

PENILAIAN INTEGRITI STRUKTUR *ROBI TEST BED* (*ROAD
BRIDGE INTERFACE TEST BED*) DI ATAS TANAH LEMBUT.

RASIMAH BINTI MD ZAIN

Tesis ini dikemukakan
sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat penganugerahan
Ijazah Sarjana Kejuruteraan Awam

Fakulti Kejuruteraan Awam Dan Alam Sekitar
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia

SEPTEMBER 2013

ABSTRAK

Masalah mendapan kini kian menjadi isu utama apabila pembinaan dijalankan di atas struktur tanah lembut. Beberapa jenis tanah boleh dikelaskan sebagai tanah lembut iaitu tanah gambut, tanah liat dan tanah organik. Pembinaan di atas tanah jenis ini mengundang kesukaran dan menimbulkan pelbagai masalah kerana tanah lembut adalah kurang stabil dan mengalami pengukuhan primer serta pengukuhan jangka panjang apabila penambahan bebanan yang berterusan. Dalam kajian ini, integriti struktur binaan RoBI (*Road-Bridge Interface*) dikaji untuk menghubungkan parameter seperti mendapan, aras air bawah tanah dan ciri tanah liat lembut. Struktur RoBI telah dibina di Pusat Penyelidikan Tanah Lembut (RECESS) Malaysia di Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM) bagi menjalankan ujian berkaitan jambatan dan jalanraya pada masa hadapan. Ujian geoteknikal terhadap tanah dilakukan pada tempoh awal pemantauan. Manakala ujian integriti tanpa musnah ke atas RoBI dijalankan selama tiga belas (13) bulan yang melibatkan pemantauan mendapan struktur RoBI, pemantauan aras, aras air permukaan, taburan hujan dan suhu persekitaran. Jenis pengukuhan tanah pada sekitar struktur RoBI ini dikategorikan sebagai pengukuhan primer (pekali pengukuhan, $C_v=0.08 \text{ m}^2/\text{tahun}$) dan masih berlaku pengukuhan tetapi dalam kadar yang sangat perlahan. Hasil kajian juga telah menunjukkan bahawa tahap (*rating*) penilaian struktur RoBI ini ialah 7 berdasarkan piawaian *National Bridge Inspections Standards (NBIS)* dan 2 berdasarkan piawaian Jabatan Kerja Raya (JKR) Malaysia. Secara kesimpulannya, struktur *RoBI Test Bed* ini sudah mencapai tahap integriti yang baik dan sedia digunakan bagi sebarang ujian berkaitan jambatan dan jalanraya. Melalui kajian ini, struktur RoBI ini dapat dijadikan sebagai tapak ujian yang paling ideal untuk sebarang pengujian yang berkaitan jambatan dan jalanraya bagi penyiasatan fenomena mendapan di atas tanah lembut pada masa akan datang.

Katakunci: mendapan, tanah lembut, RoBI, aras air permukaan

ABSTRACT

Construction of structures made on soft soil has become a current major issue. Some of the soil that is classified as soft soils are peat, clay and organic soils. Construction made on these soils often are troublesome and causes many problems due to its instability and its primary and long term consolidation when subjected to a continues increase in load. In this research, integrity of RoBI (Road-Bridge Interface) structure is studied to correlate parameters such as load, settlement, ground water level and soft soil characteristics. The structure has been built at Research Centre for Soft Soil (RECESS) Malaysia, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM) in terms of ongoing test involving bridges and roads in future. Geotechnical tests was conducted at initial test period. Integrity test without damaging the RoBI has been done for thirteen (13) months including the load structure of RoBI, levelling observation, ground water level, rainfall intensity and environment temperature. Consolidation soil at this RoBI structure categorized as primer consolidation (coefficient of consolidation, $C_v=0.08 \text{ m}^2/\text{year}$) as the consolidation appear in slow condition. Findings show that RoBI evaluation structure rating is in GOOD condition as at 7 according to National Bridge Inspections Standards (NBIS) and 2 according to Public Work Department (JKR) Malaysia. In conclusion, this *RoBI Test Bed* structure has reached it integrity level needed and ready to be used in any related test involving bridges and roads. Hopefully from this research, this RoBI structure will become the ideal test bed for investigation of settlement phenomenon on soft soil involving bridge and road in the future.

Keywords: settlement, soft soil, RoBI, water level.

KANDUNGAN

PERKARA

MUKA SURAT

HALAMAN PENGAKUAN.....	iii
HALAMAN DEDIKASI.....	iv
PENGHARGAAN	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
KANDUNGAN.....	viii
SENARAI JADUAL.....	xi
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI SIMBOL	xiv
SENARAI PERSAMAAN.....	xvi
SENARAI LAMPIRAN	xvii
BAB I.....	1
Pengenalan.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Latar Belakang Kajian	3
1.3 Penyataan Masalah.....	3
1.4 Matlamat dan Objektif Kajian	5
1.5 Skop Kajian.....	5
1.6 Kawasan Kajian	6
1.7 Hipotesis Kajian.....	7
1.8 Definisi Istilah.....	8
1.9 Organisasi Tesis	8
1.10 Ringkasan Bab	10
BAB II.....	11
KAJIAN LITERATUR.....	11
2.1 Pendahuluan.....	11
2.2 Jenis-Jenis Struktur Binaan.....	12
2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Integriti Struktur Binaan	13
2.4 Tanah Lembut Sebagai Faktor Yang Mempengaruhi Integriti Struktur.	15
2.4.1 Sifat Asas Tanah Liat Lembut	17
2.4.2 Sifat-sifat Tanah Lembut Di bawah Struktur Binaan	20
2.4.3 Faktor-Faktor Mempengaruhi Mendapan Tanah Lembut.....	26
2.4.4 Interaksi Tanah Terhadap Struktur (<i>soil-structure interaction</i>).....	27
2.4.5 Proses Pengukuhan Tanah Lembut.....	30
2.4.6 Kelakuan Tanah Lembut Pada Fasa Semasa Pembinaan dan Selepas Pembinaan.....	34
2.5 Kaedah – Kaedah Penstabilan Tanah Lembut	35
2.5.1 Kaedah Penstabilan Tanah Secara Fizikal dan Mekanikal	36
2.5.2 Kaedah Penstabilan Tanah Secara Kimia	38
2.6 Pemeriksaan Struktur Binaan.....	39

2.6.1 Kaedah- Kaedah Pemeriksaan Struktur Binaan	40
2.7 Penilaian Tahap (<i>rating</i>) Integriti Struktur Binaan	42
2.8 Jenis-Jenis Ujian Penentuan Integriti Struktur Binaan	44
2.8.1 Ujian Tanpa Musnah Struktur Binaan	45
2.8.2 Ujian Musnah Struktur Binaan	49
2.8.3 Ujian Beban (<i>Load Test</i>) Terhadap Struktur Binaan	50
2.8.4 Instrumen Pemantauan Integriti Ke atas Struktur RoBI	51
2.9 Kajian Kes Pemantauan Struktur Binaan	55
2.9.1 Kajian Kes 1: Kelakuan struktur binaan pembentung segiempat di KM24 Jalan Batu Pahat-Kluang, Parit Hj.Ali, Parit Raja, Batu Pahat. Johor (Looi, 2009). 56	
2.9.3 Kajian Kes 2: Kelakuan struktur binaan pembentung bulat di Jalan Ling Chu Ming Off Jalan Ting Sing, Sib. Sarawak (Masirin et al., 2009).	62
2.9.5 Kesimpulan dan cadangan	65
2.10 Ringkasan Bab	66
BAB III	67
METODOLOGI KAJIAN DAN INSTRUMENTASI.....	67
3.1 Pendahuluan.....	67
3.2 Gerak Kerja Kajian Penyelidikan	67
3.2.1 Carta Alir Gerak Kerja Utama Kajian	68
3.2.2 Jadual Kemajuan Aktiviti Kajian.....	69
3.2.1 Pemilihan Lokasi Tapak Ujian.....	71
3.2.2 Penyiasatan Tapak Struktur <i>RoBI Test Bed</i>	72
3.3 Ujikaji Tanah Di Makmal	75
3.3.1 Ujian Klasifikasi Tanah	76
3.3.2 Ujian Kekuatan Tanah	82
3.3.2.1 Ujian Pengukuhan Tanah.....	82
3.4 Parameter Pemantauan Integriti Struktur RoBI Test Bed	83
3.5 Ujian Integriti Struktur Di Tapak.....	84
3.5.1 Pemeriksaan Visual Struktur <i>RoBI Test Bed</i>	86
3.5.2 Ujian Pembebanan Struktur <i>RoBI Test Bed</i>	86
3.5.3 Ujian Menggunakan Tukul Lantul @ <i>Schmidt Hammer</i>	89
3.5.4 Ujian Menggunakan Alat Ground Penetrating Radar (GPR).	91
3.6 Instrumen Pemantauan Di Tapak.....	93
3.6.1 Alat Total Station.....	93
3.6.2 Tolok Hujan	96
3.6.3 Tolok Setaf.....	97
3.7 Analisis Ke atas Keputusan Kajian Penyiasatan Tapak, Ujian Integriti dan Parameter Pemantauan Di Tapak.....	97
3.8 Ringkasan Bab	98
BAB IV	99
DATA & ANALISIS	99
4.1 Pendahuluan.....	99
4.2 Keputusan Penyiasatan Di Tapak	99
4.2.1 Penilaian Fizikal Lapisan Tanah.....	99
4.3 Keputusan Klasifikasi Fizikal Tanah Liat Lembut Batu Pahat (BPSC)	101
4.3.1 Analisis Taburan Saiz Zarah Tanah (Ujian Hidrometer).....	101

4.3.2 Ujian Had Atterberg (Ujian Had Cecair (W_L), Ujian Had Plastik (W_P), Indeks Keplastikan (I_p)).	102
4.3.3 Kandungan Lembapan Tanah	103
4.3.4 Graviti Tentu Tanah	104
4.3.4 Keputusan Ujian Pengukuhan Tanah	104
4.4 Keputusan Ujian Integriti Struktur RoBI di Tapak	106
4.4.1 Penilaian Visual <i>RoBI Test Bed</i>	106
4.4.2 Penilaian Sub-permukaan Struktur RoBI	109
4.4.3 Penilaian Kekerasan Permukaan Konkrit Struktur RoBI	112
4.4.4 Penilaian Kesan Faktor Persekitaran (Taburan Hujan Bulanan, Aras Air Permukaan dan Suhu Persekitaran) Terhadap Integriti Struktur RoBI	114
4.4.5 Penilaian Relatif Aras dan Kontur Anjakan Struktur	117
4.4.6 Penilaian Mendapan Struktur <i>RoBI Test Bed</i>	128
4.5 Perbincangan dan Ulasan	141
4.5.1 Penilaian Klasifikasi Tanah	141
4.5.2 Penilaian Integriti Struktur RoBI Di tapak	141
4.6 Pengkelasan Tahap (<i>Rating</i>) Integriti Struktur <i>RoBI Test Bed</i>	145
4.6.1 Penentuan Indeks Integriti Struktur	146
4.7 Ringkasan Bab	149
BAB V	150
KESIMPULAN DAN CADANGAN	150
5.1 Pengenalan	150
5.2 Kesimpulan	150
5.3 Cadangan	155
5.4 Ringkasan Bab	157
RUJUKAN	158
VITA	165

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
Jadual 2.1:	Faktor-faktor yang mempengaruhi INTEGRITI struktur binaan.	14
Jadual 2.2:	Klasifikasi tanah liat lembut	18
Jadual 2.3 (a) :	Kadar enapan tanah liat lembut di beberapa lokasi luar negara	23
Jadual 2.4:	Ringkasan ketebalan mendapan tanah liat bagi Semenanjung Malaysia	25
Jadual 2.5:	Faktor-faktor mempengaruhi mendapan tanah.....	26
Jadual 2.6:	Prinsip-prinsip dalam pengukuhan tanah	32
Jadual 2.7: :	Jenis-jenis mendapan pengukuhan oleh tanah	31
Jadual 2.8:	Nilai perbandingan parameter pengukuhan tanah lembut bagi di beberapa lokasi yang dicatatkan oleh penyelidik terdahulu.	33
Jadual 2.9:	Kaedah penstabilan pada tanah lembut	37
Jadual 2.10:	Penilaian tahap (<i>rating</i>) keadaan gangguan bagi struktur binaan	43
Jadual 2.11:	Penilaian tahap (<i>rating</i>) kerosakan pada struktur jambatan dan lain-lain binaan struktur awam (<i>Annual Bridge Inspection Manual-JKR, 2005</i>).	44
Jadual 2.12:	Ketebalan lapisan dan CBR yang diperolehi daripada DCP	59
Jadual 2.13:	Ringkasan maklumat berkaitan dua (2) lokasi jambatan yang dikaji.....	66
Jadual 3.1:	Pengkelasan kekuatan jenis tanah	74
Jadual 3.2:	Log lubang jara (<i>borehole</i>) di RECESS UTHM	75
Jadual 3.3:	Pengkelasan saiz tanah (BS 1377: Bahagian 2: 1990).	77
Jadual 3.4:	Sifat-sifat tanah pada had kekonsistenan (BS 1377: Bahagian 2: 1990).....	78
Jadual 3.5:	Julat tipikal had cecair, indeks plastik dan aktiviti untuk beberapa jenis mineral tanah liat.....	80
Jadual 3.6:	Keadaan tanah liat berdasarkan julat aktiviti.....	80
Jadual 3.7:	Jenis ujian dan alat/instrumen yang digunakan bagi ujian integriti struktur <i>RoBI Test Bed</i>	85
Jadual 4.1:	Keputusan klasifikasi fizikal Tanah Liat Lembut Batu Pahat (BPSC).....	105
Jadual 4.2:	Keputusan pemeriksaan visual ke atas struktur <i>RoBI Test Bed</i>	107
Jadual 4.3:	Ringkasan nilai ketinggian aras bagi setiap garis titik struktur <i>RoBI Test Bed</i>	126
Jadual 4.4:	Nilai ketinggian permukaan ‘bonggol’ pada struktur RoBI.	127
Jadual 4.5:	Ringkasan mendapan setiap bulan pada komponen struktur <i>RoBI Test Bed</i>	132
Jadual 4.6:	Pekali pengukuhan pada setiap bahagian struktur <i>RoBI Test Bed</i>	133
Jadual 4.7:	Parameter bagi penentuan indeks integriti struktur RoBI.	146

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
Rajah 1.1:	Taburan tanah liat marin dan sungai di semenanjung Malaysia (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989).	2
Rajah 1.2:	Contoh kegagalan yang berlaku struktur binaan (a) Rumah kediaman, (b) Jalanraya dan (c) Jambatan.	4
Rajah 1.3:	Lokasi tapak RECESS Malaysia di UTHM.	7
Rajah 2.1:	Fenomena kegagalan pada struktur binaan a) Bangunan, (b) Jalanraya dan (c) Jambatan.	15
Rajah 2.2:	Profil mendapan tanah lembut bagi Semenanjung Malaysia	16
Rajah 2.3:	Persamaan antara pergerakan lateral dengan endapan	20
Rajah 2.4:	Beban Penambakan dan mendapan melawan masa	21
Rajah 2.5:	Jenis pengukuhan tanah liat lembut.	22
Rajah 2.6:	Interaksi antara tanah dan struktur binaan rumah	27
Rajah 2.7:	Keadaan kegagalan pada Menara Condong Pisa	28
Rajah 2.8:	Kesan interaksi tanah terhadap struktur jambatan	29
Rajah 2.9:	Analogi pengukuhan tanah	30
Rajah 2.10:	Graf mendapan tanah terhadap masa (log) bagi ujian Oedometer	34
Rajah 2.11:	Instrumen bagi ujian halaju denyutan ultrasonik.	46
Rajah 2.12:	Alat penusukan radar (GPR) bagi ujian penilaian sub-permukaan struktur	47
Rajah 2.13:	Mekanisma Radiografi sinar –X	48
Rajah 2.14:	Instrumen bagi (a) Ujian Schmidt @ Tukul Lantul dan (b) Ujian Pundit.	49
Rajah 2.15:	Mesin penggerudi bagi ujian teras.	50
Rajah 2.16:	Alat <i>Total Station</i>	53
Rajah 2.17:	Tolok hujan automatik.	54
Rajah 2.18:	Tolok setaf mengukur aras air permukaan.	55
Rajah 2.19:	Kawasan kajian di KM24 Jalan Batu Pahat-Kluang, Batu Pahat, Johor	56
Rajah 2.20:	Kesan kerosakan pada sambungan struktur jambatan	57
Rajah 2.21:	(a) Anjakan (<i>displacement</i>) pada sambungan struktur pembentung dan (b) Retakan pada penghujung <i>wingwall</i> .	58
Rajah 2.22:	Hakisan tanah kawasan di sekitar struktur binaan jambatan jenis pembentung (Looi, 2009).	58
Rajah 2.23:	Keadaan 'bonggol' pada sambungan jalanraya-jambatan	59
Rajah 2.24:	Nilai aras permukaan bagi setiap garis titik keratan memanjang jalanraya	60
Rajah 2.25:	Imej sub-permukaan yang dikesan oleh alat Penusukan Radar, GPR	61
Rajah 2.26:	Ilustrasi keadaan pembentung segiempat pada awal pembinaan dan selepas 5 tahun pembinaan	61
Rajah 2.27:	Jambatan jenis pembentung bulat di Jalan Ling Chu Ming Off Jalan Ting Sing, Sibu.Sarawak.	62
Rajah 2.28:	Kerja-kerja pemerhatian awal di tapak berkaitan	63

Rajah 2.29: Kerosakan pada kawasan peralihan <i>pembentung</i> jambatan di Jalan Ling Chu Ming Off Jalan Ting Sing	63
Rajah 2.30: Ketinggian ‘bonggol’ (mm) yang diukur pada garis titik yang dikenalpasti.	64
Rajah 3.1: Gerak kerja utama kajian penyelidikan.....	68
Rajah 3.2: Jadual kemajuan aktiviti kajian	70
Rajah 3.3: Lokasi kawasan pembinaan struktur RoBI.....	71
Rajah 3.4: Lokasi penyiasatan Lubang Ujian di tapak RECESS UTHM.....	73
Rajah 3.5: Kerja-kerja pengorekan lubang ujian bagi penyiasatan awal di tapak.	73
Rajah 3.6: Had-had Atterberg	78
Rajah 3.7: Instrumen ujian pengukuhan tanah.....	83
Rajah 3.8: Keadaan fizikal struktur RoBI selepas siap dibina.....	86
Rajah 3.9: Ujian pembebanan statik ke atas struktur RoBI.	87
Rajah 3.10: Ilustrasi mekanisme proses pembebanan.....	88
Rajah 3.11: Mekanisme penggunaan Tukul Lantul (<i>Rebound Hammer</i>).	90
Rajah 3.12: Ujian Tukul Lantul sedang dijalankan bahagian dinding struktur RoBI.....	90
Rajah 3.13: Mekanisma alat <i>Ground Penetrating Radar</i> (GPR).....	91
Rajah 3.14: Lakaran arah laluan ujian alat GPR ke atas struktur <i>RoBI Test Bed</i>	92
Rajah 3.15: Lokasi alat EDM dari batu aras sementara (TBM) di RECESS, UTHM.....	94
Rajah 3.16: Alat EDM jenis “ <i>Reflectorless Total Station</i> ”	94
Rajah 3.17: Susun atur bagi titik cerapan pada struktur RoBI.....	95
Rajah 3.18: Kerja-kerja menanda titik cerapan struktur <i>RoBI Test Bed</i> bagi cerapan data perbezaan aras.....	95
Rajah 3.19: Tolok hujan bagi menyukat taburan hujan di tapak struktur RoBI.	97
Rajah 4.1: Keratan rentas profil tanah yang diperolehi di tapak RoBI.....	101
Rajah 4.2: Taburan saiz partikel tanah liat melalui ujian hidrometer.....	102
Rajah 4.3: Carta keplastikan bagi sistem USCS (<i>Unified Soil Classification System</i>)... ..	103
Rajah 4.4 : Pengukuhan pada tanah liat RECESS berhampiran struktur RoBI.	105
Rajah 4.6: Ilustrasi kerosakan pada struktur RoBI	108
Rajah 4.5: Retakan kecil dan aliran kecil air bumi pada dinding dan tapak struktur RoBI.	108
Rajah 4.7: Profil subpermukaan pada Dinding A <i>RoBI Test Bed</i>	109
Rajah 4.8: Profil subpermukaan pada Dinding B <i>RoBI Test Bed</i>	110
Rajah 4.9: Profil subpermukaan pada Dinding C <i>RoBI Test Bed</i>	111
Rajah 4.10: Profil subpermukaan pada Papak Lantai <i>RoBI Test Bed</i>	112
Rajah 4.11: Nilai kekuatan konkrit pada <i>RoBI Test Bed</i> berdasarkan nilai nombor lantul (N) yang diperolehi.	113
Rajah 4.12: Nilai nombor lantul (N) pada lokasi yang dikenalpasti pada struktur <i>RoBI Test Bed</i>	113
Rajah 4.13: Graf masa (bulan) melawan aras air permukaan dan suhu bagi Mei 2011 sehingga Mei 2012.....	115
Rajah 4.14: Hubungkait taburan hujan terhadap aras air permukaan	116
Rajah 4.15 : Hubungkait taburan hujan terhadap suhu persekitaran	117
Rajah 4.16: Graf nilai ketinggian aras pada garis titik pada Papak Lantai <i>RoBI Test Bed</i>	118

Rajah 4.17: Perbezaan Kontur Anjakan Struktur bagi Papak Lantai pada Mei 2011 (Awal Ujian) dibandingkan pada Mei 2012 (Akhir Ujian).....	119
Rajah 4.18 : Graf nilai ketinggian aras garis titik pada Dinding A struktur RoBI.	120
Rajah 4.19: Kontur Anjakan Struktur bagi Dinding A bagi bulan Mei 2011 (Awal Ujian) dibandingkan pada Mei 2012 (Akhir Ujian).	121
Rajah 4.20: Graf nilai ketinggian aras garis titik pada Dinding B struktur RoBI.....	122
Rajah 4.21: Perbezaan Kontur Anjakan Struktur Dinding B pada bulan Mei 2011 (Awal Ujian) dibandingkan pada Mei 2012 (Akhir Ujian).....	123
Rajah 4.22: Graf nilai ketinggian aras garis titik pada Dinding C struktur	124
Rajah 4.23: Perbezaan Kontur Anjakan Struktur bagi Dinding C pada Mei 2011 (Awal Ujian) dibandingkan bulan Mei 2012 (Akhir Ujian).	125
Rajah 4.24: Kadar mendapan (mm) pada bahagian papak lantai <i>RoBI Test Bed</i>	129
Rajah 4.25: Kadar mendapan (mm) pada bahagian Dinding A <i>RoBI Test Bed</i>	130
Rajah 4.26: Kadar mendapan (mm) pada bahagian Dinding B <i>RoBI Test Bed</i>	130
Rajah 4.27: Nilai mendapan (mm) pada bahagian Dinding C <i>RoBI Test Bed</i>	131
Rajah 4.28: Hubungkait masa terhadap kadar pengukuhan pada Papak Lantai RoBI..	135
Rajah 4.29: Hubungkait masa terhadap pengukuhan pada struktur Papak Lantai RoBI.	136
Rajah 4.30 : Hubungkait masa terhadap pengukuhan pada struktur Dinding A RoBI. ..	137
Rajah 4.31: Hubungkait masa terhadap pengukuhan pada struktur Dinding B RoBI. ...	138
Rajah 4.32: Hubungkait masa terhadap pengukuhan pada struktur Dinding C RoBI. ...	139
Rajah 4.33: Contoh skala pengiraan indeks integriti struktur RoBI	148

SENARAI SIMBOL

C = Kejelekitan

Cc= Pekali keseragaman

Cv = Pekali pengukuhan

Eu = Pekali modulus

Gs = Graviti tentu

ρ_i =Mendapan serta-merta

ρ_c =Mendapan pengukuhan primer

ρ_s =Mendapan pengukuhan sekunder

RoBI = Road-Bridge Interface

RECESS = Research Centre For Soft Soil

S =Jumlah enapan pengukuhan

Si = enapan serta-merta

Sc =enapan pengukuhan sekunder

Vu =Nisbah poisson

wL = Had Cecair

w_p = Had Plastik

γ_s = Ketumpatan Tanah

γ_w = Ketumpatan

SENARAI PERSAMAAN

NO.	PERSAMAAN	MUKA SURAT
1	2.1	31
2	2.2	31
3	2.3	31
4	2.4	32
5	2.5	32
6	3.1	79
7	3.2	81
8	3.3	82
9	3.4	97

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK
A	CONTOH KEPUTUSAN UJIAN DI MAKMAL
B	CONTOH KEPUTUSAN UJIAN DI TAPAK
C	METODOLOGI KAJIAN
D	PENERBITAN (<i>PUBLICATIONS</i>)

BAB I

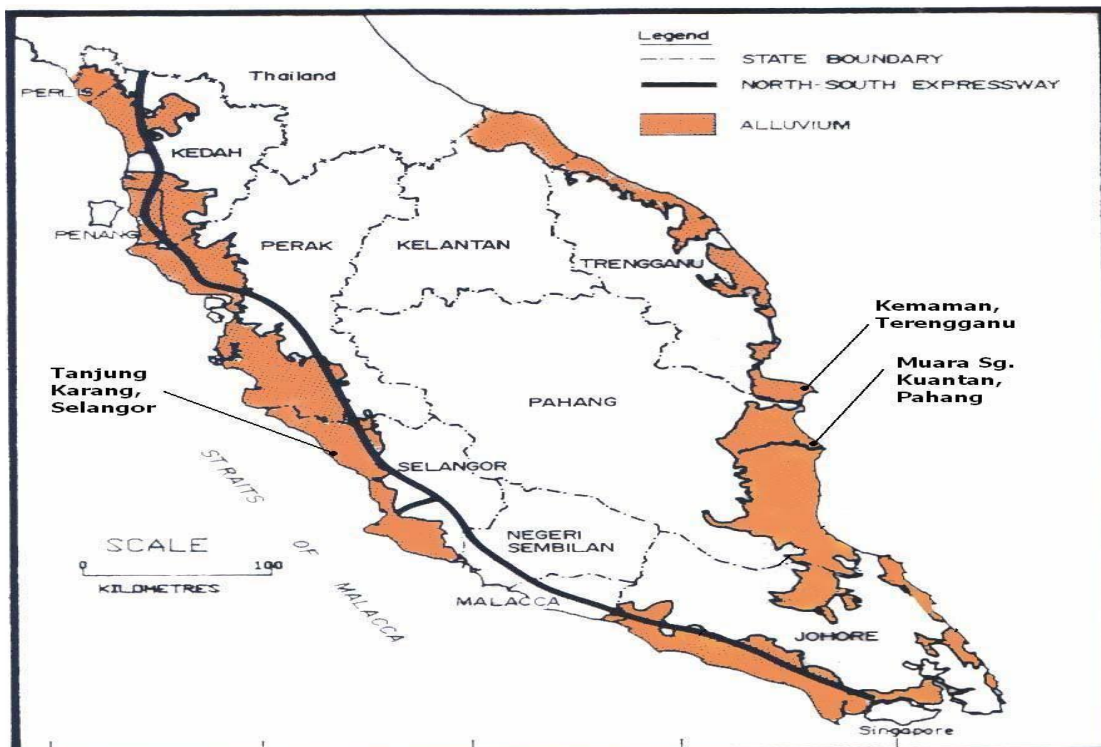
PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Struktur binaan seperti bangunan, jalanraya, jambatan, empangan, tembok penahan dan sebagainya dibina bagi memberi kemudahan kepada manusia. Namun jika struktur-struktur ini mengalami masalah kerosakan seperti runtuh, retakan, struktur mendap dan sebagainya maka tahap integriti struktur akan terganggu. Keadaan ini akan mengundang pelbagai masalah seperti ketidakselesaan perjalanan, tahap keselamatan yang tidak terjamin, kos penyelenggaraan meningkat dan sebagainya. Justeru, penilaian tahap integriti struktur merupakan elemen penting bagi menentukan sesuatu struktur itu kekal berada dalam keadaan paling selamat, kukuh dan stabil. Kaedah ini juga bertujuan bagi membuat penilaian terhadap sistem sesuatu struktur itu terutamanya yang memerlukan pemerhatian dan pertimbangan kejuruteraan (Case, 2003).

Batu Pahat adalah salah satu daerah *wetland* yang menghadapi masalah tanah mendap. Keadaan ini menyebabkan kerosakan jangka panjang terhadap struktur binaan seperti bangunan, sistem jalanraya, bangunan dan sebagainya. Tanah di sekitar daerah ini dilitupi tanah liat lembut yang tidak stabil yang menyebabkan berlaku masalah tanah mendap. Masalah ini turut menyebabkan mendapan terhadap struktur binaan yang dibina

di atas permukaan tanah lembut. Menurut Cernica (1995), keadaan ini berlaku disebabkan oleh beberapa faktor seperti tekanan beban struktur pada tanah, perubahan kandungan lembapan tanah, air larian bawah tanah dan pembangunan di kawasan lombong. Dengan perkembangan sains dan teknologi, terdapat pelbagai kaedah alternatif dalam mengurangkan kesan mendapan tanah seperti pra-bebanan, penyaliran, *vibroflotation* dan rawatan menggunakan bahan kimia seperti kapur, elektro-osmosis dan beberapa kaedah lain (Bujang et al., 2007). Rajah 1.1 menunjukkan taburan tanah liat di Semenanjung Malaysia yang direkodkan oleh Lembaga Lebuhraya Malaysia pada tahun 1989.



Rajah 1.1: Taburan tanah liat marin dan sungai di semenanjung Malaysia (Lembaga Lebuhraya Malaysia, 1989).

Justeru dalam kajian ini, pemantauan ke atas struktur *RoBI Test Bed (Road-Bridge Interface)* dijalankan bagi mengenalpasti tahap integriti dan kelakuan pada struktur ini atas tanah liat lembut Batu Pahat (*Batu Pahat Soft Clay, BPSC*). Struktur ini telah dibina di tapak Penyelidikan Tanah Lembut Malaysia (RECESS) di Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, UTHM. Istilah RoBI merupakan akronim bagi gabungan perkataan 'Road

Bridge Interface'. Struktur RoBI ini merupakan binaan asas bagi ujian berkaitan jambatan. Ia berbentuk segiempat tepat bersaiz 4.7m x 3.5m x 4.5m. Ia dipilih sebagai bahan ujikaji kerana ia dibina di persekitaran tapak ujian kawalan bagi tanah lembut di UTHM. Justeru, bentuk interaksi antara tanah lembut terhadap struktur ini dapat dikaji dengan teliti. Maka penilaian ini dijalankan bagi mengenalpasti tahap integriti struktur ini kerana kelak ia akan dijadikan sebagai tapak kajian lanjutan ke atas sebarang inovasi dan rekabentuk jambatan baru.

1.2 Latar Belakang Kajian

Kajian ini dijalankan di tapak RECESS UTHM. Struktur *RoBI Test Bed* ini telah dibina oleh kumpulan penyelidik terdahulu. Pemantauan berterusan terhadap integriti struktur ini sangat penting bagi memastikan ia berada dalam keadaan selamat dan berfungsi dengan baik. Ujian integriti ke atas struktur RoBI ini penting bagi memastikan ia tidak mengalami sebarang kegagalan sebelum pengujian sebenar terhadap struktur dilakukan. Tahap integriti dan kelakuan yang ditunjukkan oleh struktur ini diukur berdasarkan beberapa aspek iaitu integriti struktur, kelakuan terhadap tanah dan keadaan persekitaran. Pemantauan berterusan dilakukan secara berkala selama 13 bulan bagi mengetahui tahap integriti yang terbaik sebelum struktur *RoBI Test Bed* dapat digunakan sepenuhnya bagi tujuan penyelidikan lanjutan ke atas rekabentuk jambatan baru di atas tanah lembut.

1.3 Penyataan Masalah

Masalah tanah mendap merupakan cabaran hebat kepada para jurutera dalam bidang kejuruteraan awam samada dalam pembinaan struktur bangunan, sistem rangkaian jalanraya, jambatan dan sebagainya. Tanah mendap sering dikaitkan dengan faktor tanah lembut. Tanah lembut mempunyai ciri seperti kekuatan yang rendah dan kebolehmampatan yang tinggi, kekuatan ricih yang rendah (<25kPa) dan tanahnya mudah

terganggu (Bujang et al., 2007). Antara faktor-faktor berlaku mendapan adalah disebabkan oleh pengukuhan dan mampatan tanah di bawah struktur binaan, bebanan dinamik yang tinggi, perubahan aras air permukaan dan pengorekan di kawasan berhampiran dengan struktur binaan (Cernica, 1995). Keadaan ini menyebabkan tahap integriti sesuatu struktur binaan terganggu. Sekiranya sebarang struktur dibina di atas tanah lembut, aspek integriti pada struktur amat penting bagi memastikan struktur tersebut berada dalam keadaan yang paling baik dari segi keselamatan, kebolehhidmatan dan keutuhan struktur. Berikut merupakan contoh struktur binaan rumah kediaman, jalanraya dan jambatan yang mengalami kegagalan kesan integriti strukturnya yang terganggu seperti yang ditunjukkan pada Rajah 1.2.



Rajah 1.2: Contoh kegagalan yang berlaku struktur binaan (a) Rumah kediaman, (b) Jalanraya dan (c) Jambatan.

Berdasarkan pemerhatian di lokasi bermasalah ini, didapati antara faktor yang mengganggu integriti struktur-struktur ini ialah pembinaan di kawasan tanah lembut (tanah liat, tanah gambut), beban kenderaan yang berlebihan dan kaedah penambahbaikan tanah yang kurang sesuai. Selain itu faktor-faktor seperti proses pengukuhan tanah asas, proses pemadatan tanah tambak yang lemah, sistem pengairan yang tidak sesuai, perubahan

cuaca dan suhu serta lain-lain menyumbang kepada keadaan kegagalan ini (White et al., 2007). Justeru penilaian terhadap tahap integriti pada struktur *RoBI Test Bed* ini amat penting bagi memastikan ia berada dalam keadaan yang paling baik sebelum sebarang ujian berkaitan dengan jambatan dijalankan pada masa hadapan.

1.4 Matlamat dan Objektif Kajian

Dalam kajian ini, matlamat dan objektif yang jelas telah dikenalpasti bagi menjalankan kerja penyelidikan yang tepat. Matlamat kajian ini adalah bagi menentukan integriti struktur *RoBI Test Bed* sebelum sebarang ujian struktur jambatan dilakukan di atas struktur ini. Pembinaan struktur RoBI ini ialah di Pusat Penyelidikan Tanah Lempu (RECESS) di Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM). Beberapa objektif penting telah dikenalpasti dalam mencapai matlamat kajian ini iaitu:

- i) Mengenalpasti integriti struktur *RoBI Test Bed* yang dibina di atas tanah liat lembut di RECESS UTHM.
- ii) Menentukan kadar mendapan yang berlaku ke atas struktur *RoBI Test Bed* di atas tanah liat lembut.
- iii) Menilai tahap (*rating*) integriti struktur *RoBI Test Bed* bagi mengenalpasti keselamatan struktur ini di atas tanah liat lembut.
- iv) Menghubungkan beberapa parameter seperti mendapan, taburan hujan, aras air permukaan dan ciri-ciri tanah terhadap tahap integriti struktur *RoBI Test Bed* di atas tanah liat lembut.

1.5 Skop Kajian

Kajian ini dijalankan di tapak RECESS Malaysia, UTHM. Kajian ini memfokus kepada matlamat projek iaitu menentukan integriti struktur *RoBI Test Bed* yang dibina bagi menjalankan ujian terhadap sebarang rekabentuk jambatan samada baru atau inovasi

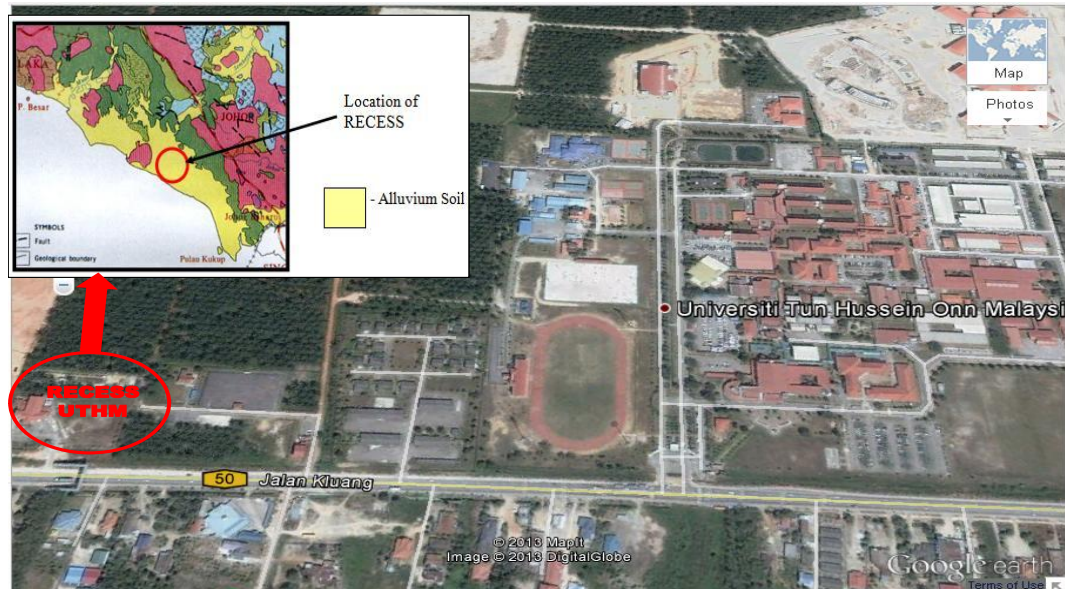
pada masa hadapan. Struktur RoBI dibina dengan saiz (4.7m x 3.5m x 4.5m). Terdapat 3 jenis ujian integriti yang dijalankan iaitu (i) Integriti struktur (pemeriksaan visual, kekerasan permukaan RoBI dan mendapan struktur), (ii) Kelakuan tanah liat (ciri asas tanah, keadaan sub-permukaan tanah dan pengukuhan tanah) dan (iii) Ciri keadaan persekitaran (aras air permukaan, taburan hujan dan suhu persekitaran). Tempoh ujikaji adalah selama tiga belas (13) bulan. Tempoh ini hanya melibatkan beberapa parameter iaitu mendapan struktur, pengukuhan tanah, aras air permukaan, taburan hujan dan suhu. Manakala bagi lain-lain ujian seperti pemeriksaan visual dan ujian kekerasan permukaan hanya dijalankan pada tempoh awal pemantauan. Ini adalah memadai bagi mencapai objektif yang telah dinyatakan dalam seksyen 1.4 sebelum ini. Semua proses pemantauan dan data-data yang dikumpulkan adalah selepas pembinaan struktur RoBI ini selesai oleh kumpulan penyelidik yang terdahulu. Dalam kajian ini, beberapa faktor yang dipertimbangkan dalam pemantauan struktur RoBI ini iaitu:

- (a) Menganggap ciri asas tanah liat yang diuji di makmal adalah sama dengan ciri asas tanah liat di tapak RECESS.
- (b) Kesan pembinaan struktur RoBI tidak mengganggu keadaan aras air permukaan (0.5m – 0.65m) di kawasan berhampiran pembinaan struktur ini.
- (c) Cuaca adalah baik sepanjang tahun dan tidak mempengaruhi kerja cerapan data di tapak struktur RoBI.

1.6 Kawasan Kajian

Kajian ini dilakukan di tapak Pusat Kajian Tanah Lembut (RECESS) Malaysia, UTHM. Pusat Penyelidikan Tanah Lembut (RECESS) Malaysia ini terletak di dalam kawasan kampus Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM) di Parit Raja, Batu Pahat, Johor, Malaysia. Tanah di lokasi kajian ini merupakan tanah lembut yang terletak 20 km daripada pusat bandar Batu Pahat ke arah Ayer Hitam. Secara relatifnya, topografi bagi kawasan kajian adalah mendatar dengan ketinggian permukaan asalnya adalah lebih kurang 1.35 m hingga 1.80 m dari atas permukaan laut. Manakala bagi paras air bumi bagi kawasan ini adalah pelbagai bermula dari 0.5 m hingga 0.63 m daripada permukaan

tanah. Justeru, di tapak RECESS ini *RoBI Test Bed* dibina bagi pengujian sebarang rekabentuk jambatan kelak. Bagaimanapun skop kajian ini hanya memfokuskan aspek integriti struktur *RoBI Test Bed* sahaja. Rajah 1.3 menunjukkan lokasi tapak RECESS Malaysia, UTHM.



Rajah 1.3: Lokasi tapak RECESS Malaysia di UTHM.

1.7 Hipotesis Kajian

Berdasarkan pemerhatian di tapak, beberapa hipotesis telah didapati iaitu:

- (a) Struktur Ujian RoBI (*RoBI Test Bed*) akan mengalami proses pemendapan bergantung kepada masa kerana proses pengukuhan tanah amat mempengaruhi struktur yang dibina di atasnya.
- (b) Faktor persekitaran mempengaruhi kelakuan dan tempoh masa proses pengukuhan tanah serta integriti struktur RoBI.
- (c) Integriti struktur dipengaruhi oleh proses pengukuhan tanah, kelembapan tanah, suhu dan lain-lain faktor (Beban: berat sendiri struktur RoBI (19,920 kg) dan berat air (21,875 kg)).

1.8 Definisi Istilah

Dalam tesis ini, beberapa istilah yang kerap digunakan dalam menerangkan beberapa perkara yang berkaitan. Antara istilah-istilah tersebut adalah:

(i) *RoBI Test Bed – Road Bridge Interface Test Bed*

Struktur RoBI ialah satu struktur binaan asas bagi ujian berkaitan jambatan. Ia berbentuk segiempat tepat dengan saiz 4.7m x 3.5m x 4.5m. Struktur ini mempunyai satu lantai dan 3 bahagian dinding yang bertindak sebagai sokongan dinding penahan. Rekabentuk pada struktur RoBI ini adalah nisbah skala 1:2 berdasarkan saiz sebenar struktur asas jambatan di beberapa lokasi sekitar Batu Pahat. Rekabentuk struktur *RoBI Test Bed* ini berdasarkan piawaian BS 8110:1997. Struktur ini kelak bertindak sebagai tapak ujian bagi menjalankan sebarang ujian yang berkaitan dengan sebarang inovasi terhadap rekabentuk jambatan baru.

(ii) *BPSC-Batu Pahat Soft Clay*

BPSC atau tanah liat lembut Batu Pahat merupakan tanah lembut yang meliputi sebahagian kawasan di daerah Batu Pahat ini. Menurut Masirin (2006), tanah jenis ini mempunyai ciri-ciri seperti kandungan kelembapan antara 23% hingga 69%, graviti tentu antara 2.18 hingga 2.65, had plastik antara 20% hingga 35%, had cecair antara 37% hingga 66%, indeks plastik antara 17% hingga 31% dan sensitiviti tanah antara 2.5 hingga 7.3 ($m^2/tahun$). Saiz partikel tanah ini pula adalah kurang daripada 0.002mm.

1.9 Organisasi Tesis

Tesis kajian ini dibahagikan dalam lima (5) bab. Garis susunan tesis ini diringkaskan seperti berikut:

BAB 1 menerangkan latar belakang kajian, pernyataan masalah, matlamat dan objektif kajian, skop kajian, kawasan kajian, hipotesis kajian, metodologi kajian, jadual aktiviti

kajian, senarai definisi istilah dan organisasi tesis yang terkandung dalam penyelidikan ini.

BAB 2 mengupas kajian literatur berkenaan tanah lembut dan jambatan dengan mendalam. Di awal seksyen 2.2 hingga seksyen 2.5, membincangkan mengenai jenis-jenis struktur binaan dan faktor-faktor yang mempengaruhi integriti struktur binaan dengan mengfokuskan faktor tanah lembut sebagai penyumbang kepada mendapan pada struktur binaan. Hubungkait antara tindakbalas pengukuhan tanah terhadap mendapan struktur (*soil-structure interaction*) dan kaedah penstabilan tanah lembut secara mekanikal serta kimia turut dibincangkan. Di seksyen 2.6 hingga seksyen 2.8, menerangkan tentang kaedah pemeriksaan dan penyelenggaraan struktur binaan. Piawaian, jenis dan kaedah yang biasa dipraktikkan dibincangkan dengan lebih mendalam. Di samping itu penilaian ‘tahap’ integriti bagi struktur binaan juga dibincangkan bagi mengklasifikasi dan menentukan kaedah penyelenggaraan yang bersesuaian. Penjelasan berkenaan beberapa jenis ujian integriti terhadap struktur binaan dari segi kekuatan dan kebolehkerjaan turut dibincangkan. Ini melibatkan beberapa ujian tanpa musnah dan ujian termusnah terhadap struktur binaan. Di seksyen 2.9, beberapa contoh kajian terdahulu berkaitan kelakuan dan kegagalan disebabkan oleh rekabentuk jambatan, jenis tanah, beban trafik dan seumpamanya dibincangkan. Pemerhatian terhadap kegagalan sebenar di tapak pada persekitaran tanah lembut dibincangkan dengan lebih terperinci.

BAB 3 menjelaskan berkenaan metodologi kajian dan instrumentasi yang digunakan di makmal dan di tapak dalam kajian terhadap integriti struktur *RoBI Test Bed* ini. Beberapa ujian di makmal dijalankan bagi menghubungkan dengan ujian yang bersesuaian yang dijalankan ke atas struktur *RoBI Test Bed*. Justifikasi bagi setiap ujian dan instrumentasi di tapak diterangkan dengan terperinci. Beberapa langkah berjaga-jaga bagi semasa proses pengendalian alatan di tapak, penentuan batu aras sementara (*temporary bench mark*) bagi cerapan ukur aras, kaedah cerapan data berkala dan pemerhatian sebelum, semasa dan selepas pembinaan struktur *RoBI Test Bed* turut

dibincangkan secara kritikal. Setiap aktiviti dalam kajian ini ditunjukkan dalam bentuk gambarajah, jadual dan penerangan bertulis.

BAB 4 membincangkan hasil keputusan dan analisis yang kritikal bagi ujian berkaitan *RoBI Test Bed* di makmal dan di tapak. Hasil data ini diwakili dalam bentuk jadual, graf, carta pai dan garis kontur aras. Ulasan data adalah berdasarkan hubungkait antara kelakuan yang ditunjukkan *RoBI Test Bed* di tapak sebenar dengan kelakuan yang diterangkan dalam teori kejuruteraan. Antara parameter ujian di tapak ialah nilai mendapan struktur RoBI, taburan hujan, aras air permukaan dan suhu persekitaran di RECESS UTHM. Di akhir bab ini, analisis hasil data dibincangkan berdasarkan hasil yang diperolehi dan disokong oleh fakta dan bukti oleh kajian-kajian penyelidikan terdahulu.

BAB 5 menyatakan perkara berkaitan rumusan, kesimpulan dan cadangan berdasarkan hasil di akhir kajian ini. Beberapa kesimpulan yang relevan dibuat berdasarkan keputusan ujian di tapak dan di makmal. Di akhir bab ini, beberapa cadangan bersesuaian disyorkan berdasarkan rumusan dan kesimpulan yang dibuat.

1.10 Ringkasan Bab

Bab ini menerangkan tentang latar belakang, pernyataan masalah, matlamat dan objektif kajian. Dalam bab ini juga, penerangan berkenaan skop kajian, kawasan kajian dan hipotesis kajian. Selain itu definisi beberapa istilah yang kerap digunakan dalam kajian ini turut diterangkan. Organisasi tesis juga turut dinyatakan bagi menjelaskan kandungan yang dibincangkan bagi setiap bab dalam laporan tesis ini. Melalui bab ini, gambaran awal terhadap keseluruhan kajian diterangkan secara teliti bagi menjelaskan matlamat utama kajian ini dijalankan di atas persekitaran tanah lembut di tapak RECESS, UTHM.

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1 Pendahuluan

Dalam kajian ini, keperluan dalam melaksanakan kajian literatur yang tepat mengikut skop kajian adalah sangat penting. Dalam bab Kajian Literatur ini, perbincangan berkenaan jenis struktur binaan, faktor mempengaruhi integriti struktur dengan memfokuskan sifat tanah lembut sebagai faktor yang mempengaruhi integriti struktur binaan. Tindakbalas tanah terhadap struktur (*soil structure interaction*), kelakuan tanah lembut semasa dan selepas pembinaan serta kaedah terkini penstabilan bagi tanah lembut juga dikupas dari seksyen 2.2 sehingga seksyen 2.5. Perbincangan berkaitan pemeriksaan dan pemantauan struktur binaan, kaedah mengkelaskan tahap (*rating*) struktur binaan dan juga jenis-jenis ujian penentuan integriti terhadap struktur binaan. Maklumat berkaitan ini dijelaskan pada seksyen 2.6 sehingga seksyen 2.8. Beberapa kajian lepas turut dibincangkan di akhir bab ini pada seksyen 2.9 yang dijalankan oleh penyelidik terdahulu dan juga pengalaman penulis sendiri. Ke semua subtopik ini penting dalam menghubungkan matlamat dan objektif kajian ini.

2.2 Jenis-Jenis Struktur Binaan

Struktur binaan merupakan binaan fizikal hasil daripada kerja-kerja pembinaan yang terbahagi kepada jenis bangunan dan bukan bangunan yang membentuk infrastruktur kepada masyarakat. Menurut Jack (2000), struktur binaan ditakrifkan sebagai anggota yang direka berada dalam keadaan pegun berbanding mesin yang difabrikasi bagi membolehkan anggotanya bergerak. Ia merupakan satu jasad yang mampu menahan beban yang dikenakan ke atasnya tanpa berlaku ubah bentuk yang ketara pada satu bahagian berbanding dengan bahagian yang lain (Marshall dan Nelson,1990). Struktur binaan didefinisikan sebagai anggota yang dipasang atau dibina dengan penyambungan sesuai dan selamat bagi menghasilkan suatu kerangka yang berupaya menanggung beban (Jabatan Kerja Raya, 2011). Binaan struktur seharusnya memiliki ciri kekuatan yang tinggi, stabil, mampu menanggung daya dan bebanan yang ditanggunginya (Jack, 2000). Struktur binaan dibahagikan mengikut rekabentuk dan piawaian yang berbeza mengikut jenis seperti struktur bangunan, struktur senibina, struktur kejuruteraan awam dan struktur mekanikal. Setiap struktur dibina samada mempunyai sifat menanggung beban atau tidak menanggung beban. Struktur binaan dibahagikan mengikut kegunaannya iaitu:

- a) Struktur binaan awam
 - Bangunan, jambatan, menara dan lain-lain yang digunakan oleh orang awam.
- b) Struktur keselamatan
 - Kapal, pengangkutan udara, tangki dan lain-lain yang digunakan untuk tujuan keselamatan.

Biasanya kebanyakan struktur binaan pegun digunakan untuk kegunaan awam direkabentuk oleh jurutera awam. Faktor-faktor yang perlu diambilkira dalam merekabentuk binaan ini ialah keselamatan, kebolehhidmatan, nilai estetika, ekonomi dan keadaan alam sekitar (Ahvarma, 2003). Jenis struktur binaan yang dibincangkan dalam kajian ini ialah struktur binaan yang menanggung beban dan struktur binaan tidak menanggung beban.

2.2.1 Struktur Binaan Menanggung Beban

Struktur binaan yang menanggung beban memerlukan penelitian dalam proses merekabentuk dan pembinaannya supaya struktur binaannya kukuh dan tidak mengalami sebarang kegagalan. Struktur menanggung beban ialah struktur yang menanggung berat yang disokong pada kerangka binaan atau struktur (kamus sains, 2012). Antara jenis struktur binaan yang menanggung beban ialah jalanraya, jambatan, empangan, tembok penahan dan seumpamanya. Dalam sesebuah binaan bangunan komponen seperti rasuk, tiang dan asas akan menanggung beban sebelum ia dipindahkan ke tanah. Asas pula merupakan komponen yang memindahkan dan menyebarkan beban keseluruhan struktur kepada tanah (Jabatan Kerja Raya, 2011).

2.2.2 Struktur Binaan Tidak Menanggung Beban

Struktur tanpa menanggung beban turut mengalami kegagalan sekiranya ia tidak direkabentuk dan dibina dengan baik. Struktur yang geometrinya berperanan menahan beban yang dikenakan dikenali sebagai struktur berangka manakala struktur yang beratnya berperanan menahan beban yang dikenakan dikenali sebagai struktur geometri (Marshall dan Nelson,1990). Struktur binaan tidak menanggung beban ialah struktur yang tidak menanggung berat yang disokong pada binaan struktur samada beban hidup atau beban mati (kamus sains, 2012). Dalam sesebuah bangunan pula, komponen seperti dinding, lantai (papak), tangga dan bumbung merupakan struktur yang tidak menanggung beban kerana beban dipindahkan dari rasuk ke tiang dan seterusnya ke asas bangunan (Jabatan Kerja Raya, 2011).

2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Integriti Struktur Binaan

Istilah integriti bermaksud keutuhan daripada pelbagai aspek yang baik. Maka integriti dari sudut kejuruteraan membawa nilai keutuhan sesuatu struktur binaan agar ia kekal

berfungsi dengan baik tanpa berlaku sebarang kegagalan (Van dan Jack, 2005). Oyedele (2010) menyatakan bahawa kecacatan struktur kebanyakannya disebabkan oleh kurangnya kualiti kerja, faktor kewangan penggunaan bahan binaan yang bermutu rendah ataupun yang rosak, kekurangan masa kerana kelemahan perancangan dan penjadualan serta penggunaan kontraktor dan sub-kontraktor yang tidak berkemahiran. Kecacatan struktur juga boleh disebabkan oleh masalah rekabentuk oleh perekabentuk serta penggunaan pengurusan projek serta perunding yang tidak efisien. Jadual 2.1 menerangkan faktor-faktor yang mempengaruhi integriti struktur binaan yang dicatatkan oleh beberapa penyelidik yang lepas.

Jadual 2.1: Faktor-faktor yang mempengaruhi INTEGRITI struktur binaan.

Faktor-faktor	Penerangan
Jenis Rekabentuk	Rekabentuk sesebuah bangunan dipengaruhi oleh kehendak klien yang mengutamakan nilai estetika berbanding keupayaan bahan binaan yang digunakan. 58% kegagalan struktur adalah disebabkan oleh kelemahan rekabentuk pembinaan dan perincian (Holland, 1992).
Saiz Struktur	Saiz struktur samada besar, sederhana atau kecil mempunyai ciri kestabilan yang berlainan. Struktur yang stabil dimana mampu menahan semua pergerakan seperti tumbang (<i>overturning</i>) dan ubahbentuk bahagiannya. Saiz struktur yang besar mempunyai tahap kestabilan yang lebih tinggi berbanding struktur kecil selagi daya dan bebanan yang dibenarkan bertindak ke atasnya (Jack, 2000).
Bahan Binaan	Kualiti bahan-penggunaan bahan berkualiti rendah menyebabkan masalah kecacatan struktur yang nyata. Tempoh hayat yang pendek, pengaratan, peleraian bahan, serangan serangga dan kulat menyebabkan kerosakan pada struktur binaan (Yusof, 2007).
Kualiti Kerja	-Pemantauan semasa kerja pembinaan sangat penting bagi memastikan kerja-kerja dilakukan mengikut spesifikasi dan piawaian tertentu. -Kurangnya pemantauan meningkatkan kesalahan terhadap langkah kerja yang dilakukan dan kualiti bahan binaan terjejas kesan dedahan kepada faktor cuaca (Oyedele, 2010).
Jenis Tanah	-Pembinaan struktur di atas tidak stabil seperti tanah liat, tanah gambut dan lain-lain tanah organik menyebabkan masalah mendapan, pergerakan tanah, kegagalan cerun, runtuh tanah dan kerosakan pada struktur binaan. -Sifat-sifat ketidakstabilan tanah seperti keupayaan galas yang lemah, keboleherjaan yang rendah, kandungan lembapan yang tinggi dan keupayaan pengaliran yang lemah menjadikan pembinaan di persekitarannya bermasalah (Bujang et al., 2007).

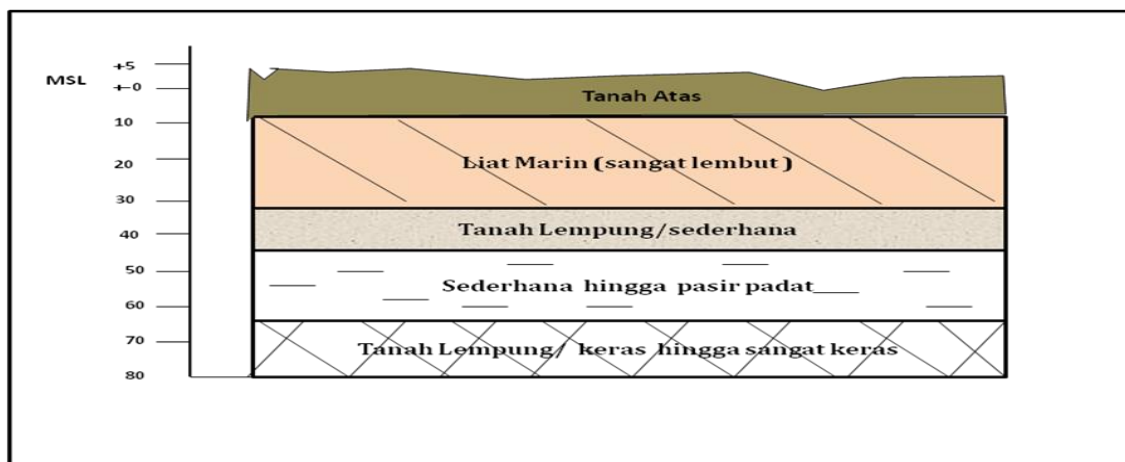
2.4 Tanah Lembut Sebagai Faktor Yang Mempengaruhi Integriti Struktur.

Dalam kajian literatur ini, tanah lembut difokuskan sebagai faktor yang mempengaruhi tahap integriti struktur binaan. Keadaan ini berlaku kerana struktur RoBI yang dikaji adalah dibina di persekitaran tanah liat lembut Batu Pahat. Tanah liat ini mempunyai ciri kelemahan seperti mempunyai kebolehmpatan tinggi dan sensitiviti yang tinggi serta kelembapan tanah yang tidak kurang daripada 85% (Masirin, 2006). Struktur binaan yang dibina di atas tanah lembut berisiko untuk mendap. Keadaan ini merupakan salah satu kesan interaksi antara tanah dan struktur seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.1. Keadaan ini menyebabkan integriti sesuatu struktur binaan seperti bangunan, jalanraya, jambatan dan seumpamanya akan terjejas. Faktor-faktor yang mempengaruhi mendapan seperti beban dinamik, perubahan aras air bawah tanah, pengorekan di kawasan berdekatan dan ubahbentuk tanah kesan mampatan bebanan daripada struktur binaan (Liu dan Evett, 1998). Kebanyakan kegagalan pada struktur tanah disebabkan oleh mendapan yang berlebihan atau perbezaan mendapan yang berlaku. Mendapan ditakrifkan sebagai pergerakan tegak asas akibat penurunan tanah bawah secara sertainerta dan atau mendapan pengukuhan. Mendapan juga dikatakan sebagai kesan daripada pengurangan isipadu tanah (Cernica, 1995).



Rajah 2.1: Fenomena kegagalan pada struktur binaan a) Bangunan, (b) Jalanraya dan (c) Jambatan.

Tanah bertindak sebagai asas tapak dalam pembinaan di mana sebarang struktur binaan akan dilakukan di atasnya seperti bangunan, jalanraya, jambatan, empangan dan seumpamanya. Secara idealnya tanah yang stabil mempunyai ciri-ciri seperti mempunyai kekuatan ricih dan keupayaan galas yang baik, mengalami kegagalan dan pengukuhan yang minimum apabila bebanan dikenakan ke atasnya, mengalami perubahan isipadu yang minimum daripada proses menggelembung (*swelling*), pengecutan fabrik (*shrinkage*) atau bebanan dinamik. Selain itu ciri seperti mampu menahan kekuatan dan melawan kegagalan terhadap masa, dan mempunyai kualiti istimewa yang diperlukan untuk sesetengah pembinaan (contoh: aras air bawah tanah yang baik, kebolehtelapan, masalah pembinaan yang minimum) Cernica (1995). Tanah lembut pula mempunyai ciri-ciri seperti mempunyai nilai keupayaan galas yang rendah, kebolehtelapan yang rendah, nilai kericihan tanah yang rendah (kurang daripada 20 kPa), kandungan lembapan yang tinggi (lebih dari 100%) dan sifat penyaliran yang lemah (Bujang et al., 2007). Rajah 2.2 menunjukkan profil tanah lembut yang dicatatkan di Semenanjung Malaysia.



Rajah 2.2: Profil mendapan tanah lembut bagi Semenanjung Malaysia (Abdullah & Chandra, 1987).

Ciri-ciri ketidakstabilan oleh tanah lembut menyebabkan berlakunya fenomena mendapan pada struktur yang dibina di atasnya. Pengurangan kandungan lompong udara dalam tanah, penyusunan semula butiran tanah dan mampatan bahan dalam lompong udara menunjukkan keadaan tanah mengalami ubahbentuk mampatan. Sekiranya tanah kering, lompong akan dipenuhi oleh udara yang mana penyusunan butiran tanah akan

berlaku dengan cepat. Manakala jika tanah berkeadaan tepu, lompong ini akan dipenuhi oleh air yang tidak boleh mampat. Air yang memenuhi lompong perlu dikeluarkan dari tanah terlebih dahulu supaya penyusunan butiran tanah berlaku (Liu dan Evett.,1998).

2.4.1 Sifat Asas Tanah Liat Lembut

Tanah Liat dibincangkan dalam kajian ini kerana struktur *RoBI Test Bed* dibina di atas tanah jenis ini. Tanah liat merupakan jenis tanah yang meliputi kawasan sekitar tapak RECESS di UTHM. Tanah ini mempunyai kelembapan tidak kurang daripada 85%. Pecahan lempung yang saiznya berbeza adalah kira-kira 15% hingga 70% dengan pecahan baki kelodak bagi pantai Barat adalah 31% hingga 56% tanah liat, 16% hingga 49% kelodak, dan 6% hingga 28% pasir bagi pantai Timur (Bujang.et.al, 2007). Suhaimi (2003) telah menjalankan beberapa ujikaji ke atas sampel tanah liat yang diambil dari tapak RECESS dan mendapati bahawa taburan partikel tanah adalah 0% butiran kasar, 44 % pasir dan 55.6 % adalah kelodak dan tanah liat. Masirin (2002) pula mendapati taburan partikel bagi tanah liat lembut Batu Pahat ialah 0% batu kasar, 21% hingga 34% kelodak dan 66% hingga 74% tanah liat.

Tanah liat ini bersifat plastik jika diukur dari segi kandungan lembapannya, iaitu tanah ini boleh dibentuk tanpa menghasilkan rekahan, pecah atau perubahan dalam isipadunya dan akan kekal mengikut bentuk acuan (McCarthy, 2002). Mineral tanah liat menyerupai perubahan kimia kesan hakisan mineral daripada batu asal dan menyebabkan perbezaan dari segi saiz dan bentuk berbanding partikel tanah yang lain (McCarthy, 2002). Ciri-ciri bagi tanah liat bergantung kepada komposisi mineral dalam partikel tanah, bentuk, saiz, jenis dan kekuatan ikatan struktur, struktur, tekstur dan keadaan tanah. Kesemua ciri-ciri tersebut juga bergantung kepada interaksi dengan air. Brand dan Brenner (1981) menjelaskan terdapat dua klasifikasi tanah liat lembut iaitu Tanah Liat Dedahan Cuaca Di Atas Kerak Bumi dan Tanah Liat Tanpa Dedahan Cuaca seperti yang dinyatakan dalam Jadual 2.2. Kekuatan ricih dan kebolehmampatan Tanah Liat Dedahan Cuaca adalah bergantung pada kedalaman setiap lapisan tanahnya. Kekuatan ricih dan kebolehmampatan Tanah Liat Tanpa Dedahan Cuaca tidak bergantung pada kedalaman

tanahnya. Ini menunjukkan Tanah Liat Tanpa Dedahan Cuaca tidak dipengaruhi oleh faktor perubahan kandungan lembapan tanah dan mempunyai ciri-ciri tanah yang lebih stabil berbanding Tanah Liat Dedahan Cuaca Di Atas Kerak Bumi.

Jadual 2.2: Klasifikasi tanah liat lembut (Brand dan Brenner, 1981).

Jenis	Pengkelasan	Kandungan air	Kekuatan Ricih	Kebolehampatan
Tanah Liat Dedahan Cuaca Di Atas Kerak Bumi	Kedaaan Beku, Kering	$w_n \approx w_p$	Sangat kukuh, Merekah	-
	Kering	$w_n \approx w_p$	Sangat kukuh, Merekah	Kebolehampatan Rendah
	Tanah Dedahan Cuaca	$w_n < w_p < w_L$	Kekuatan Ricih Bertambah Dengan Kedalaman	Kebolehampatan Rendah, Lengkung e vs $\log \sigma'_v$
Tanah liat Tanpa Dedahan Cuaca	Tanah liat Terkukuh Biasa (Baru)	$w_n \approx w_L$	S_u/σ'_{vo} Berkadar Tetap Dengan Kedalaman	$\sigma'_{vc} \approx \sigma'_{vo}$
	Tanah liat Terkukuh Biasa (Lama)	$w_n \approx w_L$	S_u/σ'_{vo} Berkadar Tetap Dengan Kedalaman	$\sigma'_{vc} \approx \sigma'_{vo}$ Berkadar Tetap Dengan Kedalaman
	Tanah liat Terkukuh Cepat (Baru)	$w_n \approx w_L$	S_u/σ'_{vo} Berkadar Tetap Dengan Kedalaman	$\sigma'_{vc} \approx \sigma'_{vo}$
	Tanah liat Terkukuh Cepat (Lama)	$w_n \approx w_L$	S_u/σ'_{vo} Berkadar Tetap Dengan Kedalaman	$\sigma'_{vc} \approx \sigma'_{vo}$ Berkadar Tetap Dengan Kedalaman

2.4.1.1 Had Atterberg

Had Atterberg untuk tanah adalah kaitan jumlah air yang bertindak terhadap permukaan zarah-zarah tanah. Had ini merangkumi Had Cecair (w_L), Had Plastik (w_p) dan membentuk Indeks Keplastikan (I_p). Had-had ini dibahagikan kepada empat (4) kategori (pepejal, semi-pepejal, plastik dan cecair). Peralihan antara kekonsistenan cecair dan plastik dinyatakan had cecair (w_L). Manakala peralihan kekonsistenan plastik dan separuh pepejal dinyatakan sebagai had plastik (w_p) dan julat lelebih kandungan air pada

tanah sisa plastik dinyatakan sebagai Indeks keplastikan (I_p) (Craig, 1993). Bagi tanah liat yang berzarah halus, kandungan air yang memenuhi lompong memberi kesan kepada kelakuan kejuruteraan tanah ini. Kandungan air yang bertambah, keadaan kosistenan tanah berubah daripada pepejal rapuh kepada pepejal plastik dan menjadi cecair likat. Jadi, had-had ini penting kerana satu hubungkait ciri kejuruteraan dan kelakuan kejuruteraan yang diperolehi bagi zarah halus.

2.4.1.2 Kandungan Lembapan Tanah

Air sentiasa terdapat dalam semua jenis tanah. Pada keadaan semulajadi, tanah liat tipikal mengandungi 80% hingga 90% air (Fuhsman, 1986). Perubahan lembapan tanah mempengaruhi tekanan seghah tanah. Tanah yang awalnya dipenuhi air dapat membantu menyokong struktur bangunan. Apabila tiba musim kemarau, tanah berkenaan menjadi kering dan tidak dapat membantu menyokong bangunan, maka bangunan akan mendap dan berlaku keretakan pada struktur bangunan (Cernica, 1995). Kes begini sering berlaku untuk penggunaan asas cetek.

2.4.1.3 Keplastikan Tanah Liat

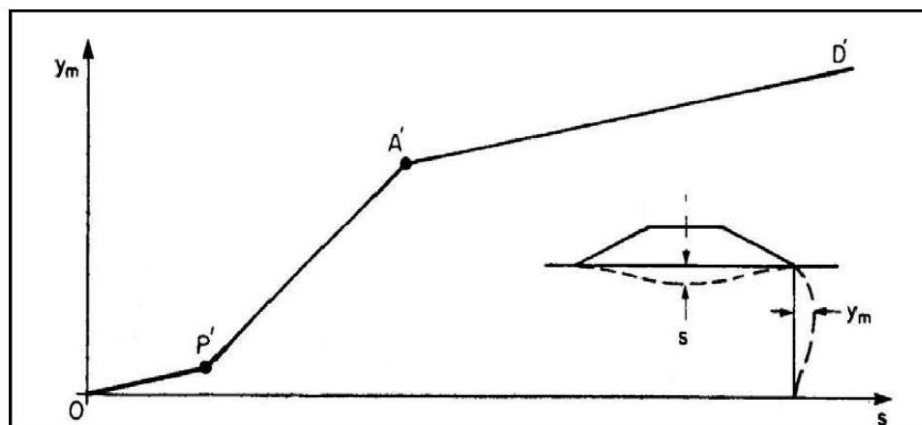
Keplastikan merupakan ciri penting tanah berbutir halus seperti tanah liat lembut kerana galian tanah liat atau bahan organik dapat menunjukkan sama ada suatu tanah itu akan mengalami percanggahan kekal pada isipadu yang tetap tanpa rekahan (Craig, 1993). Had cecair (w_L) dan had plastik (w_p) adalah had bawah dan atas bagi kandungan lembapan di mana tanah menunjukkan sifat keplastikan mereka. Julat bagi kandungan lembapan disebut sebagai indeks keplastikan (I_p). Majoriti tanah liat marin adalah tanah liat berkelodak dengan keplastikan yang tinggi.

2.4.2 Sifat-sifat Tanah Lembut Di bawah Struktur Binaan

Menurut Marto (2007), dalam pembinaan tambakan, tekanannya selalu bertindak dalam arah pugak dan sisi, dan tekanan efektif bergantung pada keadaan kestabilan semasa dan selepas pembinaan. Sifat yang selalu bagi tanah asas dibawah tambakan adalah seperti mendapan, pergerakan sisi, tekanan air liang dan tekanan keseluruhan. Semua sifat-sifat ini adalah saling mempengaruhi antara satu sama lain.

2.4.2.1 Pergerakan Lateral

Bujang (2003) mendefinisikan pergerakan lateral sebagai aliran tanah keluar secara mendatar apabila di kenakan tegasan ricih di mana ianya akan meningkat pada kadar yang berlainan dengan mendapan pugak disebabkan oleh sifat *anisotropic* tanah tersebut. Menurut Lerouiel et al. (1990), pergerakan lateral pada asas tanah di hujung tambakan menunjukkan sifat yang sama dengan mendapan yang ditunjukkan dalam Rajah 2.3. Semasa fasa pembinaan, perubahan lateral adalah lebih rendah dari mendapan pugak (OP'). Ianya berlaku apabila laluan tekanan efektif menuju ke kondisi K_0 . Pergerakan sisi meningkat pada kadar yang sama dengan pergerakan pugak apabila pembinaan telah siap dimana tanah liat akan bertindak pada keadaan pengukuhan normal tanpa disalir. Di akhirnya, pergerakan lateral lebih kurang dari enapan apabila pengukuhan asas tanah jangka masa panjang dikenakan. (A'D').

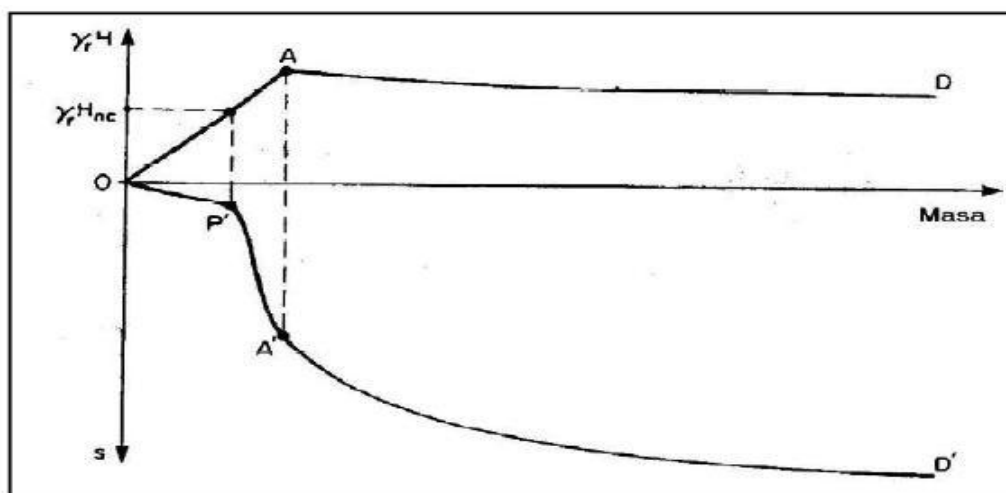


Rajah 2.3: Persamaan antara pergerakan lateral dengan endapan (Lerouiel et al., 1990).

2.4.2.2 Mendapan

Masalah mendapan merupakan masalah besar bagi jurutera dan juga jurubina sejak sekian lama. Mendapan secara amnya dikaitkan dengan beban. Tetapi ada kalanya, ianya disebabkan oleh getaran dan juga penurunan paras air bumi. Mendapan akan meningkatkan magnitud apabila beban yang dikenakan juga meningkat. Oleh kerana kandungan tanah itu pelbagai, ketidakpelbagaian pada bangunan akan mengalami mendapan berlainan. Mendapan yang berlainan kekerapannya adalah lebih penting memandangkan ianya mungkin akan menunjukkan kerosakan yang tinggi ataupun akan menghancurkan sesetengah struktur (Cernica, 1995).

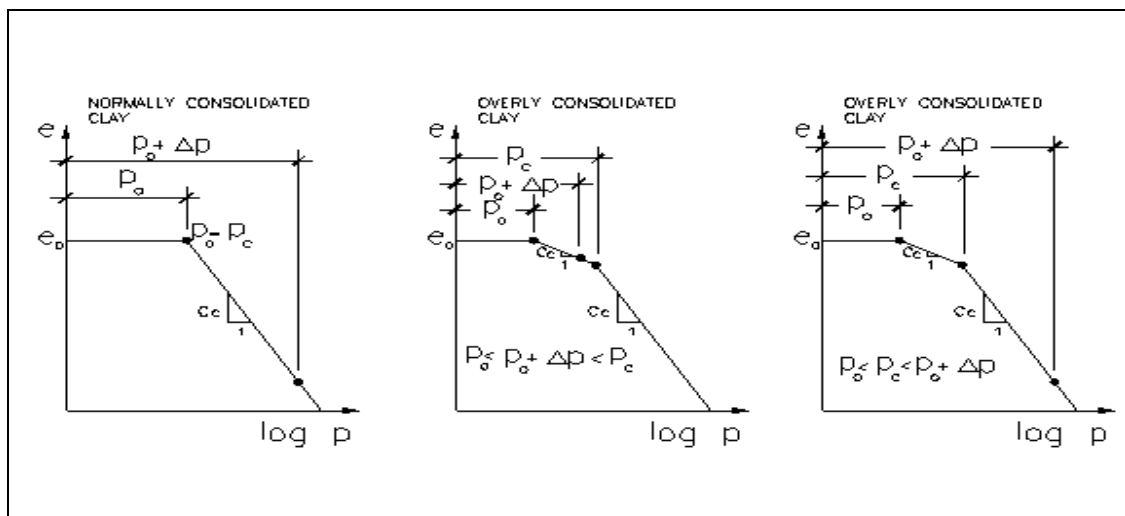
Menurut Lerouiel et al. (1990), mendapan dari tanah asas (tanah liat) yang berlaku semasa dan selepas pembinaan penambakan disebabkan beban yang telah di kenakan dengan masa, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.4. Pada mulanya, mendapan adalah kecil dan meningkat secara linear dengan penambahan beban. Ini adalah kerana, pada peringkat permulaan, tanah asas dalam keadaan lebihan pengukuhan dan mempunyai kadar yang tinggi untuk pengukuhan. Tanah asas dalam keadaan peringkat pengukuhan normal apabila tinggi penambakan lebih besar dari tinggi kritikal ($H > H_{nc}$) dan bermula untuk bertindak balas dalam keadaan TakTersalir.



Rajah 2.4: Beban Penambakan dan mendapan melawan masa (Lerouiel et al., 1990).

2.4.2.3 Pengukuhan Tanah Liat

Terdapat dua (2) jenis keadaan tanah liat lembut dalam pengukuhan tanah iaitu Tanah Liat Terkukuh Normal (*normally consolidated clay*) dan Tanah Liat Terkukuh Lebih (*over-consolidated clay*). Tanah terkukuh normal menunjukkan tanah liat yang terhasil tidak dipengaruhi oleh mana-mana beban yang lebih besar daripada tekanan berkesan pada tanah. Keadaan ini berlaku apabila berat tanah sendiri menyebabkan tekanan pada tanah berlaku. Tanah Liat Terkukuh Lebih pula berlaku apabila tekanan dari luar lebih besar berbanding tekanan sendiri pada tanah. Keadaan tanah terkukuh lebih ini juga menghasilkan kesan hakisan pada tanah kerana mampatan berkurangan pada keadaan tanah terkukuh lebih (Liu dan Evett.,1998). Rajah 2.5 menunjukkan graf log tanah liat yang mengalami Terkukuh Normal dan Terkukuh Lebih.



Rajah 2.5: Jenis pengukuhan tanah liat lembut.

Pengukuhan tanah bergantung kepada masa dan kadar pengukuhan tanah lembut. Kadar pengukuhan dikawal oleh kebolehtelapan tanah dan kecekapan pengaliran pada lapisan-lapisan tanah yang dapat ditembusi air. Bagi tanah liat, proses pengukuhan mengambil masa berbulan-bulan sehingga bertahun-tahun untuk selesai (Schroeder et al., 2003). Justeru pengukuran kadar pengukuhan pada tanah liat bergantung kepada sifat-

sifat pada tanah itu sendiri dan berkadar terus terhadap tempoh masa. Kesan pengukuhan tanah menyebabkan berlakunya mendapan pada tanah dan struktur binaan di atasnya. Jadual 2.3 (a) dan Jadual 2.3 (b) menunjukkan kadar mendapan yang dicatatkan di beberapa lokasi di beberapa negara seperti yang dicatatkan oleh Lerouril.et.al, 1990. Terdapat beberapa jenis tanah liat yang direkodkan mengalami mendapan iaitu tanah liat marin, pantai, delta dan tasik. Didapati tanah liat delta mengalami mendapan tertinggi (julat antara 1,000cm hingga 30,000cm) berbanding jenis tanah liat lain. Manakala tanah liat pantai mengalami mendapan terendah iaitu berjulat antara 30cm hingga 300cm. Keadaan ini menunjukkan bahawa kadar mendapan dialami dipengaruhi oleh jenis tanahnya. Ini berlaku kerana setiap jenis tanah liat mempunyai ciri-ciri fizikal dan kimia yang berbeza-bebeza berdasarkan kaedah dan jenis pembentukannya yang berlainan.

Jadual 2.3 (a): Kadar mendapan tanah liat lembut di beberapa lokasi luar negara (Lerouril et al., 1990).

Jenis Tanah Liat	Lokasi	Kadar Mendapan (cm/1000 tahun)	Sumber
Marin	Laut Chanplain, Kabada	1600	Nota Pengarang
	Laut Goldthwait, Kabada	1200-1600	Locat & Lefebvre (1983)
	Laut Tyrell, Kanada	1200	Nota Pengarang
	Oslofjord, Norway	80-250	Richards (1976)
	Laut Baltic	30	Kukal (1971)
	Laut Beauford	30-1000	Scheerar (1972)
Pantai	Teluk Maine, Amerika Syarikat	90-180	Locat & Lefebvre(1983)
	San Francisco Bay, Amerika Syarikat	30-130	Olsen (1978)
	Avonmouth, United Kingdom	250	Skempton (1970)
	Tilbury, United Kingdom	200	Skempton (1970)
	Pisa, Itali	250	Skempton (1970)
	Teluk California, Amerika Syarikat	60-100	Kukal (1971)
	Chao Phraya, Thailand	200-300	Cox (1972)
	Pantai Barat, Malaysia	100	Cox (1972)
	Pantai Utara, Borneo	90	Cox (1972)
	Indonesia	120-300	Cox (1972)

Jadual 2.3 (smb): Kadar enapan tanah liat lembut di beberapa lokasi luar negara (Lerouril et al., 1990).

Jenis Mendapan	Lokasi	Kadar Endapan (cm/1000 tahun)	Sumber
Delta	Mississippi, Amerika Syarikat	12000	McClelland (1967)
	Fraser, Australia	5000-30000	Kukal (1971)
	Rhone, France	1700	Skempton (1970)
	Cubzac, France	2000	Vidalie (1977)
	Chao Phraya, Thailand	2500-5000	Cox (1972)
	Orinoco, Venezuela	1000	Kukal (1971)
	Purata Delta	1500-2000	Kukal (1971)
Tasik/Lacustine	Barlow-Ojibway, Kanada	1000-2500	Locat & Lefebvre (1983)
	Tasik Great (glasier), Amerika Syarikat	700-3000	Locat & Lefebvre (1983)
	Tasik Great (glasier), Amerika Syarikat	10-500	Locat & Lefebvre (1983)
	Tasik Swedish	100-200	Kukal (1971)
	Tasik Alpine	1000-3000	Kukal (1971)
	Tasik Geneva	250	Kukal (1971)

Nilai mendapan yang dicatatkan ini menunjukkan kadar mendapan bagi setiap lokasi adalah berbeza-beza. Keadaan ini berlaku kerana terdapat perbezaan dari segi jenis tanah liat, lokasi dan kaedah pembentukannya. Faktor-faktor ini memberi perbezaan terhadap ciri-ciri tanah liat yang terbentuk. Keadaan ini turut dicatatkan di beberapa kawasan di Semenanjung Malaysia seperti dicatatkan oleh Bujang et al., (2007) pada Jadual 2.4. Jadual 2.4 menunjukkan ringkasan ketebalan mendapan bagi tanah liat di Semenanjung Malaysia yang dicatatkan oleh Bujang et al., (2007). Antara negeri yang direkodkan mengalami mendapan tanah liat ialah Perlis (julat antara 5m hingga 14m), Kedah (julat antara 5m hingga 16m), Pulau Pinang (julat antara 4m hingga 25m), Perak (julat antara 11m hingga 22m), Selangor (julat antara 5m hingga 35m), Melaka (julat antara 12m hingga 13m), Johor (julat antara 9m hingga 35m), Pahang (julat antara 3m hingga 20m) dan Terengganu (julat antara 3m hingga 10m).

RUJUKAN

- AASHTO (2000). "Manual Condition for Evaluation of Bridges". Edisi Kedua. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C, USA.
- AASHTO (2004). "Standard Recommended Practice For Application of Ground Penetrating Radar (GPR) to Highways.". American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C, USA.
- Abdullah, A.M.L.B dan Chandra, S (1987). "Engineering properties of coastal subsoils in Peninsular Malaysia." Proceeding of the Ninth South East Asian Geotechnical Conference, pp.5.127-5.138, Bangkok.
- Ahvarma (2003). "Types of Structures and Loads: Chapter 1". Dicapai November 2012, dari m/s 8-9 di www.engineering.purdue.edu. Amerika Syarikat.
- Anmet, T (2003). "Condition Assesment Techniques Uses for Non-Building Structures- Emphasis on Measurement Techniques". Journal of Seismic Assessment & Rehabilitation of Existing Buildings (mukasurat 193-194). Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Azeez, A.A.D, Zubairu, A.K dan Ahmed, U.A (2012) "Assessing the Structural Integrity and Evaluation of Existing Building Structures". Proceeding of 4th West Africa Built Environment Research (WABER) Conference. Pp 24-26. Abuja, Nigeria.
- Baisch, J (2011). "Responsibility of Life Source Water." Dicapai pada November 2011 di <http://www.water-for-africa.org>
- Baldev, R, T. Jayakumar dan Rao, B.P (1995). "Non-Destructive Testing and Evaluation For Structural Integrity". Proceeding of Sadhana Vol 20 Part 1: pp 5-38. India.
- Balasubramaniam, A.S dan Brenner, R.P (1985). "Consolidation and Settlement of Soft Clay". Diubahsuai oleh Brand, E.W. dan Brenner, R.P. Elsevier. Amsterdam.
- Brand, E.W. dan Brenner, R.P. (1981). "Soft Clay Engineering." Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam, 1981.
- Brian, K.B, Robert, V, Wang, X dan Wackerof, J (2006). "Static Load and Vibration Performance of Six Timber Bridges Constructed Using Local Species in Northern Michigan". Michigan Technological University. Amerika Syarikat.
- British Standards Institution (1990). "Standard Methods of Test or Soils for Civil Engineering Purposes". BS 1377: 1990. London.

- British Standards Institution (1990). "*Methods of test for soils for civil engineering purposes : General requirements and sample preparation*". BS 1377:1990. London.
- British Standards Institution (1997). "*Structural Use of Concrete*". Code of Practice for Design and Construction. BS 1881 Part 1. London.
- British Standards Institution (1986). "*Testing concrete-Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer*". BS 1881 Part 202. London.
- British Standards Institution (1986). "*Testing concrete-recommendations on measurement of the velocity of ultrasonic pulses in concrete*". BS 1881 Part 203 London.
- British Standards Institution (1986). "*Code of Practice for Site Investigations*". BS 5930: 1981. London.
- Building and Construction Authority (2012). "Periodic Structural Inspection of Existing Buildings- Guidelines for Structural Engineers".
- Bujang, B.K.H., Jusoh, A., Maail, S. (1991). "Pengenalan Mekanik Tanah." Dewan Bahasa dan Pustaka, Kementerian Pendidikan Malaysia. Kuala Lumpur.
- Bujang, B.K.H (2003). "Behaviour of Soft Clay Foundation Beneath An Embankment". ISSN: 0128-7680. University of Putra Malaysia.
- Bujang, B.K.H. dan Faizal, A. (2007). "Ground Improvement Technique." Universiti Putra Malaysia Press. Selangor.
- Brandl, H (2001). "The Importance of Optimum Compaction of Soil and Other Granular Material". International Workshop Paris.
- Cai, I, Osama, A, Ikhlas, A. Q. Upul, A. Joseph, B dan Eyad, A (2012). "Bridge Deck Load Testing Using Sensors and Optical Survey Equipment". Artikel Penyelidikan. Hindawi Publishing Corporation Advances in Civil Engineering.
- Cernica, J.N (1995). "Geotechnical Engineering: Soils Mechanics." New York: John Wiley and Sons.
- Chai, K.N (1996). "Reliability of Integrating Non-Destructive Result of Concrete Structures".
- Chen, D. H. & Scullion, T (2008). "Detecting subsurface voids using ground-coupled penetrating radar". Geotechnical Testing Journal, Volume 31, Issue 3.

- Council of American Structural Engineers of Minnesota, (2003). "Guideline Program For Structural Testing and Special Inspection". CASE/MN. Edisi ke-4.
- Craig,R.F (1993). "Mekanik Tanah." Terjemahan Soil Mechanics oleh Aminaton Marto, Fatimah Mohd Noor, dan Fauziah Kasim Edisi ke-4. Unit Penerbitan Akademik Universiti Teknologi Malaysia
- Kamus sains (2012). Daftar istilah: Dewan Bahasa dan Pustaka. Dicapai pada 12 Mei 2013 di <http://prpm.dbp.gov.my>
- Demetrios.E, Tonias,P.E, Jim,J, Zhao,P.E (2007). 'Bridge Engineering: Design, Rehabilitation and Maintenance of Modern Highway Bridges'. Edisi kedua. Mc. Graw Hill.
- Duff, Mark (2008). "Europe : Pisa's leaning tower 'stabilized". BBC News. Retrieved May 5, 2009.
- Flodin, N dan Broms, B. (1981). "Historical Development of Civil Engineering in soft Clays," Elsevier Scientific Publishing Company.
- Geomodel Inc. (2008). "Ground Penetrating Radar: Basic Operating Principles." Leesburg (USA): Trade Brochure.
- Gongkang,F (2005). "Inspection and Monitoring Techniques for Bridges and Civil Structures". Woodhead Publishing in Materials.
- Gue, S. S., Tan, Y. C., and Liew, S. S. (2002). "Cost Effective Geotechnical Solutions for Roads and Factories Over Soft Ground." 20th Conference of the ASEAN Federation of Engineering Organization, 2002.
- Gue, T., Sew,S.,Yun,S.,Wong,Y.C.,(2008).Geotechnical Engineering: "Challenges for Highway Design and Construction Soft Soil.": Proceeding paper.
- Harold, N.Atkins (2003). " Highway Materials, Soils and Concretes". Prentice Hall.
- Holland R, Montgomery B.E, Smith and Moore J F.A (1992) *Appraisal and Repair of Building Structure*, London: Thomas Telford.
- Jabatan Kerja Raya (1995). Annual Bridge Inspection Manual. Februari 2005.
- Jabatan Kerja Raya (2011). Pengenalan Struktur, Rekabentuk dan Kompenan Bangunan, Dicapai pada November 2012, dari www.jkr.terengganu.gov.my
- Jabatan Meteorologi Malaysia (2012). Tolok Hujan (*Tipping Bucket*), Dicapai November 2012, dari www.met.gov.my

- Jack,S.F.F (2000).“Structure and Fabric: Part 1”. Edisi ke-enam. Mitchell’s Building Series.Longman.
- Kramer,S.L. dan Sajer,P (1991).“Bridge Approach Slab Effectiveness”. Washington State Department of Transportation. Report No. WA-RD 227.1. ms 223. Olympia.Washington.
- Larosche, C.J (2009) “Failure, Distress and Repair of Concrete Structures”. Ubahsuai oleh Norbert Delatte. Janney Elstner Associates Inc. Amerika Syarikat.
- Lembaga Lebuhraya Malaysia (1989).“ Proceeding of the International Symposium. On Trial Embankments on Malaysian Marine Clays”. Kuala Lumpur. Vol.1.
- Lerouril,S.,Magnan,J dan Tavenas,F (1990).“Embankment on Soft Clays.” Ellis Horwood Limited.
- Lian, Y dan Yen,B.C (2003) . "Comparison of risk calculation methods for a culvert." *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 129, no. 2, pp. 140-152.
- Liu,C dan Evett,B.J (1998).“Soils and Foundations”.4th Edition. Prentice Hall.
- Looi.C.S (2009). “Field Assessment of Road-Bridge Interface Constructed At KM24 Jln.Bt. Pahat –Kluang”. Laporan Projek Sarjana Muda.UTHM.
- Manas Yusof (2006).“Kajian Kecacatan Keatas Bangunan Semasa Tempoh Tanggungan Kecacatan”. Kajian Kes.Universiti Teknologi Malaysia.
- Marshall,W.T dan Nelson,H.M (1990). “Struktur”.Terjemahan oleh Asiah Salleh. Dewan Bahasa Pustaka.
- Marto.A (1997). “ Full Scale Test of Trial Road Embankment on Bamboo Geotextile Composite Reinforced Soft Clay”. E-Science Fund.
- Masiri.K dan Abd Shukor.S (2006). “ Kejuruteraan Geomatik 1”.Panel Kejuruteraan Geomatik, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia.
- Masirin, M.M.I (2006). “Performance Evaluation of Encapsulated Road Pavement on Difficult Ground Condition” Thesis submitted to the University of East London in Partial Fulfillment of the requirements for the Award of Doctor of Philosophy Degree. London.
- Masirin,M.M.I., Adnan, Z., Ahmad, K. A. A. R dan Azman, H (2005). “Defect of Rural Road Constructed On Soft Soils In Batu Pahat District Johor Malaysia.” 2nd International Seminar on Geotechnical Transportation Engineering.Diponegoro University. Indonesia.

- Masirin, MIM; Rasimah,Z., Fizal,M.A.B, Daud, M (2009). "Site investigation on Road-Bridge Interface problems due to differential settlements at Jalan Nansang Teku and Jalan Sungai Maaw, Sibu Sarawak." Pembentangan di UTHM RMC , Desember 2009 (Laporan Kajian)
- Masirin,MIM, Adnan, Z, Anati,A.H, Rasimah,Z, Rufaizal.C.M,Wijeyekera.D.C (2010). "Review of Construction Challenges on Sibu Peat: Case Study and Lessons Learned". Proceeding of Geotropika Conference 2010.Kota Kinabalu,Sabah.Malaysia.
- Masirin,MIM, I,Bakar, Norazah,A.R, Firdaus,A.Z, Anati,H, Rasimah,Z (2010). "Development of IRB Test-Bed at Research Center for Soft Soil Malaysia (RECESS Malaysia): From Concept to Testing." Proceeding of Geotropika Conference 2010. Kota Kinabalu, Sabah.Malaysia.
- McCarthy, Donald.F. (2002). "Essentials of Soil Mechanics and Foundations". pg. 499, 543, Prentice Hall, New Jersey.
- Mohiuddin,A.K (2010). "Bridge and Highway Structure Rehabilitation and Repair." The McGraw-Hill.New York.
- Muzamir bin Hasan (2005). "Penyiasatan Tanah, Pensampelan,dan Kekuatan Ricih Tanah Liat Lembut." Universiti Teknologi Malaysia: Ijazah sarjana Muda.
- National Bridge Inspection Standards (2009). "National Bridge Inspection Standards Regulation". NBIS. Federal Highway Administration dicapai pada November 2012 di <http://www.fhwa.dot.gov>.
- Olufemi Oyedele (2010). "Managing Construction Defects". Glasgow Caledonian University.
- Open Channel Flow (2013). "Staff-Level Gauges for Water Level Measurement". Dicapai pada Januari 2013 di <http://www.openchannelflow.com>
- Petersen,C.G (1997). "LOK-Test and CAPO Test Pullout Testing". British Institute of Non-destructive Testing. United Kingdom.
- Robert.C, Stephen.A.D, Eric.P. (2012). "Development of Specifications For A Crack Resistant Bridge Deck Concrete". Transportation Research Board Annual Meeting (TRB) 2012. United States of America.
- Sci, (2005) : Science history: setting the record straight". Retrieved June 30, 2005. Dicapai di www.hindu.com.

- Siti Aimi, M.Y (2011). "Influence of Different Preconsolidation Stress On The Consolidation Behaviour of Soft Marine Clay". Laporan Projek Sarjana Muda. UTHM.
- Suretest Instrument Sdn.Bhd (2007). "Report on Soil Investigation for University Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM)". Disediakan untuk Pembinaan Hamid Abdul Rahman.
- Schroeder, W.L, Dickenson.S.E dan Warrington.D.C (2004). "Soils in Construction". Edisi ke-5. Prentice Hall.
- Seo, J (2003). "The Bump at the End of the Bridge: An Investigation". Dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of the Doctor of Philosophy, Texas, A&M University, College Station, Texas.
- Sin, P.T (2003). "Economical solution for roadway embankment construction on soft compressible soil at Putrajaya, Selangor." Proceedings of 2nd International Conference on Advances in Soil Engineering and Technology. pp.649-65. Putrajaya, Malaysia.
- Terzaghi, K., Peck, R.B dan Mesri, G (1996). "Soil Mechanics in Engineering Practice". Edisi ke-3. John Wiley and Sons, New York.
- Tuladar, R, Maki, T, Mutsuyoshi, H (2008). "Cyclic Behaviour of Laterally Loaded Concrete Piles Embedded into Cohesive Soil". Earthquake Engineering & Structural Dynamics. Vol 37 (1), pp 43-59.
- TxDOT (2000). "Texas Department of Transportation Manual System-Bridge Design Manual. "Texas Department of Transportation, Austin, Texas. Retrieved June 15, 2002, dicapai dari: <http://manuals.dot.state.tx.us/dynaweb/colbridges/@GenericBookView>.
- Ufuk Dilek, P.E (2005). "Evaluation of Fire Damage To A Precast Concrete Structure Non Destructive, Laboratory and Load Testing". Journal of Performance of Constructed Facilities, mukasurat 42-48. ASCE.
- Van, M dan Jack, J.R (2005). "All About Psychological Tests". Belanda.
- Wang, J.H, Xu, Z.H dan Wang, W.D (2010). "Wall and Ground Movements due to deep Excavations in Shanghai Soft Soils". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.
- White, D., Mohamed, M., Sritharan, S., dan Suleiman, M (2007). "Underlying Causes for Settlement of Bridge Approach Pavement Systems." Journal of Performance of Constructed Facilities. ASCE, 273-282.

Whitlow,R (2001).“Basic Soil Mechanics”. Edisi ke-4. Prectice Hall.

Zhang,L (2004).“Reliability Verification Using Proof Pile Load Tests”. Journal of Geotechnical & Environmental Engineering.ASCE.