

**PEMBENTUKAN CORAK RESIPAN
DISEBABKAN OLEH PENYUSUPAN HUJAN**

ADNAN BIN ISMAIL

UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA

**PEMBENTUKAN CORAK RESIPAN
DISEBABKAN OLEH PENYUSUPAN HUJAN**

ADNAN BIN ISMAIL

**Laporan projek ini dikemukakan sebagai memenuhi
sebahagian daripada syarat penganugerahan
Ijazah Sarjana Kejuruteraan (Awam – Geoteknik)**

**Fakulti Kejuruteraan Awam
Universiti Teknologi Malaysia**

MEI 2006

ABSTRAK

Kebanyakan kegagalan-kegagalan cerun telah diperhatikan berlaku semasa atau selepas berlakunya hujan. Selain daripada keadaan alam sekitar seperti cuaca, topografi dan tumbuhan mempunyai hubung kait yang rapat terhadap punca-punca kegagalan cerun, penyusupan hujan ke dalam tanah juga menunjukkan kesan yang ketara ke atas cerun. Hujan yang lebat dan berpanjangan dalam bulan-bulan tertentu di sepanjang tahun akan melemahkan kekuatan ricih tanah kerana kenaikan tekanan air liang dan pengurangan sedutan matrik yang mana ini menyebabkan pertambahan tegasan dalam tanah yang akan membawa kepada berlakunya kegagalan cerun. Dalam kajian ini, cerun gagal di Universiti Teknologi Malaysia dimodelkan dengan menggunakan kaedah unsur terhingga perisian perdagangan SEEP/W Version 5.0 (GEO-SLOPE International Ltd.) untuk mensimulasikan penyusupan air hujan dan penyebaran tekanan air liang *transient* untuk menjana corak resipan dalam cerun. Di dapati bahawa pada sebarang peristiwa hujan, paras air bumi naik di kawasan kaki cerun tetapi tetap tidak berubah pada bahagian puncak cerun. Analisis simulasi ini juga menunjukkan bahawa walaupun peningkatan tekanan air liang berkait rapat dengan keamatan tetapi tidak bergantung kepada jumlah hujan semata-mata.

ABSTRACT

Many slope failures are observed to occur predominantly during or immediately after rainfall events. In addition to environmental conditions such as weathering, topography and vegetation inducing the slope failure, rainfall infiltration through soil has also shown significant effect on slope. Heavy rainfall apparently reduces soil shear strength in long term period by increasing pore water pressure and decreasing matric suction, results in increasing the stresses in soil that contribute to the slope failure. In this study, a failed slope in Universiti Teknologi Malaysia is modeled by using a finite element commercial software, SEEP/W Version 5.0 (GEO-SLOPE International Ltd.) to simulate rainwater infiltration and transient pore water pressure distributions for generating seepage pattern in the slope. It is observed at any rainfall events, the ground water table rises at the toe of the slope but keeps constant at the crest of slope. The simulation analysis also shows that although the increase of pore water pressure is closely related to intensity and the frequency of rainfall, but it is not depended on the total of rainfall.

KANDUNGAN

| BAB | PERKARA | MUKASURAT |
|------------|---------------------------|------------------|
| | PENGAKUAN PELAJAR | ii |
| | PENGHARGAAN | iii |
| | ABSTRAK | iv |
| | ABSTRACT | v |
| | ISI KANDUNGAN | vi |
| | SENARAI JADUAL | x |
| | SENARAI RAJAH | xi |
| | SENARAI SIMBOL | xvi |
| I | PENGENALAN | |
| | 1.1 Latar Belakang Kajian | 1 |
| | 1.2 Pernyataan Masalah | 3 |
| | 1.3 Objektif | 4 |
| | 1.4 Skop Kajian | 5 |
| | 1.5 Kepentingan Kajian | 6 |

II KAJIAN LITERATUR

| | | |
|--------|--|----|
| 2.1 | Pengenalan | 9 |
| 2.2 | Kitaran Hidrologi | 9 |
| 2.3 | Curahan | 11 |
| 2.4 | Merekodkan Curahan | 12 |
| 2.5 | Penyusupan | 13 |
| 2.5.1 | Faktor-faktor yang mempengaruhi Kadar Penyusupan | 14 |
| 2.6 | Kejadian Air Bumi | 15 |
| 2.7 | Resipan | 18 |
| 2.8 | Lengkung Ciri Hubungan Tanah-Air | 18 |
| 2.9 | Sedutan Matrik Dan Sedutan Jumlah | 19 |
| 2.10 | Perubahan Pekali Kebolehtelapan Bagi Tanah Tepu | 20 |
| 2.11 | Analisis Resipan Menggunakan Kaedah Unsur Terhingga | 21 |
| 2.12 | Fenomena Kegagalan Cerun | 22 |
| 2.13 | Punca-Punca Kegagalan Cerun | 23 |
| 2.13.1 | Faktor Geologikal | 23 |
| 2.13.2 | Faktor Fizikal | 23 |
| 2.13.3 | Faktor Manusia | 24 |
| 2.13.4 | Faktor Morphologikal | 26 |
| 2.13.5 | Tindakan Air | 26 |
| 2.14 | Mekanisma Pergerakan Cerun | 27 |
| 2.14.1 | Pergerakan Runtuhan | 27 |
| 2.14.2 | Pergerakan Gelinciran | 28 |
| 2.14.3 | Pergerakan Aliran | 29 |

III METODOLOGI

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1 | Pengenalan | 30 |
| 3.2 | Model Simulasi Komputer | 32 |
| 3.3 | Langkah-Langkah Dalam Penggunaan Perisian SEEP/W | 33 |
| 3.3.1 | Mengenalpasti Masalah | 34 |
| 3.3.2 | Menyelesaikan Masalah | 40 |
| 3.3.3 | Paparan Keputusan | 41 |
| 3.4 | Parameter-Parameter Dalam Analisis | 41 |
| 3.4.1 | Hujan Berterusan Sepanjang Dua Bulan | 42 |
| 3.4.2 | Keadaan Hujan <i>Antecedent</i> | 42 |
| 3.4.3 | Pekali Kebolehtelapan Tanah | 43 |
| 3.4.4 | Tekanan Air Liang | 43 |

IV KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1 | Pengenalan | 44 |
| 4.2 | Data Hujan | 45 |
| 4.3 | Analisis Numerikal | 48 |
| 4.4 | Pembentukan Keadaan Awal | 49 |
| 4.5 | Keputusan Analisis | 51 |
| 4.5.1 | Kes 1; Corak Resipan Hasil Dari Analisis Berterusan Dalam Tempoh Dua Bulan | 52 |
| 4.5.2 | Kes 2; Corak Resipan Pada Keadaan- Keadaan Hujan <i>Antecedent</i> | 81 |

| | | |
|----------|------------------------|-----------|
| V | KESIMPULAN | |
| 5.1 | Umum | 91 |
| 5.2 | Kesimpulan | 92 |
| 5.3 | Cadangan | 94 |
| | SENARAI RUJUKAN | 96 |

SENARAI JADUAL

| NOMBOR JADUAL MUKASURAT | TAJUK | |
|------------------------------------|--|----|
| 4.1 | Jumlah hujan bagi bulan November 1999 | 46 |
| 4.2 | Jumlah hujan bagi bulan Disember 1999 | 47 |
| 4.3 | Jumlah hujan dan tekanan air liang di puncak, tengah dan kaki cerun bagi bulan November 1999 | 60 |
| 4.4 | Jumlah hujan dan tekanan air liang di puncak, tengah dan kaki cerun bagi bulan Disember 1999. | 61 |

SENARAI RAJAH

| NOMBOR RAJAH | TAJUK | MUKASURAT |
|--------------|---|-----------|
| 1.1 | Tempat letak kereta di Bangunan Tambahan FKM (<i>gambar diambil pada Mac 2003</i>) | 7 |
| 1.2 | Tempat letak kereta di Bangunan Tambahan FKM (<i>gambar diambil pada April 2006</i>) | 7 |
| 1.3 | Plan lokasi kawasan kajian. | 8 |
| 2.1 | Kitaran hidrologi | 10 |
| 2.2 | Tolok hujan yang merekodkan hujan secara digital | 14 |
| 2.3 | Taburan air bawah permukaan tanah | 16 |
| 2.4 | Bentuk-bentuk kejadian air bumi | 17 |
| 2.5 | Perubahan pekali kebolehtelapan mengikut perubahan sedutan dan perubahan lembapan | 18 |
| 2.6 | Keratan rentas pendiskretan bagi empangan untuk analisis unsur terhingga | 24 |
| 3.1 | Carta aliran metodologi kajian | 31 |
| 3.2 | Setkan kawasan kerja, skala dan jarak grid | 35 |
| 3.3 | Melakarkan paksi | 35 |
| 3.4 | Melakarkan garisan | 36 |
| 3.5 | Setkan pengenalan masalah dan jenis analisis | 36 |
| 3.6 | Mengenalpasti fungsi-fungsi kebolehtelapan untuk dua jenis tanah | 37 |

| | | |
|------|--|----|
| 3.7 | Fungsi kebolehtelapan diimport dari nilai yang disediakan dalam perisian SEEP/W | 37 |
| 3.8 | Mengenalpasti ciri-ciri bahan tanah | 38 |
| 3.9 | Menjana unsur terhingga | 39 |
| 3.10 | Menetapkan keadaan sempadan pada hulu dan hilir keratan | 39 |
| 3.11 | Melukis keadaan-keadaan sempadan | 40 |
| 4.1 | Tinggi hujan harian dari bulan Nov. hingga Dis. 1999 (Jabatan Meteorology Malaysia, 2006). | 48 |
| 4.2 | Sempadan kiri dan kanan ditentukan sebagai sempadan turus jumlah tetap. | 49 |
| 4.3 | Kontor bagi keadaan awal paras air bumi dan tekanan air liang | 50 |
| 4.4 | Kontor bagi keadaan awal paras air bumi dan turus tekanan jumlah | 50 |
| 4.5 | Tekanan hidrostatik dalam keadaan awal pada (a) Puncak; (b) tengah; (c) kaki cerun | 51 |
| 4.6 | Corak resipan dan agihan tekanan air liang pada 12, 15 dan 25 November 1999. | 53 |
| 4.7 | Kenaikan paras air bumi dalam bulan November pada 1, 12, 15 dan 25 November 1999 | 53 |
| 4.8 | Agihan turus tekanan di puncak, tengah dan kaki cerun pada (a) 12 November 1999; (b) 15 November 1999 ; (c) 25 November 1999 | 54 |
| 4.9 | Corak resipan dan agihan tekanan air liang pada 05, 11 dan 17 Disember 1999. | 56 |
| 4.10 | Kenaikan paras air bumi dalam bulan Disember pada 05, 11, 17 dan 31 Disember 1999 | 56 |
| 4.11 | Corak resipan dan taburan tekanan air liang pada 6 Disember 1999. | 57 |
| 4.12 | Corak taburan tekanan jumlah pada 11 Disember 1999. | 57 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.13 | Corak taburan isipadu kandungan air pada 11 Disember 1999. | 57 |
| 4.14 | Agihan turus tekanan di puncak, pertengahan dan kaki cerun pada (a) 05 Disember 1999, (b) 11 Disember 1999 dan (c) 17 Disember 1999 | 58 |
| 4.15 | Corak taburan turus tekanan tanggal 31 Disember 1999. | 60 |
| 4.16 | Graf hubungan antara jumlah hujan dan tekanan air liang di puncak cerun sepanjang bulan (a) November; (b) Disember 1999. | 63 |
| 4.17 | Graf hubungan antara jumlah hujan dan tekanan air liang di tengah cerun sepanjang bulan (a) November; (b) Disember 1999. | 64 |
| 4.18 | Graf hubungan antara jumlah hujan dan tekanan air liang di kaki cerun sepanjang bulan (a) November; (b) Disember 1999. | 65 |
| 4.19 | Corak agihan tekanan air liang daripada analisis 61 langkah bagi (a) langkah 1; (b) langkah 2; (c) langkah 3; (d) langkah 4. | 66 |
| 4.20 | Corak agihan tekanan air liang daripada analisis 61 langkah bagi (a) langkah 5; (b) langkah 6; (c) langkah 7; (d) langkah 8. | 67 |
| 4.21 | Corak agihan tekanan air liang daripada analisis 61 langkah bagi (a) langkah 9; (b) langkah 10; (c) langkah 11; (d) langkah 12. | 68 |
| 4.22 | Corak agihan tekanan air liang daripada analisis 61 langkah bagi (a) langkah 13; (b) langkah 14; (c) langkah 15; (d) langkah 16 | 69 |
| 4.23 | Corak agihan tekanan air liang daripada analisis 61 langkah bagi (a) langkah 17; (b) langkah 18; (c) langkah 19; (d) langkah 20 | 70 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.24 | Corak agihan tekanan air liang daripada analisis 61 langkah bagi (a) langkah 21; (b) langkah 22; (c) langkah 23; (d) langkah 24 | 71 |
| 4.25 | Corak agihan tekanan air liang daripada analisis 61 langkah bagi (a) langkah 25; (b) langkah 26; (c) langkah 27; (d) langkah 28 | 72 |
| 4.26 | Corak agihan tekanan air liang daripada analisis 61 langkah bagi (a) langkah 29; (b) langkah 30; (c) langkah 31; (d) langkah 32 | 73 |
| 4.27 | Corak agihan tekanan air liang daripada analisis 61 langkah bagi (a) langkah 33; (b) langkah 34; (c) langkah 35; (d) langkah 36 | 74 |
| 4.28 | Corak agihan tekanan air liang daripada analisis 61 langkah bagi (a) langkah 37; (b) langkah 38; (c) langkah 39; (d) langkah 40 | 75 |
| 4.29 | Corak agihan tekanan air liang daripada analisis 61 langkah bagi (a) langkah 41; (b) langkah 42; (c) langkah 43; (d) langkah 44 | 76 |
| 4.30 | Corak agihan tekanan air liang daripada analisis 61 langkah bagi (a) langkah 45; (b) langkah 46; (c) langkah 47; (d) langkah 48 | 77 |
| 4.31 | Corak agihan tekanan air liang daripada analisis 61 langkah bagi (a) langkah 49; (b) langkah 50; (c) langkah 51; (d) langkah 52 | 78 |
| 4.32 | Corak agihan tekanan air liang daripada analisis 61 langkah bagi (a) langkah 53; (b) langkah 54 (c) langkah 55; (d) langkah 56 | 79 |
| 4.33 | Corak agihan tekanan air liang daripada analisis 61 langkah bagi (a) langkah 57; (b) langkah 58; (c) langkah 59; (d) langkah 60; (e) langkah 61 | 80 |
| 4.34 | Jumlah hujan sepanjang November ke Disember dipecahkan kepada empat keadaan. | 81 |

| | | |
|---------|--|----|
| 4.35 | Agihan turus tekanan bagi keadaan 1 pada (a) Puncak cerun; (b) tengah cerun; (c) kaki cerun | 82 |
| 4.36 | Corak resipan dan agihan tekanan air liang bagi langkah 1, 4 dan 7 daripada keadaan 1 | 83 |
| 4.37 | Agihan turus tekanan bagi keadaan 2 pada (a) Puncak; (b) tengah dan (c) kaki cerun | 84 |
| 4.38 | Corak resipan dan agihan tekanan air liang bagi langkah 1, 3 dan 5 daripada keadaan 2. | 85 |
| 4.39 | Agihan turus tekanan bagi keadaan 3 pada (a) Puncak; (b) tengah dan (c) kaki cerun | 87 |
| 4.40(a) | Corak resipan dan agihan tekanan air liang bagi langkah 1 dan 3 daripada keadaan 3. | 87 |
| 4.40(b) | Corak resipan dan agihan tekanan air liang bagi langkah 9 dan 10 daripada keadaan 3. | 88 |
| 4.41 | Agihan turus tekanan bagi keadaan 4 pada (a) Puncak; (b) tengah dan (c) kaki cerun | 88 |
| 4.42 | Corak resipan dan agihan tekanan air liang bagi langkah 1, 5 dan 10 daripada keadaan 4. | 90 |

SENARAI SIMBOL

| SIMBOL | PARAMETER |
|----------|---|
| f | kadar penyusupan pada sebarang masa |
| f_c | keupayaan penyusupan pada nilai tinggi |
| f_o | keupayaan penyusupan awal |
| K | pemalar untuk satu jenis tanah dan permukaan |
| n | keliangan |
| P | tekanan |
| t | masa dari permulaan hujan lebat |
| u_w | tekanan air liang |
| u_a | tekanan udara liang |
| w | kandungan air |
| ψ_t | sedutan matrik |
| R | angkatap gas |
| T | suhu mutlak |
| W_a | berat molekul air |
| p | tekanan separa bagi wap air liang |
| p_0 | tekanan tepu bagi wap air di atas permukaan rata bagi air tulin pada |
| p/p_0 | adalah nisbah humiditi relatif |

BAB I

PENGENALAN

1.1 Latar Belakang Kajian

Kegagalan cerun merupakan satu fenomena yang sering berlaku di Malaysia. Kegagalan cerun telah meninggalkan kesan yang buruk terhadap keselamatan nyawa, harta benda dan juga kesan jangka panjang terhadap pencemaran alam sekitar. Rupabentuk muka bumi Malaysia yang berbukit bukau di mana terdapatnya cerun-cerun yang curam dan kritikal antara penyumbang kepada masalah kegagalan cerun. Apabila daya gangguan yang mendorong kepada pergerakan di sepanjang mana-mana permukaan cerun melebihi daya rintangan ricih yang menahan pergerakan cerun, maka berlakulah kegagalan cerun. Tidak dapat dinafikan bahawa keadaan persekitaran seperti cuaca, topografi serta tumbuhan mempunyai hubungkait rapat terhadap punca-punca berlakunya kegagalan cerun.

Dua faktor yang sering dikaitkan dengan kegagalan cerun ini iaitu faktor tindakan manusia dan faktor alam semulajadi. Faktor tindakan manusia seperti penebangan balak di lereng bukit, pemotongan bukit yang tidak mengikut kaedah yang dicadangkan serta penutupan saluran semulajadi dan lain-lain aktiviti yang berkaitan pada cerun atau kawasan sekitarnya. Faktor daripada tindakan semulajadi adalah sesuatu yang tidak dapat dielakkan tetapi ianya dapat dikawal dengan kaedah-

kaedah pengawalan cerun. Faktor-faktor tindakan semulajadi adalah seperti sifat bahan, hakisan, cuaca serta keadaan geologi. Faktor lain yang turut mempengaruhi kegagalan cerun ialah geomorphologi dan hidrogeologi kawasan. Curahan hujan tahunan yang agak tinggi di negara ini menambahkan lagi risiko berlakunya tanah runtuh. Malah kejadian sebelum ini didapati banyak bencana kegagalan cerun berlaku biasanya ketika hujan lebat selain gempa bumi serta aktiviti-aktiviti yang boleh menyebabkan pengurangan kekuatan ricih tanah dan penambahan tegasan dalam tanah. Secara amnya, semasa tempoh basah, tanah mengalami kenaikan kandungan lembapan dan sekaligus berlakunya penurunan sedutan matrik (*matric suction*) yang mana sedutan matrik ini memberikan kekuatan ricih tambahan kepada tanah. Penurunan sedutan matrik ini akan mengurangkan kekuatan ricih tanah dan ini akan boleh menambah risiko kegagalan cerun. Hujan yang lebat dan berpanjangan dalam bulan-bulan tertentu di sepanjang tahun akan melemahkan kekuatan ricih tanah di samping itu juga berlakunya perubahan pada paras air bumi tanah. Kenaikan paras air bumi bagi tanah cerun menyebabkan penambahan tekanan air liang. Ini mendorong kepada pertambahan tegasan-tegasan dalam tanah cerun yang mana menyumbang kepada kegagalan cerun.

Walau bagaimanapun agak sukar serta kompleks kepada ahli geologi mahupun jurutera awam untuk memahami mekanisma kegagalan cerun yang disebabkan oleh hujan dan ianya memerlukan kajian terperinci serta kaedah yang sesuai bagi menganalisa serta meramal keadaan sifat-sifat tanah.

Kaedah analisis kestabilan cerun yang sedia ada menggunakan hirisan (Bishop 1955, Janbu 1957) adalah berdasarkan teorem keseimbangan had, bagaimanapun kebanyakannya adalah lebih kepada sistem statik tak boleh tentu (*statically indeterminate*). Di dalam kaedah sekarang ini, anggapan terhadap pergerakan nodal, terbentuk sepanjang permukaan gelinciran. Daya ricih yang bertindak sepanjang cerun adalah dipertimbangkan sebagai daya-daya nodal. Satu hubungan diperolehi dengan memperkenalkan faktor keselamatan antara daya-daya, maka kriteria Mohr-Coulomb dapat terima. (Hayamizu 1996, Kojima et. al 1997, Terado et. al 1998). Kaedah keseimbangan had terbukti telah digunakan dengan meluas untuk menilai

cerun, walau bagaimanapun ianya tidak dapat digunakan untuk yang terlibat dengan tegasan dan terikan. Untuk itu, analisis kaedah unsur terhingga dijalankan bagi menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan tegasan dan terikan.

Satu kajian yang terperinci sepatutnya dijalankan untuk mengenalpasti teknologi yang sesuai untuk mengelakkan berlakunya kegagalan cerun yang disebabkan oleh hujan. Pertimbangan-pertimbangan yang khas perlu diberikan seperti iklim dan geologi setempat. Teknologi yang sesuai akan hanya dapat dibangunkan sekiranya mekanisma kesan curahan hujan terhadap kegagalan cerun difahami dengan sebaik-baiknya.

1.2 Pernyataan Masalah

Dalam pembinaan cerun pada dasarnya mesti mematuhi kehendak atau spesifikasi yang ditetapkan iaitu nilai faktor kestabilan cerun yang melebihi daripada 1. Walaupun pembinaan cerun mengikut kehendak-kehendak tersebut namun kegagalan cerun masih juga berlaku terutamanya dalam musim hujan. Dalam masa berlakunya hujan lebat, kekuatan ricih tanah berada pada tahap yang minimum oleh kerana tanah menjadi tepu sepenuhnya. Di samping itu juga peningkatan tekanan air liang juga berlaku kerana meningkatnya paras air bumi.

Semasa berlaku curahan hujan, penyusupan air hujan ke dalam permukaan cerun menyebabkan berlakunya kenaikan tekanan air liang terutamanya yang berhampiran dengan permukaan cerun. Peningkatan tekanan air liang menyebabkan penurunan kekuatan ricih tanah, ini memudahkan berlakunya kegagalan. Penyusupan air ke dalam tanah bergantung kepada struktur tanah serta sifat-sifat tanah. Permukaan tanah yang tidak selanjar (*discontinuities*) secara amnya kebolehtelapannya tinggi dan ianya akan membenarkan lebih banyak penyusupan

berlaku. Kandungan lembapan tanah meningkat dan sekaligus menambah tekanan air liang tanah dan mengurangkan kekuatan ricih tanah.

Kegagalan cerun yang berlaku kerana hujan ini adalah bukan sahaja kerana kehilangan kekuatan ricih tanah, tetapi juga disebabkan wujud tekanan resipan hasil dari peningkatan paras air bumi. Projek ini akan dijalankan dengan menggunakan perisian SEEP/W untuk mendapatkan corak resipan dalam tanah dalam satu tempoh tertentu di mana analisis corak resipan dapat dijalankan untuk mengetahui hubungan antara curahan hujan dan kegagalan cerun.

1.3 Objektif

Kajian ini dijalankan adalah untuk melihat kesan hujan terhadap kestabilan cerun. Lokasi kajian adalah cerun berhampiran Bangunan Tambahan, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Johor. Rajah 1.1, 1.2, dan 1.3 menunjukkan keadaan sebenar pada kaki cerun masa kini serta lokasinya. Walaupun beberapa kajian telah dijalankan ke atas tapak kajian (Azman & Fauziah, 2003, Ling, 2003, Harahap, 2003) tetapi analisis-analisis tersebut tidak mengambil kira kesan resipan terhadap cerun yang gagal itu. Dalam kajian ini cerun yang gagal dimodelkan dengan penggunaan Analisis Kaedah Unsur Terhingga (*Finite Element Method*) dijalankan melalui perisian SEEP/W Version 5.0 (GEO-SLOPE International Ltd.) untuk simulasikan penyusupan air hujan dan penyebaran tekanan air liang transient untuk menjanakan corak resipan dalam cerun. Analisis *transient* ini dijalankan dalam tempoh dua (2) bulan daripada November hingga Disember 1999. Objektif kajian ini adalah untuk:

- (1) Menyiasat perubahan tekanan air liang dan tekanan jumlah disebabkan oleh penyusupan hujan sepanjang cerun analisa.

- (2) Menyiasat perubahan paras air bumi disebabkan oleh penyusupan hujan sepanjang cerun analisa.
- (3) Menentukan pembentukan corak resipan disebabkan oleh penyusupan hujan yang berterusan dalam tempoh November hingga Disember 1999.
- (4) Menentukan pembentukan corak resipan disebabkan oleh penyusupan hujan pada keadaan *antecedent* tertentu dalam tempoh November hingga Disember 1999

Hasil daripada analisis ini seterusnya akan digunakan oleh pelajar lain untuk mendapatkan faktor keselamatan cerun pada waktu-waktu tertentu dengan menggunakan perisian SLOPE/W.

1.4 Skop Kajian

Analisis dijalankan menggunakan data hujan yang diambil untuk tempoh dua bulan iaitu mulai November hingga Disember 1999 untuk mendapatkan corak resipan dalam cerun. Nilai pekali kebolehtelapan yang berubah-ubah akibat dari perbezaan kandungan lembapan adalah dengan menggunakan nilai fungsi kebolehtelapan yang dipilih daripada fungsi yang disediakan dalam perisian SEEP/W ini. Ini adalah kerana ujikaji untuk mendapatkan lengkung SWCC bagi tanah cerun yang dikaji tidak dilakukan. Data hujan yang digunakan dalam simulasi ini adalah data hujan dari stesen Senai iaitu dengan menganggap bahawa hujan ini menyamai hujan di kawasan cerun kajian. Ini adalah kerana tolok hujan di UTM pada tahun berkenaan tidak berfungsi.

Hasil dari analisis yang menggunakan SEEP/W ini, selain dari memaparkan corak resipan disebabkan penyusupan hujan ianya sedia untuk digunakan dalam analisis faktor keselamatan cerun melalui perisian SLOPE/W.

1.5 Kepentingan Kajian

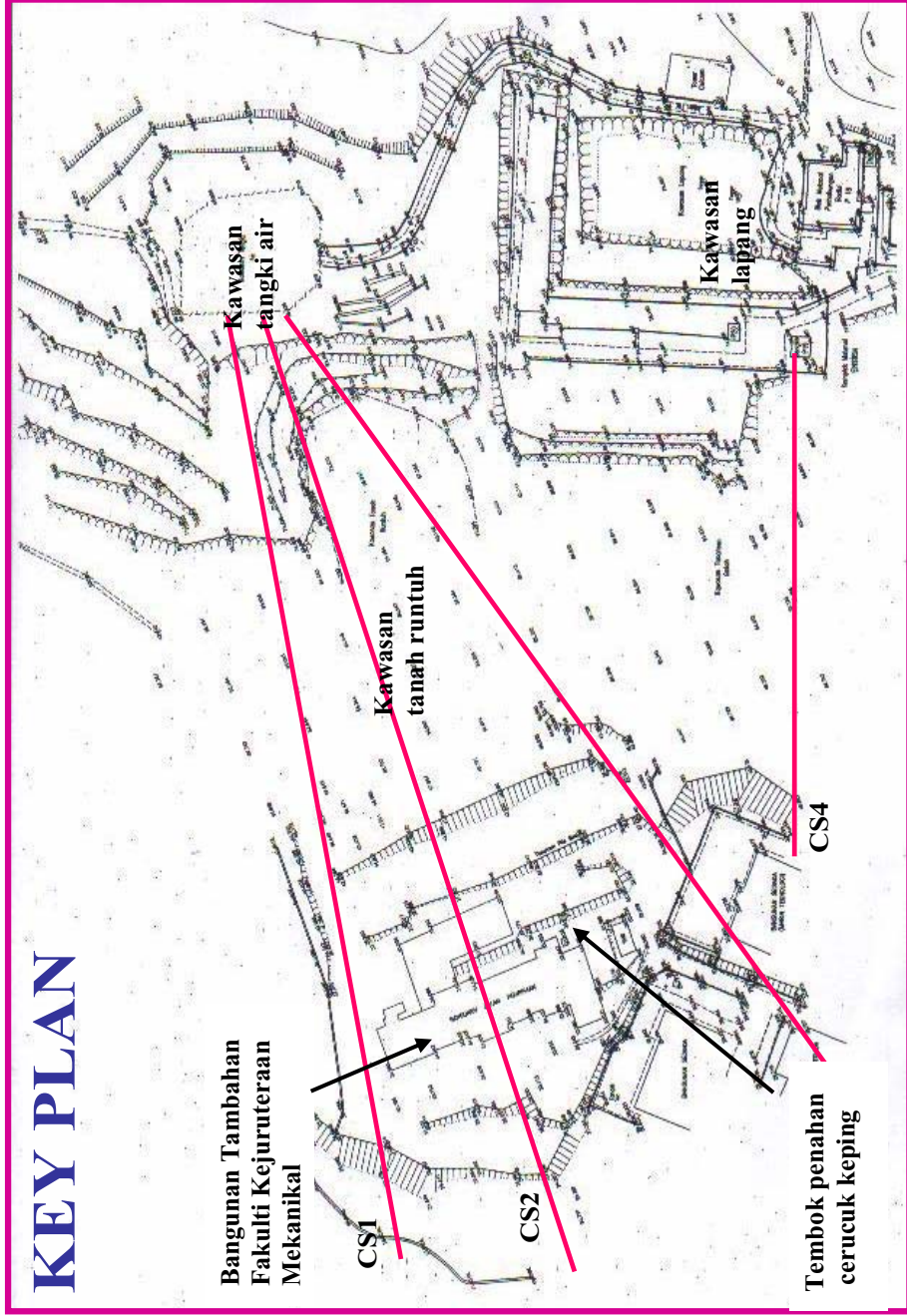
Kajian ini memainkan peranan yang penting dalam penganalisaan kestabilan cerun di Malaysia. Kegagalan atau ketidakstabilan cerun yang berlaku mungkin disebabkan oleh beberapa faktor lain tetapi dengan kajian ini akan dapat mengenalpasti samada hujan begitu mempengaruhi corak aliran yang seterusnya memberi kesan terhadap ketidakstabilan cerun atau sebaliknya. Hasil dari kajian ini juga dapat mengaitkan antara corak aliran serta kesan hujan terhadap kestabilan cerun dan seterusnya dapat mengambil langkah awal untuk mengelakkan daripada berlakunya tanah runtuh, kehilangan nyawa dan harta benda. Bagi cerun yang dianalisis ini walaupun kajian sebelum ini telah dijalankan, dan langkah-langkah untuk mengatasinya telah di ambil, namun keadaan sebenarnya sekarang ini didapati keretakan pada kaki cerun itu masih berlaku. Arahan telah dikeluarkan supaya bangunan berdekatan dikosongkan kerana pihak pengurusan bimbang sesuatu yang tidak dijangkakan mungkin berlaku. Dari itu analisis ini amat relevan dijalankan untuk mengesan faktor-faktor lain yang menyebabkan cerun tersebut belum benar-benar stabil dan mencari jalan penyelesaian yang sesuai.



Rajah 1.1 Tempat letak kereta di Bangunan Tambahan FKM (*gambar diambil pada Mac 2003 : Sumber Ling,2003*)



Rajah 1.2 Tempat letak kereta di Bangunan Tambahan FKM (*gambar diambil pada April 2006*).



Rajah 1.3 Plan lokasi kawasan kajian (Azman & Fauziah, 2003).

RUJUKAN

- Abdul Rahman, M (1990). “*Unsur Mekanik Tanah untuk Jurutera Awam dan Jurutera Lombong (Terjemahan G. N. Smith)*”. Dewan Bahasa dan Pustaka, Kementerian Pendidikan Malaysia, Kuala Lumpur,
- Aminaton, M, Fatimah, M. N dan Fauziah, K (1993). “*Mekanik Tanah (Terjemahan R. F. Craig)*”. Unit Penerbitan Akademik, Canselor, Universiti Teknologi Malaysia.
- Azman, K & Mohd For, M. A. (1999). “Failure On Natural Residual Soils Slope.” Technical Talk On Civil Engineering, 6 February, 1999, IEM (Southern Branch), Graduate and Student Section.
- Azman, K (2002). “*Appraisal On Remedial Works of Landslide Occurance at Bangunan Tambahan Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, UTM*”. Skudai, Johor.
- Azman, K, Fauziah, K (2003). “A Simulation Study Of Slope Stability Affected By Construction Of New Building at Universiti Teknologi Malaysia, Skudai”. *Jurnal Kejuruteraan Awam*, 15 (1) : m. s. 49 – 61.
- Braja M. Das. (1983). “*Advanced Soil Mechanics*”. The University of Texas at el Paso, Hemisphere Publishing Corporation, Washington New York, London.
- Braja M. Das, (2002).” *Principles of Geotechnical Engineering*, California State University, Sacramento, Brooks/Cole, Thomson Learning.

- Cho S. E., Lee S. R. (2001). "Instability Of Unsaturated Soil Slopes Due To Infiltration". *Journal of Computers and Geotechnics* , Vol . 28:, pp 185 - 208, Elsevier Science Ltd. Great Britain.
- Cho, S. E., R.L Seung (2002). "Evaluation of Surficial Stability For Homogeneous Slopes Considering Rainfall Characteristics". *Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, September 2002, pp 756 – 763, ASCE.
- Duncan, J. M. (1996). "State of the Art: Limit Equilibrium and Finite Element Analysis of Slopes". *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 122, No. 7, July, 1996, m.s. 577-596, ASCE, United States of America.
- Fatimah, M.N., Hadibah, I., Mohamad Noor, S., Abd. Aziz, I. (1992). "*Hidrologi Kejuruteraan (Terjemahan E.M. Wilson)*", Unit Penerbitan Akademik, Universiti Teknologi Malaysia.
- Felix Ling Ngee Leh (2003). *Simulation Analysis Of Slope Stability : A Case Study On Slope Failure At New Laboratory Of Faculty Of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia : Master Thesis*
- Fredlund D.G., Rahardjo H. (1993). "*Soil Mechanics For Unsaturated Soils*," John Wiley & Sons, Inc.
- Fredlund, D.G , & Scoular R. E. G, (1999). "Using Limit Equilibrium Concepts In Finite Element Slope Stability Analysis." *Proceeding of the International Symposium on Slope Stability Engineering*, IS Shikoku 99, Vol 1, pp. 31 – 47, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.
- Geo-Slope (2002). *SEEP/W Version 5*, User's Guide, GEO-SLOPE International Ltd. , Calgary, Alberta, Canada.
- H Rahardjo, Leong, E.C., Michael, S.D., Jason, M.G., Tang, S.K. (2000). "Rainfall – Induced Slopes Failures, NTU-PWD Geotechnical Research Centre, Singapore.

- H. Rahardjo, X. W. LI, D. G. Toll and E. C. Leong (2001). “The Effect Of Antecent Rainfall On Slope Stability”. *Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, **Vol . 19**: 2001, pp 371-399, Netherlands.
- I. Tsaparas, H. Rahardjo, D. G. Toll, E. C. Leong , (2002). “Controlling Parameters For Rainfall-Induced Landslides”. NTU-PWD Geotechnical Research Centre, School of Civil and Structural Engineering, Nanyang Technology University, Blk N1, 1A- 37, Nanyang Avenue, 639798 Singapore
- Jianhong Zhang et al. (2001). “Seepage Analysis Based On The Unified Unsaturated Soil Theory”. *Journal of Mechanics Research Communication* , **Vol . 28**:No. 1, pp 107 - 112, Elsevier Science Ltd. Great Britain.
- Laporan Tanah Runtuh di Universiti Teknologi Malaysia – Preliminary Opinion Report, September 2001. KYS Construction Sdn. Bhd
- Mohamad Irwan Pandapotan (2003) . Kerja-Kerja Pembaikpulihan Bagi Suatu Kegagalan Cerun Di Fakulti Kejuruteraan Mekanikal, Universiti Teknologi Malaysia : Tesis Master
- Rolando P. Orense, Siguru Shimoma, Kengo Maeda and Ikuo Towhata (2004). Instrumented Model Slope Failure Due To Water Seepage, *Journal of Natural Disaster Science*, .
- S.S. Agus, E. C. Leong, Rahardjo H. (2001). “Soil-Water Characteristic Curves Of Singapore Residual Soils”. *Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, **Vol . 19**: 2001, pp 285 - 309, Netherlands.
- Suraya Hani, A (2002). “*Pemantapan Cerun Menggunakan Geotekstil*”, Universiti Teknologi Malaysia: Tesis Sarjana.

Terado, Y., Hazarika, H., Yamazaki, T. & Hayamizu, H. (1999). "Slope Stability Analysis considering the Deformation of Slices". *Proceedings of the International Symposium on Slope Stability Engineering - IS-Shikoku'99*, Vol.1, m.s. 265-269, A.Balkema, Rotterdam. Netherlands.

Tien-Kuen Huang (1996). "Stability Analysis Of An Earth Dam Under Steady State Seepage". *Journal of Computers and Structures* , **Vol** . 58 : No. 6, pp 1075 - 1082, Elsevier Science Ltd. Great Britain.