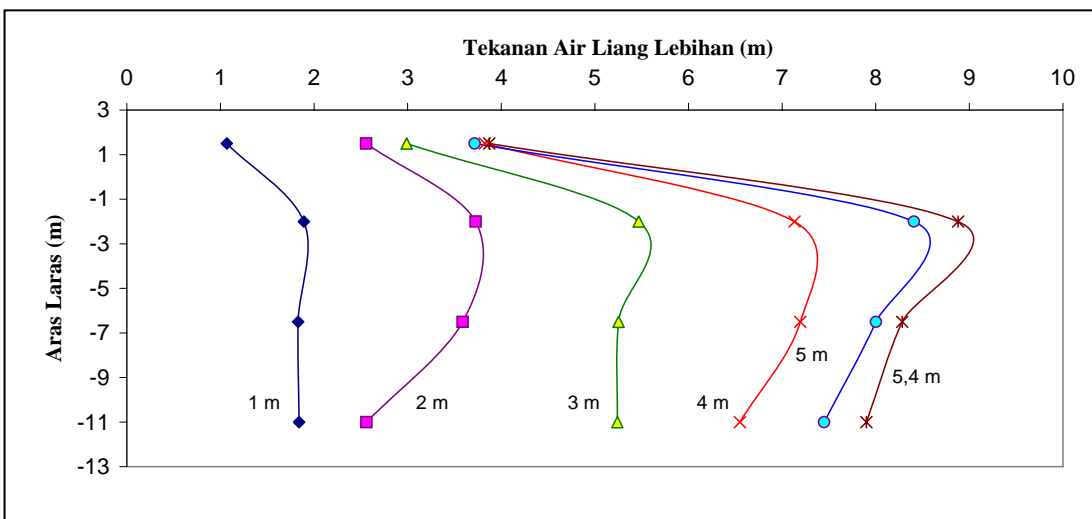


c) P7

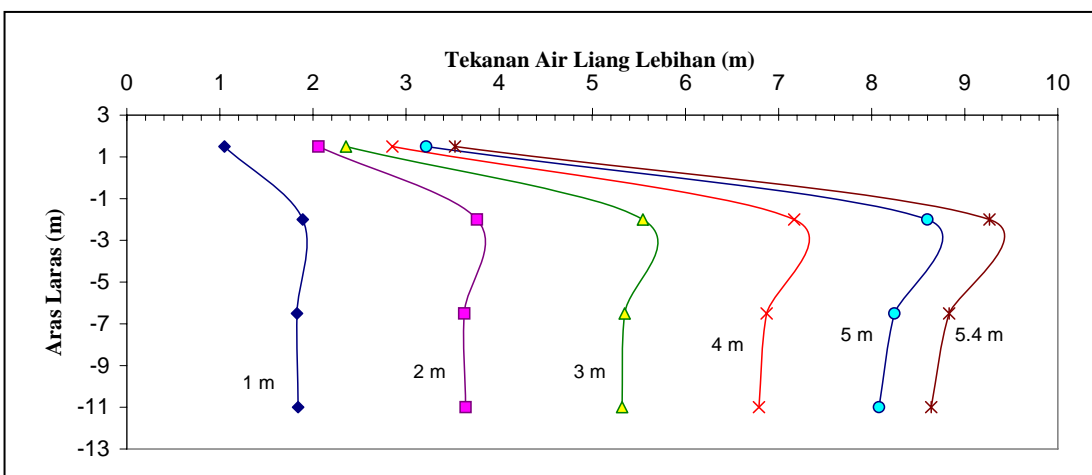
Rajah 7.11 : Perbandingan tekanan air liang lebih ramalan dengan sebenar di titik P2, P5 dan P7 bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal



a) Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai

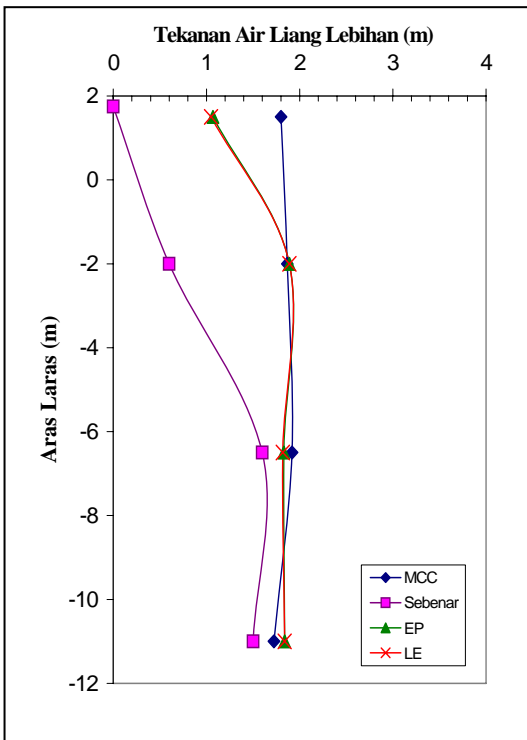


b) Model Elastik Plastik

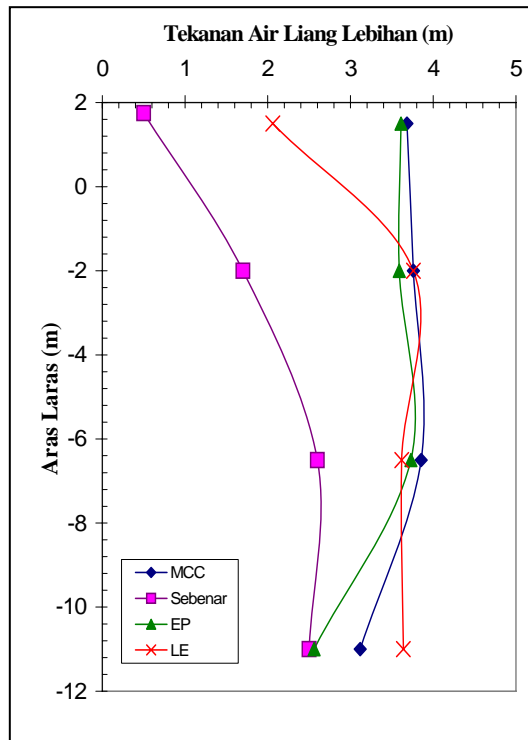


c) Model Linear Elastik

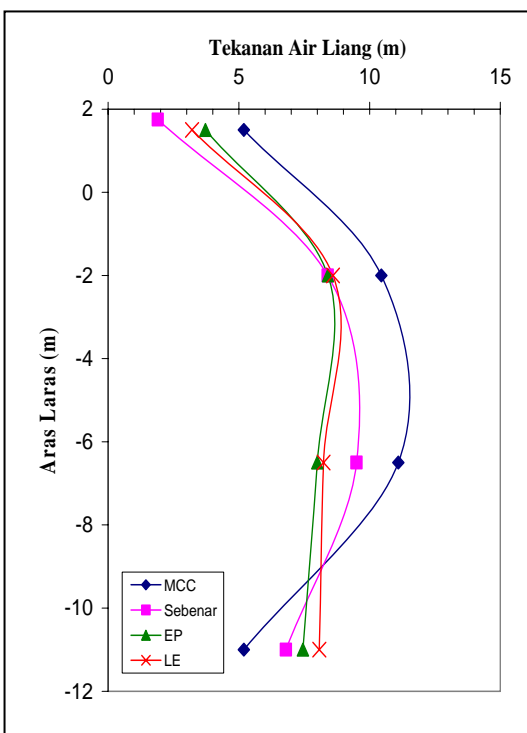
Rajah 7.12 : Taburan tekanan air liang lebih pada titik tengah tambakan dengan kedalaman untuk setiap model jujuk tanah bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal



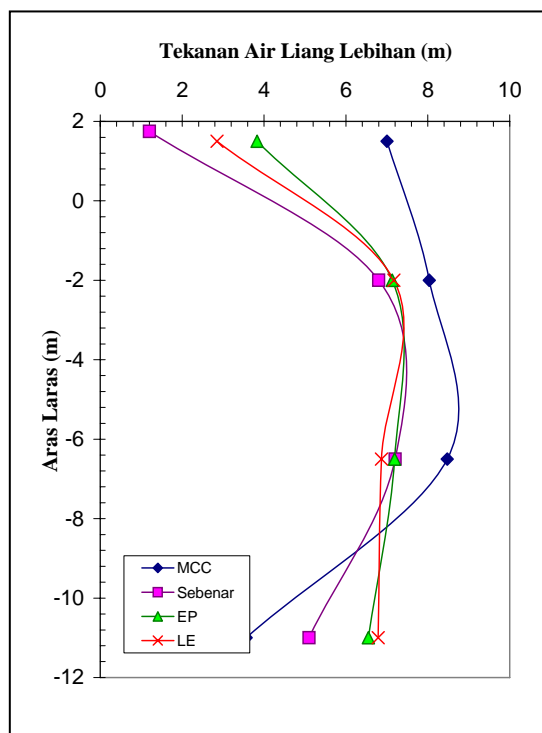
a) Tebal tambak 1 m



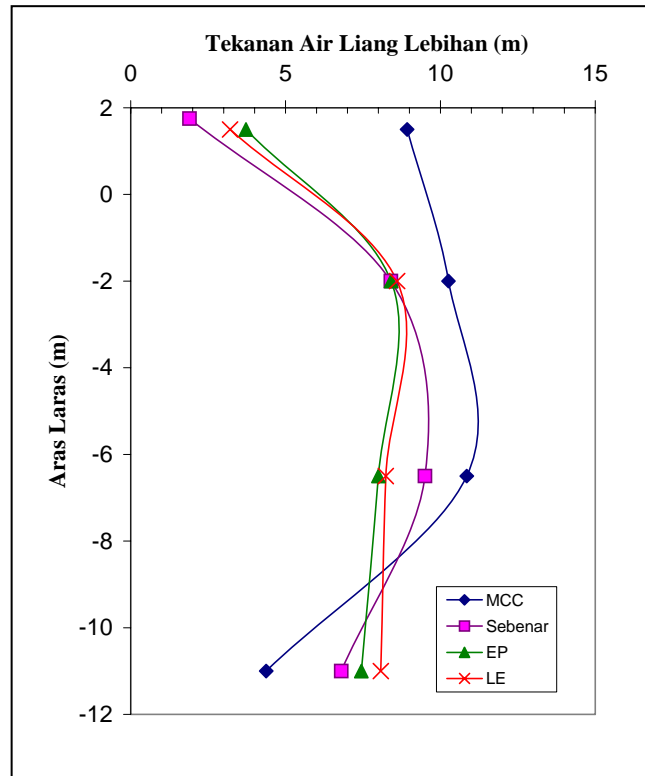
b) Tebal Tambak 2 m



c) Tebal Tambak 3 m

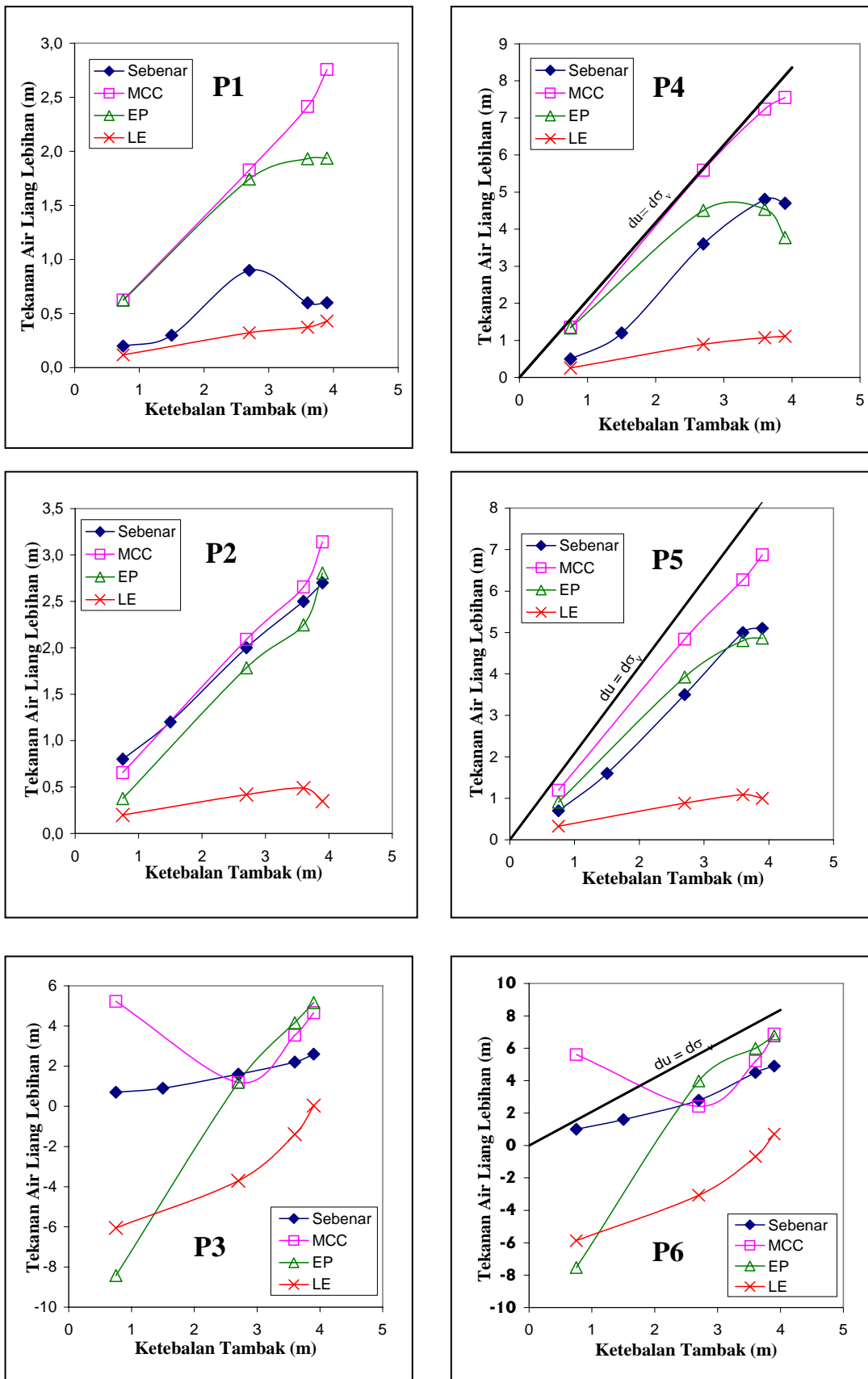


d) Tebal Tambak 4 m

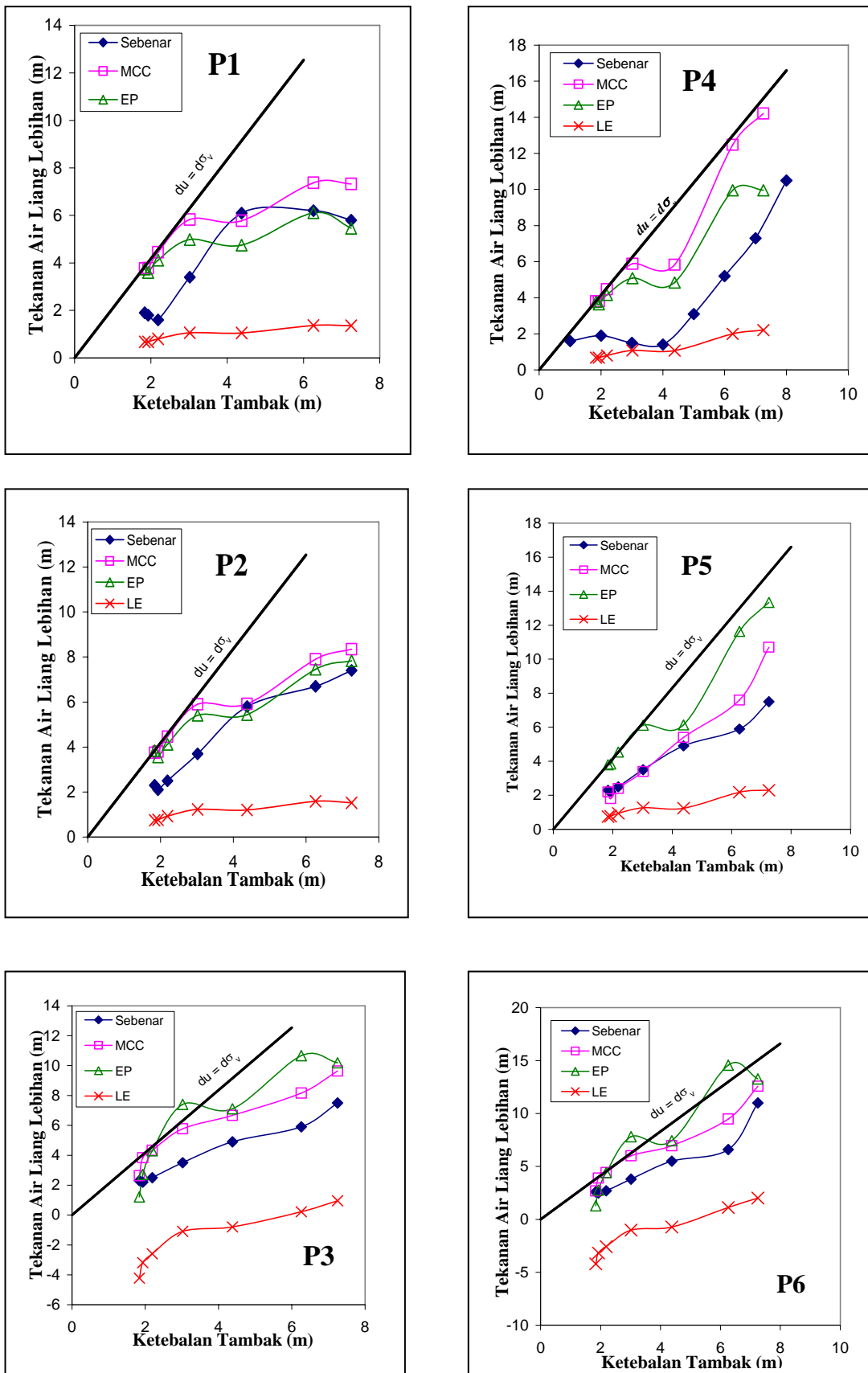


e) Tebal Tambak 5 m

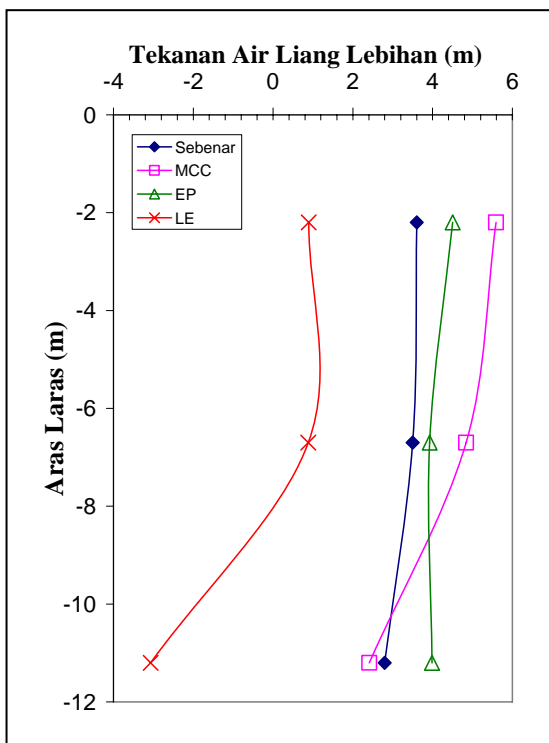
**Rajah 7.13 : Perbandingan taburan tekanan air liang lebih ramalan pada titik tengah tambakan mengikut kedalaman dengan bacaan pengukuran sebenar untuk setiap meter tambak bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal**



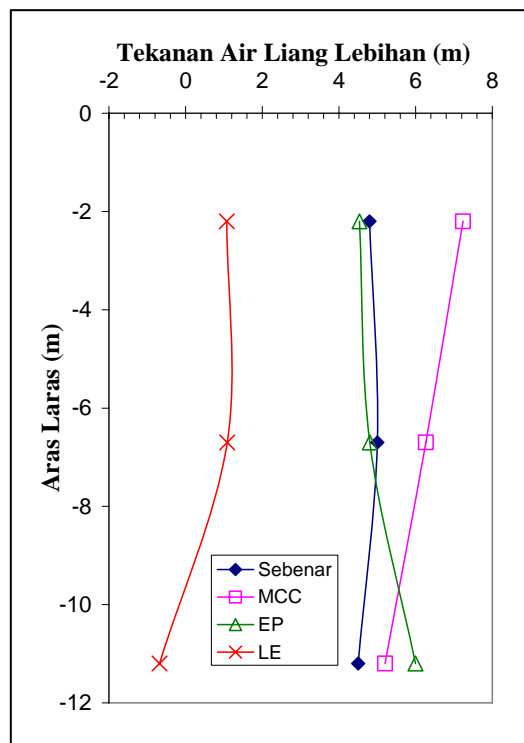
**Rajah 7.14 : Perbandingan tekanan air liang lebih ramalan pada pelbagai kedudukan dengan ukuran sebenar bagi tambakan kawalan 3 m**



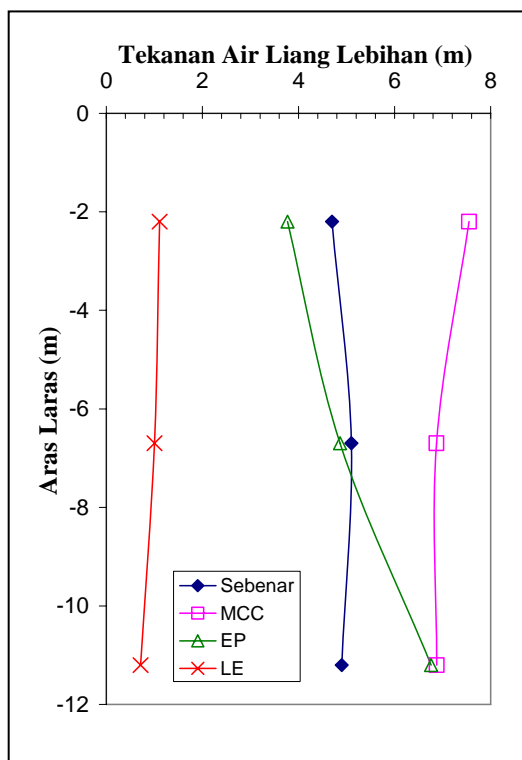
**Rajah 7.15 : Perbandingan tekanan air liang lebih ramalan pada pebagai kedudukan dengan ukuran sebenar bagi tambakan kawalan 6 m**



a) Ketebalan Tambak 2.7 m



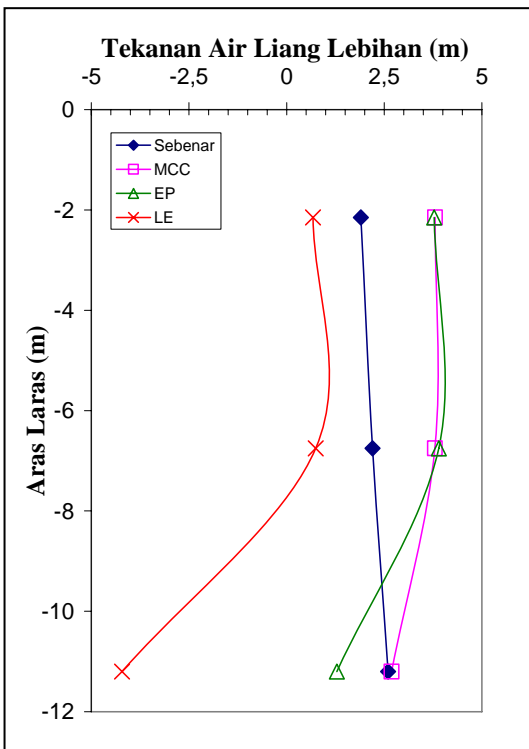
b) Ketebalan Tambak 3.5 m



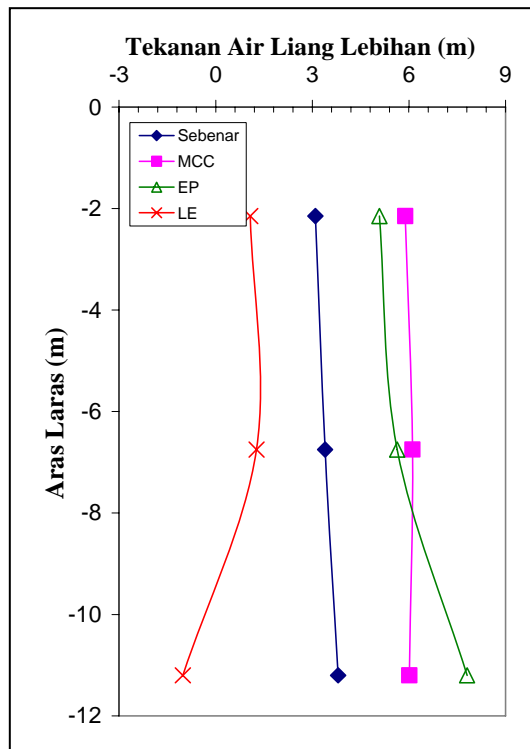
c) Ketebalan Tambak 3.9 m

**Rajah 7.16: Perbandingan tekanan air liang mengikut kedalaman di bawah garis tengah Tambakan Kawalan 3 m.**

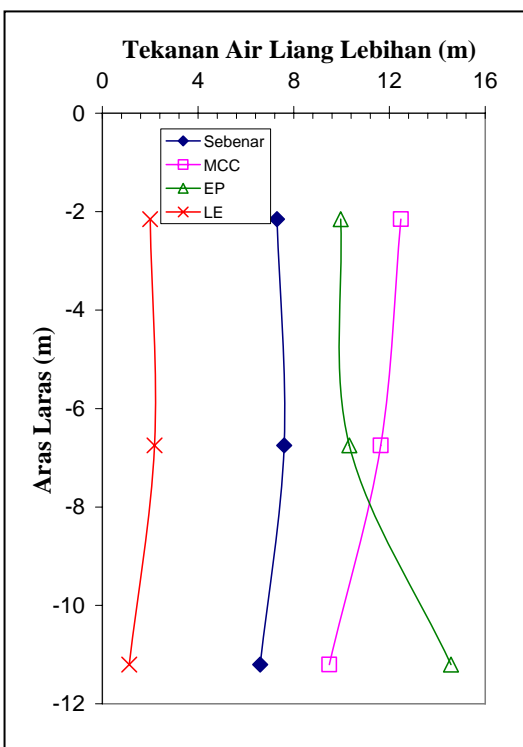




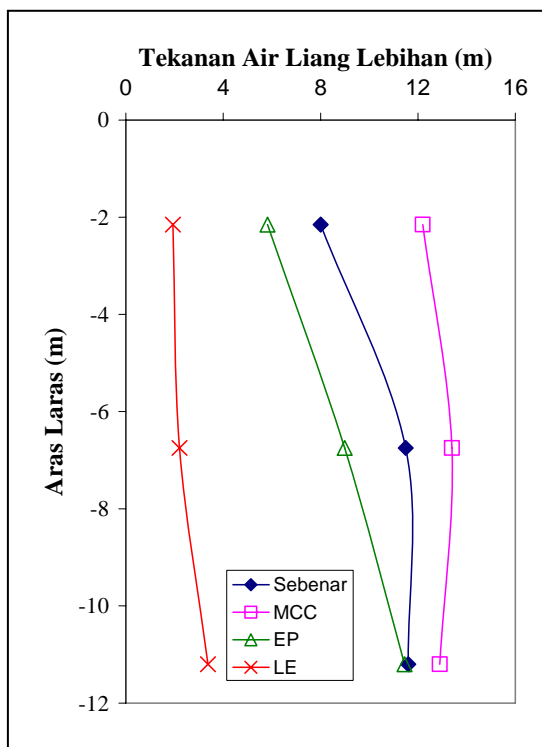
a) Ketebalan Tambak 1.84 m



b) Ketebalan Tambak 3.02 m

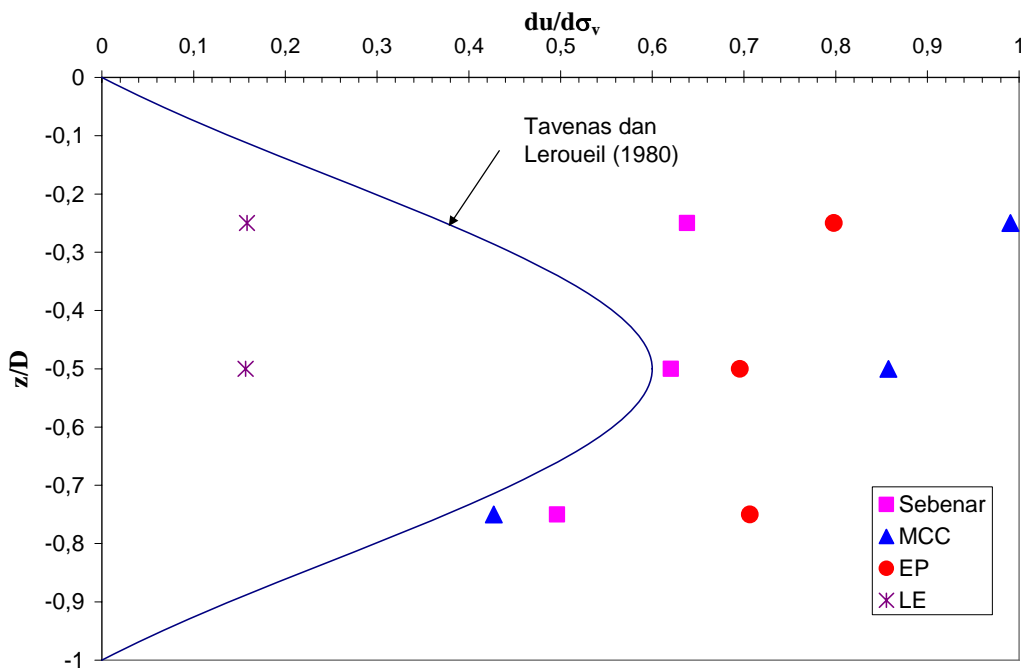


c) Ketebalan Tambak 6.26 m

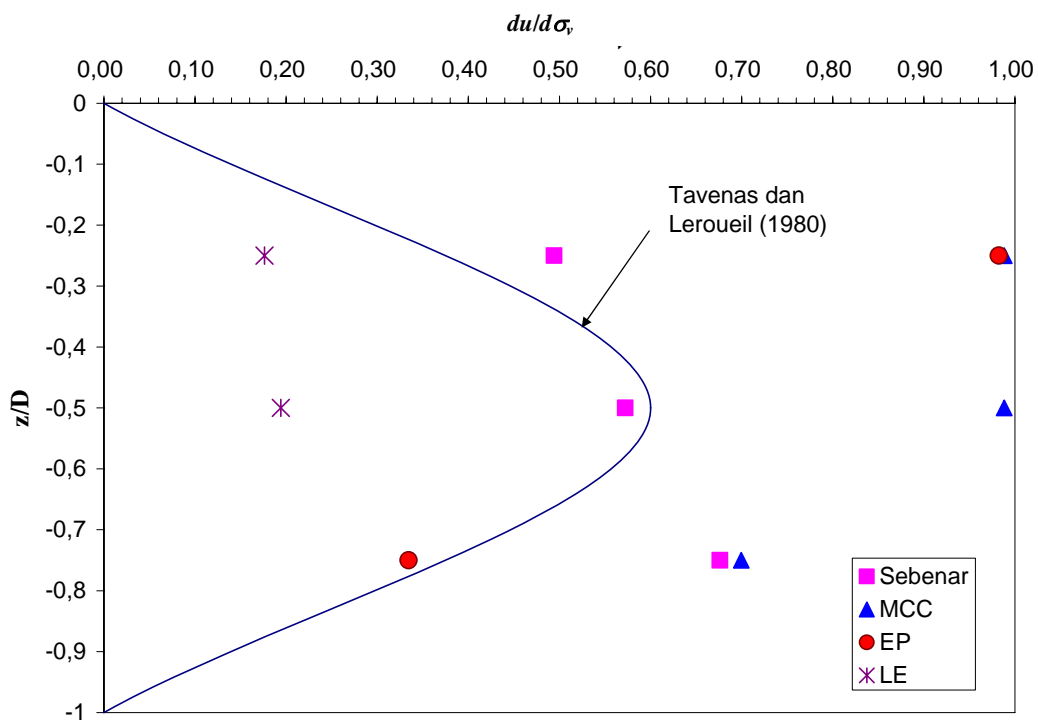


d) Ketebalan Tambak 7.67 m

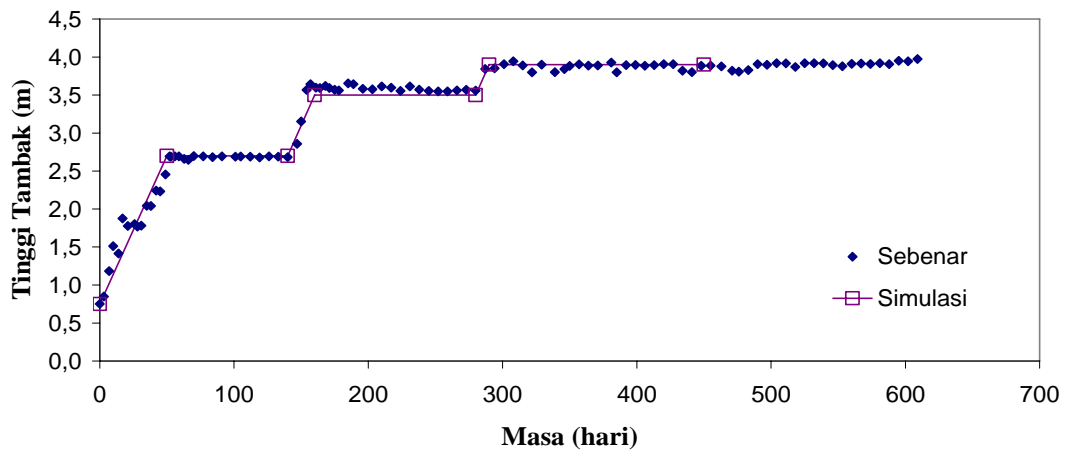
Rajah 7.17: Perbandingan tekanan air liang mengikut kedalaman di bawah garis tengah Tambakan Kawalan 6 m



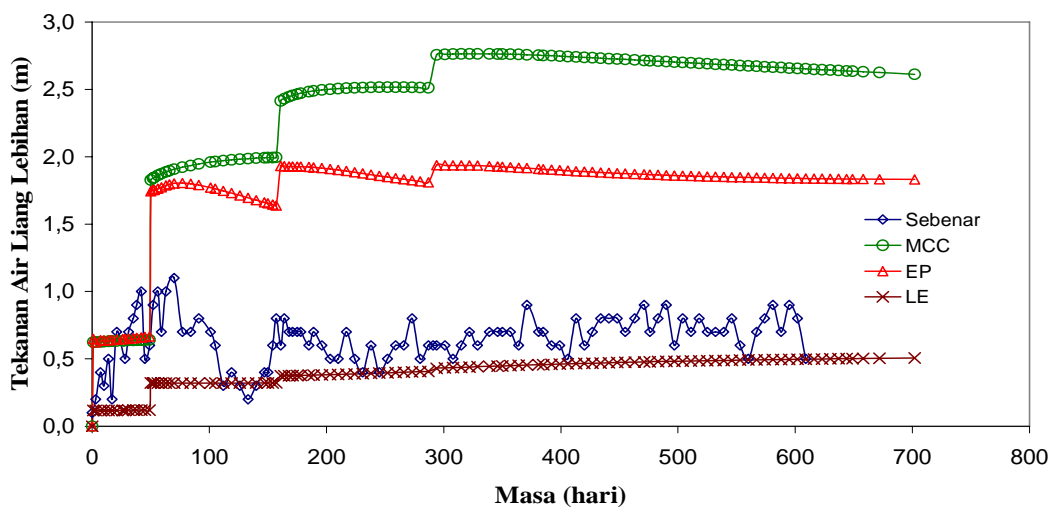
**Rajah 7.18: Perbandingan taburan tekanan air liang lebihan di bawah garis pusat tambakan kawalan 3 m semasa peringkat pertama pembinaan.**



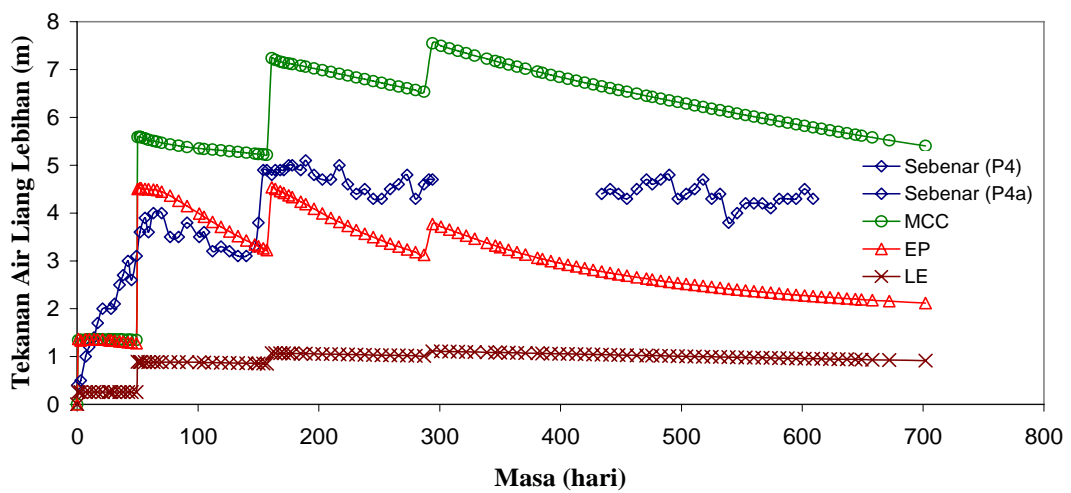
**Rajah 7.19: Perbandingan taburan tekanan air liang lebihan di bawah garis pusat Tambakan Kawalan 6 m semasa peringkat pertama pembinaan.**



a) Perbandingan simulasi penambakan

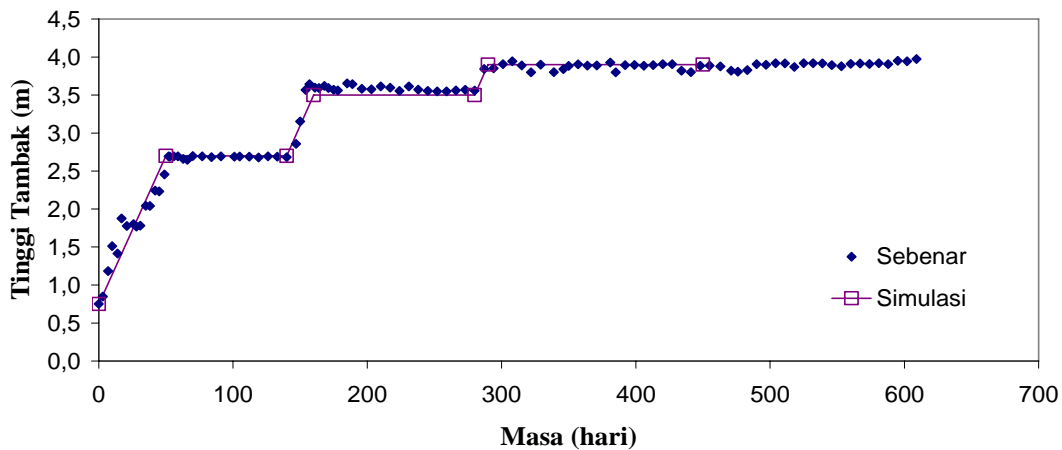


b) Tekanan air liang di bawah hilir tambakan, P1

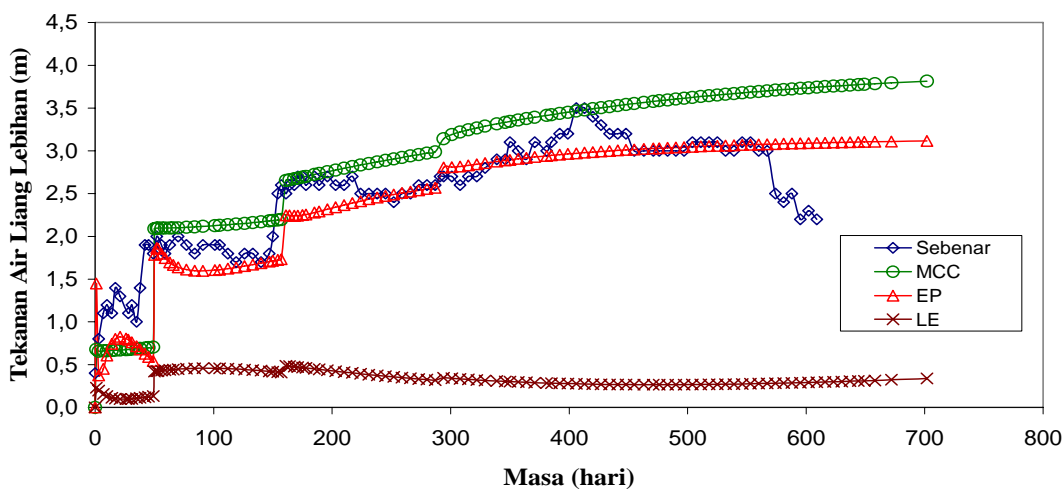


c) Tekanan air liang lebihan di bawah garis pusat tambakan, P4

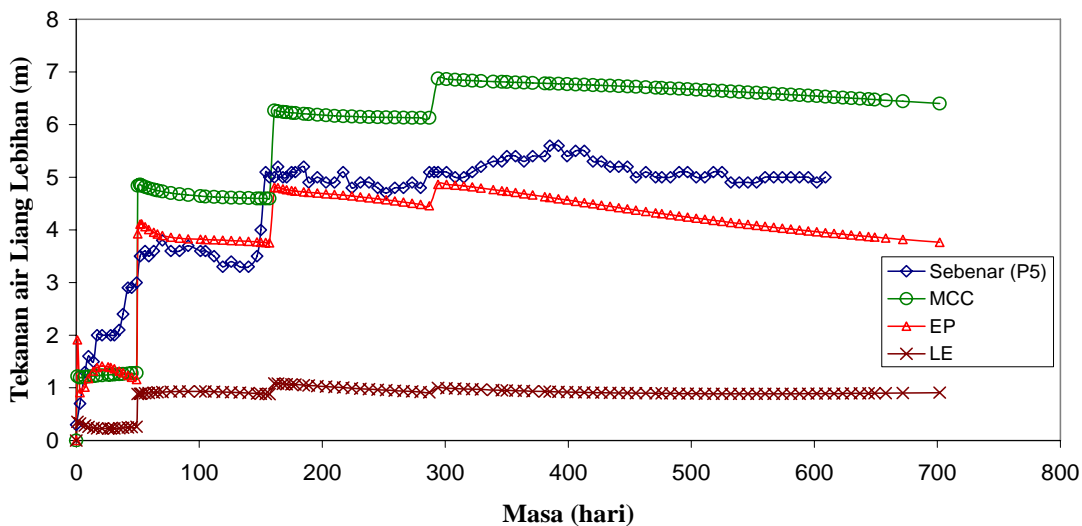
Rajah 7.20 : Perbandingan tekanan air liang lebihan di aras laras -2.20 m  
Tambakan Kawalan 3 m



a) Perbandingan simulasi penambakan

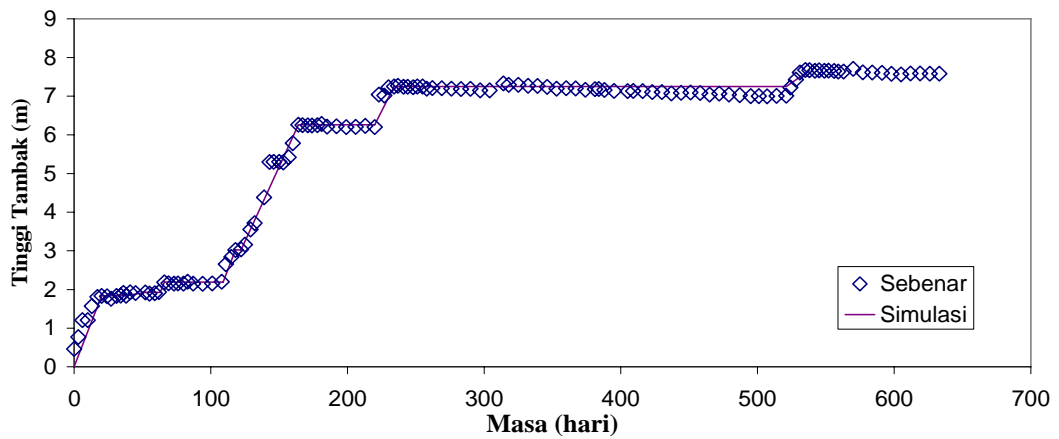


b) Tekanan air liang di bawah hilir tambakan, P2

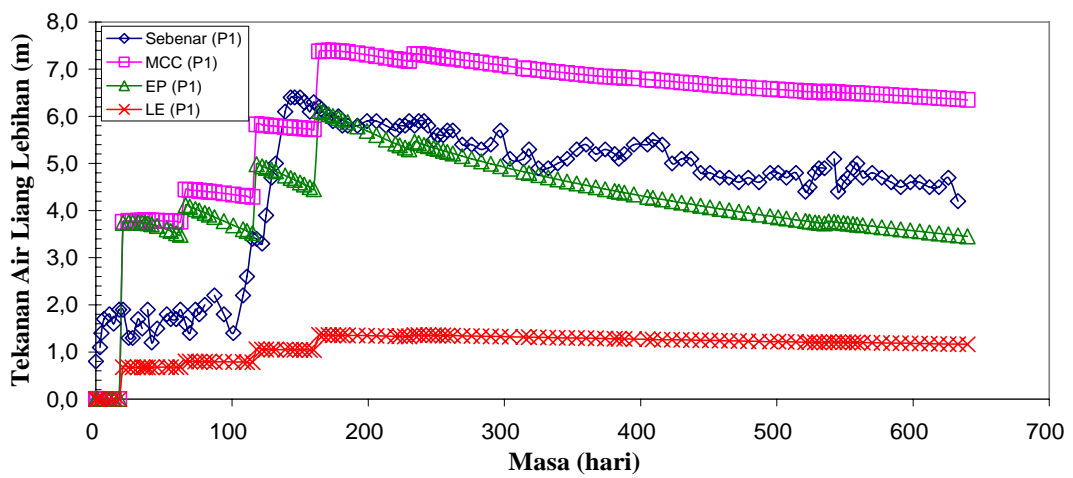


c) Tekanan air liang lebihan di bawah garis pusat tambakan, P5

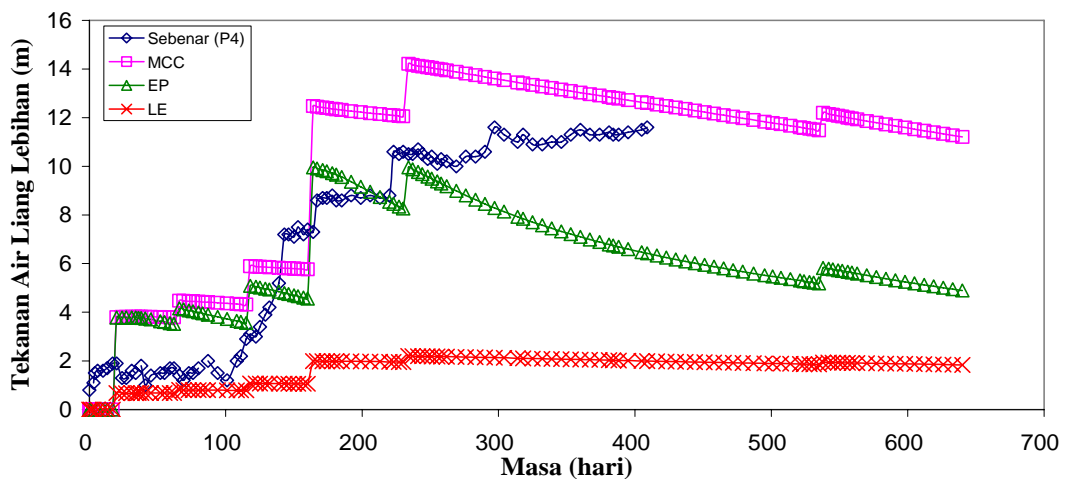
Rajah 7.21 : Perbandingan tekanan air liang lebihan di aras laras -6.70 m  
Tambakan Kawalan 3 m



a) Perbandingan simulasi penambakan

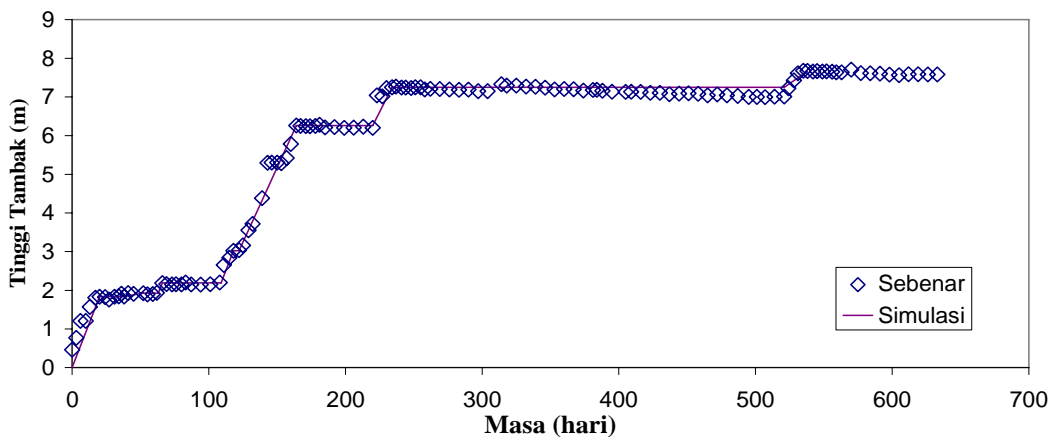


b) Tekanan air liang di bawah hilir tambakan, P1

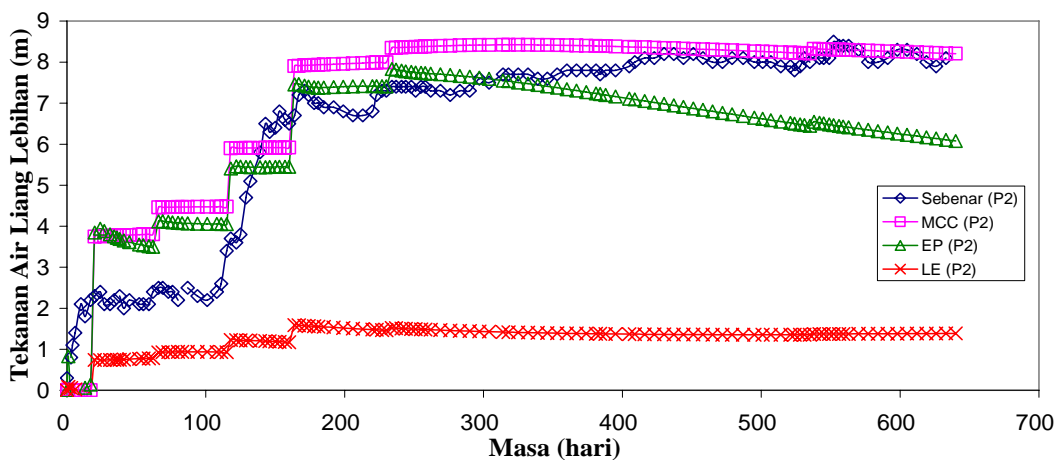


c) Tekanan air liang lebih di bawah garis pusat tambakan, P4

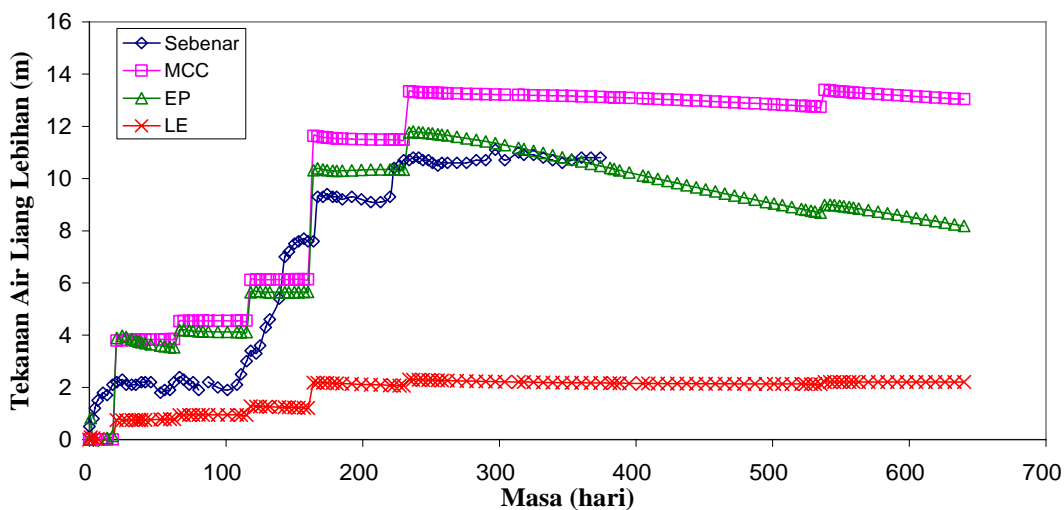
Rajah 7.22 : Perbandingan tekanan air liang lebih di aras laras -2.20 m  
Tambakan Kawalan 6 m



a) Perbandingan simulasi penambakan

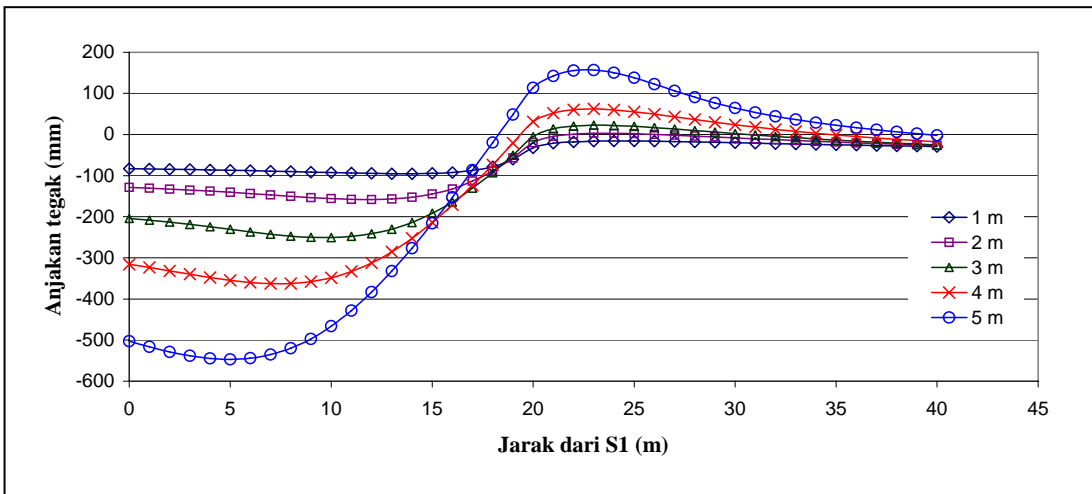


b) Tekanan air liang di bawah hilir tambakan, P2

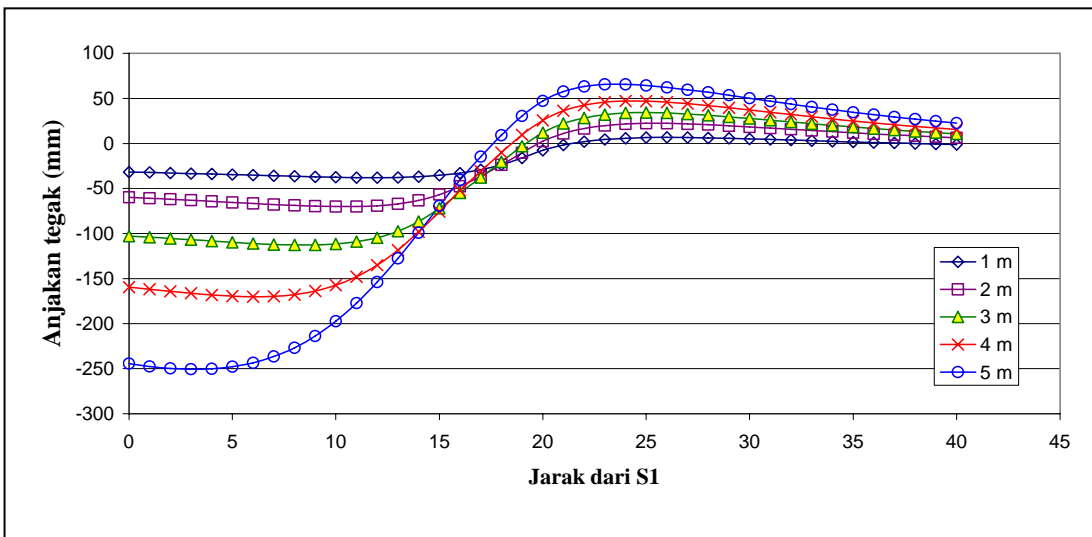


c) Tekanan air liang lebihan di bawah garis pusat tambakan, P5

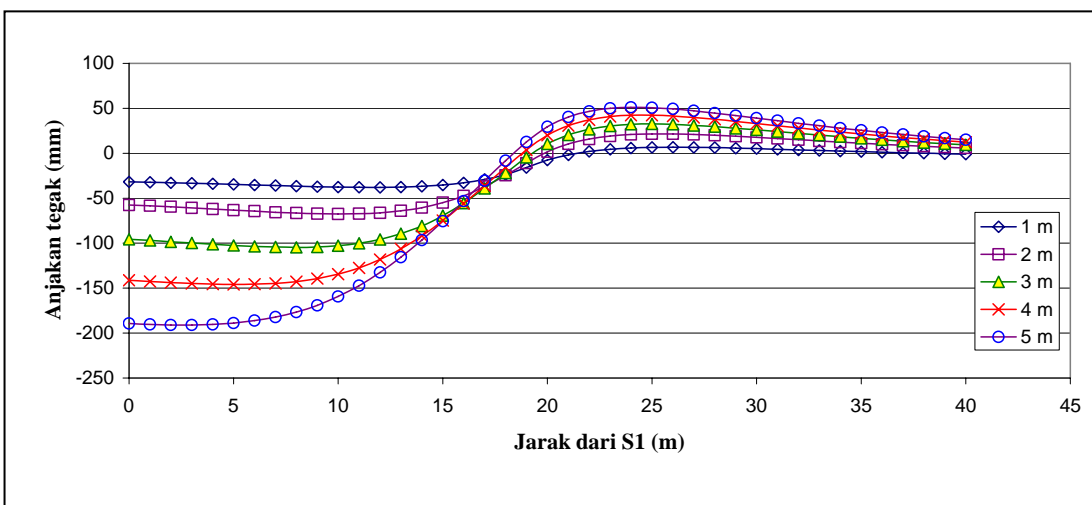
Rajah 7.23: Perbandingan tekanan air liang lebihan di aras laras -6.70 m  
Tambakan Kawalan 6 m



a) Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai

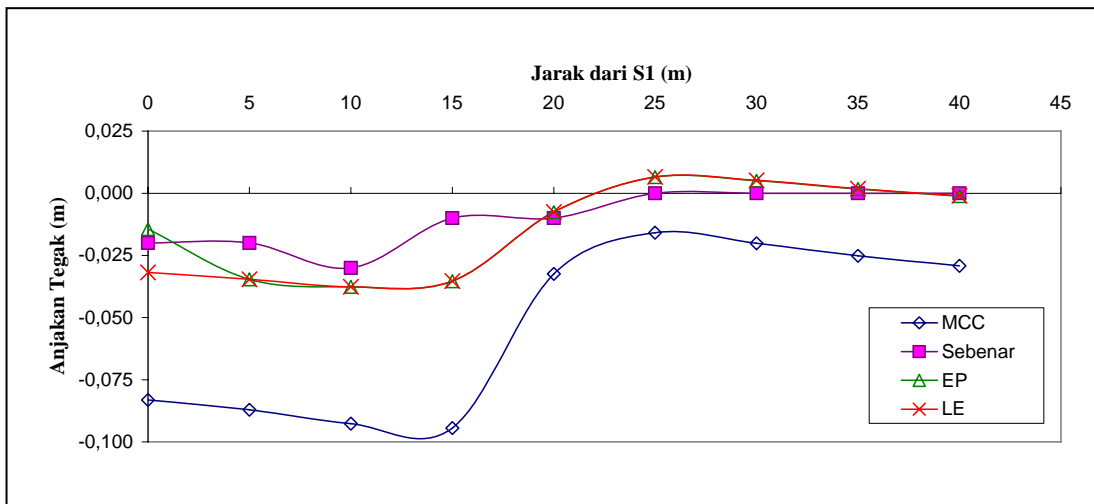


b) Model Elastik Plastik

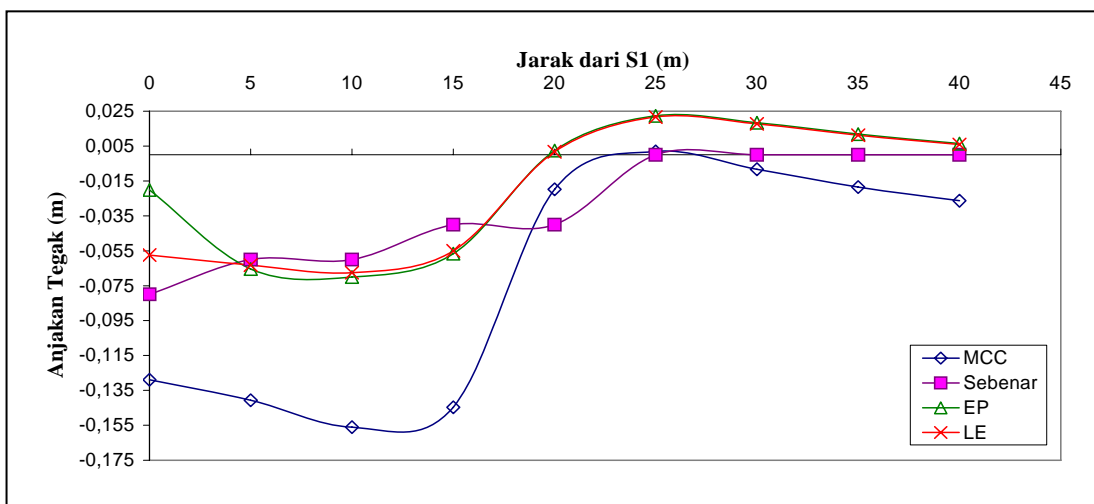


c) Model Linear Elastik

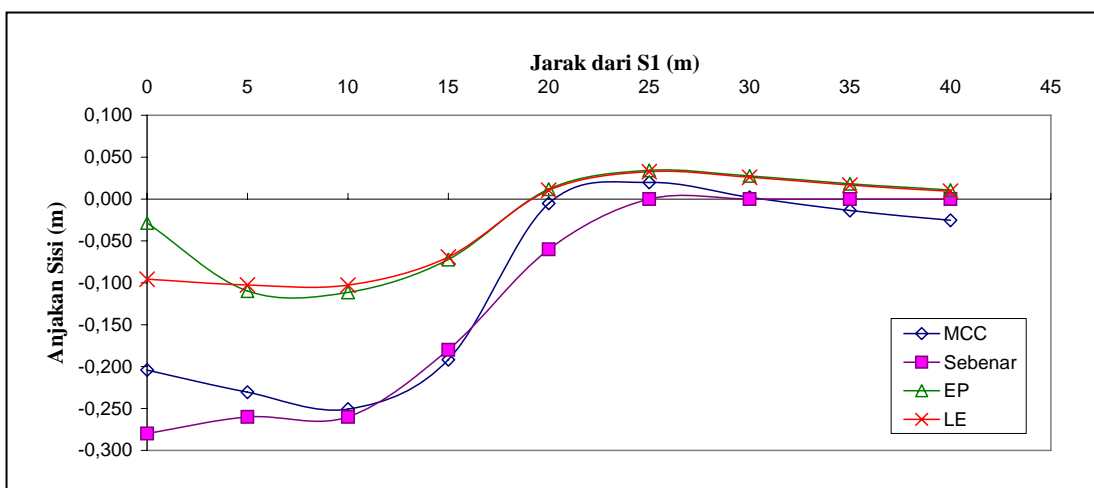
Rajah 7.24 : Taburan anjakan tegak dari S1 hingga H1 untuk pelbagai model analisis bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal



a) Tebal tambak 1 m

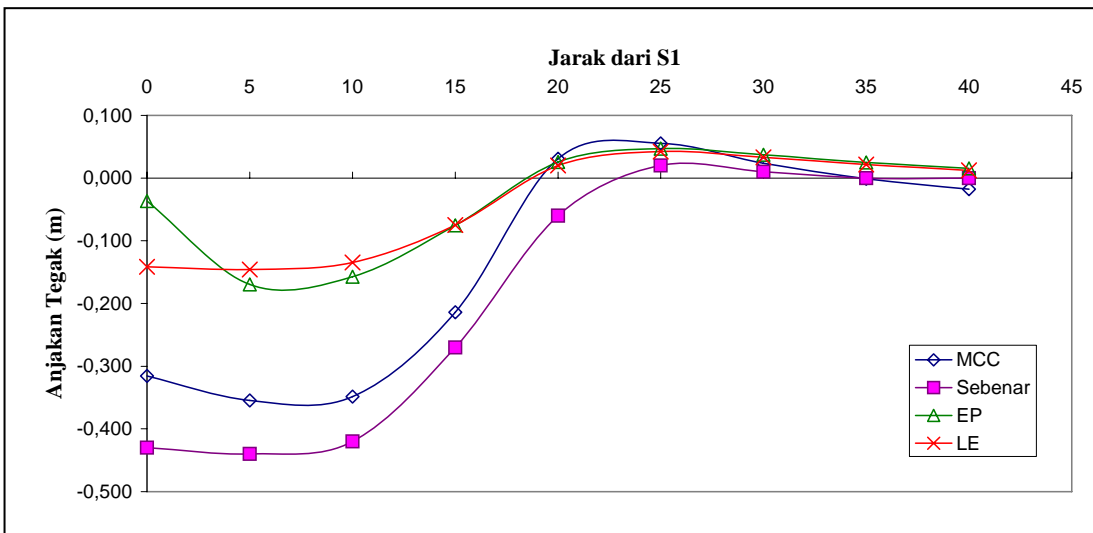


b) Tebal tambak 2 m

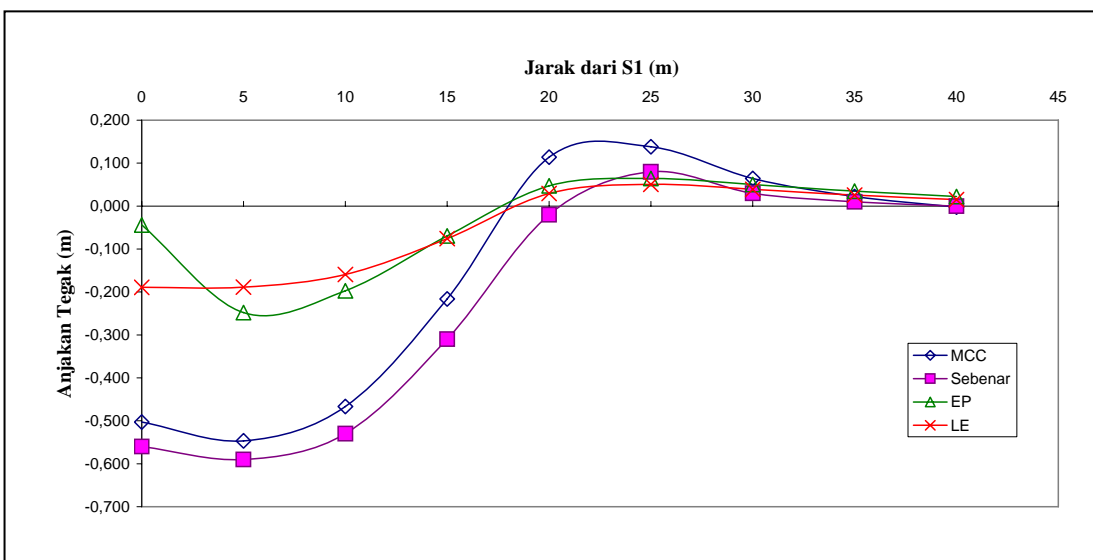


c) Tebal tambak 3 m



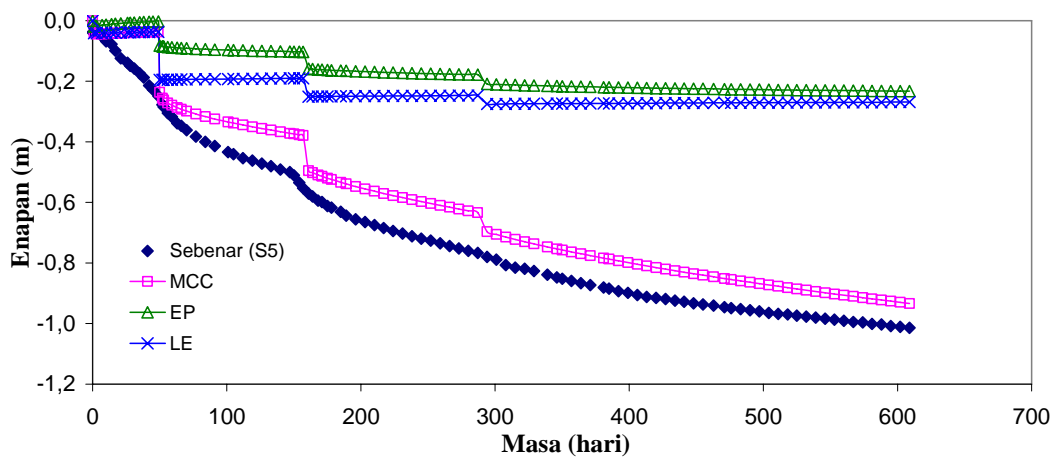
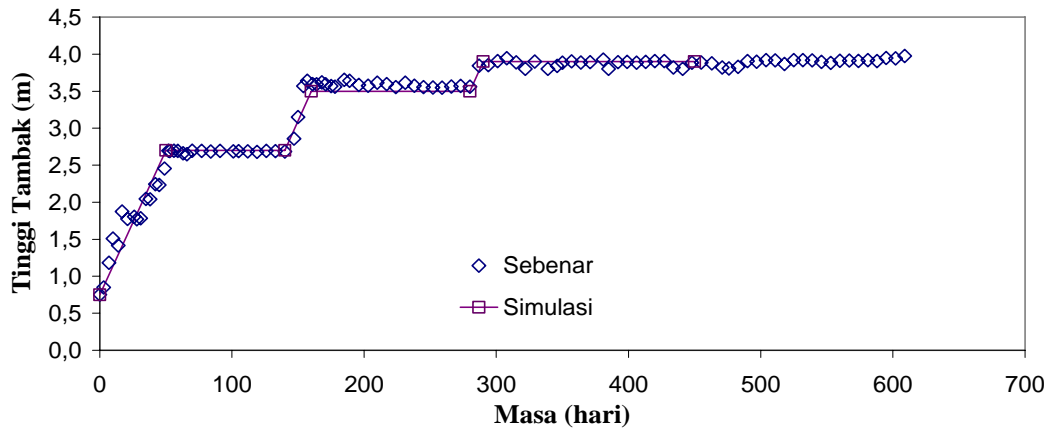


d) Tebal Tambak 4 m

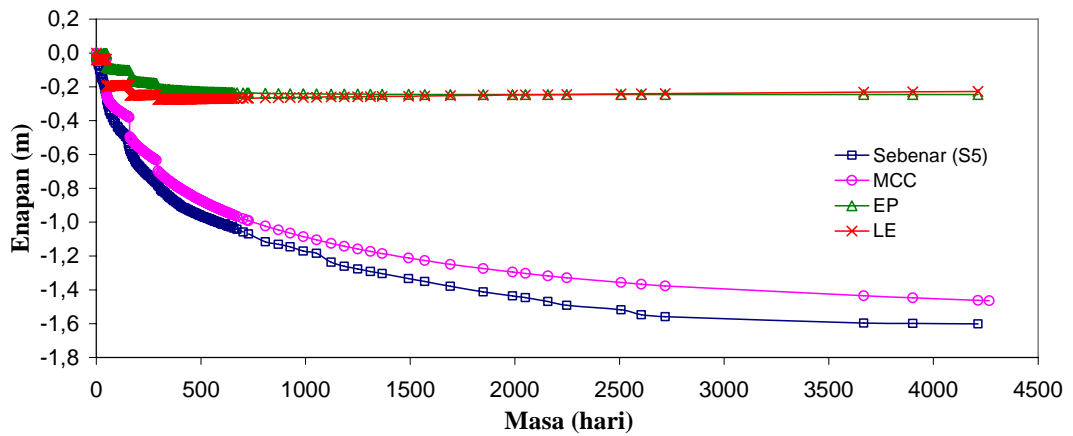


e) Tebal tambak 5 m

Rajah 7.25 : Perbandingan taburan anjakan tegak ramalan dengan sebenar untuk setiap meter tambak bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal

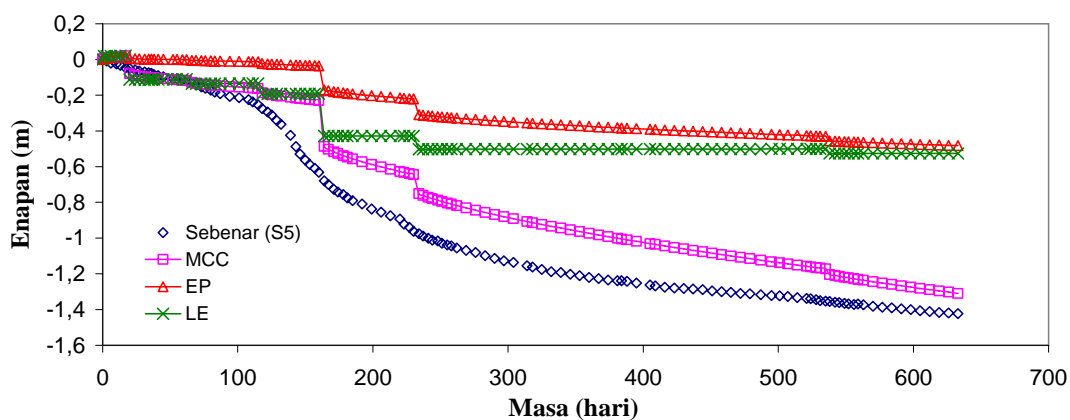
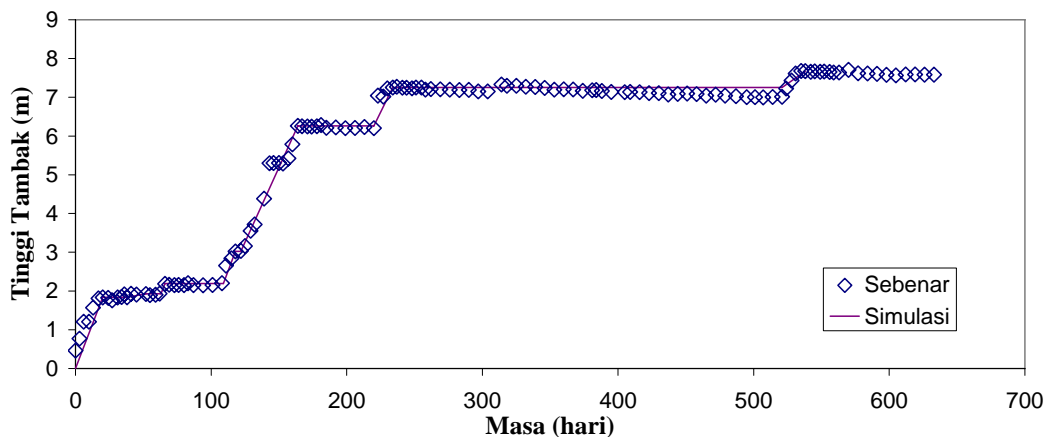


a) Enapan jangka pendek

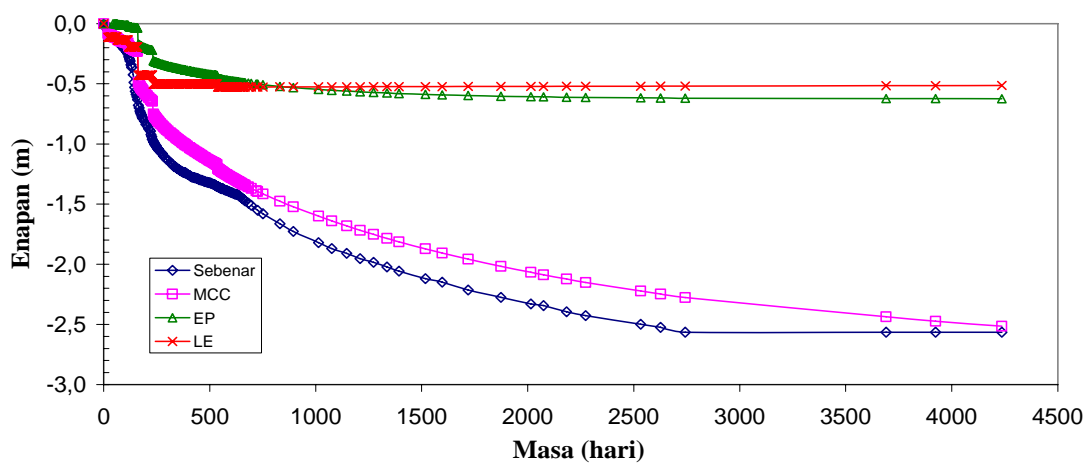


b) Enapan jangka panjang

**Rajah 7.26: Perbandingan enapan ramalan dan sebenar di bawah garis tengah Tambakan Kawalan 3 m**

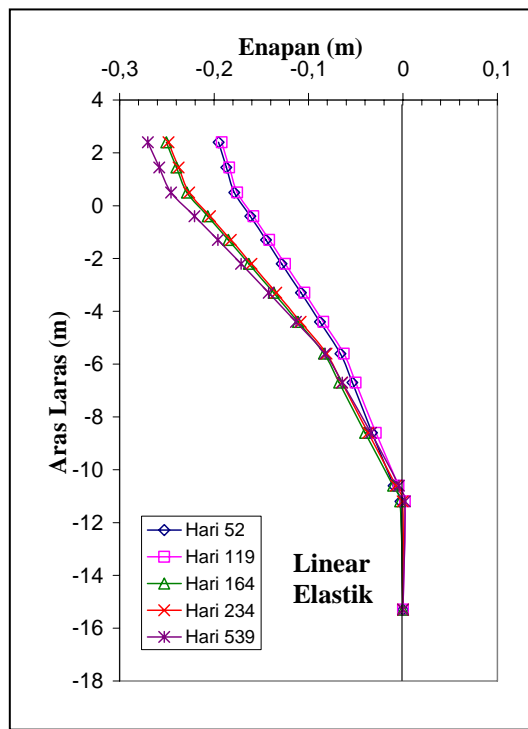
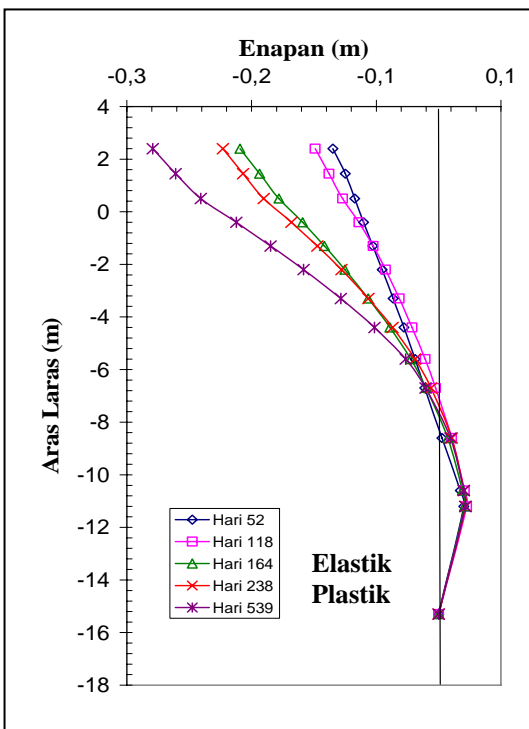
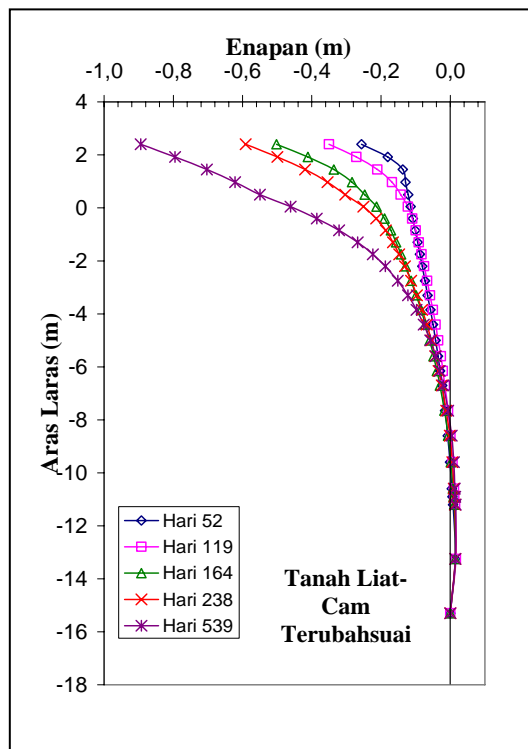
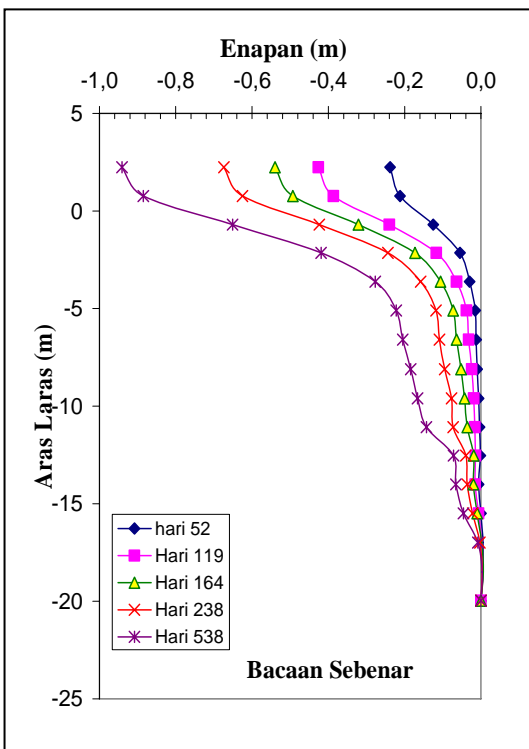


a) Enapan Jangka pendek

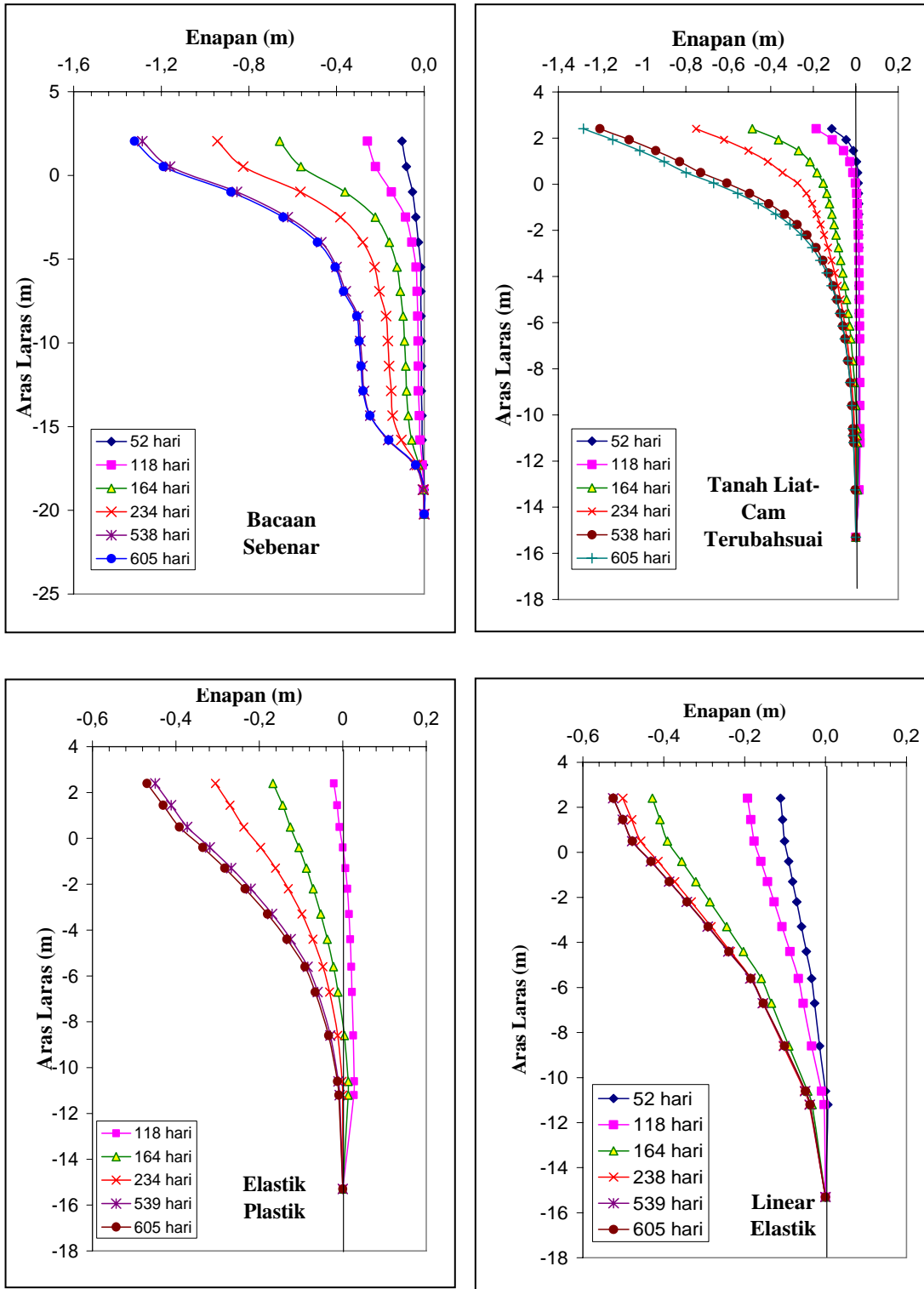


b) Enapan jangka panjang

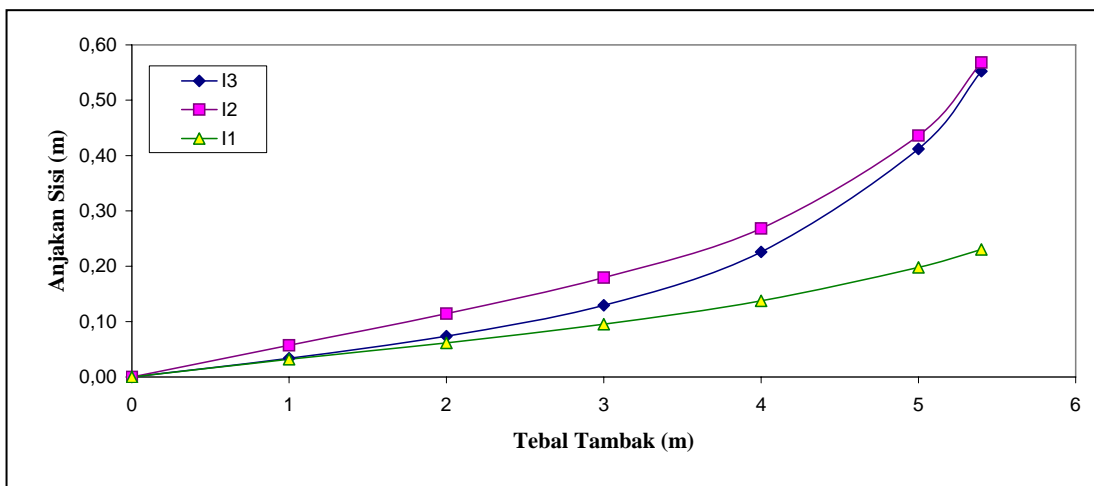
**Rajah 7.27: Perbandingan enapan ramalan dan sebenar di bawah garis tengah Tambakan Kawalan 6 m**



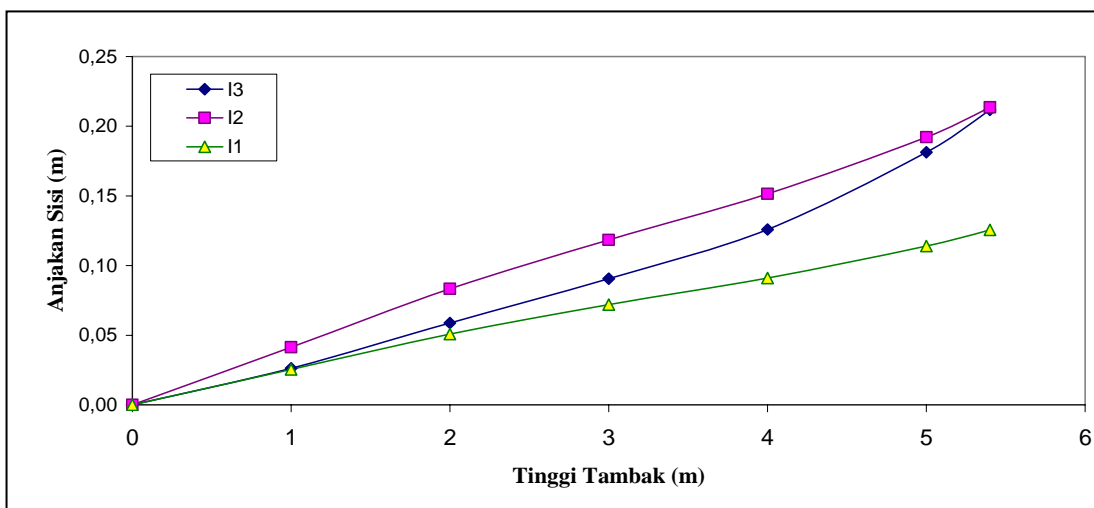
**Rajah 7.28: Perbandingan taburan enapan ramalan dan sebenar mengikut kedalaman di SD2 (garis pusat) Tambakan Kawalan 3 m**



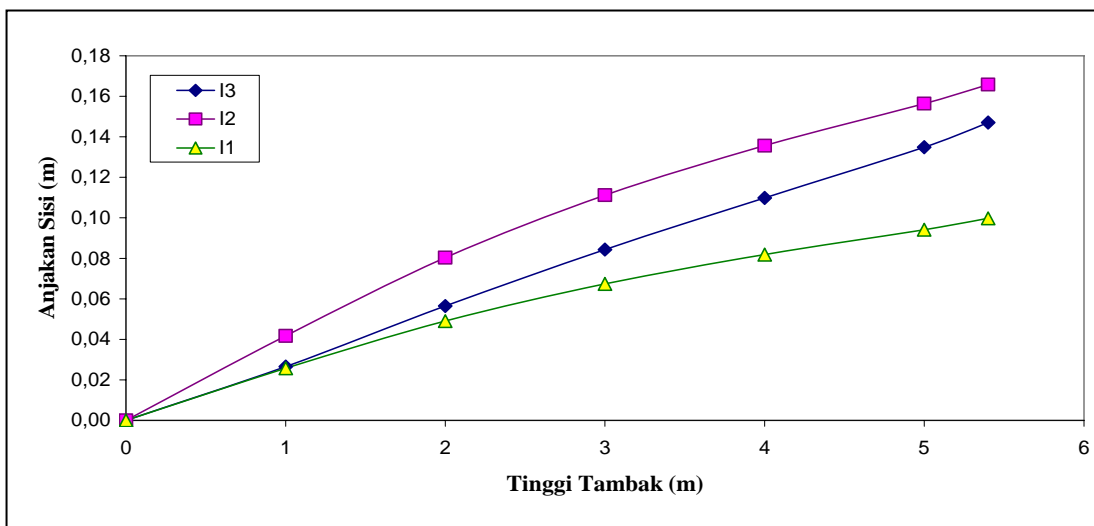
**Rajah 7.29: Perbandingan taburan enapan ramalan dan sebenar mengikut kedalaman di SD2 (garis pusat) Tambakan Kawalan 6 m**



a) Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai

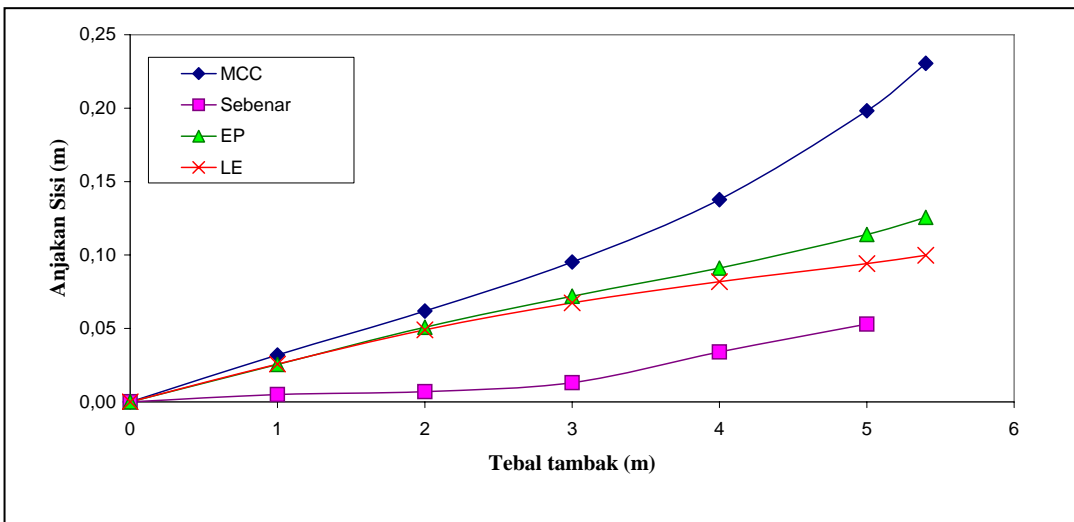


b) Model Elastik Plastik

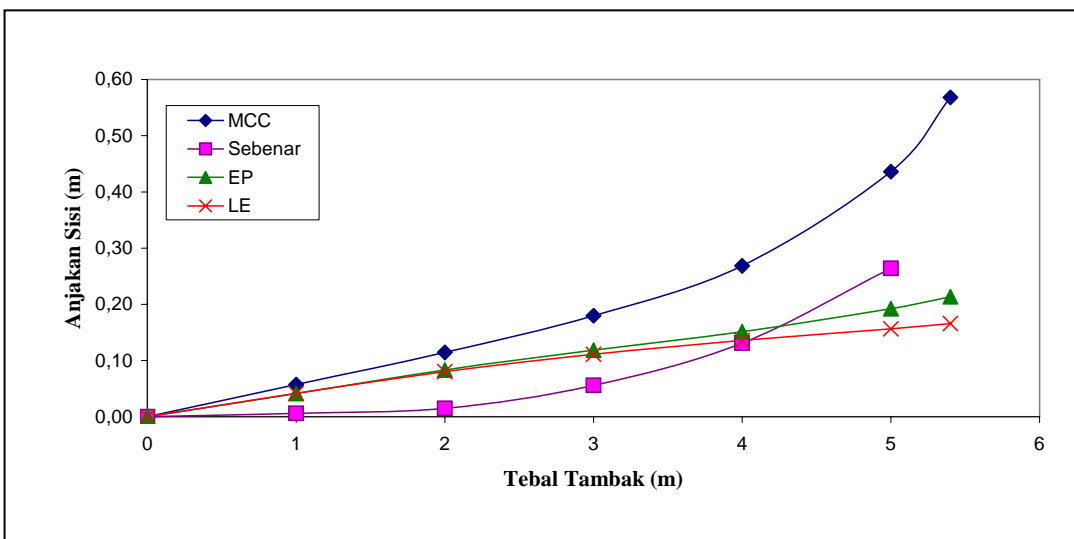


c) Model Linear Elastik

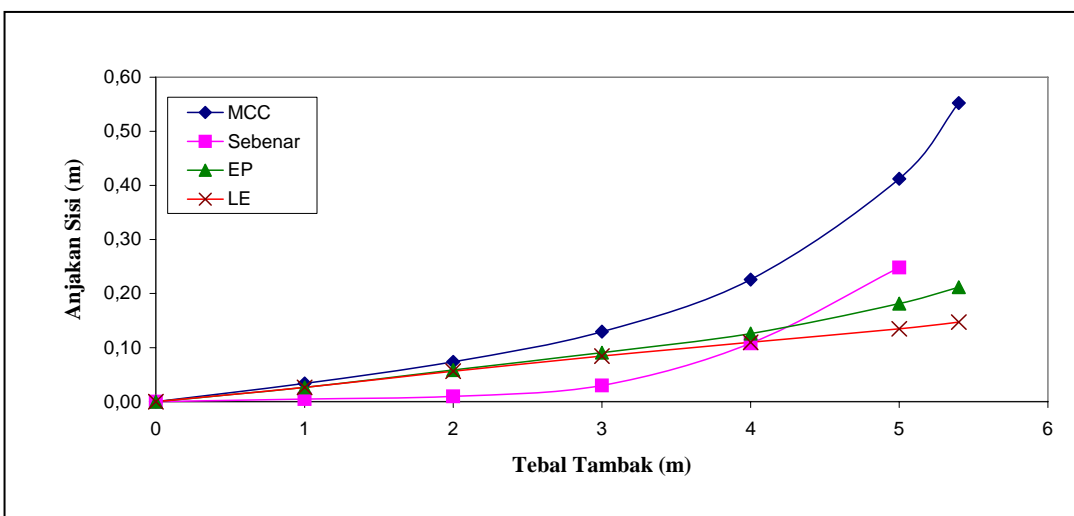
Rajah 7.30 : Taburan anjakan sisi maksimum pada kedalaman 4.5 m untuk pelbagai model jujuk tanah bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal



a) I1

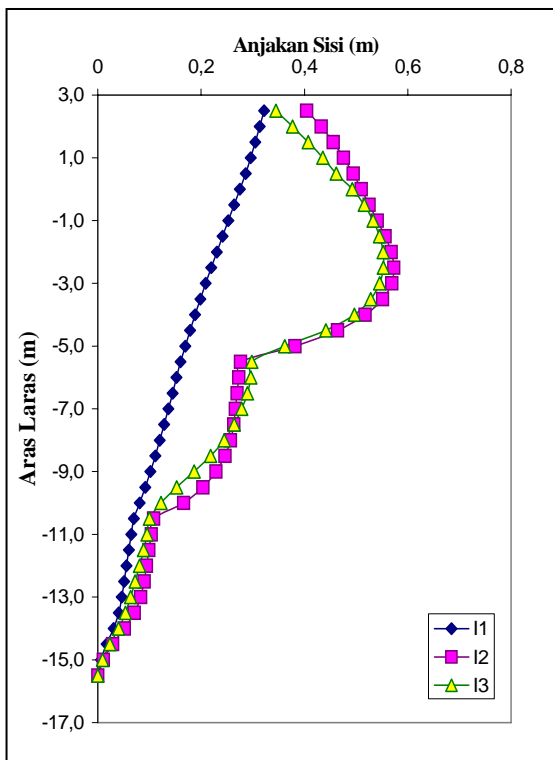


a) I2

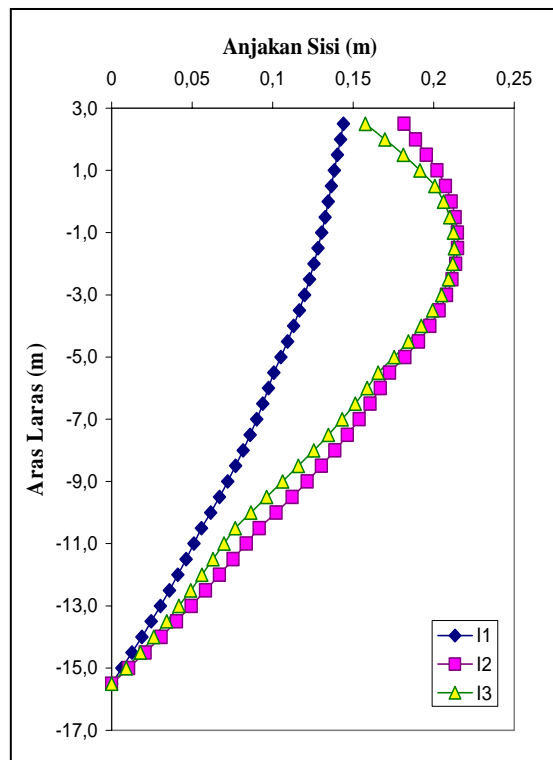


c) I3

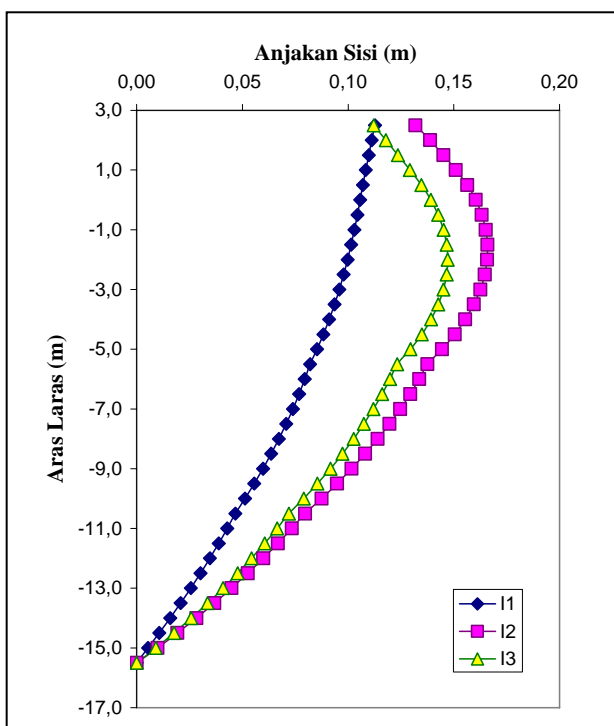
**Rajah 7.31 : Perbandingan anjakan sisi ramalan dengan anjakan sisi sebenar untuk setiap meter condong bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal**



a) Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai



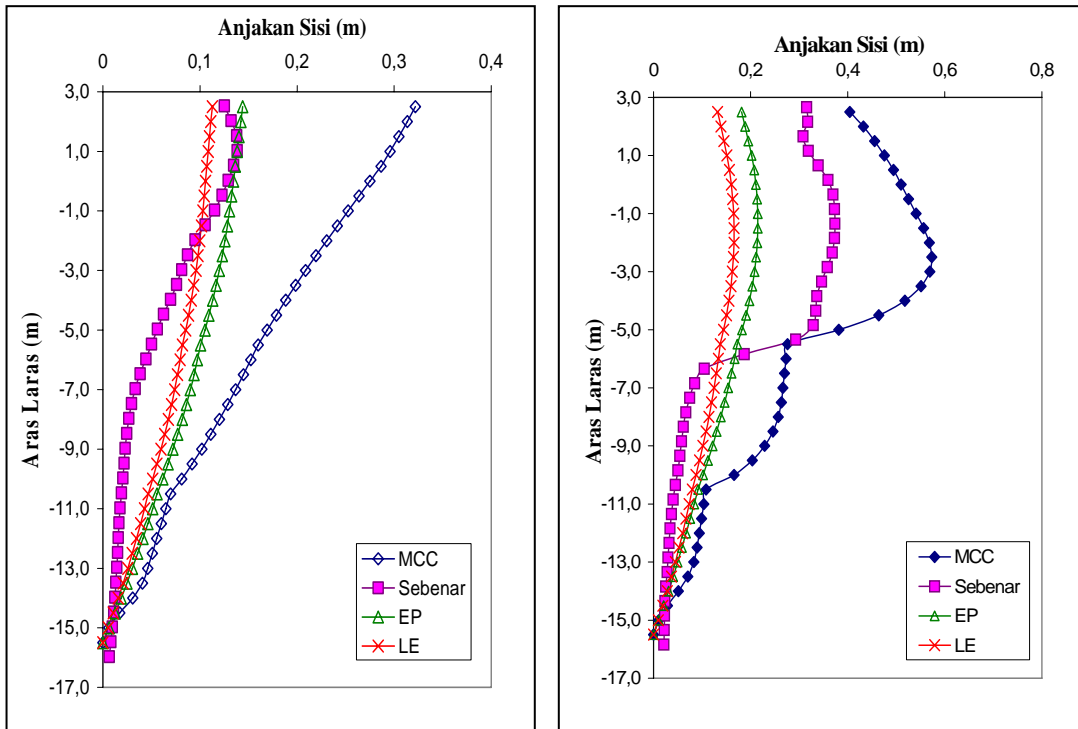
b) Model Elastik Plastik



c) Model Linear Elastik

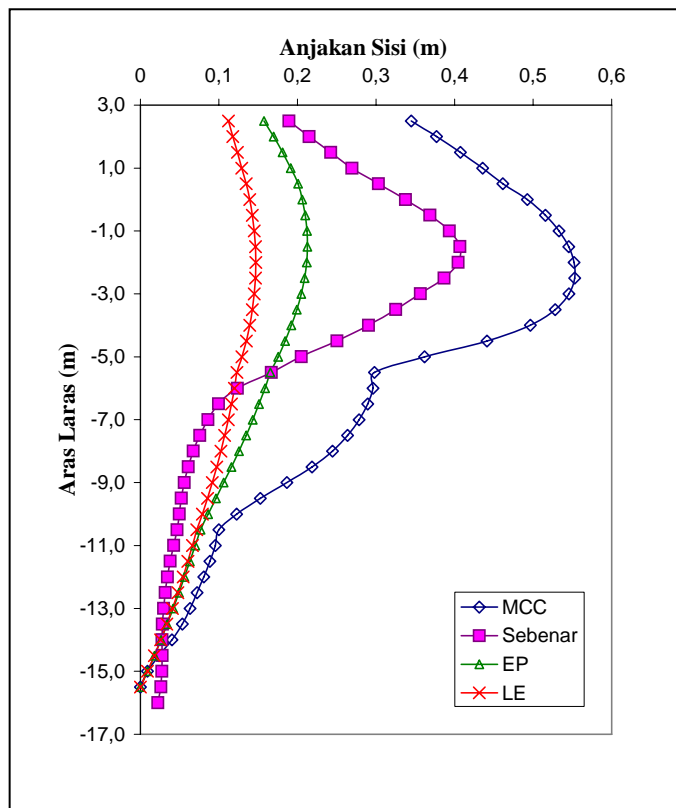
Rajah 7.32 : Taburan anjakan sisi mengikut kedalaman untuk setiap model jujuk tanah bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal





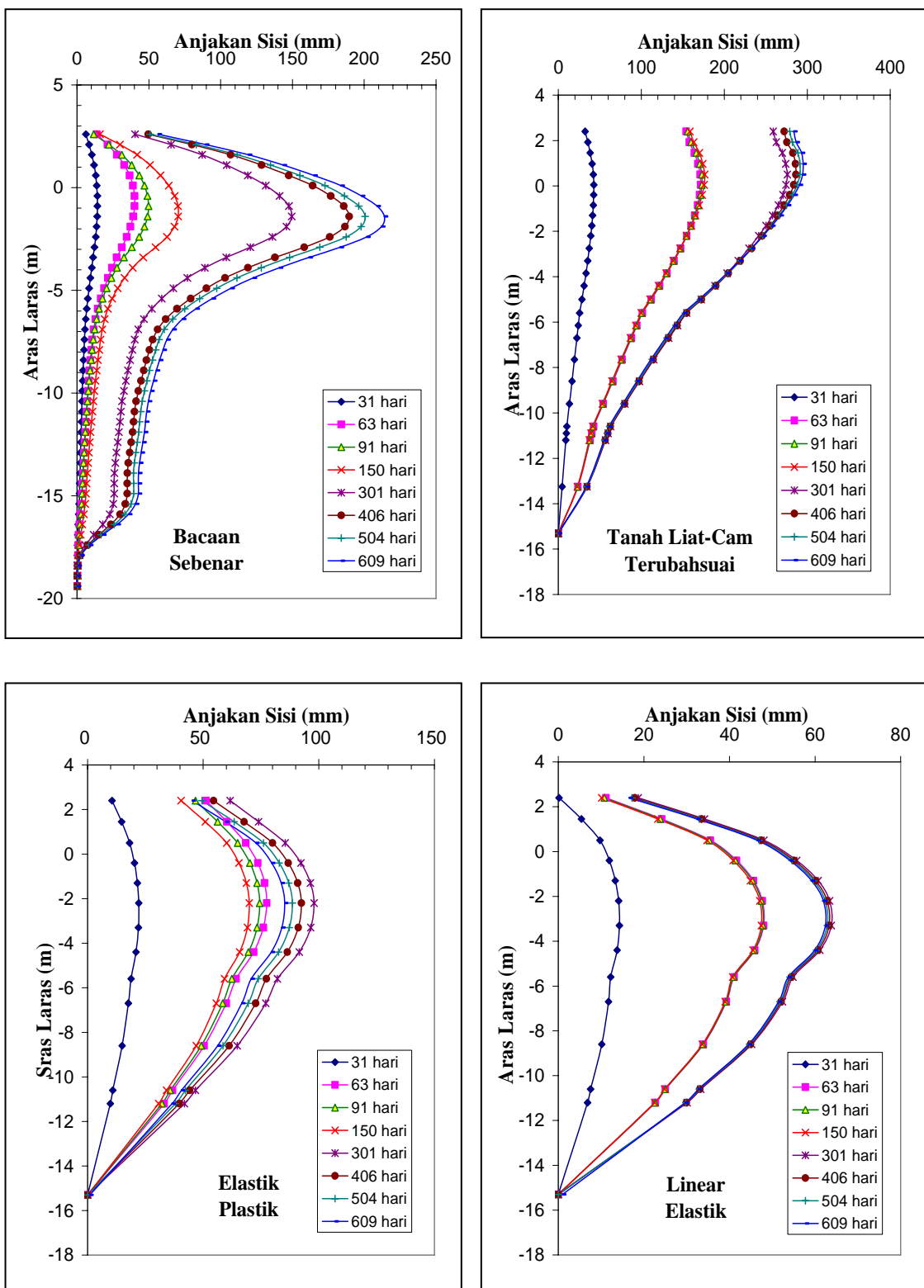
a) I1

b) I2

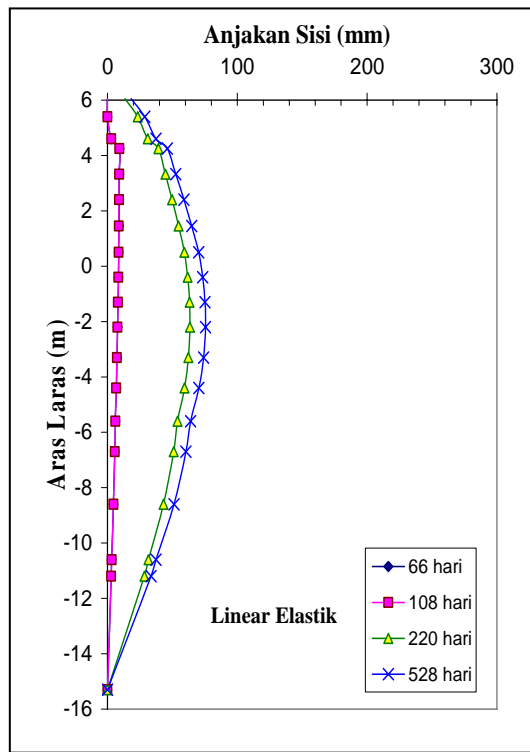
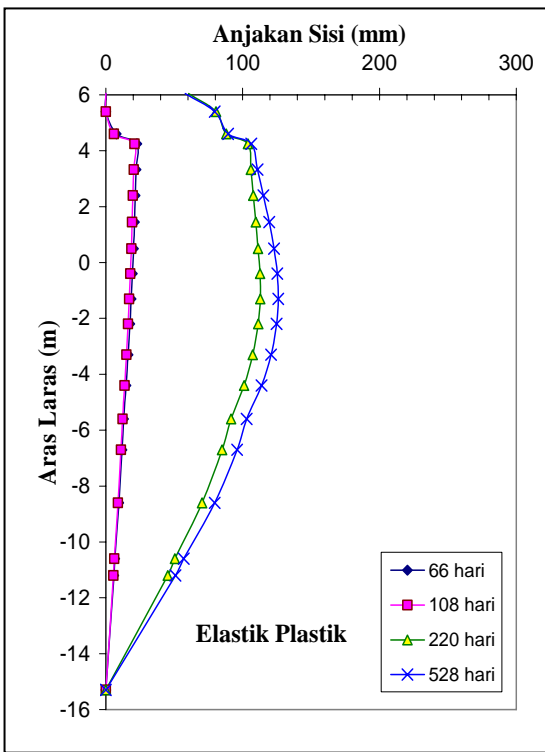
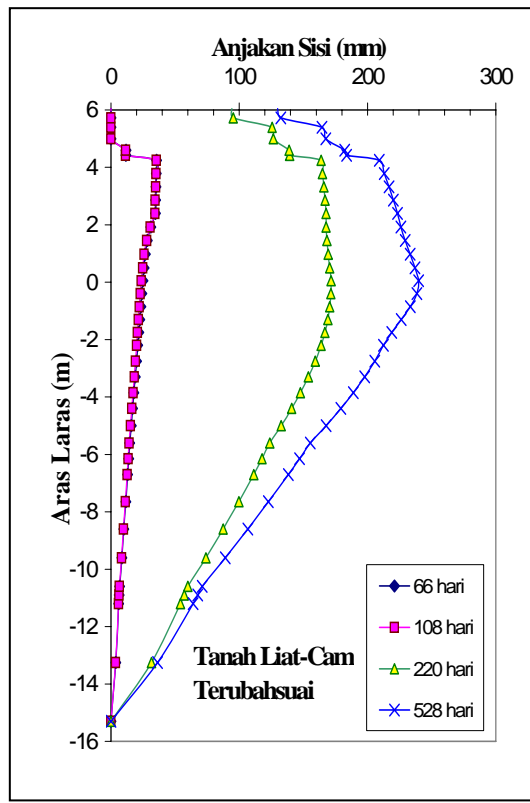
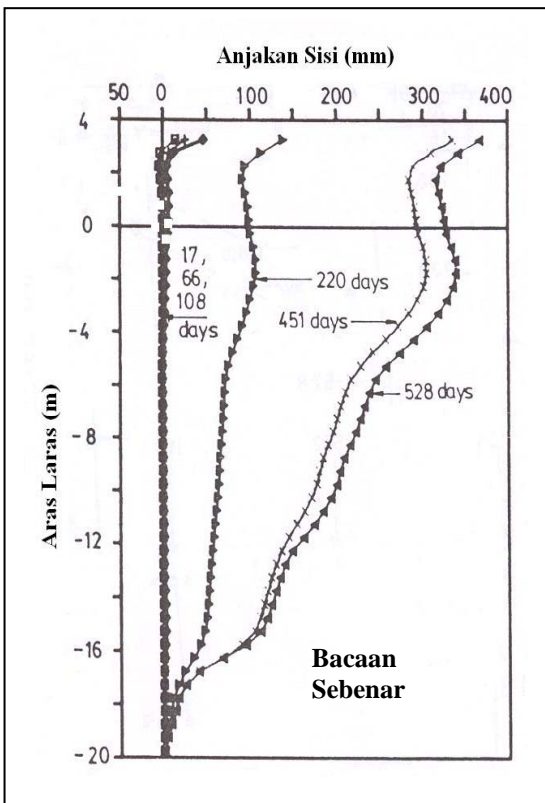


c) I3

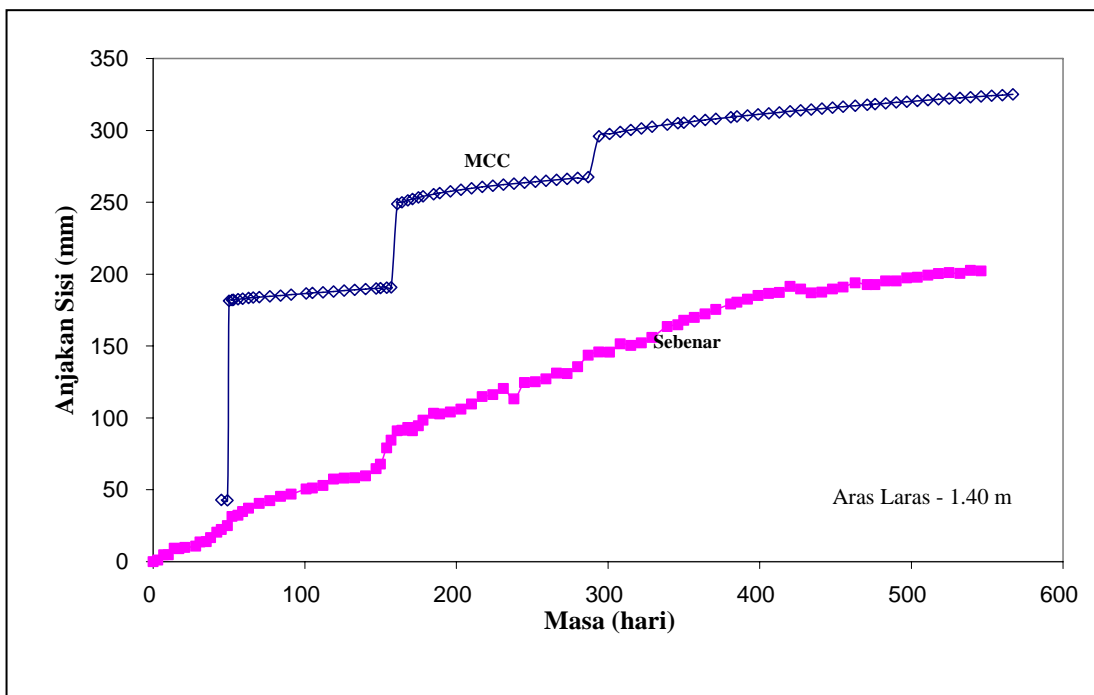
**Rajah 7.33 : Perbandingan anjakan sisi ramalan dengan ukuran sebenar untuk meter condong I1, I2 dan I3 bagi Tambakan Dibina Untuk Gagal**



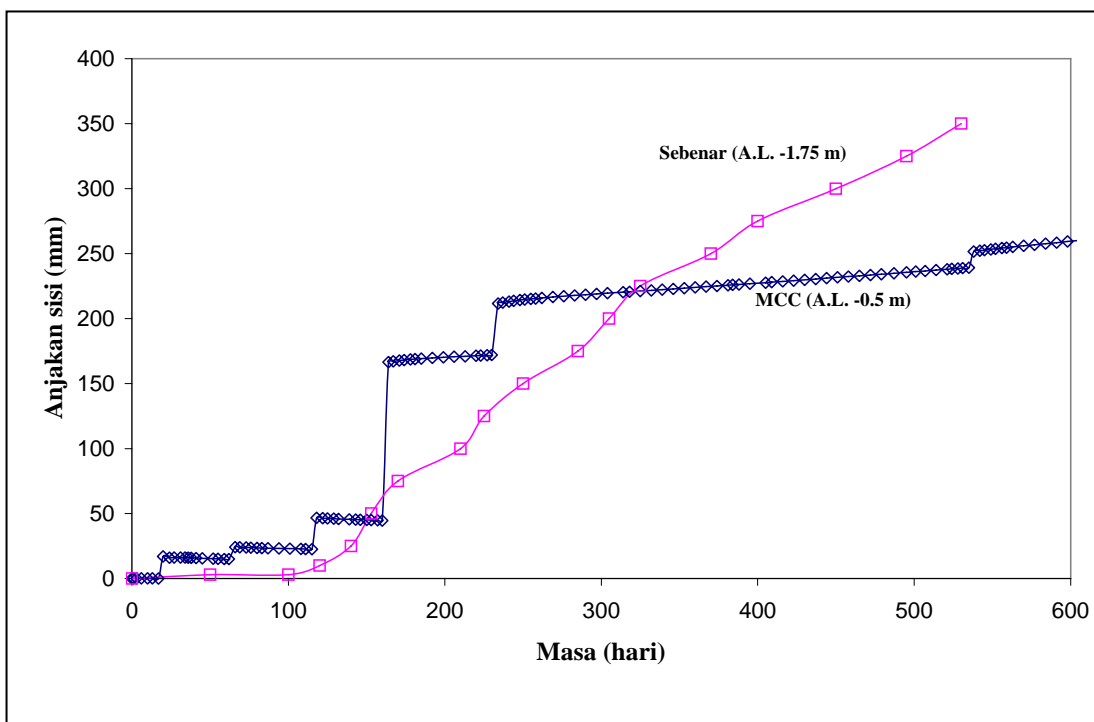
**Rajah 7.34: Perbandingan taburan anjakan sisi ramalan dan ukuran sebenar mengikut kedalaman bagi Tambakan Kawalan 3 m**



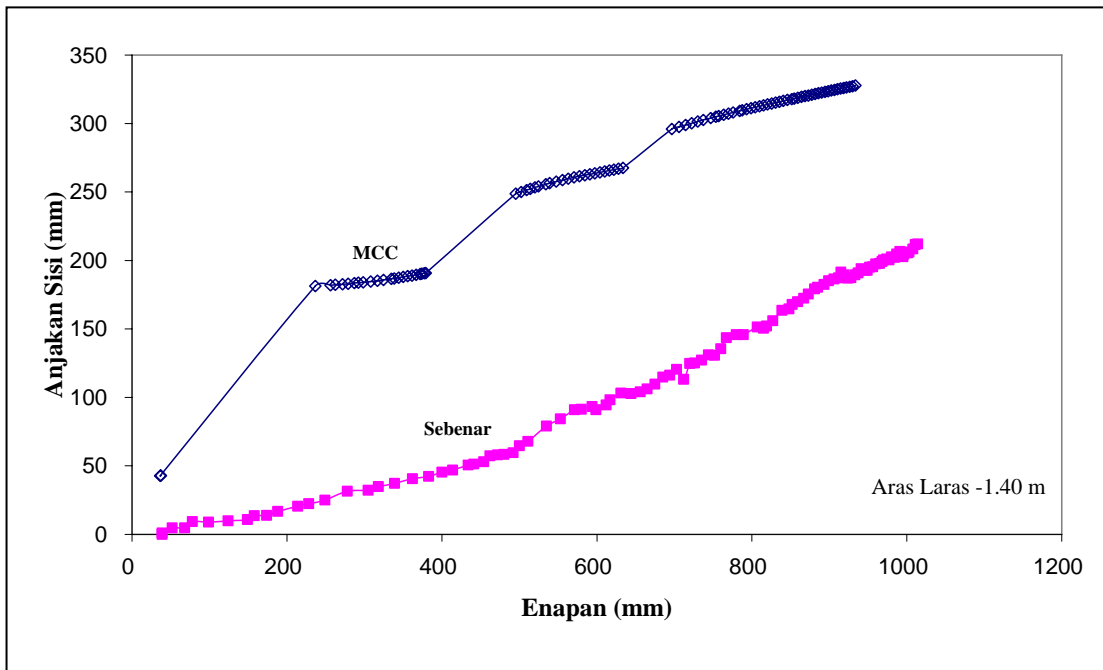
**Rajah 7.35: Perbandingan taburan anjakan sisi ramalan dan ukuran sebenar mengikut kedalaman bagi Tambakan Kawalan 6 m**



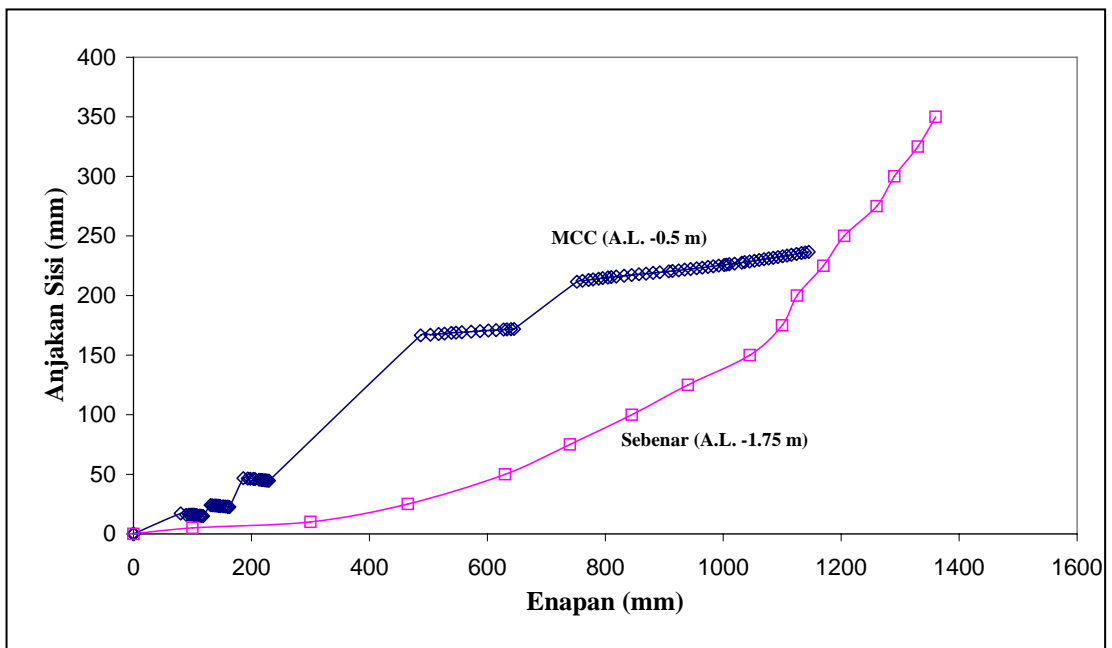
**Rajah 7.36: Anjakan sisi melawan masa bagi Tambakan Kawalan 3 m**



**Rajah 7.37: Anjakan sisi melawan masa bagi Tambakan Kawalan 6 m**



**Rajah 7.38: Anjakan sisi melawan enapan bagi Tambakan Kawalan 3 m**



**Rajah 7.39: Anjakan sisi melawan enapan bagi Tambakan Kawalan 6 m**

## **BAB 8**

### **KESIMPULAN DAN CADANGAN**

#### **8.1 Kesimpulan**

Bab ini membincangkan kesimpulan dan cadangan terhadap kajian ini berdasarkan keputusan yang telah dibincangkan di dalam Bab 5, 6 dan 7.

##### **8.1.1 Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Liat Lembut**

Berdasarkan keputusan ujikaji dan perbincangan yang telah dibuat kesimpulan berikut telah tercapai;

- (i) Kekuatan ricih tak terganggu dan kekuatan ricih diacu semula bagi kawasan Tanjung Karang, Air Putih dan Kg Mat Lagam didapati meningkat dengan kedalaman. Kekuatan ricih yang rendah disebabkan oleh kandungan lembapan semulajadi yang tinggi dan faktor lain seperti kandungan organik dan kandungan garam.

- (ii) Sensitiviti tanah liat dengan kedalaman adalah berubah-ubah mengikut kedalaman dan faktor utama yang mempengaruhi sensitiviti tanah liat ialah larut lesap garam oleh air liang.
- (iii) Kandungan lembapan bagi keempat-empat lokasi meningkat pada kedalaman 1.5 m sehingga kedalaman 4 m dan kemudiannya menurun dengan kedalaman sehingga kedalaman 18 m. Kandungan lembapan tanah liat menurun kerana peratus lempung adalah berkurangan apabila kedalaman meningkat manakala kandungan kelodak dan pasir bertambah.
- (iv) Korelasi yang diterbitkan menunjukkan kandungan lembapan meningkat dengan pertambahan kandungan lempung dan kandungan organik. Ini adalah kerana kandungan lempung dan kandungan organik mempengaruhi penyerapan air yang tinggi dalam tanah.
- (v) Nilai graviti tentu adalah berbeza-beza pada setiap kedalaman dalam semua kawasan kajian. Ini disebabkan oleh taburan saiz zarah yang berbeza-beza dengan kedalaman. Selain itu, nilai graviti tentu yang berbeza-beza dipengaruhi oleh kandungan organik seperti serpihan kulit kerang dan reputan kayu yang dikesan dalam sampel kajian.
- (vi) Secara keseluruhannya, peratus had cecair pada kedalaman 1.5 m adalah bertambah sehingga kedalaman 4.5 m tetapi kemudiannya menurun dengan kedalaman. Ini disebabkan keadaan tanah pada kedalaman yang berhampiran dengan permukaan tanah terdedah kepada matahari yang mengakibatkan pengeringan tanah. Korelasi yang dihasilkan menunjukkan kandungan lempung dan kandungan organik mempengaruhi had cecair tanah tersebut.
- (vii) Sampel bagi keempat-empat kawasan kajian dapat dikelaskan sebagai tanah liat berkeplastikan rendah sehingga tanah liat berkeplastikan sederhana.
- (viii) Tanah liat lembut di Tanjung Karang dan Kg. Mat Lagam adalah dalam sempadan “sangat aktif” manakala bagi Air Putih adalah “normal”. Bagi tanah liat di Muara Sungai Kuantan aktiviti adalah berselerak dan berubah-ubah iaitu dari “tidak aktif” hingga “sangat aktif”.

- (ix) Nisbah lompong asal tanah didapati dipengaruhi oleh kandungan lembapan semulajadi tanah tersebut di mana korelasi yang diperolehi menunjukkan semakin tinggi nilai nisbah lompong asal di dalam tanah, maka semakin tinggi kandungan lembapan.
- (x) Tekanan pra pengukuhan didapati meningkat dengan kedalaman bagi keseluruhan kajian ini. Julat sebenar tekanan pra pengukuhan bergantung kepada kedalaman lapisan tanah.
- (xi) Kajian menunjukkan tanah liat adalah sedikit terkukuh lebih apabila berhampiran dengan permukaan tanah dan mencapai terkukuh normal apabila kedalamannya meningkat. Ini adalah disebabkan oleh zarah-zarah tanah tersimen pada permukaan tanah. Tindakan penyimenan yang berlaku antara zarah-zarah tanah dapat dilihat hasil daripada keputusan sensitiviti tanah yang tinggi dipermukaan tanah iaitu mencapai sehingga 3.5.
- (xii) Julat pekali pengukuhan yang diperolehi bagi kajian ini jelas menunjukkan tanah liat lembut bagi kawasan kajian ini adalah tanah liat berkeplastikan sederhana.
- (xiii) Korelasi indeks mampatan dan nisbah mampatan dengan beberapa parameter-parameter tanah telah diterbitkan dalam kajian ini. Didapati indeks mampatan dan nisbah mampatan meningkat dengan peningkatan kandungan lembapan semulajadi, had Atterberg, indeks keplastikan, nisbah lompong asal, peratusan lempung dan kandungan organik.
- (xiv) Korelasi yang diterbitkan menunjukkan pekali kebolehmampatan isipadu didapati meningkat dengan peningkatan nisbah lompong. Ini jelas menunjukkan nisbah lompong yang semakin besar mengakibatkan tanah mempunyai kebolehmampatan yang tinggi dan tanah adalah sangat lembut.
- (xv) Kebolehtelapan bagi keseluruhan kajian ini menunjukkan kebolehtelapan yang sangat rendah. Maka, keputusan ini menunjukkan ciri tanah yang berupaya menakung air iaitu salah satu daripada sifat tanah liat lembut.



- (xvi) Persamaan korelasi yang diterbitkan menunjukkan sudut geseran dalam berkesan dipengaruhi oleh kandungan lempung, kandungan lembapan semulajadi dan indeks keplastikan.
- (xvii) Kebanyakan tanah liat kajian ini adalah berasid iaitu nilai pH yang rendah pada kedalaman yang hampir pada permukaan tanah di kawasan Tanjung Karang dan Air Putih. Seterusnya apabila kedalamannya bertambah, didapati tanah adalah sedikit beralkali tetapi mempunyai nilai pH yang tetap. Manakala bagi kawasan Kg. Mat Lagam tanah adalah berasid pada setiap kedalaman tanah. Keadaan pH tanah yang begitu rendah adalah berpunca daripada kandungan asid sulfat di dalam tanah. Asid sulfat ini dihasilkan oleh pengoksidaan pirit apabila tanah disalurkan dan terdedah kepada atmosfera.
- (xviii) Kandungan organik didapati menurun dengan kedalaman bagi keempat-empat lokasi kajian.
- (xix) Kajian mineralogi menunjukkan bahawa mineral major yang wujud pada semua kawasan kajian adalah kuarza diikuti dengan kaolinit sebagai mineral sekunder.

Secara relatifnya, kesimpulan dapat dibuat daripada peratusan yang paling tinggi hingga terendah bagi ujian XRF adalah  $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{K}_2\text{O} > \text{MgO} > \text{Na}_2\text{O} > \text{CaO} > \text{TiO}_2 > \text{P}_2\text{O}_5 > \text{MnO}$ .

### 8.1.2 Ujikaji Makmal Bagi Kajian Kes

Berdasarkan keputusan ujikaji makmal dan perbincangan bagi sampel tanah liat lembut di bawah tambakan cubaan Muar, kesimpulan berikut telah dibuat iaitu;

- i. Secara keseluruhannya, Skim 6/7 yang menggunakan kaedah prabejan, saluran tegak dan vakum telah memberikan kesan yang

paling besar terhadap kelakuan tanah liat lembut terutamanya nilai tekanan prapengukuhan ( $p_c$ ) dan kekuatan ricih bilah ( $s_u$ ). Jumlah pembebanan yang paling besar dan proses pengukuhan yang paling cepat telah menyebabkan ciri-ciri kekuatan tanah ini meningkat dengan banyak.

- ii. Ciri-ciri asas tanah liat lembut di bawah tambakan seperti kandungan lembapan semulajadi telah mengalami pengurangan hampir 50 % dari segi purata bacaan bagi lapisan tanah liat atas. Manakala kandungan lembapan di lapisan tanah liat bawah masih di julat lama. Pengurangan ini disebabkan oleh penyingkiran air semasa proses pengukuhan berlaku.
- iii. Secara purata, nilai peratusan  $LL$  dan  $PL$  mengalami peningkatan sekitar 18 % dan 20 % bagi lapisan tanah liat atas dan bawah.
- iv. Nilai tekanan prapengukuhan ( $P_c$ ) meningkat dari sehingga 160 % bagi lapisan tanah liat atas dan 116 % bagi lapisan tanah liat bawah. Skim 6/7 menunjukkan peningkatan tertinggi iaitu  $120 \text{ kN/m}^2$  sesuai dengan jumlah bebanan tertinggi yang dikenakan pada tanah liat lembut tersebut.
- v. Nisbah lompong menurun sehingga 44 % bagi lapisan tanah liat atas dan lebih 20 % bagi lapisan tanah liat bawah, dengan mana Skim 6/7 dan 6/8 yang menggunakan kaedah saluran tegak mengalami perubahan nisbah lompong yang besar.
- vi. Proses pengukuhan yang berlaku pada semua skim turut menyebabkan pekali pengukuhan tegak ( $c_v$ ) dan ufuk ( $c_h$ ) menurun berkadar dengan masa. Penurunan yang dicatat oleh  $c_v$  adalah sehingga 58 % bagi lapisan tanah liat atas dan 73 % bagi lapisan tanah liat bawah.

### 8.1.3 Tebal Kegagalan Tambakan Dibina Untuk Gagal

Berdasarkan analisa simulasi kestabilan cerun dengan menggunakan kaedah unsur terhingga dan konvensional terhadap Tambakan Dibina Untuk Gagal (Skim 3/5), beberapa kesimpulan dapat dibuat iaitu;

- i. Analisis kestabilan menggunakan kaedah unsur terhingga yang menggunakan data keluaran Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai telah mencatat ramalan ketebalan tambak dan kedalaman permukaan gelinciran ketika gagal dengan lebih tepat berbanding dengan kaedah konvensional.
- ii. Bagi kaedah konvensional yang tidak mengambilkira kesan enapan, parameter kekuatan ricih bilah tak diperbetulkan sesuai digunakan. Manakala bagi kaedah konvensional yang mengambilkira kesan enapan, parameter kekuatan ricih tanah berdasarkan ujian CK<sub>o</sub>U telah meramalkan tebal kegagalan yang hampir dengan tebal kegagalan sebenar.
- iii. Bagi kaedah konvensional, analisis Keseimbangan Had Umum (GLE) telah memberikan keputusan yang lebih baik berbanding kaedah Fellenius, Bishop dan Janbu.

### 8.1.4 Faktor Keselamatan Cerun Tambakan Kawalan 3 m dan 6 m.

Berdasarkan perbincangan terhadap keputusan analisis faktor keselamatan cerun Tambakan Kawalan 3 m dan 6 m yang menggunakan analisis unsur terhingga, beberapa kesimpulan dapat dibuat iaitu;

- i. Nilai faktor keselamatan bagi keadaan tanah tambak dari peringkat awal pembinaan sehingga selepas 12 tahun pembinaan yang diperolehi dari analisis Tambakan Kawalan 3 m adalah berjutat 1.44

hingga 1.65. Manakala Tambakan Kawalan 6 m berjulat 2.0 hingga 3.1.

- ii. Nilai faktor keselamatan menurun apabila tinggi tambakan semakin meningkat ketika dalam pembinaan dan faktor keselamatan mula meningkat selepas pembinaan tamat.
- iii. Nilai faktor keselamatan bagi Tambakan Kawalan 6 m lebih tinggi daripada Tambakan Kawalan 3 m disebabkan binaan tanggaaan pada bahagian sisi yang membolehkannya mengurangkan momen terbalikan.

### **8.1.5 Simulasi Pengukuhan Tanah Liat Lembut Di Bawah Tambakan Cubaan Dipilih**

Berdasarkan keputusan analisa simulasi pengukuhan terhadap Tambakan Dibina Untuk Gagal, Tambakan Kawalan 3 m dan 6 m, kesimpulan berikut telah diperolehi.

#### **8.1.5.1 Tambakan Dibina Untuk Gagal (Skim 3/5)**

- i. Daripada tiga model juzuk tanah yang digunakan, Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai telah menunjukkan corak kelakuan (tekanan air liang dan ubah bentuk) yang lebih baik diikuti Model Elastik Plastik dan Linear Elastik. Namun demikian, ramalan yang dibuat oleh Model Elastik Plastik dan Linear Elastik adalah lebih tepat.
- ii. Berdasarkan tiga kelakuan utama di dalam analisis pengukuhan terganding, Model Elastik Plastik telah meramal kelakuan turus tekanan air liang lebihan dengan lebih baik iaitu 5.8 m ( $H = 4$  m di P5).

- iii. Bagi kelakuan enapan, Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai telah dengan lebih baik iaitu 0.21 m ( $H = 3$  m) dan 0.31 m ( $H = 4$  m).
- iv. Nilai ramalan tekanan air liang lebihan yang tinggi berbanding bacaan sebenar mungkin disebabkan pekali kebolehtelapan yang digunakan rendah dan penggunaannya adalah tetap berbanding keadaan sebenar. Peningkatan secara mendadak nilai tekanan air liang lebihan sebenar pada suatu masa menunjukkan pekali kebolehtelapan semakin berkurang dengan bertambahnya pembebanan.

#### **8.1.5.2 Tambakan Kawalan 3 m dan 6 m (Skim 3/2 dan 6/6)**

- i. Di dalam analisis ini (jangka panjang), Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai telah menunjukkan corak kelakuan dan keputusan yang lebih baik diikuti Model Elastik Plastik dan Linear Elastik.
- ii. Kelakuan turus tekanan air liang lebihan yang diramal oleh Model Elastik Plastik pada tambakan 3 m dan 6 m adalah lebih tepat berbanding model lain iaitu masing-masing 3.8 m dan 10.0 m pada titik P4.
- iii. Kelakuan enapan maksimum diramal dengan lebih baik oleh Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai iaitu 0.59 m bagi tambakan 3 m dan 0.78 m bagi tambakan 6 m.
- iv. Bagi kelakuan anjakan sisi maksimum pula, Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai meramal dengan lebih baik bagi tambakan 3 m dan 6 m iaitu masing-masing 300 mm (hari ke-609) dan 240 mm (hari ke-528).
- v. Keputusan kelakuan negatif yang dicatat pada kedalaman 11.5 m disebabkan oleh rekabentuk jejaring pada kedalaman tersebut kurang sesuai di mana jejaring tersebut terletak pada jejaring yang besar di bahagian atas dan bawah.
- vi. Lengkung keputusan kelakuan yang hampir mendatar yang ditunjukkan oleh Model Linear Elastik dan Elastik Plastik adalah disebabkan pertimbangan parameter tanah yang digunakan dalam

teori analisis amatlah terhad dengan tiada ciri-ciri kebolehmampatan tanah. Model Linear Elastik bergantung pada nilai nisbah poisson ( $\nu$ ) dan Modulus Young's ( $E$ ), manakala Model Elastik Plastik bergantung pada sudut geseran ( $\phi$ ) dan kejelekitan ( $c$ ) selain  $\nu$  dan  $E$ .

## 8.2 Cadangan

### 8.2.1 Analisis Simulasi Tambakan

Berikut adalah cadangan bagi kajian selanjutnya dalam analisa simulasi tambakan dengan menggunakan perisian SIGMA/W, SEEP/W dan SLOPE/W.

- i. Rekabentuk jejaring bagi mewakili tanah asas perlu dibuat dengan seimbang dan sesuai dengan keperluan analisa.
- ii. Ketebalan setiap lapisan penambakan yang mewakili kadar pembebanan di dalam simulasi penempatan tambak haruslah diminimumkan untuk mengurangkan kesan perubahan anjakan secara mendadak.
- iii. Parameter tanah seperti nilai  $\nu$ , pekali kebolehtelapan dan Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai perlu diubahsuai untuk mengambil kira kesan fasa pengukuhan utama dan fasa pengukuhan sekunder.
- iv. Program SIGMA/W perlu diubahsuai untuk mengambil kira kesan pembebanan segera.

### 8.2.2 Simulasi Kajian Kes

Beberapa cadangan untuk kajian kes akan datang adalah :

- (i) Kajian tanah liat lembut di kawasan pantai timur perlu dijalankan dengan lebih lanjut kerana data yang diperolehi masih tidak mencukupi.
- (ii) Ujikaji di tapak perlu dilakukan dengan lebih banyak untuk dibuat perbandingan dengan ujikaji di makmal.
- (iii) Ujian kimia bagi menentukan kandungan garam dalam tanah perlu dilakukan bagi mengaitkan keputusannya dengan sensitiviti tanah.
- (iv) Penggunaan sampel yang lebih besar dan lebih panjang seperti pensampel piston diperlukan supaya sampel kurang terganggu dan sampel mencukupi untuk ujikaji yang banyak.
- (v) Hubungan dan korelasi antara ciri-ciri asas kejuruteraan tanah dengan mineralogi dan mikrostruktur masih tidak jelas dan perlu dilakukan penyelidikan dengan lebih meluas dan mendalam.
- (vi) Pengaruh mineral pirit terhadap ciri-ciri kejuruteraan tanah liat lembut ini perlu dijalankan kajian dengan lebih lanjut.
- (vii) Ujian Keboleupayaan Pertukaran Kation (KPK) perlu dibuat dalam kajian tanah liat lembut di Malaysia untuk mengaitkannya dengan ujian mineralogi dan mikrostruktur.

## RUJUKAN

- Abdullah, A.M.L.B. dan Chandra, P. (1987). "Engineering Properties of Coastal Subsoils in Peninsular Malaysia." Proc. of the 9th Southeast Asia Geotechnical Conference. Vol. 1. Bangkok: Thailand. 127 – 138.
- Andresen, A. (1981). "Exploration, Sampling and In-Situ Testing of Soft Clay." dlm. Brand, E.W. dan Brenner, R.P. "Soft Clay Engineering." Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company. 241 – 308.
- Atkinson, J.H. dan Bransby, P.L. (1978). "The Mechanics of Soils." London: McGraw-Hill.
- Aziz, S. (1993). "Engineering Characteristics of the Coastal Soft Soils of West Peninsular Malaysia." University of Strathclyde, Glasgow : Tesis Sarjana.
- Azmi, J dan Taha, M.R. (1990). "Some Consolidation Charecteristics of Soft Muar Clay." Proc. Of National Seminar on Current Geotechnical Problems in Tropical Region, Johor. 31 – 46.
- Azzouz, A.S., Krizek, R.J. dan Corotis, R.B. (1977). "Regression Analysis of Soil Compressibility." Soils and Foundation, Vol. 16, No.2, pp 19-29.
- Balachandran, S. (1990). "Simulation of a Test Embankment Failure Using Finite Element Technique Coupled with Critical State Soil Mechanics" AIT, Bangkok, Thailand. Tesis Sarjana.



Balasubramaniam, A. S. dan Brenner, R. P. (1981). "Consolidation and Settlement of Soft Clay." dlm. Brand, E. W. and Brenner, R. F. "Soft Clay Engineering." New York: Elsevier Scientific Publishing Company. 481 – 566.

Balasubramaniam, A.S., Bergado, D.T., Sivandran, C., dan Ting, W.H. (1985). "Engineering Behavior of Soils in Southeast Asia." Geotechnical Engineering in Southeast Asia. Bangkok, Thailand. 25-95.

Balasubramaniam, A.S., Phien-wej, N.N., Indraratna, B. dan Bergado, D.T. (1989). "Predicted Behaviour of a Test Embankment on a Malaysian Marine Clay" dlm. Lembaga Lebuhraya Malaysia. "Proc. of the International Symp. On Trial Embankments on Malaysian Marine Clays". Kuala Lumpur. Vol. 2.

Beavis, F.C. (1992). "Geologi Kejuruteraan". Terjemahan oleh Ibrahim, K. dan Tajul, A.J. Dewan Bahasa dan Pustaka. Kuala Lumpur.

Bergado, D.T., Anderson, L.R., Miura, N., Balasubramaniam, S. (1996). "Soft Ground Improvement in Lowland and Other Environments." American Society of Civil Engineers.

Bergado, D.T., Balasubramaniam, A.S., Fannin, R.J. dan Holtz, R.D. (2002). "Prefabricated vertical drains (PVDs) in soft Bangkok clay: A case study of the new Bangkok International Airport project." Canadian Geotechnical Journal. Vol. 39. 304-315.

Bishop, A.W. (1955). "The use of the flip circle in the stability analysis of slopes." Geotechnique. Vol. 4. No. 2.

Bishop, A.W. dan Bjerrum, L. (1960). "The Relevance of the Triaxial Test to the Solution of Stability Problems." Proceedings of the ASCE Research Conference on the Shear Strength of Cohesive Soils. Boulder, Colorado. 437 – 501. Cetak semula dlm. Norwegian Geotechnical Institute Publication No. 34, 1960. 1 – 56.

- Bjerrum, L. dan Simons, N. E. (1960). "Comparison of Shear Strength Characteristics of Normally Consolidated Clays." Proc. of the ASCE Research Conference on the Shear Strength of Cohesive Soils, Boulder. 711- 726.
- Bjerrum, L. (1972). "Embankment on soft ground." Proc. ASCE Specialty Conference on Earth-Supported Structures. Purdue University: Vol. 2. 1 – 54.
- Bjerrum, L. (1973). "Problems of soil mechanics and construction on soft clays and structurally unstable soils (collapsible, expansive and others)". Proc. 8<sup>th</sup> ICSMFE. Moscow: Vol. 3. 111 – 159.
- Blight, G.E. (1997). "Construction in Tropical Soils." 2<sup>nd</sup> International Conference on Geomechanics in Tropical Soil. Singapore. 1-37.
- Bourges, F., Carissan, M. dan Mieussens, C. (1973). "Le remblai de Palavas-les-Flots". Dlm. Bulletin Liais. Lab. Ponts Chauss. Special No. T: 119 – 138.
- Bourges, F. dan Mieussens. C. (1979). "Deplacements Lateraux a proximate des Remblais Sur Sols Compressibles." Methode de Prevision, Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et chaussees. Paris, France. LCPC No. 101. 73-100.
- Brady, N.C. (1984). "The Nature and Properties of Soils." Macmillan Pub, New York, 9<sup>th</sup> Edition.
- Brand, E.W. dan Brenner, R.P. (1981). "Soft Clay Engineering." Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1981.
- Brand, E.W. (1989). "Comparison of the Predicted and Observed Performance of the Muar Test Embankment." Dlm. Lembaga Lebuhraya Malaysia. " Proc. of the International Symp. On Trial Embankments on Malaysian Marine Clays". Kuala Lumpur. Vol. 2.

- Brenner, R. P., Nutalaya, P., Chilingarian, G. V. dan Robertson, J. O. (1981).  
“Engineering geology of soft clay.” dlm. Brand, E.W. dan Brenner, R.P. “Soft  
Clay Engineering.” New York: Elsevier. 159 – 240.
- British Standard Institution (1990). “British Standard Methods of Test for Soils for  
Civil Engineering Purposes, Part 2: Classification Test.” London: BS 1377.
- British Standards Institution (1990). “British Standard Methods of test for Soils for  
Civil Engineering, Part 3: Chemical and Electro-Chemical Tests.” London: BS  
1377.
- British Standard Institution (1990). “British Standard Methods of Test for Soils for  
Civil Engineering Purposes, Part 5: Compressibility, Permeability and  
Durability Test.” London: BS 1377.
- British Standard Institution (1981). “Code of Practice for Site Investigation.”  
London: BS 5930.
- British Standard 8004 (1986). “British Standard Code of Practice for Foundation.”  
British Standard Institute, London.
- Britto, A.M. dan Gunn, M.J. (1987). “Critical State Soil Mechanics via Finite  
Element.” Ellis Horwood. Chichester, United Kingdom.
- Bujang K. Huat, Ahmad Jusoh, Shukri Maail (1991). “Pengenalan Mekanik Tanah.”  
Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka. 102 – 117.
- Casagrande, A. (1932). “The structure of clay and its importance in foundation  
engineering.” Contribution to Soil Mechanics. Boston Society of Civil  
Engineering. 72-112.
- Cernica, J.N. (1995). “Geotechnical Engineering : Soil Mechanics” Canada : John  
Wiley & Sons, Inc. 256-288.

- Chai, J.C. dan Bergado, D.T. (1993). "Performance of Reinforced Embankment on Muar Clay Deposits." *Soils and Foundation*. Vol. 33, No. 4. 1-17.
- Chai, J.C., Sakajo, S. dan Miura, N. (1994). "Stability Analysis of Embankment on Soft Ground." *Soils and Foundations*. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 34, No. 2. 107-114.
- Collins, K., dan McGown, A. (1974). "The Form and Function of Microfabric features in a Variety of Natural Soils." *Geotechnique* 24, No.2. 223-254.
- Collins, K., dan McGown, A. (1983). "Micromorphological Studies in Soils Engineering." *Proc. Int. Working Meeting in Soil Micromorphology, London*. 195-217.
- Coutinho, R.Q., dan Lacerda, W.A. (1987). "Characterization and Consolidation of Juturnaiba Organic Clays." *Proceeding of the International Symposium on Geotechnical Engineering of Soft Soils, Mexico, Vol 1, 17 – 24*.
- Cox, J.B. (1968). "A Review of the Engineering Properties of the Recent Marine Clay in Southeast Asia." *Research Report No.6, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand*.
- Cox, J. B. (1972). "The distribution and formation of recent sediments in South-East Asia." *Proc. 2<sup>nd</sup> SEACSMFE*. Singapura: m.s. 29 – 47.
- Cox, J.B. (1970). "Shear Strength Characteristics of the Resent Marine Clays in Southeast Asia." *Journal of Southeast Asian Society of Soil Engineering, Vol.1. 1970, 1-26*.
- Craig, R. F. (1993). "Mekanik Tanah." *Terjemahan Aminaton Marto, Fatimah Mohd Nor dan Fauziah Kasim. Edisi Pertama. Johor, Malaysia: Unit Penerbitan Akademik UTM*.

- Das, B. M. (2002). "Principles of geotechnical engineering." 5<sup>th</sup> Edition. Pacific Grove, USA: Wardsworth.
- Eide, O. dan Holmberg, S. (1972). "Test fills to failure on the soft Bangkok clay." Proc. ASCE Specialty Conf. on Performance of Earth and Earth-Supported Structures. Purdue University. La Fayette: Vol. 1. 159 – 180.
- Ferikh, Z. dan Fell, R. (1994). "Design of embankments on soft clay." Dlm. Proceeding of the 13<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. New Delhi, India. A.A. Balkema, Rotterdam. 733-738.
- Flodin, N. dan Broms, B. (1981). "Historical Development of Civil Engineering of Soft Clay." Dlm. Brand, E.W. dan Brenner, R.P. "Soft Clay Engineering." Elsevier. Amsterdam. 27-156.
- Folkes, D.J. dan Crooks, J.H.A. (1985). "Effective stress paths and yielding in soft clays below embankments." Canadian Geotechnical Journal. 22. 357-374.
- Folkes, D.J. dan Crooks, J.H.A. (1986). "Effective stress paths and yielding in soft clays below embankments: Reply." Canadian Geotechnical Journal. 23. 413.
- GDS Instruments Ltd. (2000). "The GDS Laboratory Users Handbook." United Kingdom: Manual.
- Geo-Slope International Inc. (2001a). SEEP/W User's Guide. Geo-Slope International Inc.: Alberta, Canada.
- Geo-Slope International Inc. (2001b). SIGMA/W User's Guide. Geo-Slope International Inc.: Alberta, Canada.
- Geo-Slope International Inc. (2001c). SLOPE/W User's Guide. Geo-Slope International Inc.: Alberta, Canada.

- Gillott, J.E. (1976). "Importance of Specimen preparation in Microscopy." Soil Specimen Preparation for Laboratory Testing." ASTM STP 599, American Society for Testing and Materials. 289-307.
- Green, R.E. dan Corey, J.C., (1971). "Calculation of Hydraulic Conductivity: A Further Evaluation of Some Predictive Methods." Soil Science Society of America Proceedings, Vol. 35, pp. 3-8.
- Grim, R.E. (1959). "Physico-Chemical Properties of Soils: Clay Minerals." dlm. Mohd Raihan, T., dan Ramli, M. (1990). "Pengenalan Kejuruteraan Geoteknik." Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.
- Hamzah, M. (1997a). "Pengenalan kepada Teknik Pendarflour Sinar-X (XRF)." UKM, Bangi, Selangor.
- Hamzah, M. (1997b). "Pengenalan kepada Teknik Pembelauan Sinar-X (XRD)." UKM, Bangi, Selangor.
- Head, K.H. (1992). "Manual of Soil Laboratory Testing". Volume 1: Soil Classification and Compaction Test. 2th.ed. London: Pentech Press Limited Graham Lodge.
- Head, K.H. (1988). "Manual of Soil Laboratory". Volume 2: Permeability, Shear Strength and Compressibility Test. London: Pentech Press Limited Graham Lodge.
- Head, K.H. (1986). "Manual of Soil Laboratory". Volume 3: Effective Stress Tests. London: Pentech Press Limited Graham Lodge.
- Hill, R. (1950). "The Mathematical Theory of Plasticity." Oxford University Press.
- Holtz, R.D. dan Lindskog, G., (1972). "Soil movement below a test embankment." Dlm. Proc. Spec. Conf. Performance of Earth and Earth-Supported Structures. Lafayette, Ind., 1 : 273 – 284.

- Holtz, R. D. dan Holm, G. (1979). "Test Embankment on an Organic Silty Clay." Proc. 7<sup>th</sup> ECSMFE, Brighton, England, Vol. 3, pp. 79-86.
- Holtz, R. D. dan Kovacs, W. D. (1981). "An Introduction to Geotechnical Engineering." New York: Prentice-Hall, Inc.
- Ho, P.G., (1979). "The Prediction of Hydraulic Conductivity from Soil Moisture Suction Relationship." B.Sc. Thesis. University of Saskatchewan. Saskatoon, Canada.
- Howell, A.E. (1970). "Construction of the Main canals on the Muda Irrigation Project." Proc. 2nd Southeast Asian Conf. On Soil Engineering, Singapore, 149-161.
- Hunter, G. dan Fell, R. (2003). "Prediction of impending failure of embankments on soft ground." Nota dlm. NRC Research Press Web site di <http://cgj.nrc.ca>.
- Hussein, A.N. (1995). "The Formation, Properties and Behaviour of Coastal Soft Soil Deposits at Perlis and Other Sites in Peninsular Malaysia." University of Strathclyde, Tesis PhD, Vols I dan II.
- Indraratna, B., Balasubramaniam, A.S. dan Balachandran, S. (1992). "Performance of Test Embankment Constructed to Failure on Soft Marine Clay." Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 118, No. 1. 12-33.
- Indraratna, B., Balasubramaniam, A.S. dan Ratnayake, P. (1994). "Performance of Embankment Stabilized with Vertical Drains on Soft Clay." Journal of Geotechnical Engineering. Vol. 120, No. 2. 257-273.
- Janbu, N., Bjerrum, L dan Kjaernsli, B. (1956). "Veiledring ved losning av fundermenteringsoppgaver." Norwegian Geotechnical Institute Publication. No. 16. Oslo.

- Jardine, R. J. (1994). "Embankment On Soft ground." A Short Course on Embankment Over Soft Ground. Nanyang Technological University.
- Kenny, T. C. (1959). "Geotechnical Properties of Glacial Lake Clays." Dlm Wu T.H., "Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division." ASCE, jld 85, No. SM3. 67 – 79.
- Khairul, N.M.Y. (2002). "Mineralogi, Mikrostruktur dan Komposisi Kimia Tanah Baki Granit di Semenanjung Malaysia." Universiti Teknologi Malaysia: Tesis Sarjana..
- Kobayashi, Y., Todo, H., Weerasinghe, W.A.Y. dan Chandra, P. (1990) "Comparison of Coastal Clay Found in Singapore, Malaysia and Indonesia." Tenth Southeast Asian Geotechnical Conference, 16-20 April, 1990, Taipei, Taiwan.
- Kukal, Z. (1971). "Geology of Recent Sediments." Academic Press, London, pp 490
- Ladd, C. C. (1971). "Strength Parameters and Stress- Strain Behaviour of Saturated Clays." Research Report R71-23, Soils Publication 278, Dept. of Civil Engineering, Massachussets Institute of Technology. 280
- Ladd, C. C., Foote, R., Ishihara, K., Schlosser, F. dan Poulos, H. G. (1977). "Stress-Deformation and Strength Characteristics." Dlm. State-of-the-Art. "Proceedings of the Ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering." Tokyo. Jld 2. 421 – 494.
- Ladd, C. C., (1991). "Stability evaluation during stage construction." Dlm. "J. of Geotech. Eng." ASCE. Vol. 117. No. 4. pp 541-615.
- Lambe, T.W. (1958). "The Sructure of Compacted Clay." Jour. Of Soil Mechanics and Found. Div., ASCE Vol. 84, No. SM2, 1 – 34.



- Lambe, T.W. (1972). "The integrated civil engineering project". J. Soil Mech. Foundation. Div., ASCE. 98: 531 – 556.
- Lambe, T.W. dan Whitman, R.V. (1979). "Soil Mechanics." Massachusetts Institute of Technology. John Wiley and Sons, US.
- La Rochelle, P., Trak, B., Tavenas, F., dan Roy, M. (1974). "Failure of a Test Embankment on a Sensitive Champlain Clay Deposit." Canadian Geotechnical J., Vol. 11(1), pp. 142-164.
- Larsson, R. (1986). "Consolidation of soft clays." Swedish Geotechnical Institute. Report No. 29. Linköping, Sweden.
- Larsson, R. (1990). "Behaviour of Organic Clay and Gyttja." Swedish Geotechnical Institute, Report No.38.
- Ledgerwood, E. (1961). "Short geological report on the Muda River project, (Irrigation), Depth of Geology Survey, Min. of Rural Dev. Report.
- Lembaga Lebuhraya Malaysia (1989a). "Proc. of the International Symp. On Trial Embankments on Malaysian Marine Clays". Kuala Lumpur. Vol. 1.
- Lembaga Lebuhraya Malaysia (1989b) "Proc. of the International Symp. On Trial Embankments on Malaysian Marine Clays". Kuala Lumpur. Vol. 2.
- Leonard, G.A. dan Ramiah, B.K. (1959). "Time Effects in the Consolidation of Clays." Papers on Soils-1959 Meeting. Persatuan Pengujian dan Bahan Amerika. Terbitan Khas Teknikal. No. 254. 116-130.
- Leonard, G.A. dan Girault, P. (1961). "A Study of the One-Dimensional Consolidation Test." Proceedings of the fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris. Jld. 1. 116-130.

- Leonard, G.A. (1962). "Foundation Engineering." McGraw-Hill. New York.
- Leroueil, S., Tavenas, F., Mieussens, C., dan Peignaud, M. (1978). "Construction Pore Pressures in Clay Foundations Under Embankment". Dlm. "Part II: Generalized Behaviour." Canadian Geotechnical J., Vol. 15(1), pp. 66-82.
- Leroueil, S., Tavenas, F., Brucy, F., Laroche, P. Dan Roy, M. (1979). "Behaviour of destructured natural clays." ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division. Vol. 105. GT6. 616-620.
- Leroueil, S., Tavenas, F. dan Le Bihan, J.P. (1983). "Properties and Characteristics of Clays in Canada." Canadian Geotechnical Journal. Vol. 20. No. 4. 681-705.
- Leroueil, S. dan Tavenas, F. (1986). "Effective stress paths and yielding in soft clays below embankments: Discussion." Canadian Geotechnical Journal. 15. 410-413.
- Leroueil, S., Magnan, J. P. dan Tavenas, F. (1990) "Embankments on soft ground." West Sussex, England. Ellis Horwood.
- Loganathan, N. (1992). "Analysis of Test Embankment on Malaysian Muar Clays." AIT, Bangkok, Thailand. Tesis Sarjana.
- Loganathan, N. Balasubramaniam, A.S. dan Bergado, D.T. (1993). "Deformation Analysis of Embankments." Journal of Geotechnical Engineering. Vol. 119, No. 8. 1185-1206.
- Marche, R. dan Chapuis, R. (1974). "Control of Stability of Embankments by the Measurement of Horizontal Displacement." Canadian Geotechnical Journal. Vol. 11. No. 7. 182 – 201.
- Magnan, J.P. dan Lepidas, I. (1977). "Parametric study of the horizontal displacements of the soft soil under embankments during construction." Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris. Rapport des Laboratoires. Serie Geotechnique. ms 77.

- Marto, A. (1996). "Volumetric Compression of a Silt under Periodic Loading." University of Bradford: Tesis Ph.D.
- Mc Gown, A. dan Cook, J.R. (1994). "Origin and Nature of Malaysian Weathered Rocks and Soil." *Geotropika* 94, Universiti Teknologi Malaysia.
- Menzies, B.K. dan Simons, N.E. (1977). "Stability of Embankments on Soft Grounds." *A Short Course in Foundation Engineering*, Newnes-Butterworth, London.
- Mesri, G., Rokhsar, A. dan Bohor, B. F. (1975). "Composition and Compressibility of Typical Samples of Mexico City Clays." *Geotechnique*. Vol. 25. No. 3. pp. 527-554.
- Mestat, P. (2001). "MIMOS: A Database for the Numerical Modeling of Embankments on Soft Soil and the Comparison between Computational Results and In Situ Measurements." *Bulletin Des Laboratoires Des Ponts et Chausses*. Ref. 4376. 45 – 60.
- Millot, G. (1978). "Geology of Clays." Chapman & Hall, London, Chapter 5, pp 102.
- Mitchell, K.J. (1956). "The fabric of natural clays and its relation to engineering properties." Highway Research Board. Vol. 35. ms 693.
- Mitchell, K.J. (1976). "Fundamentals of Soil Behavior." John Wiley & Sons, Inc., New York, United States of America.
- Mitchell, K.J. (1993). "Fundamentals of Soil Behavior." John Wiley & Sons, Inc., New York, United States of America.
- Moh, Z.C., Brand, E.W., Tevest, A.S. (1972). "Mechanical Interpretation of Compression Characteristics of a Soft Marine Clay." *Geotechnical Engineering*, Vol. 3. 21-39.

- Mohd Fairus, Y. (2003). "Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Baki Granit di Semenanjung Malaysia." Universiti Teknologi Malaysia: Tesis Sarjana.
- Mohr, E.C.J. (1973). "Tropical Soils: A Comprehensive Study of their Genesis." 3<sup>rd</sup> Rev. and Enlarged Edition. The Hague: Mouton-Ichtiar Baru-Van Hoeve. 191-307.
- Morgenstern, N.R., dan Price, V.E., (1965). "The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces." *Geotechnique*, Vol. 15, pp. 79-93.
- Muir Wood, D. (1990). "Soil Behaviour and critical state soil mechanics. Cambridge University Press. Cambridge.
- Nash, D.F.T. & Powell, J.J.M. & Lloyd, I.M. (1990). "Initial Investigation of the Soft Clay Test Site at Bothkennar." *Geotechnique* Vol. 42, No. 2, 163 – 181.
- Osterberg, J.O. (1957). "Influence Values for Vertical Stress in a Semi-infinite Mass Due to an embankment Loading." *Proceedings of the Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. London. Jld. I. 393 – 394.
- Othman, Y. (1982). "Sains Tanah." Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.
- Parry, R.H.G. dan Wroth, C.P. (1981). "Soft Clays Engineering." Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1981.
- Quigley, R. M. dan Thompson, C.D. (1966). "The fabric of anisotropically consolidated sensitive marine clay." *Canadian Geotechnical Journal*. Vol. 3, No. 2. 61-73.
- Quigley, R.M., (1979). "Geology, Mineralogy and Geochemistry of Soft Soils and Their Relationship to Geotechnical Problems." *Proceeding 32nd Can. Geotech. Conf.*, Quebec City, State-of-the-art volume, 80 pp.

- Ramli, M., Chin, C.H., Mohd, P.I. dan Zaini, M.Z. (1994). "The Engineering Geology and Geotechnics of Soft Deposit in Peninsular Malaysia." *Geotropika* 94, Universiti Teknologi Malaysia.
- Raj, J.K. dan Ho, H.S. (1990). "Clay Mineralogy of Holocene Marine Clays Along the North-South Expressway." Seminar on Geotechnical Aspects of the North – South Expressway. 177-185.
- Ratnayake, A.M.P. (1991). "Performance of Test Embankment with and without Vertical Drains at Muar Flats, Malaysia." AIT, Bangkok, Thailand. Tesis Sarjana.
- Raymond, G.P. dan Wahls, H.E. (1976). "Estimating one-dimensional consolidation, including secondary compression of clay loaded from overconsolidated to normally consolidated state." Special Report 163. Transportational Research Board. 17-23.
- Rosenqvist, I. T. (1953). "Considerations on the Sensitivity of Norwegian Quick Clays." *Geotechnique*. Vol. 4. 143 – 147.
- Seed, H.B., Woodward, R.J. dan Lundgren, R. (1962). "Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays." *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*. Jld. 88, No. SM 4. 107-131.
- Sharma, S. (1994). "XSTABL Version 5 Reference Manual." Interactive Design, Inc. Moscow. US.
- Shamshuddin, J. (1983). "Asas Sains Tanah." Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur. 61 -101.
- Shamshuddin, J. (1990). "Sifat dan Pengurusan Tanah Di Malaysia" Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.

- Shoji, M., Ohta, H., Matsumoto, T. dan Morikawa, S. (1989). "Safety Control of Embankment Foundation Based on Elastic-Plastic Back Analysis." *Soils and Foundation*, Vol. 29, No. 2. 112 – 126.
- Sivaneswaren, N. (1993). "Performance of Trial Embankment on Treated and Untreated Soft Clay at the Muar Flat Site, Malaysia." AIT, Bangkok, Thailand. Tesis Sarjana.
- Skempton, A.W., dan Northey, R. D. (1952). "The sensitivity of clays." *Getechnique*. Vol. 3. 30-53.
- Smadi, M. M. (2001). "Lateral Deformation and Associated Settlement Resulting from Embankment Loading of Soft Clay and Silt Deposit." University of Illinois. Tesis PhD.
- Smart, P. (1969). "Soil Structure in the Electron Microscope." *Proc. Southampton Civil Engineering*, London, Vol.1, 249 – 255.
- Smart, P. dan Tovey, N.K. (1982). "Electron Microscopy of Soil and Sediments:Techniques." Clarendon Press, Oxford.
- Smith, M.J. (1984). "Soil Mechanics," 4<sup>th</sup> edition, George Godwin ELBS.
- Tan, Y.C. (1994). "Analysis of Trial Embankments at the Muar Flat Site, Malaysia." Asian Institute of Technology, Bangkok. Thailand. Tesis Sarjana.
- Tavenas, F., Mieussens, C. dan Bourges, F. (1979). "Lateral Displacements in Clay Foundations Under Embankments." *Canadian Geotechnical Journal*. Vol. 16, No. 3. 532-550.
- Tavenas, F. dan Leroueil, S. (1979). "Clay Behaviour and selection of design parameters." *Proc. 7<sup>th</sup> European Conference on Soil mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 1, 281 – 291.

- Tavenas, F., dan Leroueil, S. (1980) "The behaviour of embankments on soft clay foundations." *Canadian Geotechnical Journal*. 17. 236 – 260.
- Taylor, R.G. dan James, P.G. (1967). "Geotechnical Aspects of the Muda Irrigation Project." *Proc. 1st Southeast Asian Conf. On Soil Eng.*, Bangkok, 33 – 42.
- Tentera Laut A.S. (1971). "Soil Mechanics, Foundations, and Earth Structures." NAVFAC Design Manual DM-7. Washington D. C.
- Terzaghi, K. (1923). "Die Berechnung der Durchlässigkeitsziffer des Tones aus den Verlauf der Hydrodynamischen Spannungserscheinungen." *Akademie der Wissenschaften in Wien, Sitzungsberichte. Mathematischnaturwissenschaftliche Klasse. Part IIa*, 132, 3/4, ms 125-138.
- Terzaghi, K. dan Peck, R.B. (1967). "Soil Mechanics in Engineering Practice." 2<sup>nd</sup> Ed. Wiley. New York.
- Terzaghi, K., Peck, R.B dan Mesri, G (1996). "Soil Mechanics in Engineering Practice- Third Edition." Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, INC., New York.
- Ting, W.H. dan Chan, S.F. (1971). "Bearing Capacity of Bakau Timber Piles in the Coastal Alluvium of West Malaysia." *Proc. 4th Asian Regional Conf. on Soil Mechanic and Foundation Eng.*, Bangkok, Vol. 1, 317 – 322.
- Ting, W.H., Ooi, T.A. dan Chong, S.M. (1975). "An Analysis of Pile Behaviour in Prai Area." *Proc. 4th Asian Regional Conf. on Soil Mechanic and Foundation Eng.*, Bangkok, Vol 1, 328 – 334.
- Ting dan Ooi (1977). "Some properties of the coastal alluvium of Peninsular Malaysia." *Proc. of the Int. Symp. On Soft Clay*. Bangkok. 89 – 101.

- Ting, W.H., Wong, T.F. dan Toh, C.T. (1988). "Design Parameters for Soft Ground in Malaysia." *Journal of Southeast Asia Geotechnical Society. Geotechnical Engineering* , Vol.19, No. 1-2, 1988.
- Tjia, H.D. (1987). "Geomorfologi." Dewan Bahasa dan Pustaka, Kuala Lumpur.
- Tovey, N.K. (1973). "Techniques of Observation and Methods of Quantification." Appendix to Proceedings of the International Symposium of Soil Structure. Gothenburg. 1-19.
- Tovey, N.K. dan Wong, K.Y. (1975). "A New Specimen Preparation Technique for the Scanning Electron Microscope." *Technical Notes*. 142-145.
- Tovey, N.K. (1986a). "Microanalyses of a Hong Kong Marine Clay." *Geotechnical Engineering*, Vol. 17. No. 2. 167-210.
- Tovey, N.K. (1986b). "Microfabric, Chemical and Mineralogical Studies of Soils: Techniques." *Geotechnical Engineering*, Vo. 17. No.2. 131-166.
- Tse, E.C. (1985). "Influence of Structure Change on Pore Pressure and Deformation Behaviour of Soft Clays under Surface Loadings." University of California, Berkeley. Tesis PhD.
- Tuma, J.J. (1973). "Engineering Soil Mechanics." Prentice-Hall, Inc.
- Vogien, M. (1975). "Etude du comportement avant la rupture d'un remblai experimental construit sur sol mou a Cubzac-les Ponts." These de Docteur-ingenieur. Universite Pierre et Marie Curie. Paris, France.
- Wood, M. (1990). "Soil behaviour and critical state soil mechanics." Cambridge University Press. Cambridge.



Wroth, C.P. dan Wood, D.M. (1978). "The correlation of index properties with some basic engineering properties of soils." *Canadian Geotechnical Journal*. Vol. 15, No. 2. 137-145.

Wright, L.D. (1978). "River Deltas." In *Coastal Sedimentary Environment*, Ed Davis, R.A., Springer-Verlag, New York.

Wycherley, P.R. (1967). "Rainfall Probability Tables for Malaysia." Rubber Research Institute, Malaysia.

Yusof, M.F. (2003). "Ciri-ciri Kejuruteraan Tanah Baki Granit di Semenanjung Malaysia." Universiti Teknologi Malaysia. Johor Bahru. Tesis Sarjana.

## LAMPIRAN A

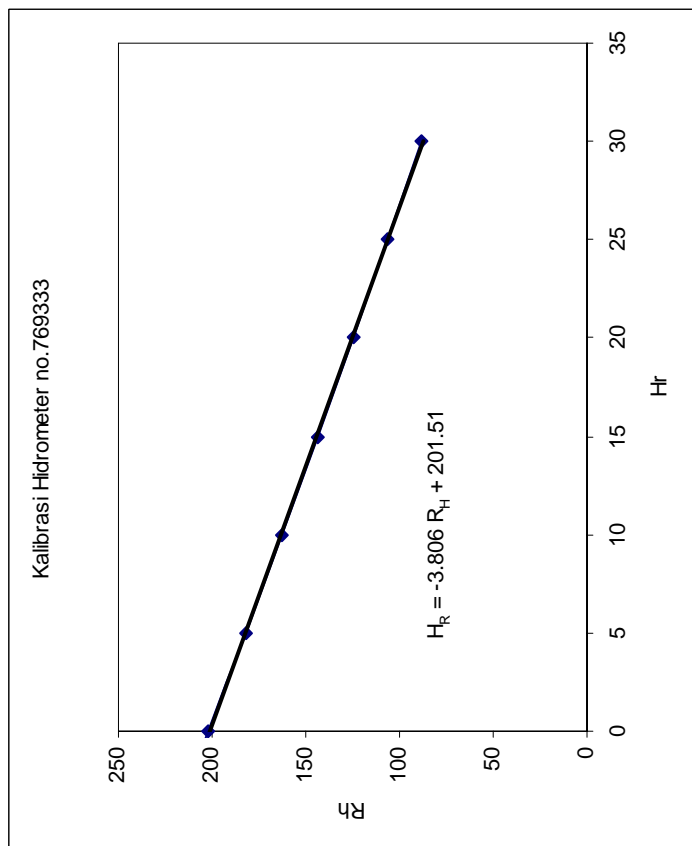
KALIBRASI HIDROMETER

Tarikh kalibrasi : 8/9/2001

No. Hidrometer : 769333

Dikalibrasi oleh : Saiful Azhar

Jisim :	70.17 g
V <sub>h</sub> :	70.2 cm <sup>3</sup>
h :	156 mm
L :	310 mm
N :	22 mm



Skala (g/cm <sup>3</sup> )	Bacaan R <sub>h</sub>	d (mm)	d + N = H (mm)	$H + \frac{1}{2}(h - \frac{900}{d}) = H_R$ (mm)
1.03	30	0	22	88
1.025	25	18.5	40.5	106.5
1.02	20	37	59	125
1.015	15	56	78	144
1.01	10	75	97	163
1.005	5	94	116	182
1.000	0	114	136	202
0.995	-5	133	155	221

## LAMPIRAN B

KALIBRASI BOTOL PIKNOMETER KECIL

No. botol	1900	1605	1583	1482	1601	1831
Berat botol (m <sub>1</sub> ) (g)	31.836	29.279	31.652	33.599	31.624	29.405
Berat botol + cecair (m <sub>4</sub> ) (g)	80.686	79.006	82.035	84.339	81.164	79.868
Isipadu botol, $V_d = \frac{m_4 - m_1}{0.99704}$ (ml)	49.00	49.87	50.53	50.89	49.69	50.61

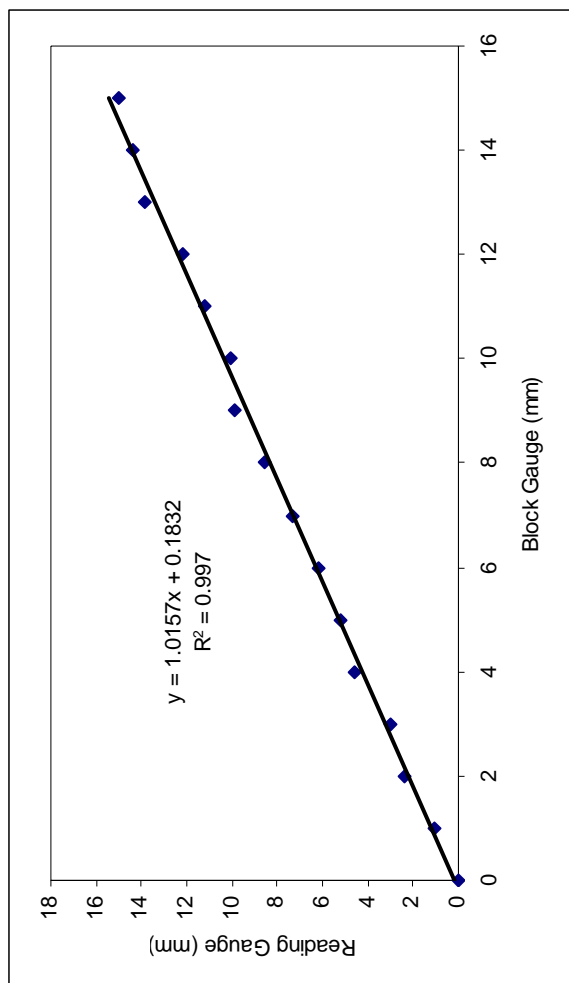
No. botol	1599	1802	1757	1682	1695	1831
Berat botol (m <sub>1</sub> ) (g)	31.736	30.287	30.748	30.422	32.273	29.410
Berat botol + cecair (m <sub>4</sub> ) (g)	81.569	79.993	81.382	80.318	81.937	79.853
Isipadu botol, $V_d = \frac{m_4 - m_1}{0.99704}$ (ml)	49.98	49.85	50.78	50.04	49.81	50.59

No. botol	1761	1412	1449	1808	1682	1741
Berat botol (m <sub>1</sub> ) (g)	29.893	35.900	25.547	28.968	30.424	30.454
Berat botol + cecair (m <sub>4</sub> ) (g)	79.493	86.512	76.187	79.654	80.307	81.024
Isipadu botol, $V_d = \frac{m_4 - m_1}{0.99704}$ (ml)	49.75	50.76	50.79	50.84	50.03	50.72

## LAMPIRAN C

KALIBRASI TOLOK DIAL

Block gauge	Reading gauge
0	0
1	1.05
2	2.34
3	3.01
4	4.56
5	5.19
6	6.22
7	7.33
8	8.54
9	9.87
10	10.06
11	11.23
12	12.22
13	13.82
14	14.36
15	15.02



## LAMPIRAN D

## CALIBRATION REPORT

Certificate No : GDS1005/442

Submitted By : Universiti Teknologi Malaysia

Instruments : GDS Pressure Controller

Serial No : 000436

Calibration Date : 5<sup>th</sup> October 2001

Next Calibration : 5<sup>th</sup> October 2002

Calibration Standard Used : Pressure Controller, serial number 02157  
Traceable to SIRIM-SIME report no. SST/R/2001A-839

Controller Applied (kPa)	Tranducer reading (kPa)	
	Increase	Decrease
0	0.0	0.0
200	199.9	199.8
400	400.0	400.1
600	600.3	600.4
800	800.8	800.9
1000	1001.0	-

## LAMPIRAN D (SAMBUNGAN)

## CALIBRATION REPORT

Instruments : GDS Pressure Controller  
 Serial No : 000441  
 Calibration Date : 5<sup>th</sup> October 2001  
 Next Calibration : 5<sup>th</sup> October 2002  
 Calibration Standard Used : Pressure Controller, serial number 02157  
 Traceble to SIRIM-SIME report no. SST/R/2001A-839

Controller Applied (kPa)	Tranducer reading (kPa)	
	Increase	Decrease
0	0.0	0.0
200	199.7	199.8
400	399.8	400.0
600	600.2	600.0
800	800.5	800.3
1000	1001.2	-

## LAMPIRAN D (SAMBUNGAN)

## CALIBRATION REPORT

Instruments : GDS Pressure Controller  
 Serial No : 000442  
 Calibration Date : 5<sup>th</sup> October 2001  
 Next Calibration : 5<sup>th</sup> October 2002  
 Calibration Standard Used : Pressure Controller, serial number 02157  
 Traceble to SIRIM-SIME report no. SST/R/2001A-839

Controller Applied (kPa)	Tranducer reading (kPa)	
	Increase	Decrease
0	0.0	0.0
200	200.0	200.0
400	400.0	400.1
600	600.3	600.4
800	800.6	800.7
1000	1001.0	-

## LAMPIRAN D (SAMBUNGAN)

## CALIBRATION REPORT

Instruments : GDS Pressure Controller  
 Serial No : 000645  
 Calibration Date : 5<sup>th</sup> October 2001  
 Next Calibration : 5<sup>th</sup> October 2002  
 Calibration Standard Used : Pressure Controller, serial number 02157  
 Traceble to SIRIM-SIME report no. SST/R/2001A-839

Controller Applied (kPa)	Tranducer reading (kPa)	
	Increase	Decrease
0	0.0	0.0
200	199.6	201.3
400	399.6	401.5
600	600.5	602.3
800	801.1	802.3
1000	1002.2	-



## LAMPIRAN E

### LATAR BELAKANG PERISIAN SIGMA/W, SEEP/W DAN SLOPE/W

#### E.1 Pengenalan

Di dalam kajian ini, program unsur terhingga SIGMA/W, SEEP/W dan SLOPE/W yang dimajukan oleh GEO-SLOPE International Ltd., Alberta, Kanada yang masing-masing digunakan untuk menganalisis ubah bentuk, perubahan tekanan air liang dan kestabilan cerun. SIGMA/W berfungsi untuk mengira perubahan anjakan tanah secara menegak atau mengufuk dan tegasan yang berlaku pada struktur tanah dan SEEP/W berfungsi untuk mengira perubahan tekanan air liang yang disebabkan perubahan tegasan tanah dan kadar penyusupan. Manakala SLOPE/W berfungsi untuk mengira faktor keselamatan kestabilan sesuatu cerun. Ketiga-tiga perisian ini boleh digunakan secara berasingan atau pun secara bergandingan mengikut tujuan analisis yang dijalankan.

Bagi kajian ini, perisian SIGMA/W dan SEEP/W digunakan secara bergandingan untuk analisis pengukuhan. Kedua-dua perisian ini apabila digandingkan dapat membentuk ciri-ciri asas global matriks (kekukuhan) di mana tiga persamaan dapat dibentuk bagi setiap nod pada jejaring unsur terhingga. Dua daripadanya adalah persamaan keseimbangan (anjakan) yang dibentuk oleh SIGMA/W dan ketiga ialah persamaan keselantaran (aliran) yang dibentuk oleh SEEP/W.

Perisian SLOPE/W yang digunakan di dalam kajian ini, digunakan secara individu dan juga bergandingan dengan SIGMA/W dan SEEP/W. Penggunaan SLOPE/W secara individu melibatkan analisis kestabilan biasa yang menggunakan kaedah keseimbangan had dalam pengiraan faktor keselamatan tanpa mengambilkira pengaruh perubahan tegasan dan tekanan air liang yang berlaku pada struktur tanah. Di dalam penggunaan secara bergandingan dengan SIGMA/W dan SEEP/W,

pengaruh perubahan tegasan dan tekanan air liang yang terhasil daripada analisis unsur terhingga digunakan dalam analisis kestabilan.

## E.2 Latar Belakang SIGMA/W

SIGMA/W menganggap pengagihan anjakan di dalam elemen berdasarkan fungsi-fungsi penentudalaman iaitu agihan anjakan adalah lurus apabila nod-nod sekunder tidak digunakan, dan agihan anjakan adalah kuadratik apabila nod sekunder digunakan. Model agihan anjakan di sebarang tempat di dalam unsur terhingga ditunjukkan di persamaan berikut:

$$u = \langle N \rangle \{U\} \quad (\text{E.1})$$

$$v = \langle N \rangle \{V\} \quad (\text{E.2})$$

yang mana:

$u$  = anjakan-x pada tempat yang diberi

$v$  = anjakan-y pada tempat yang diberi

$\{U\}$  = anjakan-x pada nod elemen

$\{V\}$  = anjakan-y pada nod elemen

$\langle N \rangle$  = fungsi penentudalaman yang dinilai pada titik yang diberi

Persamaan unsur terhingga yang digunakan di dalam SIGMA/W untuk pertambahan masa yang diberi adalah,

$$\int_v [B]^T [C] [B] dv \{a\} = b \int_v \langle N \rangle^T dv + p \int_A \langle N \rangle^T dA + \{F_n\} \quad (E.3)$$

yang mana:

- $[B]$  = matriks terikan-anjakan
- $[C]$  = matriks jujuk
- $\{a\}$  = vektor lajur nod tokokan-x dan anjakan-y
- $A$  = Luas sepanjang sempadan elemen
- $v$  = isipadu elemen
- $b$  = keamatan unit daya jasad
- $\langle N \rangle$  = vektor baris fungsi penentudalaman
- $p$  = pertambahan tekanan permukaan
- $\{F_n\}$  = pertambahan beban nod tertumpu

Di dalam analisis dua-dimensi, SIGMA/W menganggap semua elemen mempunyai unit ketebalan. Bagi ketebalan elemen tetap,  $t$ , Persamaan E.3 dapat ditulis menjadi:

$$t \int_A [B]^T [C] [B] dA \{a\} = bt \int_A \langle N \rangle^T dA + pt \int_L \langle N \rangle^T dL \quad (E.4)$$

Di dalam bentuk yang diringkaskan, persamaan unsur terhingga adalah:

$$[K] \{a\} = \{F\} = \{F_b\} + \{F_s\} + \{F_n\} \quad (E.5)$$

yang mana:

- $[K]$  = matriks kekukuhan
- $= t \int_A ([B]^T [C] [B]) dA$  (terikan satah), atau
- $= \int_A ([B]^T [C] [B] R) dA$  (paksi simetri)
- $\{a\}$  = pertambahan anjakan nod

$\{F\}$  = pertambahan daya kenaan nod yang diperolehi seperti berikut:

$\{F_b\}$  = pertambahan daya badan

$\{F_s\}$  = daya disebabkan tokokan tekanan sempadan permukaan

$$= p \int_L \langle N \rangle^T dL \quad (\text{terikan satah}), \text{ atau}$$

$$= p \int_L (R \langle N \rangle^T) dL \quad (\text{paksi simetri})$$

$\{F_n\}$  = pertambahan daya nod tertumpu

SIGMA/W menyelesaikan persamaan unsur terhingga ini pada setiap tingkat masa untuk mendapatkan pertambahan anjakan dan mengira pertambahan tegasan dan terikan.

### E.2.1 Model Juzuk Tanah

Di dalam SIGMA/W, sebanyak tujuh model juzuk tanah boleh digunakan. Model tersebut adalah Linear-Elastik, Elastik Tak Isotropik (*Anisotropic Elastik*), Elastik Tak Linear (*Nonlinear Elastic*), Elastik-Plastik, Terikan-Pelembutan (*Strain-Softening*), Tanah Liat-Cam (*Cam-Clay*) dan Tanah Liat-Cam Terubahsuai (*Modified Cam-Clay*). Di dalam kajian, tiga model juzuk tanah dipilih untuk digunakan dalam menganalisis pengukuhan iaitu Model Linear Elastik, Elastik Plastik dan Tanah Liat-Cam Terubahsuai.

#### E.2.1.1 Model Linear-Elastik

Model Linear Elastik adalah model asas yang mana tegasan berkadar terus dengan terikan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah E.1a. Kadar pemalar bagi model ini adalah Modulus Young's,  $E$  dan Nisbah Poisson's,  $\nu$ . Tegasan dan terikan dihubungkan dengan persamaan berikut:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (\text{E.6})$$

Bagi analisis dua-dimensi,  $\varepsilon_z$  adalah sifar. Bagi mengelakkan masalah ketidakstabilan numerik dalam simulasi atau turutan analisis, had nilai maksimum nisbah Poisson,  $\nu$  adalah 0.49. Dalam erti kata lain, pengguna perisian ini, perlu elakkan  $1 - 2\nu$  bernilai sifar.

### E.2.1.2 Model Elastik-Plastik

Iaitu model yang menggambarkan hubungan elastik-plastik di mana tegasan berkadar terus dengan terikan sehingga bertemu titik alah seperti di Rajah E.1b. Selepas melewati titik alah, lengkung tegasan-terikan akan mengufuk.

Bagi SIGMA/W, keplastikan tanah dikira menggunakan teori keplastikan tambahan (Hill, 1950). Apabila bahan elastik-plastik mula alah, terikan tambahan boleh dibahagi kepada komponen elastik dan plastik.

$$\begin{aligned} \{d\varepsilon\} &= \{d\varepsilon^e\} + \{d\varepsilon^p\}, \text{ atau} \\ \{d\varepsilon_e\} &= \{d\varepsilon\} - \{d\varepsilon^p\} \end{aligned} \quad (\text{E.7})$$

Fungsi yang menggambarkan londar (*locus*) pada titik alah dinamakan fungsi alah (*yield function*) dan didefinisikan menggunakan simbol,  $F$ . Di dalam Model Elastik-Plastik SIGMA/W, titik alah hanya bergantung pada keadaan tegasan. Oleh itu, fungsi alah dapat di tulis seperti persamaan berikut:

$$F = F(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}) \quad (\text{E.8})$$

Perubahan pertambahan di dalam fungsi alah ditunjukkan oleh persamaan di bawah:

$$dF = \frac{\partial F}{\partial \sigma_x} d\sigma_x + \frac{\partial F}{\partial \sigma_y} d\sigma_y + \frac{\partial F}{\partial \sigma_z} d\sigma_z + \frac{\partial F}{\partial \tau_{xy}} d\tau_{xy} \quad (\text{E.9})$$

Secara ringkas, hubungan antara pertambahan tegasan dan pertambahan terikan dapat ditunjukkan seperti persamaan di bawah:

$$\{d\sigma\} = ([C_e] - [C_p])\{d\varepsilon\} \quad (\text{E.10})$$

yang mana,

$$[C_p] = \frac{[C_e] \left\{ \frac{\partial G}{\partial \sigma} \right\} \left\langle \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right\rangle [C_e]}{\left\langle \frac{\partial F}{\partial \sigma} \right\rangle [C_e] \left\{ \frac{\partial G}{\partial \sigma} \right\}} \quad (\text{E.11})$$

yang mana:

$[C_p]$  = matriks plastik

$[C_e]$  = matriks elastik

$G$  = fungsi keupayaan plastik (*plastic potential function*)

### E.2.1.3 Model Tanah Liat Cam Terubahsuai

Model ini ialah model keadaan genting atau juga model lurus-pengerasan plastik yang berdasarkan Atkinson dan Bransby (1978), dan Britto dan Gunn (1987) seperti yang ditunjukkan dalam Rajah E.1c. Model ini sama seperti Model Tanah Liat-Cam kecuali fungsi alahnya adalah dalam bentuk elips yang membentuk dari lengkung mula jatuh seperti yang ditunjukkan pada Rajah E.3b.

Model Tanah Liat-Cam adalah model tegasan berkesan yang memerlukan ciri-ciri tanah seperti berikut:

$M$  = Cerun garisan keadaan genting di dalam satah  $p'-q$

$\Gamma$  = Isipadu tentu pada keadaan genting bila  $p'$  adalah 1.0 (atau,  $\ln(p')$

adalah 0)

$\kappa$  = Cerun garisan pengukuhan lebih (pengampulan) isotropik

$\lambda$  = Cerun garisan pengukuhan normal isotropik

$\nu$  = Isipadu tentu

Lima parameter ini dapat digambarkan di dalam Rajah E.2, dan  $M$  juga boleh diperolehi daripada persamaan berikut:

$$M = \frac{6 \sin \phi'}{3 - \sin \phi'} \quad (\text{E.12})$$

Fungsi alah (*Yield function*) bagi Tanah Liat-Cam, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah E.3a, boleh dinyatakan di dalam istilah tegasan tak berubah (*stress invariants*)  $p'$  dan  $q$  seperti yang ditunjukkan (Atkinson dan Bransby, 1978):

$$F = \frac{q}{Mp'} + \ln\left(\frac{p'}{p'_x}\right) - 1 \quad (\text{E.13})$$

yang mana:

$p'_x$  = tegasan min puncak iaitu nilai  $p'$  pada garisan keadaan genting.

Tegasan min puncak,  $p'_x$ , berkadar dengan tekanan pra-pengukuhan,  $p'_c$ , dengan:

$$\begin{aligned} \ln p'_x &= \ln p'_c - 1 \\ p'_x &= p'_c / 2.7183 \end{aligned} \quad (\text{E.14})$$

Fungsi alah bagi Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai (Rajah E.3b) yang digunakan oleh SIGMA/W berdasarkan Britto dan Gunn (1987) ialah:

$$F = \frac{q^2}{p'} + M^2 p' - 2M^2 p'_x \quad (\text{E.15})$$

### E.3 Latar Belakang SEEP/W

Perisian SEEP/W menganggap agihan turus di dalam elemen berdasarkan fungsi-fungsi penentudalaman iaitu agihan turus adalah lurus apabila nod sekunder tidak dijumpai atau tiada dan agihan turus adalah tidak lurus apabila nod sekunder ditemui atau wujud. Model agihan turus ditunjukkan oleh persamaan:

$$h = \langle N \rangle \{H\} \quad (\text{E.16})$$

yang mana:

$$\begin{aligned} h &= \text{turus pada sebarang koordinat tempatan} \\ \langle N \rangle &= \text{vektor fungsi penentudalaman} \\ \{H\} &= \text{vektor turus pada nod} \end{aligned}$$

Persamaan unsur terhingga yang berdasarkan penggunaan kaedah baki tertimbang Galerkin untuk menentukan persamaan pembezaan adalah:

$$\int_v ([B]^T [C] [B]) dv \{H\} + \int_v (\lambda \langle N \rangle^T \langle N \rangle) dv \{H\},t = q \int_A (\langle N \rangle^T) dA \quad (\text{E.17})$$

di mana:

$$\begin{aligned} [B] &= \text{matriks kecerunan} \\ [C] &= \text{matriks konduktiviti hidrolik elemen} \\ \{H\} &= \text{vektor turus nod} \\ \lambda &= m_w \lambda_w \\ \langle N \rangle^T \langle N \rangle &= [M] = \text{matriks massa} \\ \{H\},t &= \frac{\partial h}{\partial t} = \text{perubahan di dalam turus dengan masa} \\ q &= \text{fluks unit merentas bahagian elemen} \\ \langle N \rangle &= \text{vektor fungsi penentudalaman} \end{aligned}$$



Bagi analisis dua-dimensi, ketebalan keseluruhan elemen dianggap tetap. Oleh itu, persamaan unsur terhingga dapat ditulis sebagai:

$$t \int_A ([B]^T [C] [B]) dA \{H\} + t \int_A (\lambda \langle N \rangle^T \langle N \rangle) dA \{H\}, t = qt \int_L (\langle N \rangle^T) dL \quad (\text{E.18})$$

di mana  $t$  adalah ketebalan elemen.

Apabila  $t$  tetap, pengamiran terhadap isipadu  $\int_v$  menjadi pengamiran terhadap luas  $\int_A$  dan pengamiran terhadap luas  $\int_A$  menjadi pengamiran terhadap panjang  $\int_L$  dari penjuru nod ke penjuru nod.

Secara ringkas, persamaan unsur terhingga bagi analisis resipan fana dapat ditulis sebagai:

$$[K] \{H\} + [M] \{H\}, t = \{Q\} \quad (\text{E.19})$$

di mana,

$$\begin{aligned} [K] &= \text{matriks ciri-ciri elemen} \\ &= t \int_A ([B]^T [C] [B]) dA, \text{ atau} \\ &= \int_A ([B]^T [C] [B] R) dA \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [M] &= \text{matriks massa} \\ &= t \int_A (\lambda \langle N \rangle^T \langle N \rangle) dA, \text{ atau} \\ &= \int_A (\lambda \langle N \rangle^T \langle N \rangle R) dA \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \{Q\} &= \text{vektor fluks kenaan} \\ &= qt \int_L (\langle N \rangle^T) dL, \text{ atau} \\ &= q \int_L (\langle N \rangle^T R) dL \end{aligned}$$

### E.3.1 Fungsi Isipadu Kandungan Air

Apabila air mengalir melalui tanah, sebahagian kandungan air itu akan tersimpan di dalam struktur tanah. Kandungan air yang tersimpan itu adalah fungsi tekanan air liang dan ciri-ciri struktur tanah. Dalam analisis resipan, nisbah isipadu air berbanding jumlah isipadu perlu ditentukan. Nisbah ini dikenali sebagai isipadu kandungan air yang dinormalkan,  $\Theta$ .

$$\Theta = V_w/V$$

dengan:       $\Theta$       = isipadu kandungan air yang dinormalkan  
                   $V_w$       = isipadu air  
                   $V$         = jumlah isipadu

Isipadu kandungan air adalah bergantung dengan tekanan air liang seperti hubungan yang ditunjukkan di dalam Rajah E.4. Kecerunan lengkung ciri tanah-air ( $m_w$ ) menunjukkan kadar perubahan kandungan air tersimpan dalam tanah yang bertindakbalas dengan perubahan tekanan air liang. Apabila tekanan air liang positif,  $m_w$  adalah sama dengan  $m_v$  (pekali kebolehmpatan isipadu). Ho (1979) telah menunjukkan lengkung kandungan air isipadu sebenar bagi pasir, kelodak dan tanah liat seperti dalam Rajah E.5.

### E.3.2 Fungsi Konduktiviti Hidraulik

Keupayaan tanah untuk mengawal air disebut sebagai konduktiviti hidraulik (atau pekali kebolehtelapan). Di dalam konteks ini, konduktiviti hidraulik bergantung pada kandungan air. Apabila kandungan air adalah fungsi tekanan air liang dan konduktiviti adalah fungsi kandungan air, ini dapat menunjukkan konduktiviti juga adalah fungsi tekanan air liang. Perisian SEEP/W menggunakan kaedah Green dan Corey (1971) untuk menganggar fungsi konduktiviti dari fungsi lengkung air-tanah.

#### E.4 Analisis Pengukuhan Menggunakan Gabungan SIGMA/W dan SEEP/W

Bagi analisis pengukuhan dalam kajian ini, kedua-dua persamaan aliran (SEEP/W) dan keseimbangan (SIGMA/W) diselesaikan secara serentak. Persamaan keseimbangan unsur terhingga dalam SIGMA/W dikira menggunakan prinsip kerja sebenar yang mana keadaan pada sistem di dalam keseimbangan, jumlah kerja sebenar dalaman bersamaan dengan kerja sebenar luaran. Bagi kes mudah, apabila hanya beban titik luaran  $\{F\}$  digunakan, persamaan kerja sebenar boleh ditulis seperti:

$$\int \{\varepsilon^*\}^T \{\Delta\sigma\} dV = \int \{\delta^*\}^T \{F\} dV \quad (\text{E.20})$$

yang mana:

$$\{\delta^*\} = \text{anjakan sebenar}$$

$$\{\varepsilon^*\} = \text{terikan sebenar}$$

$$\{\sigma\} = \text{tegangannya dalaman}$$

Persamaan aliran untuk analisis unsur terhingga dikira menggunakan prinsip kerja asas di dalam istilah tekanan air liang dan terikan isipadu. Jika tekanan air liang sebenar,  $u_w^*$ , digunakan pada persamaan Darcy dan digabungkan ke atas isipadu, persamaan kerja sebenar diperolehi seperti berikut:

$$\int u_w^* \left[ \frac{k_x}{\gamma_w} \frac{\partial u_w^*}{\partial x^2} + \frac{k_y}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u_w^*}{\partial y^2} + \frac{\partial \theta_w}{\partial t} \right] dV = 0 \quad (\text{E.21})$$

yang mana:

$$k_x, k_y = \text{Konduktiviti hidraulik dalam arah } x \text{ dan } y$$

$$u_w = \text{halaju resipan}$$

$$\gamma_w = \text{berat unit air}$$

$$\theta_w = \text{isipadu kandungan air}$$

$$t = \text{masa}$$

Secara ringkas, gabungan persamaan bagi analisis unsur terhingga adalah terdiri daripada persamaan keseimbangan (E.22) dan persamaan aliran (E.23).

Persamaan-persamaan ini adalah seperti berikut:

$$[K]\{\Delta\delta\} + [L_d]\{\Delta u_w\} = \{\Delta F\} \quad (\text{E.22})$$

dan,

$$\beta [L_f]\{\Delta\delta\} - \left( \frac{\Delta t}{\gamma_w} [K_f] + \omega [M_N] \right) \{\Delta u_w\} = \Delta t \left( \{Q\}|_{t+\Delta t} + \frac{1}{\gamma_w} [K_f] \{u_w\}|_t \right) \quad (\text{E.23})$$

yang mana:

$$\begin{aligned} [K] &= \Sigma [B]^T [D] [B] \\ [L_d] &= \Sigma [B]^T [D] \{m_H\} \langle N \rangle \\ \{m_H\} &= \left\langle \frac{1}{H} \quad \frac{1}{H} \quad \frac{1}{H} \quad 0 \right\rangle \\ [K_f] &= \Sigma [B]^T [K_w] [B] \\ [M_N] &= \Sigma \langle N \rangle^T \langle N \rangle \\ [L_f] &= \Sigma \langle N \rangle^T \{m\} [B] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{E}{H} \frac{1}{(1-2\nu)} = \frac{3K_B}{H} \\ \omega &= \frac{1}{R} - \frac{3\beta}{H} \end{aligned}$$

Bagi kes tepu sepenuhnya, keadaan berikut diikuti, iaitu:

$$\beta = 1$$

$$\omega = 0, \text{ dan}$$

$$[L_f] = [L_d]^T$$

## E.5 Latar Belakang SLOPE/W

Perisian SLOPE/W juga merupakan perisian yang dimajukan oleh GEO-SLOPE International Ltd., Kanada yang digunakan bagi tujuan analisis kestabilan cerun. Perisian ini menggunakan teori keseimbangan had terhadap daya atau momen di dalam mengira faktor keselamatan cerun tanah atau batu. Perisian ini juga mempunyai tiga pelaksana iaitu DEFINE, SOLVE dan CONTOUR untuk menyelesaikan sesuatu masalah.

### E.5.1 Kaedah Analisis Kestabilan Cerun

Perisian SLOPE/W mempunyai beberapa kaedah analisis. Bagi kajian ini, Kaedah Keseimbangan Had Umum (*General Limit Equilibrium*) telah dipilih. Tiga kaedah keseimbangan had lain yang dipilih bagi tujuan perbandingan ialah kaedah hirisan yang biasa digunakan iaitu Kaedah Biasa (Fillenius) dan Kaedah Bishop yang menggunakan keseimbangan momen dan Kaedah Janbu yang menggunakan keseimbangan daya.

Bagi kaedah hirisan ini, permukaan kegagalan dianggap bulat dengan pusat  $O$  dan berjajari  $r$  seperti di Rajah E.6. Dasar setiap hirisan dianggap sebagai lurus. Bagi sebarang hirisan, kecondongan dasar kepada ufuk ialah  $\alpha$  dan ketinggian yang diukur pada garis tengah ialah  $h$ . Secara umum, faktor keselamatan ( $F_s$ ) ditakrifkan sebagai nisbah kekuatan ricih yang ada ( $\tau_f$ ) kepada kekuatan ricih ( $\tau_m$ ) yang harus digerakkan untuk menetapkan keadaan keseimbangan menghad, iaitu;

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_m} \quad (\text{E.24})$$

Bagi analisis tegasan berkesan, kekuatan ricih didefinisikan sebagai,

$$\tau = c' + (\sigma - u)\tan\phi' \quad (\text{E.25})$$

dengan,  $c'$  = kejelekitan berkesan  
 $\phi'$  = sudut geseran dalaman berkesan  
 $\sigma$  = tegasan normal jumlah  
 $u$  = tekanan air liang

Bagi analisis keseimbangan momen, faktor keselamatan dalam sebutan-sebutan tegasan berkesan dirumuskan sebagai;

$$F_{sm} = \frac{\sum(c'lr + (N - ul)r \tan \phi')}{\sum Wx} \quad (\text{E.26})$$

dengan,  $l$  = panjang dasar  
 $x$  = jarak ufuk dari pusat hirisan ke pusat putaran ( $O$ )  
 $r$  = jejari putaran  
 $N'$  = daya normal berkesan  
 $W$  = berat hirisan

Bagi analisis keseimbangan daya faktor keselamatan di dalam sebutan-sebutan tegasan berkesan dirumuskan sebagai;

$$F_{sf} = \frac{\sum[c'l \cos \alpha + (N - ul) \tan \phi' \cos \alpha]}{\sum N \sin \alpha} \quad (\text{E.27})$$

### **E.5.1.1 Kaedah Biasa (Fellenius)**

Kaedah Biasa merupakan kaedah hirisan yang paling mudah. Di dalam penyelesaian ini, paduan daya-daya antara hirisan dianggap sifar ( $E_L = E_R$  dan  $X_L = X_R$ ). Faktor keselamatan diperolehi menggunakan keseimbangan had. Penyelesaian ini membabitkan daya-daya di atas setiap hirisan normal kepada dasar adalah,

$$N' = W \cos \alpha - ul \quad (\text{E.28})$$

dengan,  $l$  = panjang dasar hirisan.

Oleh itu, faktor keselamatan di dalam sebutan tegasan berkesan dapat diringkaskan seperti berikut;

$$F_{sm} = \frac{c'l + \tan \phi' \sum (W \cos \alpha - ul)}{\sum W \sin \alpha} \quad (\text{E.29})$$

### E.5.1.2 Kaedah Bishop

Menurut Bishop (1955), daya-daya paduan pada sisi-sisi hirisan dianggap mengufuk, yang memberikan  $X_L - X_R = 0$  dengan  $X_L$  dan  $X_R$  adalah daya-daya ricih di sisi hirisan. Dengan menghuraikan daya-daya dalam arah tegak, didapati

$$N' = \frac{(W - \frac{c'l}{F} \sin \alpha - ul \cos \alpha)}{(\cos \alpha + \frac{\tan \phi' \sin \alpha}{F})} \quad (\text{E.30})$$

Selepas beberapa pengaturan semula, faktor keselamatan dalam sebutan tegasan berkesan adalah

$$F_{sm} = \frac{\sum [c'l \cos \alpha + (W - ul \cos \alpha) \tan \phi'] / m_\alpha}{\sum W \sin \alpha} \quad (\text{E.31})$$

dengan,  $m_\alpha = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{F_s}$

### E.5.1.3 Kaedah Janbu

Kaedah ini diperkenalkan oleh Janbu *et al.* (1956) berdasarkan keseimbangan beban dengan mengandaikan daya-daya paduan pada sisi-sisi hirisan adalah sifar ( $E_L = E_R$ ). Walau bagaimanapun, faktor pembetulan  $f_o$  digunakan dalam pengiraan faktor keselamatan bagi kesan terhadap andaian yang dibuat. Faktor  $f_o$  merupakan fungsi

kejelekitan, sudut geseran tanah dan juga bentuk permukaan kegagalan. Ia dirumuskan sebagai;

$$f_o = 1.125 + 0.033 \ln (d/L) \quad (\text{E.32})$$

yang mana  $d$  dan  $L$  adalah dimensi seperti yang ditunjukkan pada Rajah E.7. Daya normal berkesan yang bertindak di dasar hirisan diberikan oleh persamaan:

$$N = \left[ W - \frac{c'l \sin \alpha}{F_s} + \frac{ul \tan \phi' \sin \alpha}{F_s} \right] / m_\alpha \quad (\text{E.33})$$

Faktor keselamatan tak diperbetulkan ( $F_{so}$ ) dapat diperolehi daripada keseimbangan daya keseluruhan dengan menyelesaikan daya-daya yang sejajar dengan dasar hirisan, iaitu

$$F_{so} = \frac{\sum [c'l \cos \alpha + (N - ul) \tan \phi' \cos \alpha]}{\sum N \sin \alpha} \quad (\text{E.34})$$

dan faktor keselamatan diperbetulkan adalah  $F_{sf} = f_o F_{so}$ .

#### **E.5.1.4 Kaedah Keseimbangan Had Umum (GLE)**

Kaedah ini boleh digunakan bagi analisis sebarang bentuk permukaan, dengan parameter kekuatan bahan yang berbeza dan taburan tekanan air liang yang berbagai. Kaedah ini menggunakan persamaan statik berikut dalam menyelesaikan faktor keselamatan:

- i. Penjumlahan ( $\Sigma$ ) daya-daya di dalam arah pugak. Persamaan diselesaikan bagi daya normal pada dasar hirisan,  $N$ .
- ii. Penjumlahan daya-daya di dalam arah ufuk bagi setiap hirisan digunakan untuk mengira daya normal hirisan-hirisan,  $E$ .
- iii. Penjumlahan momen-momen pada titik biasa bagi semua hirisan. Persamaan ini boleh ditukar semula dan diselesaikan untuk faktor keselamatan keseimbangan momen,  $F_{sm}$ .



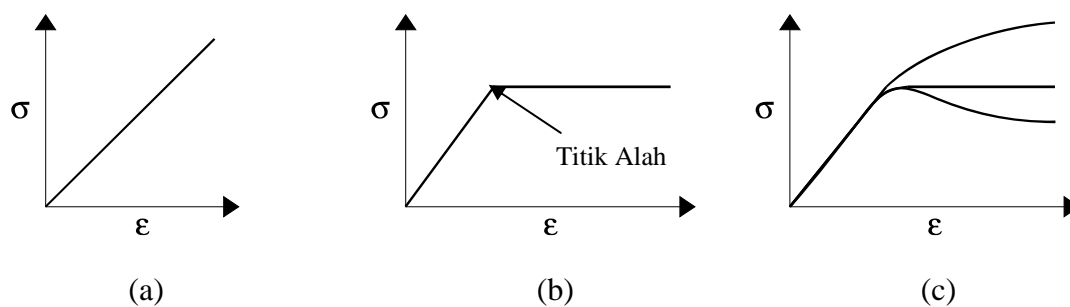
- iv. Penjumlahan daya-daya di dalam arah ufuk bagi semua hirisan, memberi kenaikan pada faktor keselamatan keseimbangan daya,  $F_{sf}$ .

Bagi kaedah ini, pengiraan  $F_s$  menggunakan keseimbangan momen dan daya dibuat serentak. Sebelum pengiraan  $F_s$  dibuat, daya-daya normal antara hirisan dibuat terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan yang diperkenalkan oleh Morgenstern dan Price (1965):

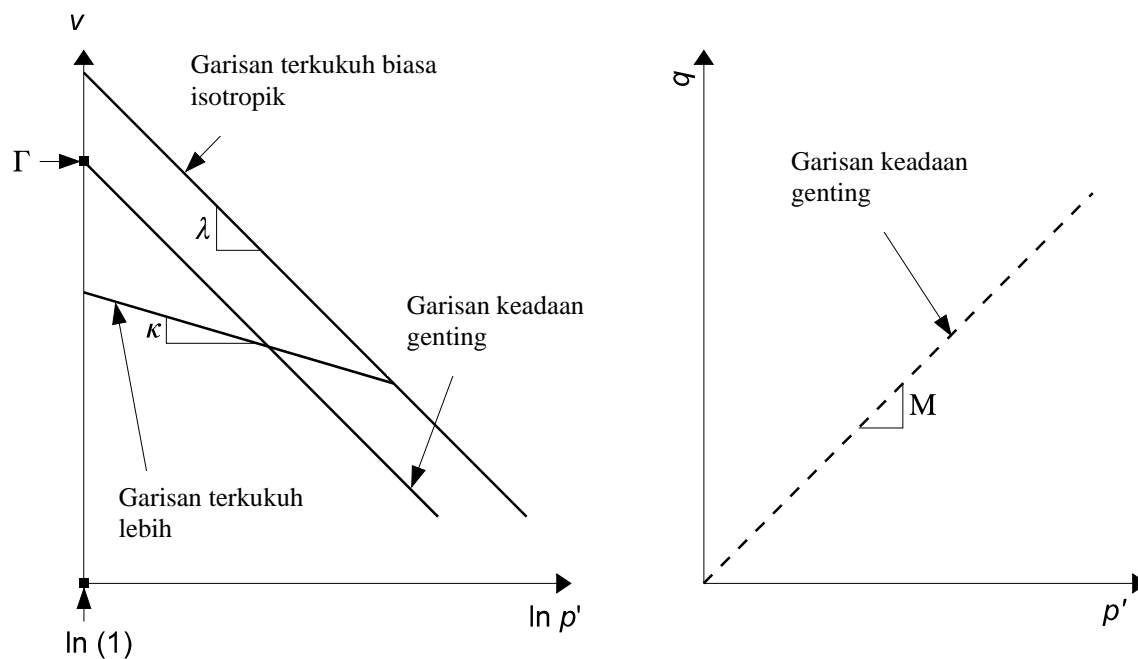
$$\frac{X}{E} = \lambda \cdot f(x) \quad (\text{E.35})$$

dengan  $\lambda$  adalah faktor skala (peratus fungsi yang digunakan) dan  $f(x)$  adalah fungsi daya antara hirisan yang menunjukkan arah relatif keputusan daya antara hirisan seperti yang ditunjukkan pada Rajah E.8. Daya di dalam arah ufuk ( $E$ ) dapat diselesaikan menggunakan persamaan berikut:

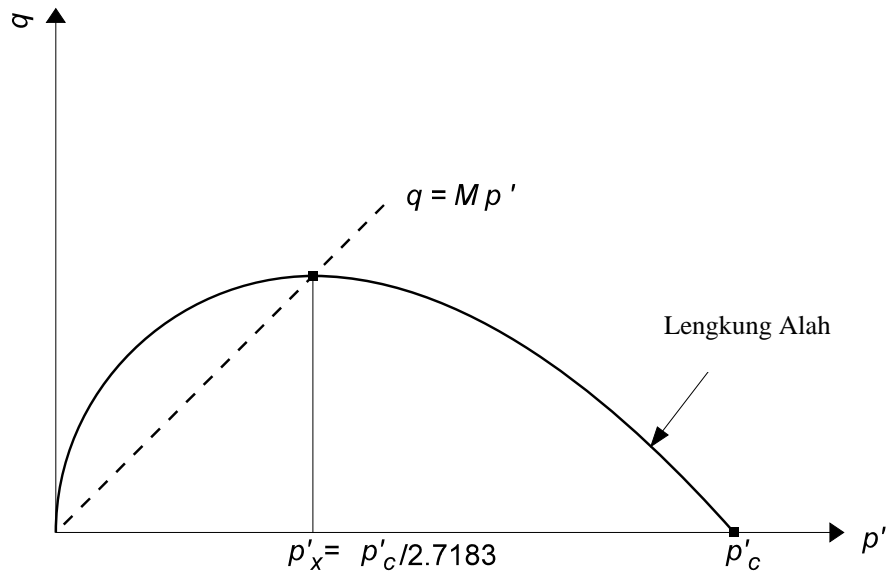
$$E_R = E_L + \frac{(c'l - ul \tan \phi') \cos \alpha}{F} + \left( \frac{\tan \phi' \cos \alpha}{F} - \sin \alpha \right) \quad (\text{E.36})$$



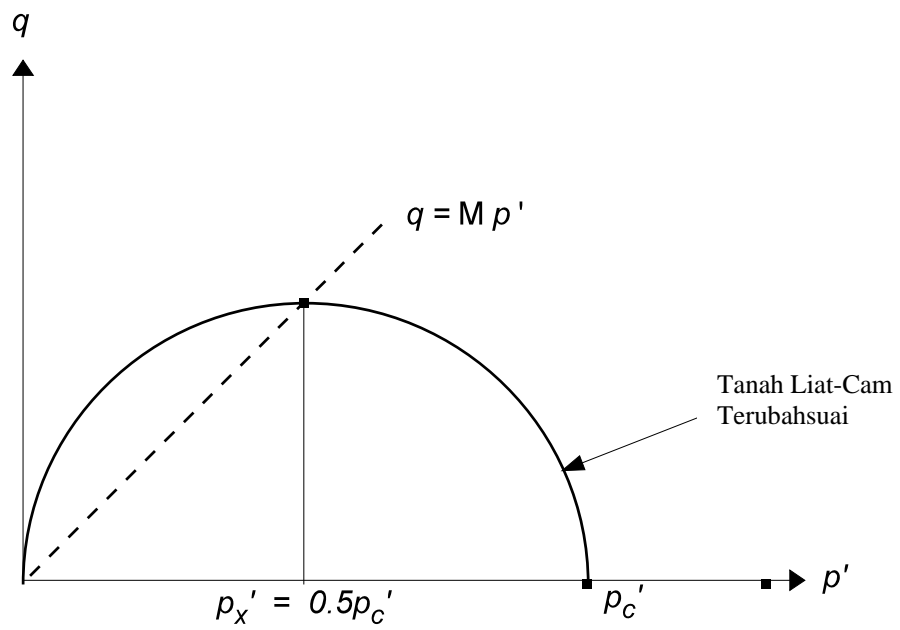
**Rajah E.1 : Model juzuk tanah. (a) Model Linear Elastik, (b) Model Elastik Plastik dan (c) Model Tanah Liat Cam Terubahsuai (Geo-Slope, 2001b)**



**Rajah E.2: Definasi parameter Model Tanah Liat-Cam (Geo-Slope, 2001b)**

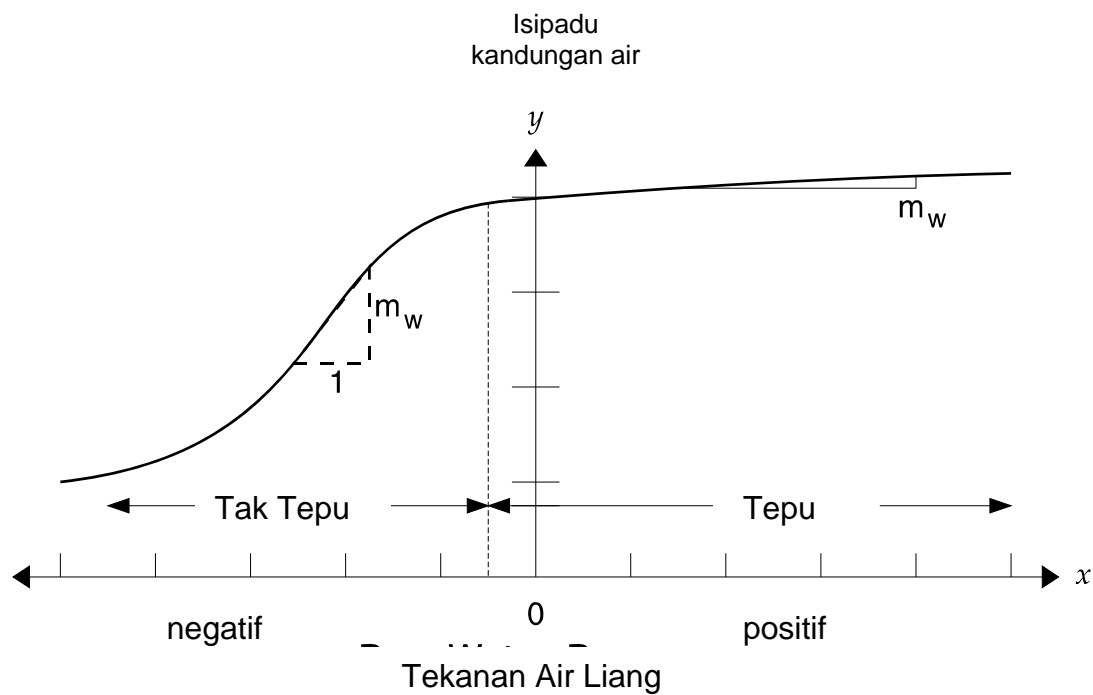


(a)

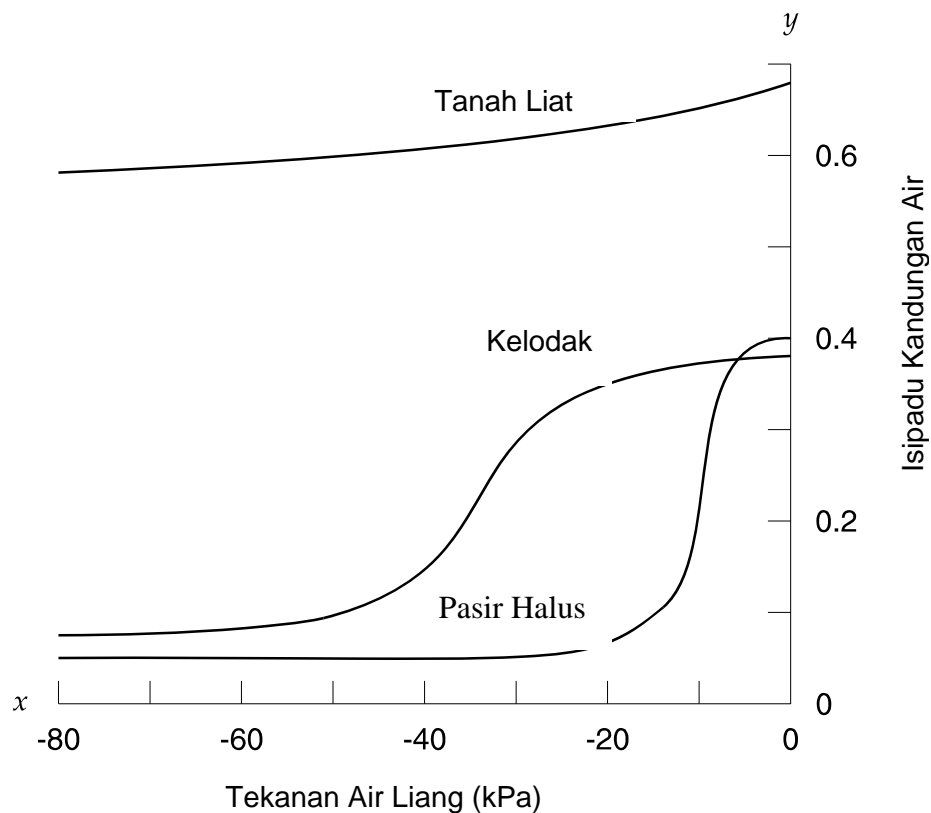


(b)

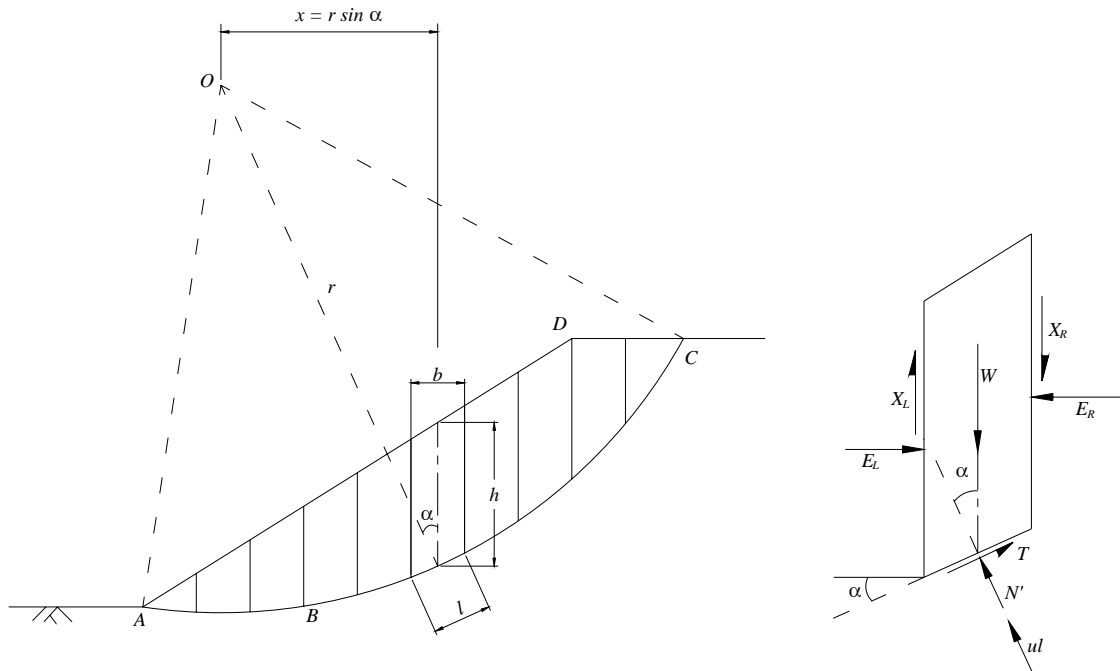
**Rajah E.3: Lengkung alah, a) Model Tanah Liat-Cam, dan b) Model Tanah Liat-Cam Terubahsuai (Geo-Slope, 2001b)**



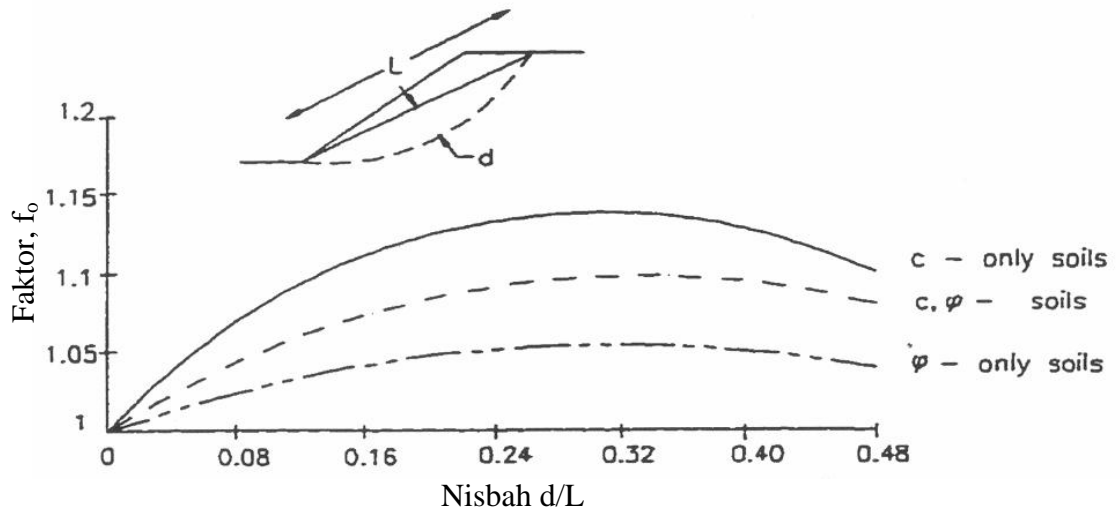
**Rajah E.4: Bentuk umum fungsi isipadu kandungan air (Geo-Slope, 2001a)**



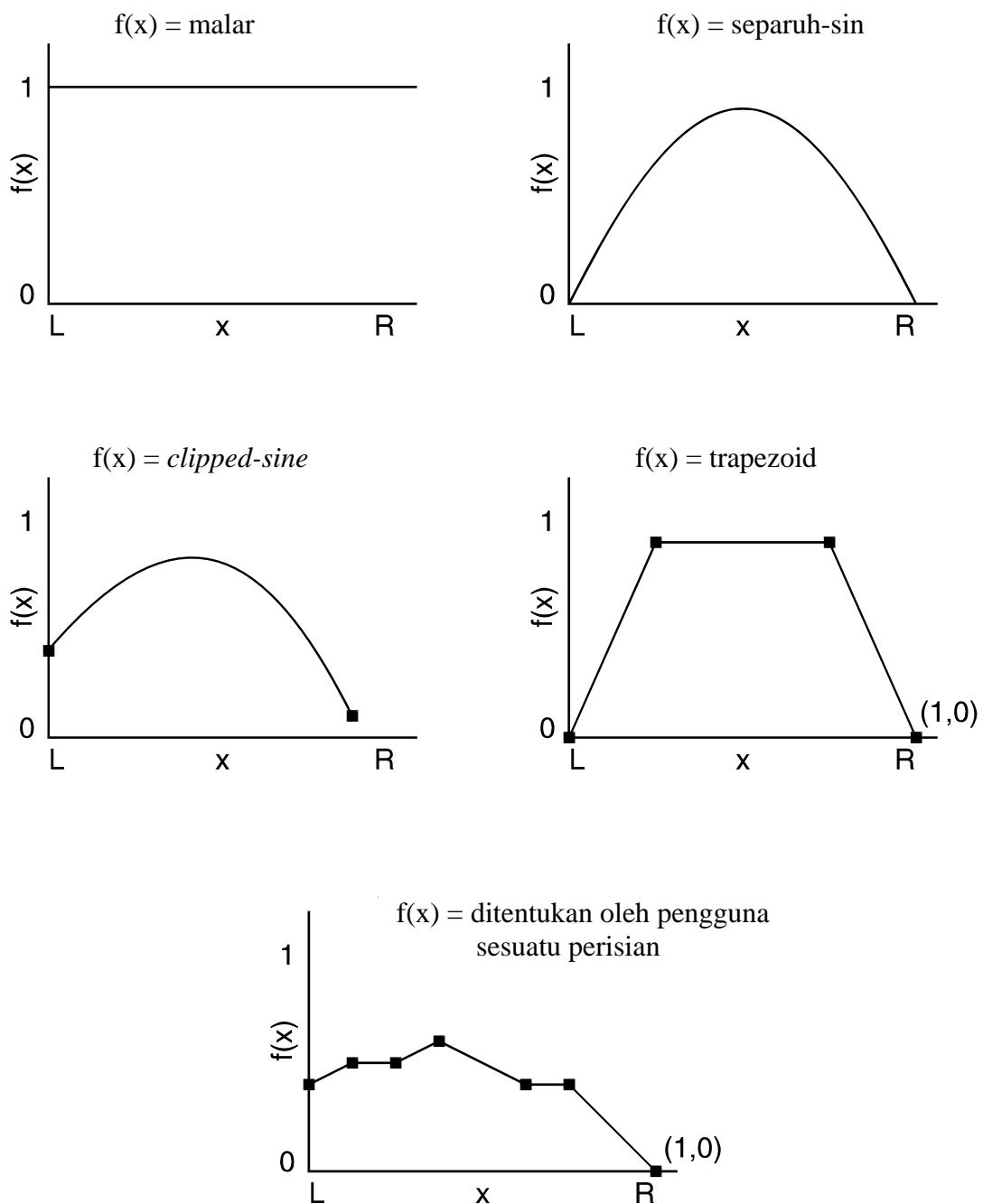
**Rajah E.5: Fungsi isipadu kandungan air sebenar bagi pasir halus, kelodak dan tanah liat (Geo-Slope, 2001a)**



Rajah E.6: Lakaran skematik kaedah hirisan



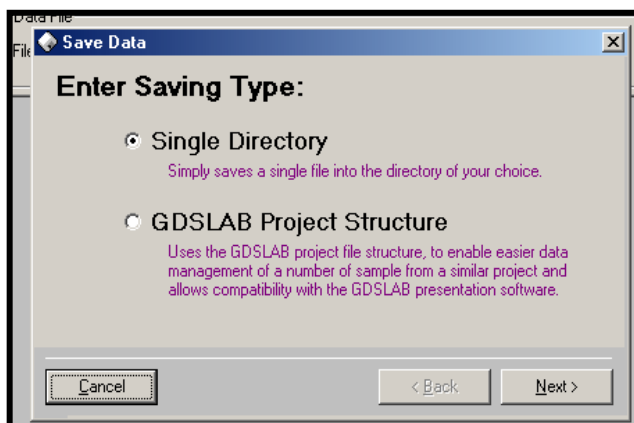
Rajah E.7: Faktor pembetulan Janbu (Sharma, 1994)



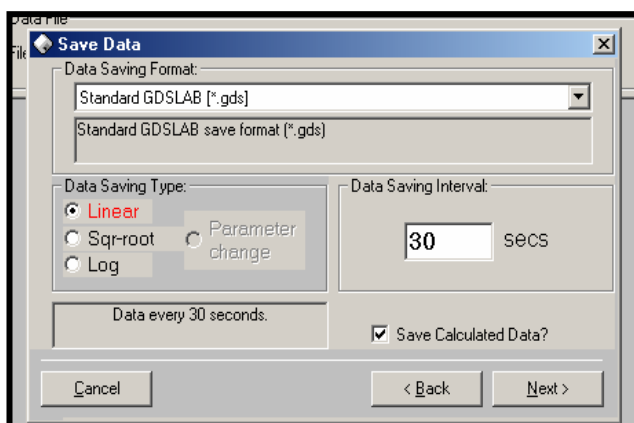
**Rajah E.8: Corak perubahan fungsi daya-daya antara hirisan mengikut arah-x (Geo-Slope, 2001c)**

## LAMPIRAN F

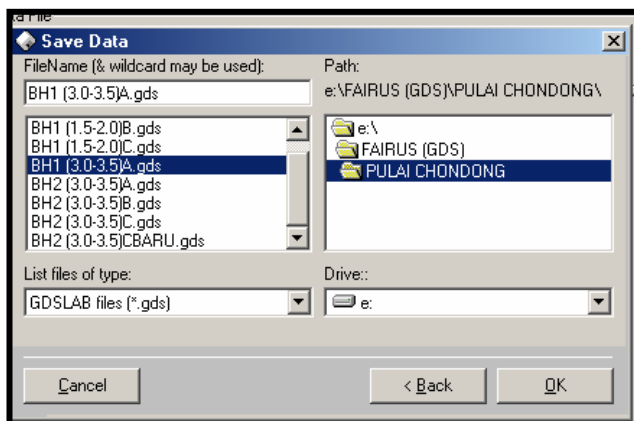
### PROSEDUR MENJALANKAN UJIAN KEKUATAN RICIH TAK TERSALIR MENGGUNAKAN PERISIAN GDSLAB V2



Apabila perisian GDSLAB di buka, data-data yang akan diperoleh akan disimpan di dalam “Single Directory”.



Pemilihan pemacu, jenis fail dan nama fail perlu diisi. Bagi memudahkan pengambilan data, satu fail diperlukan bagi setiap lokasi sampel, sebagai contoh fail untuk Pulau Chondong, Wakaf Tapai dan sebagainya.

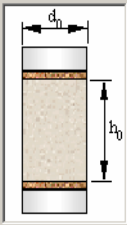


Data perlu disimpan dalam format (\*.gds). Jenis-jenis data yang akan disimpan boleh dipilih sama ada dalam bentuk linear, punca dua masa atau log. Sela masa data diambil juga boleh diubah bergantung kepada kehendak pengguna

**Station 1 Specimen Details**

Specimen Initial Data

Fields	
Specific Gravity (kN/m <sup>3</sup> ):	2.6
Job reference:	FAY
Borehole:	BH2
Sample Name:	P CHONDONG
Depth:	3.0-3.5M
Sample Date (dd/mm/yyyy):	2001
Description of Sample:	SANDY SILT
Initial mass (g):	152.66
Initial dry mass (g):	
Specific Gravity (ass/meas):	MEASURE
Date Test Started:	22/03/02
Date Test Finished:	
Specimen Type (iris/undist):	IID



Initial Height: 76 mm  
Initial Diameter: 38 mm  
Ram Diameter: 0 mm

Buttons: Destroy Sample, OK

Maklumat mengenai sampel sebelum ujikaji perlu dimasukkan seperti nilai  $G_s$ , nama sampel, berat sampel dan sebagainya. Diameter pelantak haruslah sifar kerana sel laluan tegasan Bishop Wiseley menggunakan selaput getah “bellowframe” bagi mengenakan beban kepada sampel

**Station 1. Test Stage Number 1**

About Help

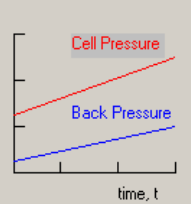
Test Type: Saturation Ramp

**Saturation Ramp:**

**Sat Ramp**

	Current:	Target:	
Cell Pressure:	3.8	1000	kPa
Back Pressure:	4.8	995	kPa

Time to reach target: 720 mins



Buttons: Remove Stage From List, < Back, Next >

Bagi proses penepuan dan pengukuhan “SATCON” dipilih. Dalam proses penepuan “Saturation Ramp” digunakan dan sasaran tekanan sel serta tekanan balik boleh ditentukan dengan beza 5 kPa. Tekanan yang dikenakan bergantung kepada tahap ketepuan asal sampel. Masa capaian penepuan yang diperlukan juga boleh diubah.

**Station 1. Test Stage Number 1**

About Help

Optional Test Termination Conditions:

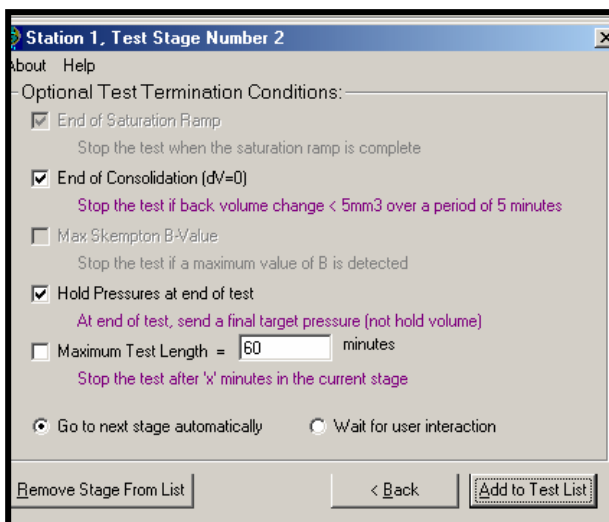
- End of Saturation Ramp  
Stop the test when the saturation ramp is complete
- End of Consolidation ( $dv=0$ )  
Stop the test if back volume change < 5mm<sup>3</sup> over a period of 5 minutes
- Max. Skempton B-Value  
Stop the test if a maximum value of B is detected
- Hold Pressures at end of test  
At end of test, send a final target pressure (not hold volume)
- Maximum Test Length = 60 minutes  
Stop the test after 'x' minutes in the current stage

Go to next stage automatically     Wait for user interaction

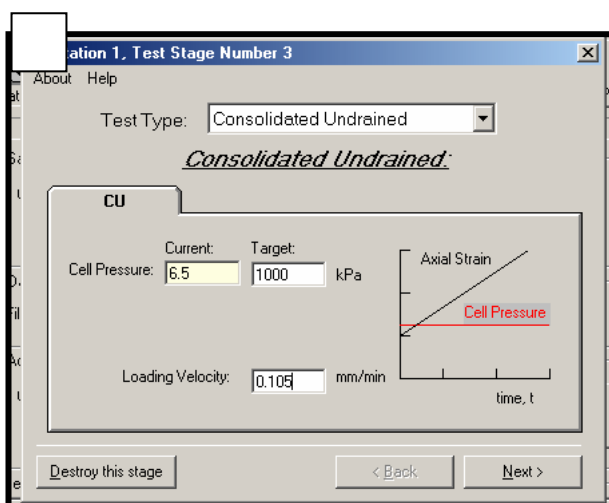
Buttons: Remove Stage From List, < Back, Add to Test List

Proses penepuan akan tamat apabila tekanan air liang hampir sama dengan tekanan balik. Langkah seterusnya boleh dipilih sama ada secara automatik atau tunggu arahan daripada pengguna apabila selesai.

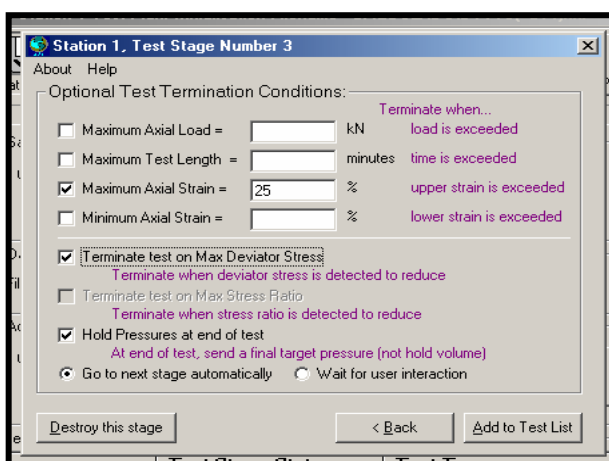




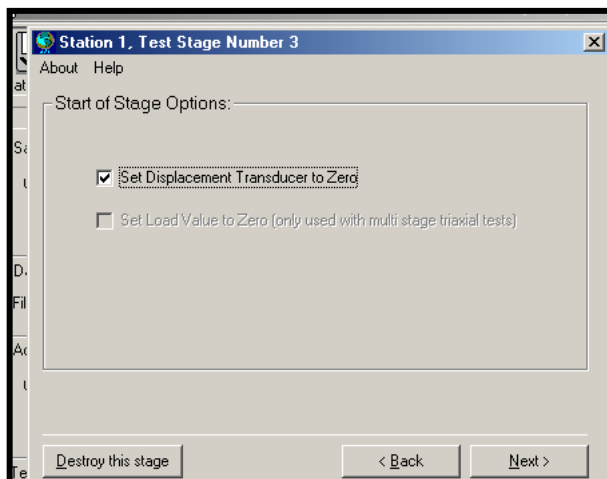
Begitu juga dalam proses pengukuhan. Proses pengukuhan akan dihentikan setelah tiada lagi aliran air keluar dari tekanan balik. Walaupun begitu tekanan boleh diset agar tidak berubah.



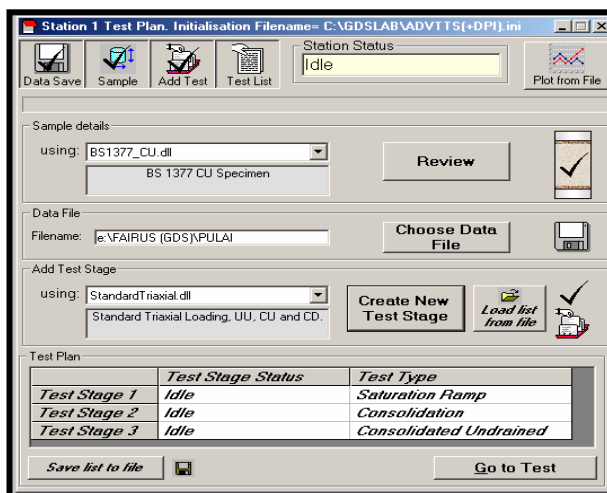
Setelah itu pilih jenis uji kaji untuk ujian ricih. Masukkan nilai tekanan sel serta kadar ricihan yang dikehendaki berdasarkan ujian pengukuhan.



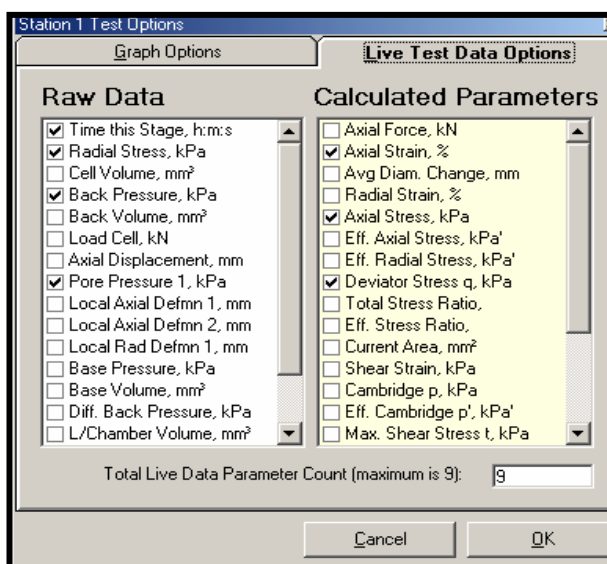
Masukkan nilai ramalan keterikan paksi yang maksimum bagi kegagalan sampel.



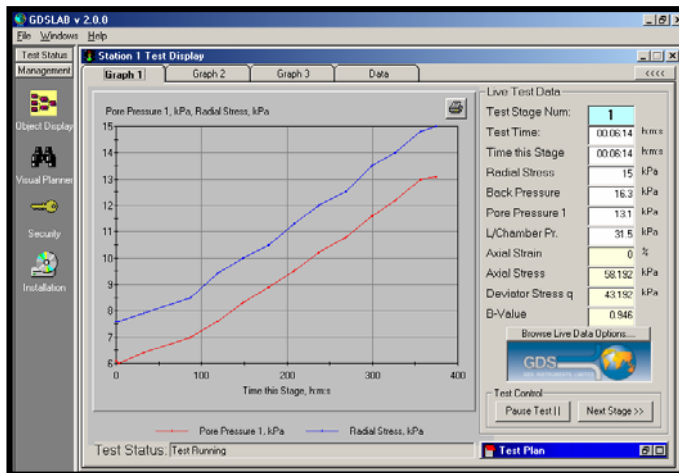
Pastikan transduser anjakan diset sifar



Peringkat-peringkat uji kaji dapat dilihat dan disemak dengan teliti sebelum ujian dijalankan.



Paparan graf dan data mentah boleh dipilih mengikut kemahuan masing-masing tetapi dihadkan kepada sembilan parameter



Sebaik sahaja butang "Run Test" ditekan uji kaji akan bermula. Tetapi sebelum ke langkah rician perlu dipastikan bahawa injap tekanan balik telah ditutup.