

KESAN LULUHAWA TERHADAP KEKUATAN RICIH SYAL LEMPUNG
DALAM PENENTUAN PARAMETER KESTABILAN CERUN

IDRUS MUHAMAD ALATAS

Tesis dikemukakan sebagai memenuhi
syarat penganugerahan ijazah
Doktor Falsafah

Sekolah Razak Universiti Teknologi Malaysia
Dalam Kejuruteraan dan Teknologi Termaju

JANUARI 2017

Dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah Subhanahuwata'ala, dan sholawat kepada Nabi Muhammad shallolohualaihiwassalam, maka tesis ini saya dedikasikan kepada Almarhum Ayahanda Habib Muhammad bin Idrus Alatas.

PENGHARGAAN

Dalam menyediakan tesis ini, saya telah berhubung dengan ramai penyelidik, ahli akademik dan profesional geoteknik. Mereka telah mendorong saya untuk memilih tajuk tesis ini bagi memahami permasalahan kesan luluhawa terhadap syal lempung dengan lebih mendalam. Penghargaan ikhlas saya khususkan kepada penyelia utama iaitu Dr. Samira Albati Kamaruddin atas bimbingan dan panduan di sepanjang pengajian PhD ini. Terima kasih yang tidak terhingga juga ditujukan kepada penyelia bersama iaitu Profesor Ir. Dr. Irsyam Masyhur MSE dan Profesor Ir. Dr. Ramli Nazir atas bimbingan, nasihat, kritikan, persahabatan dan motivasi daripada mereka. Tesis ini tidak akan dapat siap ditulis tanpa sokongan dan minat mereka dalam membimbing saya

Saya amat bersyukur dengan adanya kerjasama antara Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN), Jakarta, Indonesia dan Universiti Teknologi Malaysia (UTM) yang membolehkan saya turut serta bagi program PhD ini. Terima kasih juga ditujukan kepada Pustakawan di UTM, pengarah dan pekerja PT. Trans Mega Jateng, pengarah dan pekerja PT. Bogor Ecopark, pengarah makmal Pusat Survey Geologi, di Jl. Diponegoro, Bandung Jawa Barat serta pengarah makmal Mineralogi LEMIGAS di Jl. Cileduk Raya, Kebayoran Lama, Jakarta, rakan sepengajian program PhD yang lain dan rakan akademik di ISTN.

Akhirnya, penghargaan ini ditujukan khas kepada keluarga besar saya di Indonesia terutama kepada yang tercinta Ibunda Syarifah Suud binti Abdullah Alhabsyi, Istri Suci Purwaningsih, anak-anak Anisah Alatas, Ahmad Shaugi Alatas, Abdullah Ghifari Alatas, Fatwa Firdaus Abdi, Syarah Alkazimi serta cucunda Zahra dan Maryam. Dengan berkat sokongan dan doa saudara serta sahabat-sahabat tercinta, Alhamdulillah tesis ini dapat diselesaikan.

ABSTRAK

Syal lempung dalam keadaan semula jadi merupakan batuan lempung yang memiliki kekuatan ricih yang tinggi. Syal lempung yang terdedah kepada atmosfera dan hidrosfera menyebabkan kekuatan ricih berkurang dengan ketara. Perkara ini menyebabkan banyak kegagalan cerun berlaku di tanah syal lempung yang mana kaedah piawai untuk permasalahan tersebut masih belum ada. Oleh itu, kajian ini bertujuan menyiasat pengaruh luluhawa terhadap indeks dan ciri-ciri fizikal syal lempung serta penurunan kekuatan ricih puncak dan kekuatan ricih baki. Kajian ini juga bertujuan membangunkan kaedah yang tepat untuk menentukan dan mengaplikasikan parameter kekuatan ricih yang masih belum ada untuk permasalahan kestabilan cerun syal lempung. Pengambilan sampel tak terganggu syal lempung diperolehi daripada ujian galian dengan menggunakan acuan teras terbelah yang belum pernah digunakan. Sampel diuji di makmal untuk menentukan kekuatan ricih baki dan kemudiannya digunakan untuk menilai keadaan kes cerun di tapak pembinaan. Dua jenis hasil ujian ialah kekuatan ricih baki tanpa pelepasan tegasan dan kekuatan ricih baki dengan pelepasan tegasan. Pada kes cerun yang belum berlaku kegagalan, analisis kestabilan cerun menggunakan parameter kekuatan ricih yang sudah dipengaruhi luluhawa memberikan kejelekitan (c) antara 31% hingga 49%, manakala sudut geseran dalam (ϕ) adalah antara 81% hingga 98% daripada keadaan semulajadi. Manakala pada kes cerun yang telah berlaku kegagalan, akan tetapi tidak berlaku penggalian, analisis kestabilan cerun yang menggunakan kekuatan ricih baki tanpa pelepasan tegasan memberikan hasil dengan kejelekitan baki (c_{rp}) adalah 21% hingga 28% dari kejelekitan puncak dan sudut geseran dalam (ϕ_{rp}) adalah 32% hingga 45% dari sudut geseran dalam puncaknya. Pada kes cerun yang telah berlaku kegagalan, tetapi berlaku penggalian serta penimbunan semula, analisis kestabilan cerun menggunakan kekuatan ricih baki dengan pelepasan tegasan, kejelekitan baki (c_{rf}) adalah 2% hingga 9% dari kejelekitan puncak dan sudut geseran dalam (ϕ_{rf}) adalah 19% hingga 24% dari sudut geseran dalam puncaknya. Hasil ujian kekuatan ricih baki yang diperolehi di makmal disahkan dengan penentuan kekuatan ricih baki yang berlaku pada kes kegagalan cerun di jalan tol Semarang Bawen STA 19+250. Analisis balik dengan kaedah elemen terhingga (FEM) dan kaedah had keseimbangan (LEM) telah mengesahkan bahawa ujian kekuatan ricih baki yang diperolehi di makmal dengan kaedah yang disyorkan telah membuktikan hasil yang cemerlang. Kajian ini mencadangkan ujian kekuatan ricih melalui proses luluhawa di makmal adalah sesuai untuk kejuruteraan rekabentuk rancangan kestabilan cerun pada tanah syal lempung di masa hadapan.

ABSTRACT

Clay shale in its natural state of clay rock has a high shear strength. Exposure of clay to atmosphere and hydrosphere causes the shear strength to reduce significantly. This problem has caused many failures in clay shale slopes in which a standard method of investigation is not yet available. Therefore, the research aimed to investigate the effect of weathering on clay shale's index and physical properties behaviour as well as degradation of shear strength at peak and residual shear strength. The research also aimed to develop accurate method to determine and apply shear strength parameter that is not available for clay shale stability problem. Undisturbed clay shale sampling was collected from test pit and using split single core barrel that has not been used before. The samples were tested in the laboratory to determine residual shear strength and subsequently used to evaluate slope cases at construction site. Two types of results were the residual shear strength without stress release and residual shear strength with stress release. For the slope case that has never failed, the stability analysis using shear strength parameter that has been influenced by the weathering gave the cohesion (c) between 31% to 49%, while the internal angle friction (ϕ) was between 81% to 98% from the original condition. Whereas for a slope failure case that did not excavate, slope stability analysis that used residual shear strength without stress release gave results of residual cohesion (c_{rp}) between 21% to 28% of peak cohesion and the residual internal angle friction (ϕ_{rp}) was between 32% to 45% of the peak internal angle friction, respectively. In the case of slope failure that had excavated and backfilled, the results of slope stability analysis that used residual shear strength with stress release, the residual cohesion (c_{rf}) was between 2% to 9% of peak cohesion and the internal angle friction (ϕ_{rf}) was between 19% to 24% of peak internal angle friction, respectively. The findings that happened at the slope of the residual shear strength obtained from the laboratory were verified using the residual shear strength of the slope failure at Semarang-Bawen STA 19+250 toll road. Back analysis using finite element method (FEM) and limit equilibrium methods (LEM) validated the residual shear strength test obtained from the laboratory test using the recommended methods, were proven to give excellent results. This study recommends that shear strength tested in the laboratory through weathering processes are suitable for engineering design of slope stability on clay shale in the future.

ISI KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	DEKLARASI	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	ISI KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	xv
	SENARAI RAJAH	xx
	SENARAI SIMBOL	xxxiv
	SENARAI SINGKATAN	xxxviii
	SENARAI ISTILAH	xl
	SENARAI LAMPIRAN	xlv
1	PENDAHULUAN	1
	1.1 Latar Belakang Kajian	2
	1.2 Pernyataan Masalah	3
	1.3 Matlamat dan Objektif Kajian	5
	1.4 Skop Kajian	6
	1.5 Kepentingan Kajian	8
	1.6 Susunan Atur Tesis	9
2	KAJIAN LITERATUR	11
	2.1 Pengenalan	11
	2.2 Kelakuan Syal Lempung	12
	2.2.1 Perubahan Fizikal Syal Lempung	12
	2.2.2 Perubahan Sifat-Sifat Indeks	17

2.3	Kekuatan Ricih Syal Lempung	17
2.3.1	Kriteria Kegagalan Mohr-Coulomb	18
2.3.2	Kecondongan Satah Kegagalan	19
2.3.3	Pengaruh Kekasaran Pada Permukaan Satah Batuan	21
2.3.4	Pengaruh Faktor Kekar (J_f) Terhadap Kekuatan Ricih Batuan	22
2.3.5	Hasil Kekuatan Ricih Syal Lempung	23
2.4	Pengurangan Kekuatan Ricih Syal Lempung Akibat Proses Luluhawa	26
2.5	Penentuan Kekuatan Ricih Dengan Sistem Tahap Berperingkat (<i>multistage system</i>)	30
2.6	Garis Kekar (<i>Fracture line</i>) Pada Sampel Tak Terganggu	33
2.7	Faktor Keselamatan Pada Kestabilan Cerun	35
2.7.1	Kaedah Had Keseimbangan	36
2.7.2	Faktor Keselamatan Dengan Kaedah Hirisan	37
2.7.3	Penentuan Faktor Keselamatan Cerun Dengan Kaedah Unsur Terhingga	40
2.8	Penentuan Kekuatan Ricih Ketika Kegagalan Cerun	41
2.9	Jurang Perbezaan Daripada Kajian Lalu	44
3	METODOLOGI KAJIAN	49
3.1	Pengenalan	49
3.2	Rekabentuk dan Carta Alir Kajian	50
3.3	Penyiasatan Tapak	53
3.3.1	Penyiasatan Tanah	53
3.3.2	Topografi	53
3.4.	Kaedah Persampelan Ujian Paksi Tiga	54
3.5	Ujian Makmal Mekanik Tanah	56
3.5.1	Ujian Sifat-Sifat Indek Syal Lempung	56

3.5.2	Ujian Paksi Tiga Tak Terkukuh Tak Tersalir	56
3.5.2.1	Ujian Paksi Tiga Pada Proses Pengeringan Serta Kitaran Pembasahan dan Pengeringan	56
3.5.2.2	Hasil Ujian Paksi Tiga Pada Proses Pengeringan Syal Lempung Tak Tepu	57
3.5.2.3	Hasil Ujian Paksi Tiga Pada Proses Pengeringan Sampel Syal Lempung Tepu	60
3.5.3	Proses Luluhawa di Makmal	61
3.5.4	Ujian Nisbah Penyepaian (<i>Disintegration Ratio Test</i>)	64
3.6	Ujian Kimia, Ujian Mineral dan Pengimbasan Mikroskop Elektron (SEM)	64
3.7	Jangkaan Keputusan Makmal	64
3.8	Jenis dan Lokasi Makmal Pengujian	66
4	UJIAN AWAL SYAL LEMPUNG DI LAPANGAN DAN DI MAKMAL	67
4.1	Pengenalan	67
4.2	Hasil Ujian di Lapangan	68
4.2.1	Topografi	68
4.2.2	Kajian Geologi	70
4.2.3	Pengerudian Teras	72
4.2.4	Penusukan Piawai (SPT)	76
4.3	Ujian Awal di Makmal	76
4.3.1	Sifat-sifat Indeks	78
4.3.2	Sifat Fizikal	83
4.3.3	Sifat Mekanik Dengan Ujian Paksi Tiga Tak Tersalir	85

4.3.3.1	Kelakukan Tegasan Terikan Ujian Paksi Tiga Syal Lempung Tak Tepu	85
4.3.3.2	Kelakuan Tegasan Terikan Ujian Paksi Tiga Dengan Kaedah Tahap Berperingkat	86
4.3.3.3	Kuat Ricih Pada Syal Lempung Tak Tepu	87
4.3.3.4	Kuat Ricih Pada Syal Lempung Tepu	88
4.3.4	Mineralogi dan Mikroskop Elektron (SEM)	92
5	PENGARUH PROSES LULUHAWA SYAL LEMPUNG TERHADAP PERUBAHAN PERILAKU SIFAT-SIFAT INDEKS DAN FIZIKAL	96
5.1	Pengenalan	96
5.2	Perubahan Sifat-Sifat Indeks Syal Lempung Akibat Proses Luluhawa	96
5.2.1	Perubahan Sifat Indeks Akibat Proses Masa Pengeringan	97
5.2.1.1	Perubahan Kandungan Air Akibat Proses Pengeringan	98
5.2.1.2	Perubahan Unit berat (γ) Akibat Proses Pengeringan	98
5.2.1.3	Perubahan Nisbah Lompang (e) Akibat Proses Pengeringan	102
5.2.2	Perubahan Sifat Indeks Akibat Kitaran Pembasahan dan Pengeringan.	103
5.2.2.1	Perubahan Kandungan Air Akibat Kitaran Pembasahan dan Pengeringan	104
5.2.2.2	Perubahan Unit Berat Pukal Akibat Kitaran Pembasahan dan Pengeringan	107

5.2.2.3	Perubahan Nisbah Lompang Akibat Kitaran Pembasahan dan Pengerangan	111
5.3	Perubahan Sifat Fizikal Syal Lempung Akibat Proses Luluhawa	117
5.3.1	Perubahan Sifat Fizikal Akibat Proses Masa Pengerangan	119
5.3.2	Perubahan Sifat Fizikal Akibat Kitaran Pembasahan dan Pengerangan	121
5.3.3	Perubahan Nisbah Penyepaian (D_R) Akibat Proses Masa Pengerangan	126
5.3.4	Perubahan Nisbah Penyepaian (D_R) Akibat Kitaran Pembasahan dan Pengerangan	127
5.3.5	Pengaruh Jenis Mineral Syal Lempung Terhadap Nisbah Penyepaian (D_R)	131
5.4	Perubahan Pengampulan Akibat Kitaran Pembasahan dan Pengerangan	137
5.4.1	Pengampulan Syal Lempung Semarang- Bawen Akibat Kitaran Pembasahan dan Pengerangan	139
5.4.2	Pengampulan Syal Lempung Hambalang Akibat Kitaran Pembasahan dan Pengerangan	139
5.4.3	Pengaruh Jenis Mineral Syal Lempung Terhadap Perubahan Pengampulan	146
6	KESAN LULUHAWA SYAL LEMPUNG TERHADAP KEKUATAN RICIH	151
6.1	Pengenalan	151
6.2	Penentuan Kekuatan Ricih Baki Dengan Kaedah Baru	153
6.3	Perubahan Kekuatan Ricih Jumlah Syal Lempung Akibat Proses Pengerangan	154

6.3.1	Jelekitan Syal Lempung Tak Tepu	155
6.3.2	Sudut Geseran Dalam Syal Lempung Tak Tepu	157
6.3.3	Jelekitan Syal Lempung Tepu	158
6.3.4	Sudut Geseran Dalam Syal Lempung Tepu	160
6.4	Perubahan Kekuatan Ricih Baki Syal Lempung Akibat Proses Pengeringan	165
6.4.1	Jelekitan Baki Syal Lempung Tak Tepu	167
6.4.2	Sudut Geseran Dalam Baki Syal Lempung Tak Tepu	169
6.4.3	Jelekitan Baki Syal Lempung Tepu	171
6.4.4	Sudut Geseran Dalam Baki Syal Lempung Tepu	175
6.5	Perbezaan Kelakuan Penurunan Kekuatan Ricih Syal Lempung Dari Tegasan Puncak Hingga Tegasan Baki Akibat Proses Pengeringan	183
6.5.1	Magnitud Syal Lempung Tak Tepu	184
6.5.2	Perbezaan Pengurangan Jelekitan Pada Syal Lempung Tepu	189
6.5.3	Perbezaan Pengurangan Sudut Geseran Dalam Pada Syal Lempung Tepu	192
6.5.4	Perbezaan Kekuatan Ricih Pada Tegasan Jumlah dan Tegasan Berkesan	197
6.6	Perubahan Kekuatan ricih Tak Tersalir Syal Lempung Akibat Kitaran Pembasahan Pengeringan	204
6.6.1	Perbezaan Jelekitan Syal Lempung Tak Tepu	206
6.6.2	Perbezaan Pengurangan Sudut Geseran Dalam Syal Lempung Tak Tepu	208
6.7	Perbandingan Sudut Kekar Tiori dan Sudut Kekar Keputusan Kajian	214

6.7.1	Hubungan Sudut Kekar Teoritis Dengan Sudut Kekar Keputusan Kajian Syal Lempung Tak Tepu dan Tepu	220
6.72	Kesan Masa Pengeringan Terhadap Sudut Kekar Syal Lempung Tak Tepu dan Tepu	223
7	HUBUNGAN PARAMETER DAN ANALISIS	
	BALIK PADA KES KEGAGALAN CERUN	227
7.1	Pengenalan	227
7.2	Hubungan Parameter Kekuatan Ricih Baki Terhadap Kekuatan Ricih Puncak	229
7.3	Hubungan Nisbah Penyepaian (D_R) Dengan Kekuatan Ricih Syal Lempung Akibat Proses Luluhawa	237
7.3.1	Hubungan Nisbah Penyepaian (D_R) Dengan Kekuatan Ricih Syal Lempung Akibat Proses Pengeringan	237
7.3.2	Hubungan Nisbah Penyepaian (D_R) Dengan Kekuatan Ricih Syal Lempung Akibat Kitaran Pembasahan Dan Pengeringan	242
7.4	Kes Gelongsoron Pada Cerun Jalan Tol Semarang-Bawen STA 19+250	249
7.4.1	Stratigrafi Lapisan Tanah Pada Cerun	249
7.4.2	Analisis Balik Untuk Penentuan Kekuatan Ricih Baki Pada Keruntuhan Cerun	251
7.4.2.1	Analisis Balik Dengan Program Plaxis V.7	251
7.4.2.2	Analisis Balik Dengan Kaedah Hirisan (<i>Slice Method's</i>)	254
7.4.2.3	Perbezaan Analisis Balik Antara Kaedah Hirisan Dengan Plaxis V.7	258

7.4.3	Keputusan Kajian Kekuatan Ricih Baki di Makmal Dalam Penentuan Parameter Kestabilan Cerun	262
8	KESIMPULAN DAN CADANGAN	269
8.1	Kesimpulan	269
8.2	Cadangan	275
	RUJUKAN	276
	Lampiran A-G	291 - 333

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Gred luluhawa terhadap penurunan sudut geseran dalam berkesan dan jelekitan berkesan	28
2.2	Keputusan nilai kekuatan ricih dari Tanah Khoen Kaen Loess	33
2.3	Pelbagai parameter pada tanah berzarah halus tak tersalir dengan Plaxis	41
2.4	Simulasi penurunan kekekuatanan ricih dalam menentukan kekekuatanan ricih yang berlaku menggunakan program Plaxis	42
2.5	Penurunan kekuatan ricih dalam menentukan kekuatan ricih yang berlaku menggunakan program Plaxis	42
2.6	Hasil analisis balik dan faktor keselamatan dengan dua kaedah	44
2.7	Literatur lepas untuk jurang perbezaan kajian	47
3.1	Perubahan tegasan keliling pada keadaan awal dan pada keadaan baki dengan sistem tahap berperingkat (<i>multistage system</i>) pada ujian paksi tiga tak tepu	58
3.2	Jadual ujian di makmal sampel terganggu pada proses pembasahan dan pengeringan (1 kali rendam/8 hari, hingga masa 80 hari)	62
3.3	Jadual ujian di makmal sampel terganggu pada proses pembasahan dan pengeringan (2 kali rendam/8 hari, hingga masa 80 hari)	63
3.4	Jadual ujian di makmal sampel terganggu pada proses pembasahan dan pengeringan (3 kali rendam/8 hari, hingga masa 80 hari)	63

3.5	Jadual ujian paksi tiga pada syal lempung dengan pembasahan dan pengeringan dengan 2 kali rendam/ 8 hari, hingga masa 40 hari	63
3.6	Ujian-ujian asal di makmal	64
3.7	Ujian makmal pada proses luluhawa pengeringan	65
3.8	Jenis uji makmal pada proses luluhawa pembasahan dan pengeringan	65
3.9	Jenis ujian dan lokasi makmal ujian	66
4.1	Jenis ujian awal di makmal syal lempung Semarang-Bawen dan Hambalang	77
4.2	Hasil uji graviti tentu syal lempung Semarang-Bawen dan Hambalang	82
4.3	Hasil ujian had Atterberg syal lempung Semarang-Bawen dan Hambalang	82
4.4	Hasil ujian sifat indeks dan sifat fizik syal lempung Semarang-Bawen dan Hambalang	84
4.5	Gambaran keseluruhan kekuatan ricih syal lempung Semarang-Bawen dan Hambalang pada keadaan semulajadi	94
4.6	Kandungan mineral syal lempung Semarang-Bawen dan Hambalang	94
5.1	Perubahan kandungan air syal lempung akibat luluhawa	115
5.2	Perubahan ketumpatan pukal (γ) syal lempung akibat luluhawa	116
5.3	Perubahan nisbah lompong (e) syal lempung akibat luluhawa	117
5.4	Nilai D_R dari batuan lempung keras yang terdedah semula jadi selama 12 bulan	130
5.5	Sistim pengelasan ketahananlasakan didasarkan atas nisbah penyepaian, D_R	130
5.6	Perubahan pengelasan ketahananlasakan syal lempung Semarang-Bawen akibat luluhawa dengan cara pengeringan dan kitaran pengeringan-pembasahan pada masa awal hingga 80 hari berdasarkan ISRM 2007	131

5.7	Perubahan pengkelasan ketahananlasakan syal lempung Hambalang akibat luluhawa dengan cara pengeringan dan kitaran pengeringan-pembasahan pada masa awal hingga 80 hari berdasarkan ISRM 2007	131
5.8	Hasil semi kuantitatif dari data ujian XRD: Q (Kuarza), P (Plagioklas), Py (Pirit), R (Rutil), G (Gypsum), C (Kalsit), Si (Siderit), I (Illite) and S (Smektit)	134
5.9	Hasil dari ketahananlasakan pengeringan dan perendaman	134
5.10	Perubahan taburan saiz bijian syal lempung akibat luluhawa	135
5.11	Perubahan nisbah penyepaian (D_R) syal lempung akibat luluhawa	136
5.12	Pengaruh mineralogi syal lempung terhadap nisbah penyepaian (D_R)	137
5.13	Pengaruh kitaran pembasahan dan pengeringan terhadap perubahan pengampulan dan pengecutan	148
5.14	Pengaruh komposisi mineral terhadap pengampulan dan pegecutan akibat kitaran pembasahan dan pengeringan	150
6.1	Perubahan kekuatan ricih puncak akibat luluhawa proses pengeringan	164
6.2	Keputusan kajian perubahan jelekitan jumlah dan jelekitan baki, degradasi jelekitan dan laju degradasi jelekitan syal lempung Semarang-Bawen dan Hambalang akibat luluhawa proses pengeringan	181
6.3	Keputusan kajian perubahan sudut geseran dalam jumlah dan sudut geseran dalam baki, degradasi jelekitan dan laju degradasi sudut geseran dalam syal lempung Semarang-Bawen dan Hambalang akibat luluhawa proses pengeringan	182
6.4	Kajian terdahulu yang dibincangkan berkenaan dengan keputusan kajian perubahan kekuatan ricih pada tegasan puncak akibat proses pengeringan	183

6.5	Keputusan kajian perbezaan perubahan kekuatan ricih syal lempung antara tegasan jumlah dengan tegasan baki tanpa pelepasan tegasan dan tegasan baki dengan pelepasan tegasan pada masa semula	201
6.6	Keputusan kajian perbezaan perubahan kekuatan ricih syal lempung antara tegasan jumlah dengan tegasan baki tanpa pelepasan tegasan dan tegasan baki dengan pelepasan tegasan pada masa semula dengan masa hari ke-80	202
6.7	Kajian terdahulu yang dibincangkan berkenaan dengan keputusan kajian perbezaan perubahan kekuatan ricih pada syal lempung antara tegasan jumlah dengan tegasan baki tanpa pelepasan tegasan dan tegasan baki	202
6.8	Keputusan kajian dan kajian terdahulu mengenai perbezaan antara kekuatan ricih pada tegasan jumlah dan tegasan berkesan	203
6.9	Kitaran pembasahan dan pengeringan syal lempung dan jadual ujian paksi tiga.	205
6.10	Ringkasan dari kajian terdahulu sebagai pengesahan keputusan kajian dari kesan kitaran pembasahan dan pengeringan terhadap perubahan kekuatan ricih	213
6.11	Keputusan kajian perubahan kekuatan ricih syal lempung Semarang-Bawen akibat proses kitaran pembasahan dan pengeringan hingga hari ke-24	214
6.12	Keputusan kajian perubahan kekuatan ricih syal lempung Hambalang akibat proses kitaran pembasahan dan pengeringan hingga hari ke-32	214
6.13	Kesan sudut kekar (θ) pada perbandingan antara kaedah numerik dan hasil analitis untuk ujian mampatan ekapaksi dalam kPa	223
6.14	Keputusan kajian dan kajian terdahulu mengenai perbezaan antara kekuatan ricih pada tegasan jumlah dan tegasan berkesan	225
7.1	Hubungan parameter kekuatan ricih baki terhadap kekuatan ricih puncak	236

7.2	Hubungan nisbah penyepaian (D_R) dengan kekuatan ricih akibat proses luluhawa	248
7.3	Hasil analisis balik dengan program Plaxis V.7	253
7.4	Kes analisis balik kestabilan cerun dengan cara kaedah hirisan	256
7.5	Hasil analisis balik dengan kaedah hirisan dalam menentukan variasi kekuatan ricih perantaraan antara <i>Tuff Breccia</i> dan syal lempung pada paras air bumi terendah (LWL)	257
7.6	Hasil analisis balik dengan kaedah hirisan dalam menentukan variasi kekuatan ricih perantaraan antara <i>Tuff Breccia</i> dan syal lempung pada muka air tertinggi (HWL)	257
7.7	Ringkasan keputusan analisis balik	262
7.8	Kaedah ujian kekuatan ricih baki di makmal yang sama dengan kekuatan ricih pada masa kegagalan cerun	263
7.9	Analisis balik untuk penentuan parameter kekuatan ricih baki di makmal pada kes keruntuhan cerun yang berlaku di sisi Jalan Tol Semarang-Bawen STA 19+250	266

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Kegagalan cerun apabila permukaan syal lempung terdedah setelah dilakukan pemotongan cerun	2
1.2	Tanah runtuh terjadi apabila satah kegagalan telah terbentuk pada masa lalu	3
1.3	Pengaruh kandungan air (w_n) pada lempung terhadap perubahan tegasan dan terikan lempung	4
1.4	Perubahan bentuk fizikal syal lempung dari masa ke masa	4
1.5	Lokasi Pusat Pendidikan Sukan Hambalang, Sentul, Jawa Barat	6
1.6	Kegagalan cerun syal lempung di projek jalan Tol Semarang Ungaran Bawen seksyen STA 19+250	7
2.1	Kelakuan lempung-batuan gelas di lapangan	13
2.2	Ilustrasi perubahan batu lempung terhadap masa akibat proses luluhawa	13
2.3	Taburan saiz zarah sampel yang hancur di makmal terhadap empat jenis lempung batuan gelas	14
2.4	Indeks ketahananlasakan dari syal lempung dibandingkan dengan batu lempung, batu lumpur dan batu kelodak	15
2.5	Perubahan fizikal syal lempung dan lainnya akibat luluhawa	15
2.6	Perubahan taburan saiz zarah akibat sampel yang hancur (<i>slake</i>) setelah 1, 3, 6, dan 9 bulan	16

2.7	Selubung kegagalan Mohr dan kriteria kegagalan Mohr-Coulomb	18
2.8	Kecondongan pada satah kegagalan tanah dengan satah utama	20
2.9	Dasar hukum Pattons untuk kekasanan pada bidang keruntuhan (a) dan kriteria dua garis lurus kekuatan ricih dari hukum Patton (b)	21
2.10	Pengaruh faktor kekar terhadap nisbah ujian mampatan tak terkurung	23
2.11	Perubahan kekuatanan ricih syal lempung	24
2.12	Perubahan kekekuatanan ricih syal lempung akibat luluhawa di tapak.	24
2.13	Hubungan tegasan dan terikan ricih dari ujian pemulihan pada syal Duck Creek dan syal Otay Bentonic	25
2.14	Hasil ujian ricih gelang pada lokasi-1 tanah batu lempung	26
2.15	Gred luluhawa W_0 (semulajadi) hingga W_5 (sangat terluluhawa) terhadap pengurangan sudut geseran dalam berkesan dan kejelekitan berkesan	27
2.16	Gambar kegagalan sampel (a) marl Taylor dan (b) syal Navarro selepas ujian paksi tiga tahap berperingkat	28
2.17	Hubungan tegasan sisih puncak (MPa) dengan masa pengeringan 48 jam (a) marl Taylor dan (b) syal Navarro	28
2.18	Hubungan tegasan terikan dari Pamploma Marl ujian mampatan tak terkurung	30
2.19	Hubungan tegasan ricih dan ubah bentuk sisi dari ujian kekuatan ricih dengan ricih langsung dengan tahap berperingkat	31
2.20	Hubungan tegasan terikan pada material granit dari ujian paksi tiga dengan tahap berperingkat (a) pada sample 5 dan (b) pada sampel 22	32
2.21	Perbezaan hasil kekuatan ricih dari ujian piawai ricih langsung dengan tahap berperingkat	33
2.22	Hubungan nisbah tegasan dengan sudut rekahan sampel	34

2.23	Selimit keruntuhan Coulomb dan Von Mises serta sudut kekar batuan yang berlaku	34
2.24	Beberapa contoh dari kegagalan cerun	35
2.25	Kaedah Hirisan	38
2.26	Proses perhitungan faktor keselamatan FK dalam kaedah unsur terhingga FEM	41
2.27	Julat faktor keselamatan yang dikira melalui analisis balik menggunakan parameter jelekitan purata	43
3.1	Carta alir kerja kajian syal lempung	52
3.2	Kaedah persampelan tak terganggu pada tapak untuk ujian paksi tiga di makmal	54
3.3	Pengembangan acuan teras yang boleh terbelah (<i>split single core barrel</i>) (a), pelepasan kepala acuan teras (b), hasil syal lempung sampel syal lempung (c), sampel syal lempung dibalut plastik hitam (d), sampel syal lempung dimasukkan dalam PVC siap dihantar ke makmal (e).	55
3.4	Tegasan sisih terhadap terikan tiga sampel syal lempung pada tegasan keliling CP-1= 39 kN/m ² , CP-2= 78 kN/m ² & CP-3= 118 kN/m ² , yang dilanjutkan dengan sistem tahap berperingkat pada keadaan baki.	58
3.5	Penentuan jelekitan (c) dan sudut geseran dalam (ϕ) dengan lingkaran Mohr dari uji paksi tiga tak tepu tak tersalir pada tegasan puncak	59
3.6	Penentuan jelekitan baki (c_{rp}) dan sudut geseran dalam baki (ϕ_{rp}) dengan lingkaran Mohr dari uji paksi tiga tak tepu tak tersalir pada tegasan baki tanpa perlepasan tegasan.	59
3.7	Penentuan jelekitan baki (c_{rf}) dan sudut geseran dalam baki (ϕ_{rf}) dengan lingkaran Mohr dari uji paksi tiga tak tepu tak tersalir pada tegasan baki dengan perlepasan tegasan	60
3.8	Ujian pengukuran perubahan isipadu (a) dan bilik pengeringan (b)	62
4.1	Rencana jalan tol trans Jawa, dari Merak ke Banyuwangi	69

4.2	Peta topografi tapak Semarang-Bawen STA 19+000 hingga STA 19+775	69
4.3	Kegagalan cerun pada STA 19+250 Jalan Tol Semarang Bawen, Jawa Tengah	70
4.4	Keadaan <i>Physiographic</i> Regional Pulau Jawa dan Madura	71
4.5	Peta geologi Hambalang, Jawa Barat dan sekitarnya (a), serta peta geologi Semarang-Bawen Jawa Tengah (b)	72
4.6	Lokasi titik ujian pegerudian terras dilokasi galian dan urugan	73
4.7	Log gerudi hasil ujian titik BH-4 sebelum galian dikerjakan (a), BH-1 setelah terjadi keruntuhan cerun di Semarang-Bawen STA 19+255 oleh Makmal Mekanik Tanah (b)	74
4.8	Log gerudi ujian titik DB-3 Hambalang sebelum galian untuk pekerjaan jalan	75
4.9	Ujian di makmal mekanik tanah Geoinves di Jakarta	77
4.10	Unit berat tepu (γ_{sat}), unit berat pukal (γ) dan unit berat kering (γ_d) syal lempung Semarang-Bawen semasa awal penyediaan sejumlah 58 sampel	80
4.11	Kandungan air awal semasa awal pembuatan sampel syal lempung Semarang-Bawen berjumlah 58 sampel	80
4.12	Unit berat tepu (γ_{sat}), unit berat pukal (γ) dan unit berat kering (γ_d) syal lempung Hambalang semasa awal pencetakan sejumlah 66 sampel	81
4.13	Kandungan air asal semasa terbitan asal sampel syal lempung Hambalang pada awal pembuatan 66 sampel	81
4.14	Hasil sampel tak terganggu syal lempung Semarang-Bawen dan Hambalang didalam bilik pengeringan.	83
4.15	Taburan saiz zarah syal lempung Semarang-Bawen dan Hambalang	84

4.16	Kelakuan tegasan terikan dari ujian paksi tiga semulajadi dengan tahap berperingkat pada tegasan baki. (a) Pada keadaan tegasan puncak dan tegasan baki tanpa pelepasan tegasan Sampel H-1, H-2 dan (b) pada tegasan baki dengan pelepasan tegasan Sampel H-2	86
4.17	(a) Tegasan terikan pada ujian paksi tiga tahap berperingkat syal lempung Hambalang (H-88) pada keadaan tegasan puncak dengan tahap berperingkat dan (b) pada syal lempung Semarang-Bawen (S-86) pada keadaan puncak dan keadaan tegasan baki tanpa pelepasan tegasan	87
4.18	Mohr-Coloumb syal lempung Hambalang semulajadi (H-88), sampel tepu pada tegasan puncak dan berkesan dengan ujian paksi tiga tahap berperingkat	89
4.19	Mohr-Coloumb syal lempung Semarang-Bawen semulajadi (S-37, S-38, S-39), sampel tak tepu pada tegasan puncak	90
4.20	Mohr-Coloumb syal lempung Semarang-Bawen semulajadi (S-86), sampel tepu pada tegasan baki tanpa pelepasan tegasan	90
4.21	Mohr-Coloumb syal lempung Semarang-Bawen semulajadi (S-86), sampel tepu pada tegasan baki dengan pelepasan tegangan dengan ujian tahap berperingkat paksi tiga	90
4.22	Sampel S-37, S-38 dan S-39 pada keadaan sebelum ujian berlaku	91
4.23	Gambar satah kegagalan S-37, S-38 dan S-39 setelah ujian paksi tiga berlaku	91
4.24	Hasil ujian mineralogi syal lempung Semarang-Bawen dengan X-RD	92
4.25	Hasil ujian mineralogi syal lempung Hambalang dengan X-RD	93
4.26	Hasil pengimbasan mikroskop elektron (SEM) syal lempung Semarang Bawen dengan pembesaran 4500x dan 9000 x	94
4.27	Hasil pengimbasan mikroskop elektron (SEM) syal lempung Hambalang dengan pembesaran 1800x dan 2200 x	95

5.1	Perubahan kandungan air dari awal hingga masa hari ke "n" syal lempung Semarang-Bawen akibat proses pengeringan, (a) sampel No.1 hingga No.30 dan (b) sampel No.31 hingga No. 58.	99
5.2	Perubahan kandungan air purata syal lempung akibat masa pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal Hambalang	99
5.3	Perubahan unit berat pukal (γ) dan unit berat kering (γ_d) syal lempung akibat masa pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal Hambalang	100
5.4	Perubahan pengukuran isi padu syal lempung Semarang Bawen dan Hambalang di bilik pengeringan	101
5.5	Perubahan nisbah lompong (e) syal lempung akibat masa pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal Hambalang	103
5.6	Pengukuran isipadu syal lempung Semarang-Bawen dan Hambalang pada (a) masa 16 hari saat penngeringan dan (b) masa 26 hari saat pembasahan	104
5.7	Perubahan kandungan air syal lempung Semarang-Bawen sampel S-28 akibat kitaran pembasahan pengeringan	105
5.8	Perubahan kandungan air syal lempung Hambalang sampel H-31 akibat kitaran pembasahan pengeringan	106
5.9	Perubahan kandungan air tapak akibat perubahan musim	108
5.10	Perubahan unit berat pukal (γ) dan unit berat kering (γ_d) purata syal lempung Semarang Bawen akibat kitaran pembasahan pengeringan	109
5.11	Perubahan unit berat pukal (γ) dan unit berat kering (γ_d) purata syal lempung Hambalang akibat kitaran pembasahan pengeringan	110
5.12	Pengaruh kitaran pengeringan-pembasahan terhadap hubungan antara kadar air dan ketempatan pukal pada lempung residu Malang, Jember dan Mojokerto	110

5.13	Perubahan nisbah lompong (e) purata syal lempung Semarang Bawen sampel No. S-28 akibat kitaran pembasahan pengeringan	113
5.14	Perubahan nisbah lompong (e) purata syal lempung Hambalang sampel No. H-31 akibat kitaran pembasahan pengeringan	113
5.15	Nisbah lompong berbanding bahagian relatif syal lempung	114
5.16	Perubahan sifat fisik syal lempung Semarang-Bawen dan Hambalang terhadap proses pengeringan dan kitaran pembasahan pengeringan	119
5.17	Perubahan zarah syal lempung Semarang bawen dan Hambalang akibat proses pengeringan hingga masa 80 hari	120
5.18	Perubahan taburan saiz zarah syal lempung akibat proses pengeringan. (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal lempung Hambalang	120
5.19	Perubahan distribusi taburan saiz zarah syal lempung Semarang-Bawen akibat kitaran pembasahan pengeringan (a) 1 kali pembasahan dalam 8 hari, (b) 2 kali pembasahan dalam 8 hari dan (c) 3 kali pembasahan dalam 8 hari	122
5.20	Perubahan distribusi taburan saiz zarah syal lempung Hambalang akibat kitaran pembasahan pengeringan (a) 1 kali pembasahan dalam 8 hari, (b) 2 kali pembasahan dalam 8 hari dan (c) 3 kali pembasahan dalam 8 hari.	123
5.21	Perubahan bentuk fizik syal lempung Semarang-Bawen dan Hambalang akibat kitaran pembasahana pengeringan dengan 2 kali pembasahan setiap 8 hari	124
5.22	Penyepaian sampel batuan lempung, setelah pendedahan iklim semula jadi	125
5.23	Penentuan nisbah penyepaian (D_R) akibat luluhawa dari ujian taburan saiz zarah	126
5.24	Perubahan nisbah penyepaian (D_R) syal lempung akibat proses masa pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal lempung Hambalang	127

5.25	Perbandingan perubahan nisbah penyepaian (D_R) syal lempung akibat masa pengeringan dan masa kitaran pembasahan pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal lempung Hambalang	128
5.26	Ujian pengampulan tegak dan sisi syal lempung Semarang-Bawen dan Hambalang (a) saat masa pengeringan (b) saat masa rendaman (c) proses pengeringan syal lempung hambalang (d) proses pengeringan syal lempung Semarang-Bawen	138
5.27	Terikan tegak (ϵ_v) dan terikan sisi (ϵ_h) syal lempung Semarang-Bawen akibat kitaran pembasahan pengeringan dengan 2 kali rendaman dalam masa 8 hari	140
5.28	Perubahan isipadu syal lempung Semarang-Bawen akibat kitaran pembasahan pengeringan dengan 2 kali rendaman pada masa 8 hari.	140
5.29	Terikan tegak dan terikan sisi syal lempung Hambalang akibat kitaran pembasahan pengeringan dengan 2 kali rendaman pada masa 8 hari.	141
5.30	Perubahan isipadu purata syal lempung Hambalang akibat kitaran pembasahan pengeringan	141
5.31	Kelakukan pengecutan dan pengampulan syal lempung Cikarang akibat proses pengeringan dan pembasahan dari lokasi No.1 sampel No.7 dengan beban surcaj sebesar 10kN/m^2	144
5.32	Pengaruh pegeringan dan pembasahan pada 3 macam pengawetan tanah terhadap pengecutan dan pengampulan semasa 40 hari 10 kitaran	145
5.33	Perubahan terikan tegak terhadap kandungan mineral Smektit pada <i>argillaceous rocks</i>	147
6.1	Perubahan jelekitan syal lempung tak tepu akibat proses pengeringan	156
6.2	Perubahan sudut geseran dalam (ϕ) syal lempung tak tepu akibat proses pengeringan	158
6.3	Perubahan jelekitan jumlah (c_t) syal lempung tepu akibat proses pengeringan	159

6.4	Perubahan kejelekitan berkesan (c') syal lempung tepu akibat akibat proses	160
6.5	Perubahan sudut geseran dalam jumlah (ϕ_t) syal lempung tepu akibat proses pengeringan	163
6.6	Perubahan sudut geseran dalam berkesan (ϕ') syal lempung tepu akibat akibat proses pengeringan	163
6.7	Perubahan jelekitan baki tanpa pelepasan tegasan (c_{rp}) syal lempung tak tepu akibat proses pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal lempung Hambalang.	168
6.8	Perubahan jelekitan baki dengan pelepasan tegasan (c_{rf}) syal lempung tak tepu akibat proses pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal lempung Hambalang	169
6.9	Perubahan sudut geseran dalam tanpa pelepasan tegasan (ϕ_{rp}) syal lempung tak tepu akibat proses pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal lempung Hambalang	170
6.10	Perubahan sudut geseran dalam dengan pelepasan tegasan (ϕ_{rf}) syal lempung tak tepu akibat proses pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal lempung Hambalang	171
6.11	Perubahan jelekitan baki berkesan dengan pelepasan tegasan (c_{rpt}) syal lempung tepu akibat proses pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal lempung Hambalang	173
6.12	Perubahan jelekitan baki berkesan tanpa pelepasan tegasan (c_{rp}') syal lempung tepu akibat proses pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal lempung Hambalang	174
6.13	Perubahan jelekitan baki jumlah dengan pelepasan tegasan (c_{rft}) syal lempung tepu akibat proses pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal lempung Hambalang	174
6.14	Perubahan jelekitan baki berkesan dengan pelepasan tegasan (c_{rf}') syal lempung tepu akibat proses pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal lempung Hambalang	175

6.15	Perubahan sudut geseran dalam baki jumlah tanpa pelepasan tegasan (ϕ_{rpt}) syal lempung tepu akibat proses pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal lempung Hambalang	178
6.16	Perubahan sudut geseran dalam baki berkesan tanpa pelepasan tegasan (ϕ_{rp}') syal lempung tepu akibat proses pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal lempung Hambalang	179
6.17	Perubahan sudut geseran dalam baki jumlah dengan pelepasan tegasan (ϕ_{rft}) syal lempung tepu akibat proses pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal lempung Hambalang	179
6.18	Perubahan sudut geseran dalam baki berkesan dengan pelepasan tegasan (ϕ_{rf}') syal lempung tepu akibat proses pengeringan (a) syal lempung Semarang-Bawen (b) syal lempung Hambalang	180
6.19	Perbezaan penurunan jelekitan syal lempung tak tepu Semarang-Bawen dari tegasan puncak (c) hingga tegasan baki (c_{rp} dan c_{rf}) akibat proses pengeringan	185
6.20	Perbezaan penurunan jelekitan syal lempung tak tepu Hambalang dari tegasan puncak (c) hingga tegasan baki (c_{rp} dan c_{rf}) akibat proses pengeringan	186
6.21	Perbezaan penurunan sudut geseran dalam syal lempung tak tepu Semarang-Bawen dari tegasan puncak (ϕ) hingga tegasan baki (ϕ_{rp} dan ϕ_{rf}) akibat proses pengeringan	188
6.22	Perbezaan penurunan sudut geseran dalam syal lempung tak tepu Hambalang dari tegasan puncak (ϕ) hingga tegasan baki (ϕ_{rp} dan ϕ_{rf}) akibat proses pengeringan	188
6.23	Perbezaan penurunan jelekitan syal lempung tepu Semarang-Bawen dari tegasan puncak hingga tegasan baki akibat proses pengeringan (a) pada tegasan jumlah (b) pada tegasan berkesan	191
6.24	Perbezaan penurunan jelekitan syal lempung tepu Hambalang dari tegasan puncak hingga tegasan baki akibat proses pengeringan (a) pada tegasan jumlah (b) pada tegasan berkesan	192

6.25	Perbezaan penurunan sudut geseran dalam syal lempung tepu Semarang-Bawen dari tegasan puncak hingga tegasan baki akibat proses pengeringan (a) pada tegasan jumlah (b) pada tegasan berkesan	196
6.26	Perbezaan penurunan sudut geseran dalam syal lempung tepu Hambalang dari tegasan puncak hingga tegasan baki akibat proses pengeringan (a) pada tegasan jumlah (b) pada tegasan berkesan	196
6.27	Hubungan antara sudut geseran dalam baki (ϕ_r) dengan had cecair (LL)	197
6.28	Perbezaan jelekitan jumlah dan jelekitan berkesan pada syal lempung Semarang-Bawen	199
6.29	Perbezaan jelekitan jumlah dan jelekitan berkesan pada syal lempung Hambalang	199
6.30	Perbezaan jelekitan jumlah dan jelekitan berkesan pada syal lempung Semarang-Bawen	200
6.31	Perbezaan sudut geseran dalam jumlah dan berkesan syal lempung Hambalang	200
6.32	Hubungan antara ϕ tak tersalir dengan ϕ' tersalir	201
6.33	Perubahan jelekitan syal lempung Semarang-Bawen akibat kitaran pembasahan dan pengeringan, dengan masa pembasahan setiap 4 hari dengan masa rendaman 5 minit	207
6.34	Perubahan jelekitan syal lempung Hambalang akibat kitaran pembasahan dan pengeringan, dengan masa pembasahan setiap 4 hari dengan masa rendaman 5 minit	208
6.35	Perubahan sudut geseran dalam syal lempung Semarang-Bawen akibat kitaran pembasahan dan pengeringan, dengan masa pembasahan setiap 4 hari dengan masa rendaman 5 minit	210
6.36	Perubahan sudut geseran dalam syal lempung Hambalang akibat kitaran pembasahan dan pengeringan, dengan masa pembasahan setiap 4 hari dengan masa rendaman 5 minit	210
6.37	Variasi kekuatan ricih terhadap tegasan normal akibat penambahan dan pengurangan kandungan air lebih kurang 2% dari OMC	212

6.38	Gambar sudut kekar keputusan kajian syal lempung Semarang Bawen tak tepu dan tepu dari paksi tiga di makmal (sampel 0 hari hingga 32 hari)	216
6.39	Gambar sudut kekar keputusan kajian syal lempung Semarang Bawen tak tepu dan tepu dari paksi tiga di makmal (sampel 40 hari hingga 80 hari)	217
6.40	Gambar sudut kekar keputusan kajian syal lempung Hambalang tak tepu dan tepu dari paksi tiga di makmal (sampel 0 hari hingga 32 hari)	218
6.41	Gambar sudut kekar keputusan kajian syal lempung Hambalang tak tepu dan tepu dari paksi tiga di makmal (sampel 40 hari hingga 80 hari)	219
6.42	Hubungan antara sudut kekar keputusan kajian (θ_r) dengan sudut kekar teoritis (θ) pada sampel tak tepu dan tepu syal lempung Semarang-Bawen	222
6.43	Hubungan antara sudut kekar keputusan kajian (θ_r) dengan sudut kekar teoritis (θ) pada sampel tak tepu dan tepu syal lempung Hambalang	222
6.44	Kesan proses pengeringan terhadap perubahan sudut kekar syal lempung Semarang-Bawen pada sampel tak tepu dan tepu	224
6.45	Kesan proses pengeringan terhadap perubahan sudut kekar syal lempung Hambalang pada sampel tak tepu dan tepu	226
7.1	Hubungan jelekitan baki terhadap jelekitan jumlah dan berkesan syal lempung Semarang-Bawen	230
7.2	Hubungan jelekitan baki terhadap jelekitan jumlah dan berkesan syal lempung Hambalang	231
7.3	Hubungan sudut geseran dalam baki terhadap sudut geseran dalam jumlah dan berkesan syal lempung Semarang-Bawen	232
7.4	Hubungan sudut geseran dalam baki terhadap sudut geseran dalam jumlah dan berkesan syal lempung Hambalang	233
7.5	Hubungan antara nisbah penyepaian (D_R) dengan jelekitan syal lempung Semarang-Bawen akibat proses pengeringan	239

7.6	Hubungan antara nisbah penyepaian (D_R) dengan jelekitan syal lempung Hambalang akibat proses pengeringan	239
7.7	Hubungani antara nisbah penyepaian (D_R) dengan sudut geseran dalam syal lempung Semarang-Bawen akibat proses pengeringan	241
7.8	Hubungan antara nisbah penyepaian (D_R) dengan sudut geseran dalam syal lempung Hambalang akibat proses pengeringan	241
7.9	Hubungan antara nisbah penyepaian (D_R) dengan Jelekitan (c) syal lempung Semarang-Bawen akibat kitaran pembasahan pengeringan (pembasahan setiap 4 hari sekali)	244
7.10	Hubungan antara nisbah penyepaian (D_R) dengan Jelekitan (c) syal lempung Hambalang akibat kitaran pembasahan pengeringan (pembasahan setiap 4 hari sekali)	245
7.11	Hubungan antara nisbah penyepaian (D_R) dengan sudut geseran dalam (ϕ) syal lempung Semarang-Bawen akibat kitaran pembasahan pengeringan (pembasahan setiap 4 hari sekali)	245
7.12	Hubungan antara nisbah penyepaian (D_R) dengan sudut geseran dalam (ϕ) syal lempung Hambalang akibat kitaran pembasahan pengeringan (pembasahan setiap 4 hari sekali)	246
7.13	Hubungan antara nisbah penyepaian (D_R) dengan kitaran-kedua indeks ketahananlasakan, I_{SD2}	247
7.14	Hubungan antara kekuatan mampatan tak terukung (UCS) dengan indeks ketahananlasakan I_{DS2} pada syal lempung kelabu dan merah	247
7.15	Stratigafi lapisan cerun pada STA 19+250 jalan tol Semarang-Bawen	250
7.16	Variasi dari pada jelekitan baki (c_r) dan sudut geseran dalam baki (ϕ_r) pada bidang gelongsoran antara syal lempung dengan Breksia Tuf yang menyebabkan faktor keselamatan $SF=1.00$ dengan program Plaxis V.7	253
7.17	Sesaran jumlah dan distribusi tegasan pada kes gelongsoran cerun di jalan tol Semarang-Bawen STA 19+250 dengan program Plaxis V.7	254

7.18	Kaedah hirisan pada cerun dengan keruntuhan blok dengan paras air bumi terendah (LWL)	255
7.19	Kaedah hirisan pada cerun dengan keruntuhan blok dengan paras air bumi tertinggi (LWL)	255
7.20	Perbezaan variasi jelekitan baki dan sudut geseran dalam antara kaedah hirisan dan kaedah unsur terhingga untuk faktor keselamatan = 1.00	259
7.21	Keputusan kajian seluruh kekuatan ricih baki di makmal terhadap kekuatan ricih dari analisis balik gelongsoran cerun jalan tol Semarang-Bawen STA 19+250	265
7.22	Keputusan kajian sebahagian kekuatan ricih baki di makmal yang sesuai dengan kekuatan ricih dari analisis balik gelongsoran cerun jalan tol Semarang-Bawen STA 19+250	266

SENARAI SIMBOL

A_c	-	Luas dibawah lengkung taburan saiz bijian
A_T	-	Luas jumlah menyeluruh lengkungan taburan saiz bijian
c	-	Jeleket/ Jelekitan
c'	-	Jelekitan berkesan
CP	-	Tegasan keliling
c_r	-	Jelekitan baki
c_{rf}	-	Jelekitan baki dengan pelepasan tegasan
c_{rf}'	-	Jelekitan baki berkesan dengan pelepasan tegasan
c_{rft}	-	Jelekitan baki jumlah dengan pelepasan tegasan
c_{rp}	-	Jelekitan baki tanpa pelepasan tegasan
c_{rp}'	-	Jelekitan baki berkesan tanpa pelepasan tegasan
c_{rpt}	-	Jelekitan baki jumlah tanpa pelepasan tegasan
c_t	-	Jelekitan jumlah
c_u	-	Jelekitan tak tersalir
CU	-	Terukuh tak tersalir
D_R	-	Nisbah penyepaian
e	-	Nisbah lomping
ϕ	-	Jeleket/ Jelekitan
ϕ'	-	Jelekitan berkesan
ϕ_r	-	Jelekitan baki

- ϕ_{rf} - Jelekitan baki dengan pelepasan tegasan
- ϕ_{rf}' - Jelekitan baki berkesan dengan pelepasan tegasan
- ϕ_{rft} - Jelekitan baki jumlah dengan pelepasan tegasan
- ϕ_{rp} - Jelekitan baki tanpa pelepasan tegasan
- ϕ_{rp}' - Jelekitan baki berkesan tanpa pelepasan tegasan
- ϕ_{rpt} - Jelekitan baki jumlah tanpa pelepasan tegasan
- ϕ_t - Jelekitan jumlah
- θ - Sudut kekar tiori
- θ_r - Sudut kekar yag berlaku
- θ_r - Sudut kekar
- Gs - Graviti tentu
- GSD - Taburan saiz zarah
- LL - Had cecair
- PI - Indeks keplastikan
- PL - Had keplastikan
- R - Nisbah perantaraan
- SPT - Ujian penusukan piawai
- u - Tegasan air liang
- UU - Tak terkukuh tak tersalir
- V_{cd} - Kadar pengurangan kejelekitan akibat luluhawa pengeringan syal lempung tak tepu
- V_{cd}' - Kadar pengurangan kejelekitan berkesan akibat luluhawa pengeringan syal lempung tepu
- V_{cdt} - Kadar pengurangan kejelekitan jumlah akibat luluhawa pengeringan syal lempung tepu
- V_{crf} - Kadar pengurangan kejelekitan baki dengan pelepasan tegasan akibat luluhawa pengeringan syal lempung tak tepu
- V_{crf}' - Kadar pengurangan kejelekitan baki berkesan dengan pelepasan tegasan akibat luluhawa pengeringan syal lempung tepu

- V_{crft} - Kadar pengurangan kejelekitan baki jumlah dengan pelepasan tegasan akibat luluhawa pengeringan syal lempung tepu
- V_{crp} - Kadar pengurangan kejelekitan baki tanpa pelepasan tegasan akibat luluhawa pengeringan syal lempung tak tepu
- V_{crp}' - Kadar pengurangan kejelekitan baki berkesan tanpa pelepasan tegasan akibat luluhawa pengeringan syal lempung tepu
- V_{crpt} - Kadar pengurangan kejelekitan baki jumlah tanpa pelepasan tegasan akibat luluhawa pengeringan syal lempung tepu
- $V_{\phi d}$ - Kadar pengurangan sudut geseran dalam akibat luluhawa pengeringan syal empung tak tepu
- $V_{\phi d}'$ - Kadar pengurangan sudut geseran dalam berkesan akibat luluhawa pengeringan syal lempung tepu
- $V_{\phi dt}$ - Kadar pengurangan sudut geseran dalam jumlah akibat luluhawa pengeringan syal lempung tepu
- $V_{\phi rf}$ - Kadar pengurangan sudut geseran dalam baki dengan pelepasan tegasan akibat luluhawa pengeringan syal lempung tak tepu
- $V_{\phi rf}'$ - Kadar pengurangan sudut geseran dalam baki berkesan dengan pelepasan tegasan akibat luluhawa pengeringan syal lempung tepu
- $V_{\phi rft}$ - Kadar pengurangan sudut geseran dalam baki jumlah dengan pelepasan tegasan akibat luluhawa pengeringan syal lempung tepu
- $V_{\phi rp}$ - Kadar pengurangan sudut geseran dalam baki tanpa pelepasan tegasan akibat luluhawa pengeringan syal lempung tak tepu
- $V_{\phi rp}'$ - Kadar pengurangan sudut geseran dalam baki berkesan tanpa pelepasan tegasan akibat luluhawa pengeringan syal lempung tepu
- $V_{\phi rpt}$ - Kadar pengurangan sudut geseran dalam baki jumlah tanpa pelepasan tegasan akibat luluhawa pengeringan syal lempung tepu
- W_n - Kandungan air
- γ - Unit berat pukal
- γ_d - Unit berat kering
- γ_{sat} - Unit berat tepu
- ε - Terikan
- ε_h - Terikan sisi
- ε_v - Terikan tegak

- σ - Tegasan
- σ' - Tegasan berkesan
- σ'_1 - Tegasan utama berkesan
- σ'_3 - Tegasan kecil berkesan
- σ_n - Tegasan normal
- σ_n' - Tegasan normal berkesan
- τ - Kekuatan ricih
- τ_f - Kekuatan ricih pada bidang satah

SENARAI SINGKATAN

ASTM	- <i>American Standard for Testing Material</i>
BH	- <i>Bore Hole</i>
CBP	- <i>Contingous Bored Pile</i>
CC	- <i>Corpus Christi</i>
CD	- <i>Consolidated Drained</i>
CP	- <i>Confining Pressure</i>
CS	- <i>College Station</i>
CU	- <i>Consolidated Undrained</i>
DB	- <i>Depth Boring</i>
DI	- <i>Deionized</i>
D _{RS}	- <i>Durability Rating</i>
DT	- <i>Drying Time</i>
DP	- <i>Drying Process</i>
ESDM	- <i>Enegi Sumber Daya Mineral</i>
FEM	- <i>Finite Element Method</i>
FK	- <i>Faktor keselamatan</i>
GSD	- <i>Grained Size Distribution</i>
H	- <i>Hambalang (kod sampel)</i>
HB	- <i>Hari Bulan</i>
HBL	- <i>Hambalang</i>
HWL	- <i>High Water Level</i>
I _{SD2}	- <i>Indeks ketahananlasakan</i>
IKS	- <i>Ikeshima</i>
ISRM	- <i>International Society for Rocks Mechanics</i>
J _f	- <i>Joint Factor</i>
KM	- <i>Kilometer</i>

LEM	-	<i>Limit Equilibrium Method</i>
LEMIGAS	-	Lembaga Minyak dan Gas
LL	-	<i>Liquid Limit</i>
LWL	-	<i>Low Water level</i>
NWC	-	<i>Natural Water Content</i>
OM	-	Ombilin
OMC	-	<i>Optimum Moisture Content</i>
PC	-	<i>Personal Computer</i>
PI	-	<i>Plasticity Index</i>
PL	-	<i>Plastic Limit</i>
RDS	-	<i>Reversal Direct Shear</i>
RH	-	<i>Relative Humadity</i>
RS	-	<i>Ring Shear</i>
S	-	Semarang (kod sample)
SA	-	San Antonio
SC	-	Subang <i>Claystone</i>
SEM	-	<i>Scanning Electron Microscope</i>
SK	-	<i>Sand Kaolinite (mixture)</i>
SMG	-	Semarang
SPT	-	<i>Standard Penetration Test</i>
STA	-	Station
TE	-	Tanjung Enim
UCS	-	<i>Unconfined Compression Test</i>
UNDIP	-	Universitas Diponegoro
UU	-	<i>Unconsolidated Undrained</i>
V 7	-	<i>Version 7</i>
WD	-	<i>Wetting Drying</i>
XRD	-	<i>X-Ray Defraction</i>

SENARAI ISTILAH

Analisis balik	- <i>Back analysis</i>
Acuan teras	- <i>Core tube</i>
Acuan teras yang boleh berbelah	- <i>Split single core barrel</i>
Ampul	- <i>Swell</i>
Baki	- <i>Residual</i>
Batuan kelodak	- <i>Clay silt</i>
Batuan lempung	- <i>Claystone</i>
Berat tentu	- <i>Specific Gravity</i>
Bit penerasan	- <i>Coring bit</i>
Cerucuk terjara/ Cerucuk tergerak	<i>Bored Pile</i>
Faktor Kekar	- <i>Joint Factor (geologist)</i>
Had	- <i>Limit</i>
Has Atterberg	- <i>Atterberg Limit</i>
Had Cecair	- <i>Liquid limit</i>
Had Keseimbangan	- <i>Limit equilibrium</i>
Had Keplastikan	- <i>Plastic Limit</i>
Halaju ricih	- <i>Shear velocity</i>
Indeks keplastikan	- <i>Plasticity index</i>
Jeleket	- <i>Cohesive</i>
Jelekitan baki tanpa pelepasan tegasan	- <i>Residual cohesion with stress release</i>
Jelekitan baki tanpa pelepasan tegasan	- <i>Residual cohesion without stress release</i>
Jelekitan tak tersalir	- <i>Cohesion undrained</i>
Jelekitan dalam tanah	- <i>Cohesion in soil</i>
Jisim	- <i>Mass</i>

Juzuk	- <i>Constituent</i>
Kaedah	- <i>Method</i>
Kaedah had keseimbangan	- <i>Limit equilibrium method</i>
Kaedah unsur terhingga	- <i>Finite element method</i>
Kandungan air	- <i>Water content</i>
Kebolehubahan	- <i>Variability</i>
Kejeleketan tanah	- <i>Cohesion of soil</i>
Kekar	- <i>Joint (geologist)</i>
Kekuatan baki	- <i>Residual strength</i>
Kekuatan jeleket	- <i>Cohesive strength</i>
Kekuatan puncak	- <i>Peak strength</i>
Kekuatan ricih	- <i>Shear Strength</i>
Kekuatan ricih tak tersalir	- <i>Undrained shear strength</i>
Kelodak	- <i>Silt</i>
Ketahanlasakan	- <i>Durability</i>
Ketepuan	- <i>Saturation</i>
Ketumpatan kering	- <i>Dry density</i>
Ketumpatan pukal	- <i>Bulk density</i>
Kotak ricih	- <i>Shear box</i>
Lempung	- <i>Clay</i>
Lompang	- <i>Void</i>
Luluhawa	- <i>Weathering</i>
Menjeleket	- <i>Cohesive</i>
Mesin gerudi	- <i>Drilling machine</i>
Modulus ricih	- <i>Shear Modullus</i>
Nisbah	- <i>Ratio</i>
Nisbah lompang	- <i>Void ratio</i>
Nisbah penyepaian	- <i>Disintegration ratio</i>
Patah ricih	- <i>Shear Fracture</i>
Pekali	- <i>Coefficient</i>
Pembasahan	- <i>Wetting</i>
Pembelauan	- <i>Deffraction</i>
Penafaran ketahanan	- <i>Durability rating</i>

Pengampulan	- <i>Swelling</i>
Pengelasan	- <i>Classification</i>
Pengelasan ketahanan lasakan	- <i>Durability classification</i>
Pengeringan	- <i>Drying</i>
Penggerudian lubang dalam	- <i>Deep-hole drilling</i>
Pengimbasan mikroskop elektron	- <i>Scanning Electron Microscope</i>
Pengukuhan	- <i>Consolidation</i>
Penyelarasan	- <i>Coordination</i>
Penyepaian	- <i>Disintegration</i>
Penyiasatan tapak	- <i>Site investigation</i>
Pengaruh kekasaran	- <i>Roughness effects</i>
Perisian	- <i>Software</i>
Permukaan tentu	- <i>Specific surface</i>
Piawaian	- <i>Standard</i>
Purata	- <i>Average</i>
Ricih	- <i>Shear</i>
Sampel terganggu	- <i>Disturbed sample</i>
Sample tak terganggu	- <i>Undisturbed sample</i>
Satah ricih	- <i>Shear plane</i>
Sedutan	- <i>Suction</i>
Sekaitan	- <i>Correlation</i>
Sifar	- <i>Zero</i>
Sisih	- <i>Deviator</i>
Sisihan piawai	- <i>Standard deviator</i>
Sistem penerasan	- <i>Coring system</i>
Sistem penarafan ketahanan syal lempung	- <i>Clay shale durability rating system</i>
Sistem tahap berbilang	- <i>Multistage system</i>
Sudut geseran dalam	- <i>Internal angle friction</i>
Sudut geseran dalam baki dengan pelepasan tegasan	- <i>Residual internal angle friction with stress release</i>
Sudut geseran dalam baki dengan pelepasan tegasan	- <i>Residual internal angle friction without stress release</i>

Syal lempung	- <i>Clay shale, Argillaceous rock</i>
Taburan saiz zarah	- <i>Grained size distribution</i>
Tahap Berperingkat	- <i>Multistage</i>
Tak terkukuh tak tersalir	- <i>Unconsolidated undrained</i>
Tak tepu	- <i>Unsaturated</i>
Tanah jeleket	- <i>Cohesive soil</i>
Tanah tepu	- <i>Saturated Soil</i>
Tegasan air liang negatif	- <i>Negative pore water pressure</i>
Tegasan baki	- <i>Residual stress</i>
Tegasan berkesan	- <i>Effective stress</i>
Tegasan jeleket	- <i>Cohesive stress</i>
Tegasan jumlah	- <i>Total stress</i>
Tegasan puncak	- <i>Peak stress</i>
Tegasan ricih	- <i>Shear stress</i>
Tegasan sisih	- <i>Deviator stress</i>
Tekanan air liang	- <i>Pore water pressure</i>
Tepu	- <i>Saturated</i>
Terikan	- <i>Strain</i>
Terikan ricih	- <i>Shear strain</i>
Terkukuh	- <i>Consolidated</i>
Tindak air (Pemeroian)	- <i>Slaking</i>
Tong teras	- <i>Core barrel</i>
Ubah bentuk ricih	- <i>Shear deformation</i>
Ujian ekapaksi	- <i>Uniaxial test</i>
Ujian lubang galian	- <i>Test Pit</i>
Ujian mampatan tak terkurung	- <i>Unconfined Compression Test</i>
Ujian Penusukan Piawai	- <i>Standard Penetration Test</i>
Ujian perbalikan ricih langsung	- <i>Reversal direct shear test</i>
Ujian ricih gelang	- <i>Ring shear test</i>
Ujian ricih kotak langsung	- <i>Direct shear box test</i>
Ujian ricih langsung	- <i>Direct shear test</i>
Ujian tak terkukuh tak tersalir	- <i>Unconsolidated undrained test</i>
Ujian terkukuh tak tersalir	- <i>Consolidated undrained test</i>

Ujian paksi tiga	- <i>Triaxial test</i>
Unit berat tanah	- <i>Unit weight of soil</i>
Unit berat kering	- <i>Dry unit weight</i>
Unit berat pukal	- <i>Bulk Density</i>
Unit berat tepu	- <i>Saturated unit weight</i>
Unsur terhingga	- <i>Finite element</i>

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A	Gambar peralatan makmal dan pengambilan sampel pada tapak	291
B	Jadual kekuatan ricih jumlah dan kekuatan ricih baki syal lempung Semarang Bawen dan Hambalang	294
C	Perilaku dan Kinerja Kuat Geser Clay Shale Semarang Bawen Pada Perencanaan Stabilitas Lereng	297
D	Degradasi Kuat Geser dan Disintegrasi Clay Shale Akibat Proses Pelapukan Pada Stabilitas Lereng	298
E	Shear Strength Degradation of Semarang Bawen Clay Shale Due To Wethearing Process	307
F	Instability a High Cit Slope of Volacanic Breccia Laid on Clay Shale at KM. 31+875 in Centtral Java, Indonesia	317
G	Effect of Weathering on Disintegration and Shear Shear Strength Reduction of Clay Shale	327

BAB 1

PENDAHULUAN

Syal adalah batuan elastik sedimen halus yang terdiri daripada campuran lumpur yang mempunyai kepingan mineral lempung dan serpihan kecil (kelodak bersaiz zarah) mineral lain, terutamanya Kuarza dan Kalsit. Nisbah lempung terhadap mineral lain adalah berbeza (Blatt dan Robaert,1996). Syal mempunyai ciri-ciri berupa patahan memanjang berbentuk lamina nipis atau lapisan berlapis berketebalan kurang daripada 1 cm yang dipanggil '*fissility*' (Blatt dan Robaert, 1996). Ciri '*fissility*' ini tidak terdapat pada batu lumpur lain yang berkomposisi sama. Sepertiga hingga dua pertiga kandungan batu lumpur adalah zarah kelodak berukuran lebih kecil daripada 0.06 mm. Sedangkan kurang daripada sepertiga kandungan batu lempung adalah zarah kelodak. Batuan dengan saiz zarah yang sama tetapi dengan sedikit lempung atau lebih dua pertiga kandungan zarah kelodak disebut sebagai batu kelodak.

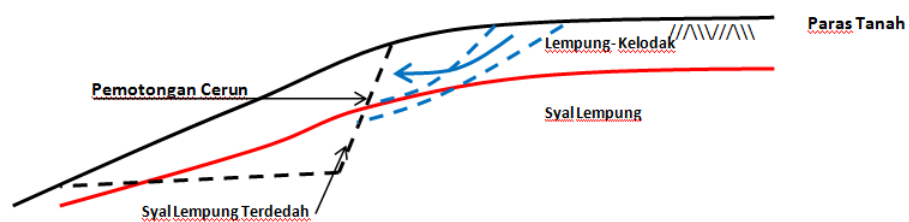
Kelakuan kejuruteraan utama syal lempung amat sukar difahami kerana ia akan menjadi lempung lembut (lumpur) apabila terdedah kepada sinaran cahaya matahari, udara dan air dalam masa yang agak singkat. Walau bagaimanapun lapisan syal lempung yang dilindungi dengan lapisan tanah yang cukup tebal mempunyai kekuatan ricih sangat baik. Perubahan sifat syal lempung yang masih belum difahami ini telah mendorong penyelidikan dilakukan ke atas syal lempung yang sukar terdedah mengalami proses luluhawa dan penurunan kekuatan melalui kerja galian.

1.1 Latar Belakang Kajian

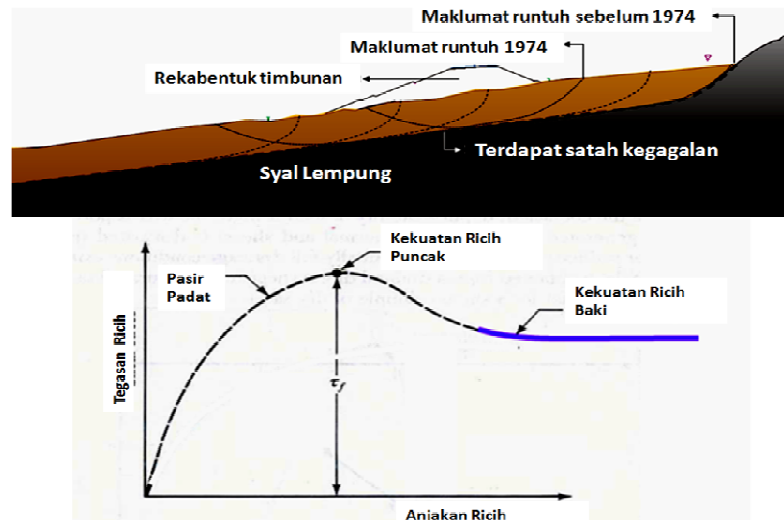
Beberapa kes kerosakan infrastruktur bangunan akibat kegagalan cerun di Indonesia berpunca daripada kelemahan struktur tanah syal lempungnya. Kegagalan cerun progresif telah dikenalpasti dalam kejadian tanah runtuh seperti di Jalan Tol Cipulang (Irsyam *et al.*, 2007), Pusat Pendidikan Sukan Hambalang Sentul Bogor (Alatas, 2010) dan Jalan Tol Unggaran-Bawen, Jawa Tengah (Himawan, 2011). Kajian terperinci yang kurang terhadap kes-kes tanah runtuh sebegini telah menyebabkan para jurutera membuat kesilapan dalam rancangan pembinaan struktur bangunan.

Penyebab tanah runtuh pada Rajah 1.1 dan Rajah 1.2 dapat menggambarkan latar belakang permasalahan kajian ini sebagai berikut:

- (1) Kelemahan perancangan kestabilan cerun di tanah syal lempung yang menyebabkan tanah runtuh adalah berpunca daripada kesilapan dalam penentuan parameter kekuatan ricih.
- (2) Proses luluhawa syal lempung bergantung kepada mineral utama dalam syal lempung, dan bagaimana proses luluhawa itu berlaku.
- (3) Semakin lama tanah syal lempung terdedah kepada udara, cahaya matahari dan pembasahan akibat hujan sehingga berlaku proses luluhawa, maka semakin rendah nilai nisbah penyepaian (D_R). Manakala semakin lama proses pengeringan dan pembasahan dilakukan, maka D_R semakin kecil.
- (4) Sebelum ini, perancangan kestabilan cerun di lokasi yang pernah mengalami tanah runtuh tidak dapat dibuat berdasarkan ujian makmal mekanik tanah yang piawai.



Rajah 1.1 Kegagalan cerun apabila permukaan syal lempung terdedah setelah dilakukan pemotongan cerun (Alatas, 2012)



Rajah 1.2 Tanah runtuh terjadi apabila satah kegagalan telah terbentuk pada masa lalu (Irsyam *et al.*, 2011)

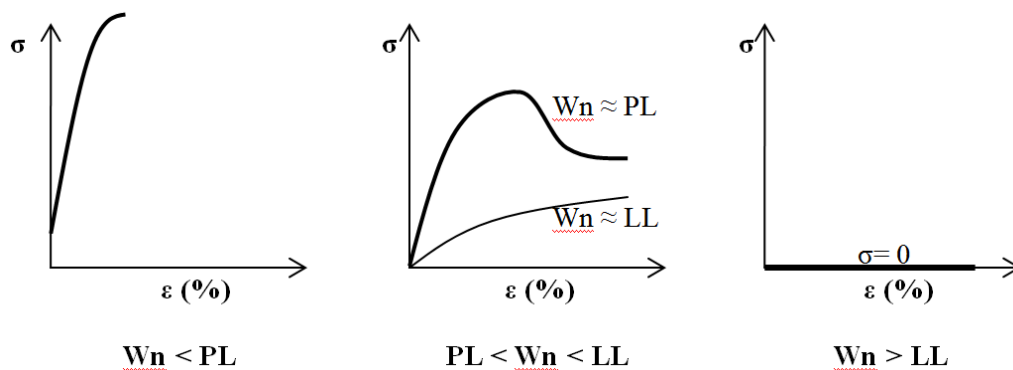
Syal lempung sering dijumpai dalam struktur tanah di Indonesia khususnya di Jawa Barat, Jawa Tengah dan daerah lain di Indonesia. Tanah jenis ini memiliki kekuatan ricih yang tinggi pada kedalaman tertentu walaupun dibebani oleh lapisan tanggungan atas. Namun, kekuatan ricihnya akan cepat menurun apabila ia terdedah kepada atmosfera atau hidrosfera.

Perilaku kekuatan ricih tanah didapati menurun secara drastik apabila tanah tersebut terganggu, terluluhawa (Gartung, 1986), dan kehilangan kekuatan (Irsyam *et al.*, 2011). Jika diuji di makmal, parameter kekuatan ricihnya berubah dengan ketara bila dibandingkan dengan keadaan asalnya di dalam tanah. Ini sangat berbeza dengan jenis lempung yang lain di mana pengeringan dan pembasahan tanah tidak memberikan kesan penurunan kekuatan ricih yang ketara.

1.2 Pernyataan Masalah

Perubahan bentuk fizikal syal lempung sangat berbeza dengan lempung yang lain terutama terhadap pengaruh pengeringan dan pembasahan. Jika berlaku penurunan kandungan air akibat proses pengeringan, lempung biasanya akan

menunjukkan perubahan fizikal yang lebih kukuh (Holtz dan Wesley, 1981). kerana kekuatan ricih lempung tersebut meningkat seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.3.



Rajah 1.3 Pengaruh kandungan air (w_n) pada lempung terhadap perubahan tegasan dan terikan lempung (Holtz dan Wesley, 1981)

Sebaliknya, apabila proses pengeringan ataupun pengeringan dan pembasahan berlaku, maka syal lempung menjadi lebih lemah. Ini berlaku kerana proses luluhawa melalui pengeringan dan pembasahan telah menyebabkan penurunan kekuatan ricih syal lempung. Dalam Rajah 1.4 di bawah, perubahan bentuk fizikal syal lempung yang melalui proses pengeringan dan pembasahan dilihat semakin terluluhawa dan kekuatan ricihnya semakin berkurang.



Rajah 1.4 Perubahan bentuk fizikal syal lempung dari masa ke masa (Irsyam *et al.*, 2011)

Kebanyakan kajian syal lempung yang lalu yang dibincangkan dalam Bab 2 menggunakan sampel tidak terganggu dan terganggu untuk mendapatkan kekuatan

ricih pada tegasan puncak dan tegasan baki. Sampel-sampel tersebut diuji melalui ujian ricih gelang (sampel terganggu) dan ujian ricih kotak (sampel tidak terganggu) tanpa mengkaji pengaruh luluhawa. Oleh itu, dalam kajian ini pengaruh proses luluhawa syal lempung dikaji lebih mendalam untuk mengetahui perubahan sifat-sifat indeks, fizikal dan mekanikal syal lempung melalui data utama ujian di makmal. Sehingga kini belum ada kajian seumpama ini boleh dijadikan rujukan untuk perancangan kestabilan cerun yang mengambil kira proses perubahan kekuatan ricih akibat luluhawa, pelepasan tegasan dan proses cerun runtuh progresif.

Sehubungan itu, kajian yang dilakukan untuk mendapatkan sifat-sifat syal lempung secara holistik ini menggunakan hipotesis bahawa rekabentuk terdahulu telah menggunakan kaedah normal atas sifat-sifat lempung syal. Oleh itu, melalui kajian ini parameter syal lempung dapat dilihat secara terperinci. Parameter-parameter yang diperolehi melalui kaedah yang telah dirumuskan secara khusus dapat memberikan nilai sebenar untuk rekabentuk cerun pada masa akan datang. Ini diharapkan agar dapat mengatasi masalah jurutera dalam rekabentuk cerun yang dipengaruhi oleh syal lempung.

1.3 Matlamat dan Objektif Kajian

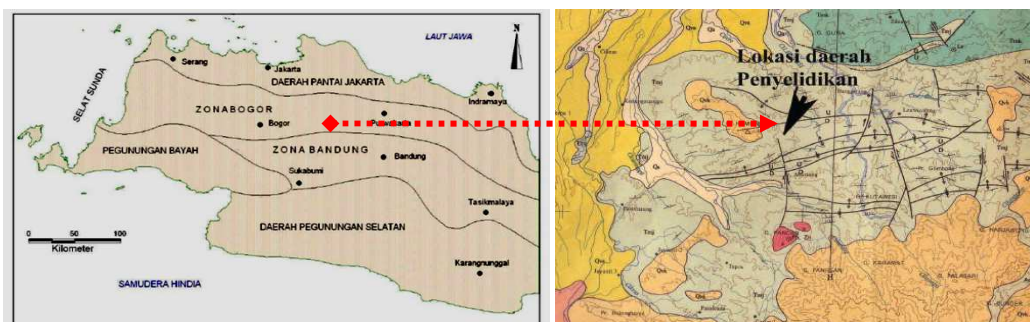
Kajian ini dijalankan dengan matlamat untuk mengkaji kesan luluhawa terhadap penentuan parameter kekuatan ricih yang tepat bagi perancangan kestabilan cerun yang mempunyai tanah syal lempung di Pulau Jawa. Matlamat kajian dicapai melalui lima objektif berikut:

- (1) Menentukan pengaruh luluhawa dari proses pengeringan dan kitaran pembasahan dan pengeringan terhadap sifat indeks dan sifat fizikal serta kelakuan syal lempung.
- (2) Menentukan penurunan kekuatan ricih pada tegasan puncak hingga kekuatan ricih baki pada tegasan baki syal lempung tak tepu dan tepu akibat proses luluhawa di makmal.

- (3) Membangunkan kaedah ujian kekuatan ricih yang lebih tepat dalam keperluan kestabilan cerun yang ada syal lempung.
- (4) Menilai kaedah yang pasti dalam penggunaan kekuatan ricih bagi permasalahan kestabilan cerun tanah syal lempung pada masa hadapan.
- (5) Mengesyorkan kaedah ujian kekuatan ricih yang sesuai bagi keperluan perancangan rekabentuk kestabilan cerun yang mempunyai binaan infrastruktur.

1.4 Skop Kajian

Skop kajian ini akan dilakukan pada sampel tanah syal lempung dari dua lokasi yang berbeza iaitu di Hambalang Sentul Jawa Barat seperti dalam Rajah 1.5 dan pada lokasi jalan tol Semarang Ungaran-Bawen, Jawa Tengah seperti dalam Rajah 1.6. Manakala penyelesaian masalah tanah runtuh yang berlaku pada pinggir Jalan Tol Semarang Ungaran-Bawen pada STA 19+250 diambil sebagai kajian kes. Analisis yang diguna dihadkan kepada kaedah keseimbangan had (*limit equilibrium method*) dengan kaedah unsur terhingga (*finite element method*) dan menggunakan perisian *Plaxis V.7*.



Rajah 1.5 Lokasi Pusat Pendidikan Sukan Hambalang, Sentul, Jawa Barat (Geoinves, 2010)



Rajah 1.6 Kegagalan cerun syal lempung di projek jalan Tol Semarang Ungaran Bawen seksyen STA 19+250 (Himawan, 2011)

Untuk mencapai objektif (1), perubahan parameter sifat-sifat indeks dan fizikal syal lempung akibat proses luluhawa diambil dari beberapa lokasi tanah runtuh. Ujian sifat-sifat tersebut dilakukan dengan pemerhatian pada setiap sela masa tertentu untuk mengetahui proses luluhawa. Pada sela masa tersebut, proses pengeringan serta kitaran pembasahan dan pengeringan sampel syal lempung dilakukan di samping ujian perubahan sifat indeks syal lempung seperti perubahan kandungan air (w_n), perubahan berat unit (γ) dan nisbah lompong (e). Perubahan pengampulan syal lempung tak terganggu diamati semasa proses kitaran pembasahan dan pengeringan hingga masa hancurnya sampel akibat luluhawa. Perubahan sifat fizikal syal lempung akibat pengeringan serta kitaran pembasahan dan pengeringan dilakukan seperti perubahan nisbah penyepaian (D_R) yang diperoleh daripada taburan saiz zarah (GSD) akibat luluhawa.

Kemudian, dalam objektif (2) penurunan parameter kekuatan ricih dari beberapa syal lempung akibat proses luluhawa diambil dari beberapa lokasi tanah runtuh. Ujian kekuatan ricih dilakukan dengan pemerhatian pada setiap sela masa tertentu untuk mengetahui proses luluhawa. Pada sela masa tersebut, proses pengeringan serta kitaran pembasahan dan pengeringan dilakukan. Semasa proses pengeringan sampel syal lempung dijalankan ujian paksi tiga tak terkukuh tak bersalir (*Triaxial UU Test*) dilakukan dalam keadaan sampel tanah tak tepu dan tepu. Namun, semasa proses pembasahan dan pengeringan dijalankan, ujian paksi tiga itu dilakukan pada sampel tak tepu sahaja. Ini dilakukan untuk mengetahui

kesan daripada dua proses luluhawa itu terhadap penurunan parameter kekuatan ricih syal lempung. Ujian kekuatan ricih sisa dilakukan melalui ujian paksi tiga setelah kekuatan puncaknya dilampaui secara berperingkat (*multi stage system*) dengan keadaan sampel tanah juga tak tepu dan tepu).

Kemudian dalam objektif (3), parameter kekuatan ricih baki di makmal yang diperolehi dari ujian paksi tiga dilakukan dengan dua langkah. Dalam langkah pertama, tegasan puncak berlaku pada keadaan *steady state* dengan meningkatkan tegasan keliling secara berperingkat. Pada keadaan ini kekuatan ricih baki tanpa pelepasan tegasan dapat diperolehi. Seterusnya, semua tegasan keliling dihapuskan dan ujian dilanjutkan lagi dengan memberikan tegasan keliling secara berperingkat. Pada peringkat ini diperolehi kekuatan ricih baki dengan pelepasan tegasan.

Manakala untuk objektif (4), parameter kekuatan ricih baki syal lempung di makmal akan dibandingkan dengan parameter kekuatan ricih yang berlaku pada lokasi kegagalan cerun dengan menggunakan kaedah analisis balik. Akhirnya, melalui objektif (5) cara mendapatkan parameter kekuatan ricih dari syal lempung yang lebih tepat akan ditentukan untuk tujuan perancangan pengukuhan kestabilan cerun syal lempung yang pernah mengalami tanah runtuh sebelumnya.

1.5 Kepentingan Kajian

Kajian berkaitan kelakuan dan prestasi syal lempung dilihat semakin berkembang. Jika dahulu beberapa ujian kekuatan ricih pada keadaan puncak dan baki telah dibincangkan dengan mendalam seperti ujian ricih langsung (Gartung, 1986) dan (Tien *et al.*, 1987), ujian ricih gelang (Timothy dan Hisyam, 1992; Mesri dan Shahien, 2004), maupun ujian paksi tiga (David dan Timothy, 1990; Mark, 2007). Namun kini lebih banyak kajian sifat-sifat syal lempung telah dilakukan seperti hubungannya dengan pemampatan syal lempung (Bryson *et al.*, 2011), hubungan dengan indeks pengampulan (Powell *et al.*, 2013), serta hubungannya dengan mineralogi (Bryson dan Gutierrez, 2014), dan kelakuan beban berulang untuk pekerjaan jalan (Rodgers *et al.*, 2014).

Daripada perkembangan tersebut, didapati kajian makmal masa kini belum ada yang membuat kajian serta penilaian tentang menurunnya kekuatan ricih syal lempung akibat luluhawa hari demi hari melalui proses pengeringan serta kitaran pembasahan dan pengeringan melalui ujian paksi tiga tak terkukuh tak tersalir dalam keadaan tak tepu dan tepu. Adalah diharapkan dengan ujian paksi tiga yang dilakukan mengikut sistem berperingkat, kekuatan ricih baki syal lempung yang diuji dapat ditentukan. Pada akhir kajian ini, cadangan kaedah ujian makmal pada tanah syal lempung yang mengambil kira aspek luluhawa dapat disediakan untuk kes-kes kegagalan cerun di mana-mana tempat. Malahan parameter kekuatan ricih syal lempung berdasarkan hasil ujian makmal yang lengkap juga dapat disarankan untuk perancangan cerun di mana-mana Indonesia. Ini seterusnya dapat digunakan dalam kajian mengatasi masalah tanah runtuh tanah syal lempung pada masa hadapan di Indonesia.

1.6 Susun Atur Tesis

Bab 1 adalah pendahuluan yang meliputi perbincangan tentang latar belakang, pernyataan masalah, matlamat dan objektif kajian, skop kajian dan kepentingan kajian.

Seterusnya, Bab 2 membincangkan kajian literatur berkaitan syal lempung dari segi mineralogi, kimia, ciri-ciri kekuatan ricih serta pengaruh luluhawa terhadap penurunan kekuatan ricihnya. Analisis kestabilan cerun dua dimensi turut dibincangkan dalam bab ini.

Dalam Bab 3, metodologi kajian dibincangkan dengan memuatkan carta alir kajian dan penjelasan tentang kaedah ujian makmal yang akan dilakukan. Manakala hasil awal ujian lapangan, ujian makmal mekanik tanah dan ujian makmal kimia, ujian pengimbasan mikroskop elektron (SEM) serta mineral dibincangkan dalam Bab 4.

Dalam Bab 5, hasil ujian sifat-sifat indeks dan fizikal syal lempung dibincangkan. Manakala Bab 6 pula membincangkan hasil kekuatan ricih dari syal lempung terhadap proses luluhawa akibat pengeringan serta kitaran pengeringan dan pembasahan. Kekuatan ricih yang dihasilkan ialah pada keadaan tegasan puncak dan tegasan baki, dan pada keadaan syal lempung tak tepu dan tepu.

Kemudian Bab 7, membincangkan kaitan antara beberapa parameter syal lempung akibat proses semasa luluhawa, pengaruh nisbah penyepaian (D_R) terhadap perubahan kekuatan ricih syal lempung juga turut dibincangkan. Analisis balik pada gelongsoran cerun menggunakan program Plaxis dan kaedah hirisan turut dinilai. Parameter kekuatan ricih baki syal lempung bagi perancangan kestabilan cerun juga dicadangkan dalam Bab ini untuk kes cerun yang belum pernah berlaku gelongsoran. Tesis ini diakhiri dengan Bab 8 untuk kesimpulan dan cadangan kajian lanjut.

RUJUKAN

- Abdullah, A. S. (2004). Geotechnical properties of expansive clay shale in Tabuk, Saudi Arabia. *Journal of Asian Earth Sciences* 25 (2005) 747–757.
- Abdulmohsin, W. D. (1992). Soil Suction - Potential Model. *Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 118, No. 4, April, 1992.*
- Abdulmohsin, W. D. (1990). Field Performance of Expansive Shale Formation. *JKAU: Eng. Sci.. Vol. 2, pp. 165-182.*
- Aghamelu, O. P., Nnabo, P. N. and Ezeh, H. N. (2011). Geotechnical and environmental problems related to shales in the Abakaliki area, Southeastern Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology Vol. 5(2), pp. 80-88, February, 2011.*
- Ajmera, B., Tiwari, B. and Shrestha, D. (2012). Effect of Mineral Composition and Shearing Rates on the Undrained Shear Strength of Expansive Clays *GeoCongress 2012 © ASCE 2012*
- Akai K., Kamon M., Ohya M., Kitamoto, (1984). On The Strength Characteristics Of The Saturated Heavily Weathered Decomposed Granite. Paper presented at Proceeding of 6th National Symposium on Rock Mechanics, 55-60.
- Alatas I. M. (2010). Soil Investigation Report : Pusdiklat Dan Sekolah Olah Raga Nasional, Hambalang, Sentul, Jawa Barat. In *Final Report Soil Investigation*. Jakarta: Geoinves Soil Mechanics Laboratory, Jakarta.
- Alatas, I. M. (2012). Geotechnical Engineering Aspect in Infrastructure Building on Difficulties soil. *C-Line Journal, Civil Eng Departement of ISTN.*
- Alatas, I. M. and Wawan, K. (2016). Shrink and Swell Behaviour of Clay Shale Under Variation of Surcharge Load on Daihatsu Motor Assembly Plant Factory in Surya Cipa Industrial Estate, West Java, Indonesia, March 2016. In *Technical Report: Nippo Corp Japan - Kadii Joint Operation.*
- Alekhya K.K (2013). 2D and 3D Back Analysis of the Forest City Landslide (South Dakota), Iowa State University.

- Alonso, E. E. and Pineda, J. A. (2008). Weathering and degradation of shales: experimental observations and models of degradation. In *Department of Geotechnical Engineering and Geosciences Technical University of Catalonia, Barcelona, Spain*.
- Anderson, W. F. (1974). The Use Of Multi-Stage Triaxial Tests To Find The Undrained Strength parameters of Stony Boulder Clay. Paper presented at Institution of Civil Engineers, Proceedings.
- Antonio, B. and Helbert, H. E. (2008). Deep Tunnels in Clay Shales: Evaluation of Key Properties for Short and Long Term Support. *GeoCongress 2008*.
- ASTM D 422-72 (1989). Standard Method for Particle-Size Analysis of Soils. *Annual Book for ASTM Standard*.
- ASTM D 653-88 (1989). Standard Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids. In *Annual Book of ASTM Standard*.
- ASTM D 854-83 (1989). Test Method for Specific Gravity of Soils. In *Annual Book of ASTM Standard*.
- ASTM D 2216-80 (1989). Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil, Rock, and Soil-Aggregate Mixtures. In *Annual Book of ASTM Standard*.
- ASTM D 2850-87 (1989). Test Method for Unconsolidated Undrained Compressive Strength of Cohesive Soils in Triaxial Compression. In *Annual Book of ASTM Standard*.
- ASTM D 4318-84 (1989). Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. In *Annual Book of ASTM Standard*.
- Balazs, C. and Akos, D. (2013), Development of Automatic Control of Multistage Triaxial Test at The University of Miskolc, Geosciences and Engineering, Vol. 2, No. 3 (2013), pp. 37–43.
- Barton, N. (1973). Review of a new shear strength criterion for rock joints, *Eng. Geol.* 7: 287 - 332.
- Barton, N (2014). Shear strength of rock, rock joint and rockmasses – Problems and some solutions. Paper presented at Rock Engineering and Rock Mechanics: Structures in and on Rock Masses, at London.

- Bayin, A., Iyisan, R., Hatipoglu M., Cevikbilen, G. and Isik, A. (2013). The effect of testing method on residual shear strength of cohesive soil. Paper presented at 2nd. International Balkan Conference on Challenges of Civil Engineering, BCCCE., 23-25 May 2013, at Tirana, Albania.
- Binod, T., Thomas, L. B., Hideaki, M. and Gyanu, R. T. (2005). Comparison of Residual Shear Strengths from Back Analysis and Ring Shear Tests on Undisturbed and Remolded Specimens. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 131, No. 9, September 1, 2005.
- Bishop, A.W. (1966). The Strength of Soil as Engineering Materials. *Geotechnique*, Vol 16, No. 2.
- Blatt, H. and Robaert, J. T. (1996). *Igneous, Sedimentary and Metamorphic*, 2nd edition, Freeman, pp. 281–292
- Bless, S. J. and Ahren, T. J. (1977). Measurements of The Longitudinal Modulus of Pierre Clay Shale At Varying Strain Rates. *Geophysics*, Vol.42, No.1 (February 1979), pp.34-40.
- Brandon, T. L. (2013). Advances in Shear Strength Measurement, Assessment, and Use for Slope Stability Analysis. *Geo-Congress 2013* © ASCE 2013.
- Briaud, J. L., Zhang, X. and Moon, S. (2003). Shrink Test-Water Content Method for Shrink and Swell Predictions. *Journal of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering*, Vol.129 No.7, July 1, 2003 : 590-600.
- Bryson, L. S. and Gutierrez, I. C. G. (2014). Influence of Mineralogy on the Index Properties and Durability of Crushed Shales 288 *Shale Energy Engineering 2014* ©ASCE 2014.
- Bryson, L. S., Gomez, G. and Hopkins T. C. (2011). Correlation between Durability and Geotechnical Properties of Compacted Shales. *Geo-Frontiers 2011* © ASCE 2011.
- Byerlee, J. (1978). Friction of rocks, *Pure and Applied Geophysics*, American Geophysical Union.
- Cheang, W. (2013). *Initial Stress and Phy-C Reduction Analysis*. Bandung-Indonesia, 9-11 December 2013.
- Chen, F. H. (1988). *Foundation on Expansive Soil*, 2nd Edition, Elsevier, New York.
- Coutinho, R. Q., Neto, B. S., Costa F. Q. (1999). Design Strength Parameters of a Slope on Unsaturated Gneissic Residual Soil

- Craig, R. F. (1987). *Soil Mechanics*: Van Nostrand Reinhold (UK). pp (324-326).
- Das, B. M. (2006). *Principle of Geotechnical Engineering, 7th Edition*. pp (365-373).
- David, N. R. and Timothy, T. W. (1990). Shale Durability Ratio Sistem Based on Loss of Shear Strength. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vo. 116, No 12, December, 1990.
- Dewoolkar, M. M. and Robert, J. H. (2005). Drained residual shear strength of some claystones from Front Range, Colorado. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 131 (12), 1543-1551.
- Duncan, J. M. and Timothy, D. S. (1992). Soil Strength from back analysis of slope failure. *Stability and performance of slopes and embankments II Proceedings , Berkeley CA*.
- Effendi, A. C. (1974). Peta Geologi Lembar Bogor, Jawa Bandung, Indonesia: Direktorat Geologi Bandung.
- Emberhardt, E., Thuro, K. and Luginbueh M. (2004). Slope Instability Mechanisms in dipping interbedded conglomerates and weathered marls- The 99 Ruffi landslide Switzerland. *Elsevier*.
- Engin, C. K. and Santi, P. M. (1999). Predicting the unconfined compressive strength of the Breathitt shale using slake durability, Shore hardness and rock structural properties. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 36 (1999) 139±153.
- Erguler, Z. A. and Shakoor, A. (2009). Quantification of Fragment Size Distribution of Clay-Bearing Rocks after Slake Durability Testing. *Environmental & Engineering Geoscience, Vol. XV, No. 2, May 2009, pp. 81-89*.
- Fauziah, A. and Syukri (2006). Characterization and Geotechnical Properties of Penang Residual Soils with Emphasis on Landslides. *American Journal of Enviromental Sciences, Vo.2 (4): 121-128, 2006*.
- Fityus, S. G., Smith, D. W. and Allman, M. A. (2004). Expansive Soil Test Site Near Newcastle. *Jornal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering © ASCE / JULY 2004*.
- Gan, J. K. M., Fredlund, D. G. and Raharjo, H. (1988). Determination of the shear strength parameters of an unsaturated soil using the direct shear test. *Canadian Geotechnical Journal* 500-510 (1988).

- Gan, K. J. and Fredlund, D. G. (1988). Multistage direct shear testing of unsaturated soils. *Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 11, No. , June 1988, pp. 132-138.*
- Gartung, E. (1986). Excavation of The Hard Clays of The Keuper Formation. *Proceeding of Symposium Geotechnical Engineering Divission, Seattle, Washington.*
- Gartung E. and Han, G. R. (2009). Toolkit Landfill Technology ; Priciples of Bottom Barrier System. *Technical Committee Landfill Technology.*
- Geoinves (2010). Laporan Pendugaan Geolistrik Tahanan Jenis Pada Area Diklat Olahraga Nasional, Sentul, Kabupaten Bogor, Propinsi Jawa Barat. In *Final Report Soil Resistivity by Geolistrik 1 D.*
- Geoinves (2014). Laboratory and Field Soil Test Equitment. In *Company Profile PD. Laboratorium Teknik Sipil Geoinves.*
- Goh, S. G., Rahardjo, H. and Leong, E. C. (2010). Shear Strength Equations for Unsaturated Soil under Drying and Wetting. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 136, No. 4, April 1, 2010.*
- Goh, S. G., Rahardjo, H. and Leong, E. C, (2014). Shear Strength of Unsaturated Soils under Multiple Drying-Wetting Cycles. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*
- Goodman, R. E. (1989). *Intoduction to Rock Mechanics, Second Edition.* Canada: John Wiley & Sons.
- Gorok, P. and Torok, A. (2007). Slope stability assessment of weathered clay by using field data and computer modelling: a case study from Budapest. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 7, 417–422, 2007.*
- Gow, T. L. (2012). Analisa Stabilitas Lereng Limit Equilibrium VS Finite Element Method. *Proceeding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) HATTI - XVI, Jakarta. 2012*
- Gu, X. F., Seidel, J. P. and Haberfield C. M. (2003). Direct Shear Test of Sandstone-Concrete Joints. *Int. J. Geomech., 2003, 3(1): 21-33.*
- Gullic, R. C. (1970). Multi-Stage Shear Testing of a Cohesionless Soil, University of Missouri, olla, Rolla Missouri.
- Gutierrez, G. I. C., Bryson L. S. and Hopkins T. C. (2011). Correlations between Geotechnical Properties and the Swell Behavior of Compacted Shales. *Geo-Frontiers 2011 © ASCE 2011.*

- Hale, P. A. and Shakoor, A. (2003). A Laboratory Investigation of the Effects of Cyclic Heating and Cooling, Wetting and Drying, and Freezing and Thawing on the Compressive Strength of Selected Sandstones. *Environmental & Engineering Geoscience, Vol. IX, No. 2, May 2003, pp. 117–130.*
- Hatami, K., Esmaili D., Chan E. C. and Miller G. A. (2016). Moisture Reduction Factors for Shear Strength of Unsaturated Reinforced Embankments *International Journal of Geomechanics*, © ASCE, ISSN 1532-3641.
- Himawan, A. (2011). Kajian Geoteknik Dan Usulan Teknis Kemiringan Lereng Galian Man Road STA 22+375 - 22+840 Dan Sekitar Interchange Bawen. In *Technical Report WIJAYA KARYA PT.*
- Himawan, A. (2013). Alternatif Mitigasi Kelongsoran dan Perkuatan Lereng Galian Tower SUTT STA 19+255 Pembangunan Jalan Tol Semarang - Solo Tahap I Ruas Ungaran - Bawen Paket V Tinalun - Lemah Ireng STA 18+000 - 21+825 In *Technical Report LAPI ITB PT.*
- Ho, D. Y. F. and Fredlund, D. G. (1982). A Multistage Triaxial Test For Unsaturated Soil. *Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol.5 No.1/2, March/June 1982, pp 18-25.*
- Holtz and Wesley, G. (1983). Compaction and Related Properties of Retorted Oil Shale, *Journal of Geotechnical Engineering.*
- Hormdee, D., Kaekeerati, N. and Angsuwotai, P. (2012). Evaluation on The Results of Multistage Shear Test. *Int. J. Of GEOMATE, March 2012, Vol.2, No.1, (SI No.3), PP.140-143.*
- Horsrud, P. (2001). Estimating Mechanical Properties of Shale From Empirical Correlations. *Society of Petroleum Engineers.*
- Indrawan, I. G. B., Rahardjo, H. and Leong, E. C. (2006). Effects of Coarse-Grained Materials on Properties of Residual Soil. *Journal of Engineering Geology 82, 154-164.*
- Irsyam, M., Denny, T., Imam, D. S., Suyud, R. K. and Abdul, H. T. (1999). Solving Landslide Problem in Shale Cut Slope in The Construction of The Valve Chamber of The TULIS Hydro Electric Power Power. *Proceeding of the '99 Japan Korean Joint Symposium on Rock Mechanics.*

- Irsyam, M., Endra, S. and Himawan, A. (2007). Slope Failure of an Embankment on Clay Shale KM 97+500 Of The Ciparang Toll Road and The Selected Solution : A Case Of Slope Failure Due To Strength Degradation Of Clay Shale. *Proceeding of The Geotechnical International Symposium in Bangkok 6-7 Decemebr 2007*.
- Irsyam, M., Jataputra, A. A., Himawan, A. and Kartawiria, A. (2011). Kasus-Kasus Kelongsoran Pada Tanah Clay Shale dan Alternatif Penanggulangannya. *Proceeding of the 9th Indonesian Society for Geotechnical Engineers Conference and 15th Yearly Scientific Meeting, Jakarta .December 2011*.
- ISRM (2007). The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods: International Society for RockMechanics (ISRM), . Ankara, Turkey.
- Jade, S. and Sitharam, T. G. (2003). Characterization of Strength and Deformation of Jointed Rock Mass Based on Statistical Analysis. *Int. J. Geomech.*, 2003, 3(1): 43-54
- Jaeger, R. C. (1971). Friction of rocks and the stability of rock slopes-Rankine Lecture. *Geotechnique 21* : 97-134.
- Kainthola, A. (2013). A review Numerical of slope stability analysis. *International Journal of Sciences , Engineering and Technology Reseach (IJSETR) Volume 2, No. 6, June 2013*.
- Kamon, M. (1987). Geotechnical Properties and Weathering Joints of Decomposed Granite. Paper presented at Proceeding of 8th ARCSMFE, Vol. 1, 181-184.
- Kim, M. (1979). Multistage Triaxial Testing of Rocks. *Geotechnical Testing Journal, Vol. 2, No. 2, pp. 98-105*.
- Kourkoulis, R., Gelagoti F., Anastasopoulos, I. and Gazetas, G. (2011). Slope Stabilizing Piles and Pile-Groups: Parametric Study and Design Insights. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 137, No. 7, July 1, 2011*.
- Kourkoulis, R., Gelagoti, F., Anastasopoulos, I. and Gazetas, G. (2012). Hybrid Method for Analysis and Design of Slope Stabilizing Piles. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 138, No. 1, January 1, 2012*.

- Kulatilake, P. H. S. W., Liang, J. and Gao, H. (2001). Experimental and Numerical Simulation of Jointed Rock Block Strength under Uniaxial Loading. *J. Eng. Mech.*, 2001, 127(12): 1240-1247
- Ladanyi, B. and Archambault, G. (1970). Simulation of shear behaviour of a jointed rock mass. *Proceedings, 11th Symposium on Rock Mechanics (AIME)*, pp. 105-125.
- LAPI-ITB, P. T. (2013). Alternatif Mitigasi Kelongsoran dan Perkuatan Lereng Galian Tower SUTT STA 19+255 Pembangunan Jalan Tol Semarang - Solo Tahap I Ruas Ungaran - Bawen Paket V Tinalun - Lemah Ireng STA 18+000 - 21+825. In *Technical Report LAPI ITB PT.*
- LAPI-ITB, P. T. (2006). Penelitian dan Penyelidikan STA 97+500 Jalur B pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Cipularang Tahap II Paket III.1 Ruas Plered-Cikalong Wetan, Kab. Purwakarta, Jawa Barat. In *Technical Report LAPI ITB PT.*
- LAPI-ITB, P. T. (2009a). Laporan Akhir Jasa Konsultan Disain Perkuatan Lereng KM 96+600 B Dan KM 92+400 B JalanTol Cipularang. In *Technical Report LAPI ITB PT.*
- LAPI-ITB, P. T. (2009b). Laporan Akhir Penyelidikan Tanah dan Disain Perkuatan Lereng KM 92+800 A Jalan Tol Cipularang. In *Technical Report LAPI ITB*,: LAPI ITB PT.
- LEMIGAS, L. (2015). SEM and XRD Report for Semarang-Bawen and Hambalang Clay Shale. Jakarta: LEMIGAS.
- Liew, S. S., Gue, S. S. and Liong, C. H. (2003). Geotechnical Investigation and Monitoring Results of a Landslide Failure at Southern Peninsular Malaysia (Part 2: Back Analyses of Shear Strength and Remedial Works). In *Technical Report Gue & Partners Sdn Bhd, Malaysia.*
- Lin, L. C. and Benson, C. H. (2000). Effect of Wet-Dry Cyclic on Swelling and Hydraulic Conductivity of GCLs. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 2000, 126(1): 40-49
- Mandar, M. D. and Robert, J. H. (2005). Drained Residual Shear Strength of Some Claystones from Front Range, Colorado. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 131, No. 12, December 1, 2005.

- Mark, G. T. (2007). Geotechnical Challenges of The Weak Shale Units of North Texas. *Problematic Soils and Rocks and In Situ Characterization, Geo-Denver 2007: New Peaks in Geotechnics*.
- Mesri, G, C. and Diaz, A. F. (1986). Residual shear strength of clays and shales. *University of Illinois at Urbana-Champaign*.
- Mesri, G. and Huvaj-Sarihan, N. (2012). Residual Shear Strength Measured by Laboratory Tests and Mobilized in Landslides. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 138, No. 5, May 1, 2012*.
- Mesri, G. and Shahien, M. (2003). Residual Shear Strength Mobilized in First-Time Slope Failures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 129, No. 1, January 1, 2003*.
- Mesri, G. Shahien, M. (2004). Discussion of “Residual Shear Strength Mobilized in First-Time Slope Failures. *Jurnal Of Geotechnical And Geoenviromental Engineering © ASCE / May 2004*.
- Mitchell, J. K. and Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behaviour 3rd edition: John Wiley & Sons, Inc*.
- Moffat, R. and Rivera, D. (2013). Back-analysis & in-situ shear testing studies to estimate shear strength parameters on an actual slope. *Geo-Congress 2013 © ASCE 2013*.
- Moon, S., Nam, and Kumaraswami, V. (2008). Roughness and Unit Side Resistances of Drilled Shafts Socketed in Clay Shale and Limestone. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 134, No. 9, September 1, 2008*.
- Muawia, D. and Alshamrani, M. (2014). Geocharacteristics of Tabuk Expansive Shale and its Links to Structural Damage 882 *Geo-Congress 2014 Technical Papers, GSP 234 © ASCE 2014*.
- Muntaha, M. (2012). Karakteristik Statik Dan Dinamik Tanah Residual Tidak Terganggu (*Undisturbed Residual Soils*) Akibat Pengaruh Siklus Pembasahan-Pengeringan, Jurusan Teknik Sipil-FTSP, Insitut Teknologi Sepuluh November, Suarabaya.
- Nam, S. (2011). Determination of the shear strength of unsaturated soils using the multistage direct shear test. *Engineering Geology 122 (2011) 272–280*.

- Nam, M., Vipulanandan, C. and Choi, Y. (2006). Effects of Drilling Tools on Rock Socket Roughness in Soft Clay Shale. *Geotechnical Special Publication*. 153, 203.
- Nandi, A., Liutkus, C. M. and Whitelaw, M. J. (2008). Geotechnical Characterization of Sevier and Rome Shale, East Tennessee. *ARMA Technical Program Committee, the 43rd US Rock Mechanics Symposium and 4th U.S.-Canada Rock Mechanics Symposium, held in Asheville, NC June 28th – July 1*.
- Nandi, A. and Shakoor, A. (2008). Application of logistic regression model for slope instability prediction in Cuyahoga River Watershed, Ohio, USA. *Georisk*. 2 (1), 16-27.
- Olsen, H. W., Krosley, L., Nelson, K., Chabrilat, S., Goetz, A. F. H. and David, C. N. (2000). Mineralogy-Swelling Potential Relationships For Expansive Shales
- Panjaitan, and Sumitro. (2000). Pengaruh Perubahan Siklus Pengeringan dan Pembasahan Terhadap Kuat Tekan Tanah Mengembang dengan Kondisi Awal Slurry dan Pemadatan Statik Optimum, Fakultas Pasca Sarjana ITS, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, Surabaya.
- Patton, F. D. (1966). Multiple modes of shear failure in rock. *Proceeding 1st Congress ISRM (Lisbon), Vol. 1, pp. 509-513*.
- Petrosol, PT. (2012). Laporan Akhir Pekerjaan Penyelidikan Tanah Untuk Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Tahap I. In *Technical Report PT. Adhi Karya*,.
- Pineda, J. A. (2007). An experimental and constitutive study on the degradation and swelling of argillaceous rocks, Technical University of Catalonia, UPC, Barcelona.
- Pineda, J.A., Alonso, E. E. and Romero, E. (2014a). Environmental degradation of claystones. *Geotechnique*, 64 64-82 (2014)
- Pineda, J. A., Romero, E., De Gracia, M. and Sheng, D. (2014b). Shear strength degradation in claystones due to environmental effects', . *Geotechnique*, 64 493-501 (2014).

- Plaxis (2004). Finite Element Code for Soil and Rock Analyses. edited by Reference M.PLAXIS-2D Version 8, Edited by Brinkgreve, et al., DUT, the Netherlands. www.plaxis.nl.
- Powell, J. S., Siemens, G. A., Take, W. A. and Remenda, V. H. (2013). Characterizing the swelling potential of Bearpaw clayshale. *Engineering Geology* 158 (2013) 89–97.
- Rafael, V. L. and Ghazanfari, E. (2014). Geomechanical Characterization of Shale Formations for Sustainable Production. *Shale Energy Engineering 2014* ©ASCE 2014.
- Ravi, S. M. S., Christopher, D. P. B., Kathryn, M., Hans, V. and Narayanasamy, R. (2011). Strength of Weakly Cemented Sands from Drained Multistage Triaxial Tests. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 137, No. 12, December 1, 2011.
- Reißmüller, M. (1977). Geotechnische Eigenschaften Verwitterter Kössener Mergel, Technical University of Munich, Munich.
- Robert, W. D. (1992). Swell Versus Saturation for Compacted Clay *J. Geotech. Engineering* 1992, 118(8): 1272-1278
- Rober, W. D. (1994). Swell-Shrink Behaviour of Compacted Clay *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 120, No. 3, March, 1994.
- Rodgers, M. A., Kielty, and Healy, M. G. (2014). Performance of Granitic, Shale, and Limestone Forest Road Aggregates Subjected to Repeated Loading. *Journal of Transportation Engineering*, © ASCE,.
- Sadisun, I. A., Shimadai, H., Ichinosei, M. and Matsui, K. (2005). Study on the physical disintegration characteristics of Subang claystone subjected to a modified slaking index test. *Geotechnical and Geological Engineering* (2005) 23: 199–218.
- Sadisun, I. A., Andri S. S., Asep, N. and Prihananto, S. (2006). Weathering Of Some Selected Rock Types And Their Strength Degradation Obtained From Schmidt Hammer. *Proceeding PIT IAGI Riau, The 35th IAGI Annual Convention and Exhibition ,Pekanbaru – Riau, 21 – 22 November 2006.*

- Sadisun, I. A., Bandonu, Shimada, H., Ichinose, M., and Matsui, K. (2010). Physical Disintegration Characterization of Mudrocks Subjected to Slaking Exposure and Immersion Tests. *Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 5 No. 4 Desember 2010: 219-225.*
- Sadisun I, A., Hideki, S., Ichinose, M. and Matsui, K. (2002). An experimental study of swelling strain in some argillaceous rocks by means of an improved unconfined swelling test. *Rock Engineering Problems and Approches in Underground Constuction, Choi, Ryu, Jeon & Moon (eds).*
- Sadisun, I. A., Hideki, S., Ichinose, M. and Matsui, K. (2003). Experimental Insights on the Characteristics of Rock Slaking with Particular Reference to the Sedimentary Argillaceous Rocks. *Department of Geology, Bandung Institute of Technology, INDONESIA.*
- Sadisun, I. A., Hideki, S. and Matsui, K. (2001). Determination of Strength Degradation of Subang Formation Claystone Due to Weathering. Paper presented at Proceeding of the 3rd Asian Symposium on Engineering Geology and the Environment (ASEGE) at Yogyakarta, September 3 - 6, 2001.
- Sander, H., Mark, D. Z. and Christopher, J. S. (2013). Role of Adsorption in The Creep Behavior of Coal and Shale *Poromechanics V © ASCE 2013.*
- Sarman, R. and Shakoor, A. (1994). A Multiple Regression Approach To Predict Swelling in Mudrocks. *Bulein of The Association of Engineering Geologists, Vol. XXXI No.1, pp. 107-121.*
- Scuhanics, B. and Debreczeni, A. (2013). Development of Automatic Control of Multi Stage Triaxial Test at The University of Miskolc. *Geosciences and Engineering, Vol. 2, No. 3 (2013), pp. 37-43.*
- Shakoor, A. and Brock, D. (1987). Relationship Between Fissility, Composition, and Engineering Properties of Selected Shales From Northeast Ohio. *Buletin of The Association of Engineering Geologists , Vol XXIV, No.3, pp. 363-379.*
- Shakoor, A. and Gautam, T. P. (2015). Influence of Geologic and Index Properties on Disintegration Behavior of Clay-Bearing Rocks. *Environmental & Engineering Geoscience, Vol. XXI, No. 3, August 2015, pp. 197-209.*

- Shakoor, A. and Tej, P. G. (2011). Assessing The Slaking Behaviour of Clay-Bearing Rock. *10th Annual Technical Forum Geohazards Impacting Transportation In The Appalachian Region, Columbus Ohio USA*.
- Singh, K. (2012). Back Analysis studies of the quarry heights road landslide. Dicipline of Geological Science University of Kwazulu-Natal, Durban, South Africa.
- Sireesh, S., Sunil, K. S., Anand, J. P. and Richard, W. (2008). Performance of Expanded Clay Shale (ECS) as an Embankment Backfill. *GeoCongress 2008*.
- Skempton, A. W. (1977). *Slope Stability of Cuttings in Brown Clay*. Tokyo.
- Soufi, N. (2009). Shale Pressure Measurements Methods. In *NTNU , Autumn 2009*.
- Stefano, U. (2004). Evolution of Natural Slopes Subject to Weathering : An Analytical and Numerical Study Dottorato in Ingegneria Sismica, Geotecnica e dell'Interazione Ambiente-Struttura del Politecnico di Milano, Milano.
- Suparman (2013). Pengeboran Tambahan Jalan Tol Semarang - Solo Paket V Ruas Ungaran - Bawen. In *Soil Investigation Report: Politeknik Negeri Semarang*.
- Thanden, R.E., Sumadirdja, H., Richard, P.W., Sutisna, K. and Amin, T.C, (1996). Lembar Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Sheets, Jawa. Bandung: Puslitbang Geologi Bandung.
- Tien, Hon W., Richard, L. W., John, E. L. and Pinnaduwa, H. S. W. K. (1987). Stability of Slope in Red Conemaugh Shale of Ohio. *Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 113, No. 3, March, 1987*.
- Tien, Hon W., Brian, W. R. and Chiung, S. H. (1993). Stability of Shale Embankment. *Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 119, No. 1, January, 1993*.
- Timothy, D. S. and Manzoor, H. (2010). Shear Strength in Preexisting Landslides. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 136, No. 7, July 1, 2010*.
- Timothy, D. S., Hangseok, M. C. and Sean, (2005a). Drained Shear Strength Parameters for Analysis of Landslides. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 131, No. 5, May 1, 2005*.

- Timothy, D. S. and Manzoor, H. (2009). Drained Residual Strength For Landslides. In *University of Illinois, 205 N. Mathews Ave., Urbana*.
- Timothy, D. S., Arellano, W. D., Ryan, P. H., Roger, M. H., Norman, J. and Hillebrandt, D. (2005b). Effect of Toe Excavation on a Deep Bedrock Landslide. *Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 19, No. 3, August 1, 2005*.
- Timothy, D. S. and Duncan, M. (1991). Mechanisms of strength loss in stiff clays. *Journal of Geotechnical Engineering*. 117 (1), 139-154.
- Timothy, D. S. and Hisham, T. E. (1998). Performance of three-dimensional slope stability methods in practice. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 124 (11), 1049-1060.
- Timothy, D. S. and Hisham, T. E. (1994). Drained residual strength of cohesive soils. *Journal of Geotechnical Engineering*. 120 (5), 856-871.
- Timothy, D. S. and Hisham, T. E. (1992). Comparison of field and laboratory residual strength. *Stability and performance of slopes and embankments II Proceeding GT Div*.
- Timothy, D. S. and Hisham, T. E. (1993). Modified bromhead ring shear test apparatus. *Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 16, No. 1, March 1993, pp. 100-107*.
- Timothy, D. S. and Hisham, T. E. (1997). Slope Stability Analyses in Stiff Fissured Clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 123, No.4, April, 1997*.
- Torres, M. C. and Olarte, J. M. (2011). Geotechnical Behavior of Shales in the Colombian Andes. *Geotechnical Special Publication No. 220 © ASCE 2011*.
- Tugrul, A. (2004). The effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey. *Engineering Geology 75 (2004) 215-227*.
- UNDIP, Lab. Mektan (2013). Penyelidikan Tanah Bor Dalam Disekitar SUTET STA 19+250, Rencana Jalan Toll Semarang-Solo. In *Soil Investigation Report: Laboratorium Mekenika Tanah UNDIP, Semarang*.
- Van Bemmelen, R. W. (1970). *The Geology of Indonesia Vol. IA, General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelago, (2nd ed.)*. Netherland.

- Varnes, D. J. (1978). *Slope Movement and Processes*. Edited by S. R. Landslide : Analysis and Control, Transportation Research Board. Washington D.C: National Academy of Science.
- Walter, G. K. and Luis, E. V. (2010). Failure Analysis of an Instrumented Stiff Clay Slope. *GeoFlorida 2010: Advances in Analysis, Modeling & Design (GSP 199) © 2010 ASCE*.
- Wang, Z.W., Huang, and Speck, R. C. (1994). Swelling Behavior os Shales in Cold Regions. *Journal of Cold Region Engineering, Vol. 8, No. 1, March, 1994*.
- Watry, S. M., Lade, P. V. (2000). Residual Shear Strengths of Bentonites on Palos Verdes Peninsula, California. In *Slope Stability 2000*.
- Wikipedia (2015). Jalan Tol Trans Jawa [https://id wikipedia.org/wiki Jalan Tol Trans Jawa](https://id.wikipedia.org/wiki/Jalan_Tol_Trans_Jawa).
- Wilson, H. T., Timothy, D. S. and Mauricio, A. (1999). Reability in Back Analysis of Slopes Failure. *Soil, and Foundation , Vol 39 No.5 Oct 1999, Japanes Geotechnical Society*.
- Yang H, Xiau J., Wang. S. and Zuo W. (2009). Study on the Determination of Residual Shear Strength for Expansive Soil. *Recent Advancement in Soil Behavior, in Situ Test Methods, Pile Foundations, and Tunneling*, 49-54.
- Yang, X. X., Kulatilake, P. H. S. W., Chen, X., Jing, H. W. and Yang, S. Q. (2016). Particle Flow Modeling of Rock Blocks with Nonpersistent Open Joints under Uniaxial Compression *Int. J. Geomech.*, .
- Youn, H. and Tonon, F. (2010). Effect of air-drying duration on the engineering properties of four clay-bearing rocks in Texas. *Engineering Geology 115 (2010) 58-67*.
- Zhang, J., Wilson, H. T. H. and Zhang, L. M. (2010). Efficient Probabilistic Back-Analysis of Slope Stability Model Parameters. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 136, No. 1, January 1, 2010*.
- Zhao, Q. and He, Z. M. (2011). The Ubiquitous-joint Model and Its Application in Predicting the Strength of Stratified Rock *Geotechnical Special Publication No. 222 © ASCE 2011(Instrumentation, Testing, and Modeling of Soil and Rock Behavior)*.