

KPD

## PROPOSAL PENELITIAN

# MITIGASI LIKUIFAKSI AKIBAT GEMPA BUMI DENGAN TEKNIK KOLOM KAPUR - ABU SEKAM PADI PADA TANAH BERPASIR



Diajukan Oleh :

**Dr.Eng. Agus Setyo Muntohar, S.T., M.Eng.Sc.**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Diajukan untuk Kompetisi Penelitian Dosen  
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Tahun Akademik 2008/2009

## HALAMAN PENGESAHAN USULAN PENELITIAN

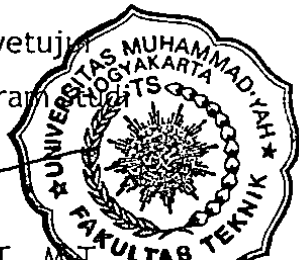
1. Judul Penelitian : Mitigasi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi dengan Teknik Kolom Kapur - Abu Sekam Padi Pada Tanah Berpasir
2. Tema Penelitian : Mitigasi dan Manajemen Bencana
3. Jenis Penelitian : Inovasi dan Pengembangan IPTEK
4. Bidang Ilmu : Rekayasa
5. Pengusul :
  - a. Nama : Dr.Eng. Agus Setyo Muntohar, S.T., M.Eng.Sc.
  - b. NIK : 123 040
  - c. Pangkat/Golongan : Penata Tk. I/ III-c
  - d. Jabatan Akademik : Lektor
  - e. Jabatan Struktural : ---
  - f. Fakultas/Prodi : Teknik/Teknik Sipil
6. Lokasi Penelitian : Laboratorium JTS FT UMY
7. Lama Penelitian : 6 bulan
8. Biaya Penelitian : Rp.12.975.000

Yogyakarta, 2 Februari 2009

Mengetahui/Menyetujui  
Ketua Jurusan/Program Studi

Pengusul

  
M. Heri Zulfiar, S.T., M.T.



  
Dr. Eng. Agus Setyo Muntohar, M. Eng. Sc.

# DAFTAR ISI

Halaman

1. JUDUL PENELITIAN _____	3
2. TEMA PENELITIAN _____	3
3. PENDAHULUAN _____	3
4. PERUMUSAN MASALAH _____	4
5. TUJUAN _____	6
6. TINJAUAN PUSTAKA _____	6
6.1 Hasil-Hasil Penelitian Terdahulu	6
6.2 Hasil-Hasil Penelitian Pustaka Rujukan	9
6.2.1 Perbaikan Tanah dengan Teknik Kolom-Kapur ( <i>lime-column</i> )	9
6.2.2 Perbaikan Tanah Untuk Mitigasi Likuifaksi	10
6.2.3 Estimasi Potensi Likuifaksi dengan Data Uji Sondir	12
7. KONTRIBUSI PENELITIAN _____	15
8. METODE PENELITIAN _____	16
8.1.1 Tahap I: Studi Campuran Kapur dan Abu Sekam Padi	16
8.1.2 Tahap II: Uji Model Kolom di Laboratorium	17
9. JADWAL PELAKSANAAN PENELITIAN _____	21
10. PERSONALIA PENELITIAN _____	21
11. PERKIRAAN BIAYA PENELITIAN _____	22
12. DAFTAR PUSTAKA _____	23
13. BIODATA PENGUSUL _____	26
14. SARANA	28

## 1. JUDUL PENELITIAN

Mitigasi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi dengan Teknik Kolom Kapur - Abu Sekam Padi Pada Tanah Berpasir

## 2. TEMA PENELITIAN

Mitigasi dan Manajemen Bencana

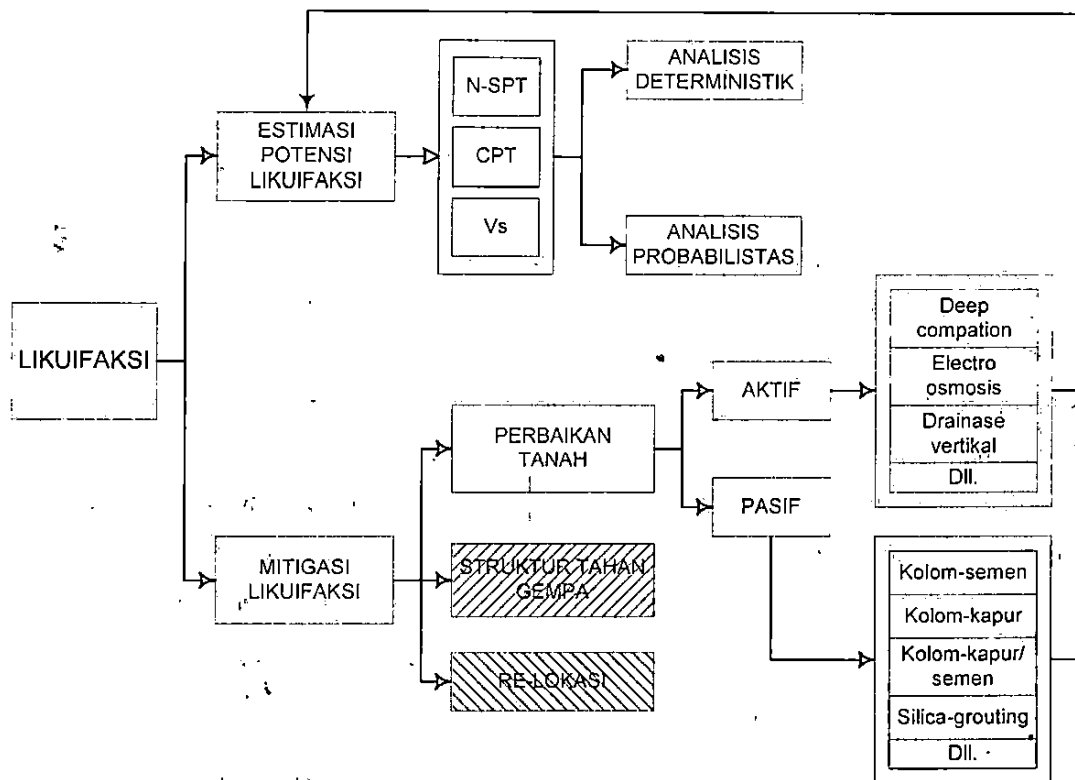
## 3. PENDAHULUAN

Likuifaksi sering terjadi pada tanah berpasir lepas dan jenuh air bila terjadi gempa bumi. Akibat kehilangan kuat geser akibat gempa dapat menyebabkan terjadinya tanah longsor, kehilangan kuat dukung pada fondasi, dan penurunan fondasi yang berlebihan. Sebagai kelanjutannya akan terjadi kerusakan pada struktur bangunan di atasnya. Gempa bumi yang melanda Yogyakarta dan Jawa Tengah pada 27 Mei 2006 telah menyebabkan kerusakan infrastruktur dan kerugian baik materi maupun jiwa manusia. Berdasarkan kajian awal (*reconnaissance*) kelompok geoteknik National Taiwan University of Science and Technology diketahui bahwa lebih dari 27 lokasi telah terjadi peristiwa sand-boiling selama gempa tersebut (Lee dkk, 2006). Sand-boiling merupakan indikasi terjadinya peristiwa likuifaksi (*liquefaction*) akibat gempa bumi yang melanda Yogyakarta dan Jawa Tengah tersebut. Salah satu lokasi terjadinya sand-boiling ini adalah di Kampus Terpadu Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang diikuti dengan retaknya permukaan tanah dan kerusakan ringan pada struktur bangunan gedung.

Muntohar dkk (2008a) menyajikan kerangka penelitian tentang likuifaksi yang meliputi dua pokok masalah yaitu prediksi potensi dan mitigasi likuifaksi. Pada kebanyakan penelitian, teknik perbaikan tanah (*ground improvement*) yang sering digunakan adalah teknik *stone-column* atau *stone-piers*. Teknik ini mampu mengurangi resiko kerusakan struktur akibat peristiwa likuifaksi (Mitchell dkk, 1995). Namun demikian teknik perbaikan tanah lainnya seperti teknik kolom dengan bahan kapur atau semen dapat digunakan sebagai alternatif untuk mengurangi resiko likuifaksi (Seed dkk, 2001). Selain itu, teknik kolom ini juga dapat digunakan sebagai fondasi untuk bangunan gedung (Kempfert, 2003). Dalam perkembangannya, bahan untuk kolom dapat berupa *colloidal-silica* yaitu silika dalam bentuk gel atau cair (Gallagher dkk, 2007a; Liao dkk, 2004). Pada sisi lain, abu sekam padi yang banyak mengandung pozzolan silika ( $\text{SiO}_2$ ) padat yang berukuran mikro merupakan bahan yang sangat baik jika dicampur dengan kapur. Hasil reaksi kapur-abu sekam padi akan membentuk bahan penyusun semen (Zhang dkk, 1996). Untuk itu penggunaannya dengan kapur untuk mitigasi likuifaksi adalah suatu alternatif pemanfaatan bahan.

#### 4. PERUMUSAN MASALAH

Pada dasarnya terdapat dua alur utama penelitian tentang likuifaksi yaitu estimasi potensi likuifaksi dan mitigasi atau teknik mitigasi likuifaksi (Gambar 1.1). Teknik mitigasi likuifaksi yang berkaitan dengan bidang geoteknik adalah perbaikan tanah. Perbaikan tanah secara pasif (*passive treatment*) telah banyak dilakukan dengan menggunakan kolom-kapur (*lime-column, LC*), kolom-semen (*cement-column, CC*) atau kolom kapur/semen (*lime/cement-column, LCC*), dan *colloidal silica*. Untuk itu masih diperlukan kajian terhadap bahan-bahan yang memiliki potensi sebagai bahan kolom. Kajian tentang kolom kapur-abu sekam padi belum pernah dilakukan. Namun campuran kapur-abu sekam padi telah diteliti oleh beberapa peneliti terdahulu untuk bahan pengganti semen (*cement substitution*) dan juga sebagai bahan stabilisasi tanah. Di negara berkembang seperti Indonesia, abu sekam padi dapat diperoleh sisa pembakaran sekam padi yang tidak terkontrol di lahan pertanian atau industri kecil batu bata dan genteng. Sisa pembakaran ini dapat menjadi limbah padat (*solid disposal*) jika tidak dimanfaatkan dengan baik. Pemanfaatan abu sekam padi belum banyak digunakan untuk keperluan konstruksi. Dengan demikian pemanfaatannya sebagai campuran kolom kapur ini dapat mengurangi resiko pencemaran lingkungan.



Gambar 1 Kerangka penelitian tentang likuifaksi (Muntohar dkk, 2008a)

Jika abu sekam padi ini digunakan sebagai campuran kapur untuk keperluan teknik kolom, potensi ketersediaan abu sekam padi di Indonesia secara tidak langsung adalah cukup besar (Tabel 1.1). Muntohar (1999) menyebutkan abu sekam padi yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi dapat mencapai 17% hingga 25%. Sekam padi yang dihasilkan dari produksi padi dapat berkisar 18% hingga 28%. Dengan demikian, berdasarkan data yang disajikan dalam Tabel 1.1, rata-rata produksi padi di Indonesia adalah 56,026 juta ton dalam lima tahun terakhir, maka ketersediaan abu sekam padi rata-rata diperkirakan berkisar 1,714 juta ton hingga 3,922 juta ton per tahun.

Tabel 1 Luas lahan dan produksi padi di Indonesia

Tahun	Luas Lahan (Juta Ha)	Hasil Panen (Qu/Ha)	Produksi (Juta Ton)	Pertumbuhan Produksi (%)
2004	11,923	45,41	54,088	3,74
2005	11,839	45,74	54,151	0,12
2006	11,786	46,20	54,455	0,56
2007	12,148	47,05	57,157	4,96
2008*)	12,344	48,83	60,280	5,46

\*) Estimasi musim tanam ketiga. Sumber: Biro Pusat Statistik (<http://www.bps.go.id/sector/agri/pangan/table1.shtml>, diakses tanggal 22 November 2008)

Pada teknik kolom, kapur atau semen yang sering digunakan adalah dalam bentuk bubuk kering (*dry powder*) atau berbentuk pasta. Sedangkan untuk *colloidal silica* berbentuk cairan. Bahan-bahan tersebut memerlukan media air tanah agar bahan tersebut dapat tersebar secara gravitasi dan reaksi kimia dengan tanah di sekitarnya. Penyebaran bahan ke sekitar kolom melalui pori-pori tanah dengan bantuan media air tanah. Hasil dari proses reaksi kimia tersebut adalah mengikat partikel-partikel tanah dan pengerasan tanah permanen yang mana akan meningkatkan kekuatan tanah terhadap gempa. Oleh karena itu, jarak penyebaran kekuatan tanah di sekitar kolom baik arah radial maupun vertikal dan umur pemasangan kolom-semen perlu dijadikan sebagai variabel yang akan dikaji. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, efektifitas kolom untuk meningkatkan kuat dukung tanah bergantung pada banyak faktor antara lain ukuran kolom (yaitu diameter dan panjang) susunan kolom, teknik pencampuran, kondisi tanah, dan jenis bahan yang digunakan. Porbaha dkk (1999) menyebutkan bahwa penelitian masih harus dilakukan untuk membuat suatu petunjuk teknis dan detail penggunaan teknik kolom untuk mitigasi likuifaksi. Berdasarkan uraian tersebut, maka sangatlah perlu untuk dilakukan kajian tentang pemanfaatan abu sekam padi sebagai bahan campuran kolom kapur sehingga terbentuk kolom kapur komposit. Untuk menerapkannya di lapangan, maka diperlukan suatu

panduan teknik tentang campuran, cara pembuatan kolom kapur-abu sekam padi dan susunan kolom tersebut.

## 5. TUJUAN

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengkaji penggunaan teknik kolom kapur-abu sekam padi guna mengurangi resiko likuifaksi akibat gempa. Untuk selanjutnya dalam tulisan ini penggunaan istilah kolom menunjukkan kolom dengan campuran kapur dan abu sekam padi. Kajian ini meliputi kajian di laboratorium dan model lapangan. Kajian laboratorium difokuskan pada penyebaran kekuatan tanah dan deformasi kolom kapur-abu sekam padi akibat beban dinamik. Secara rinci tujuan penelitian ini dapat diuraikan menjadi :

1. mempelajari sifat mekanis campuran kapur dan abu sekam padi.
2. mengkaji penyebaran kuat dukung tanah di sekitar kolom baik pada arah radial maupun arah vertikal.
3. mengkaji pengaruh umur kolom terhadap kuat dukung tanah di sekitar kolom kapur.
4. mengkaji susunan kolom yang memberikan kuat dukung tanah yang tinggi.

## 6. TINJAUAN PUSTAKA

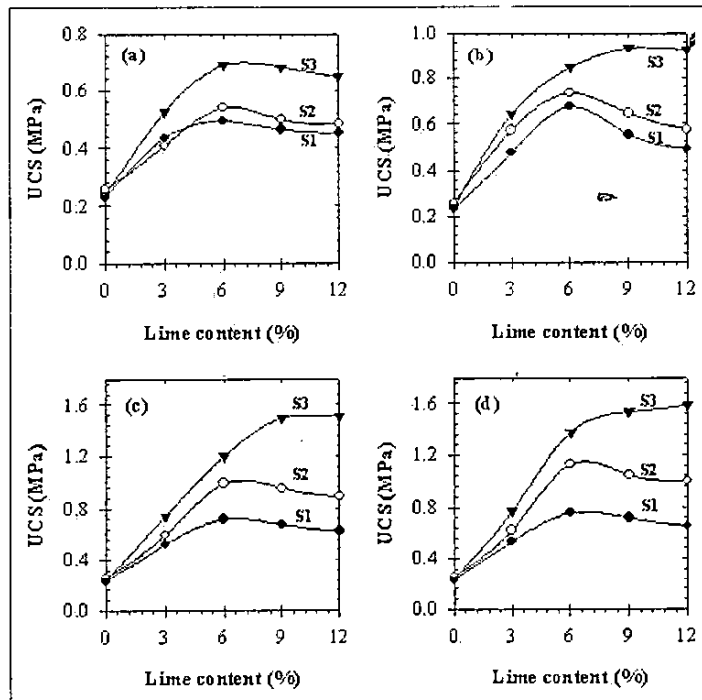
### 6.1 Hasil-Hasil Penelitian Terdahulu

Muntohar (2003) melakukan kajian tentang kuat tekan bebas campuran tanah lempung dan kapur. Kapur yang dicampurkan ke dalam tanah tersebut bervariasi dengan kadar 3% hingga 12%. Hasil penelitian mengusulkan bahwa kadar kapur sejumlah 6% terhadap berat tanah sudah cukup untuk meningkatkan kekuatan tanah (Gambar 2). Kekuatan kolom kapur terus meningkat sejalan dengan waktu hingga 56 hari, namun penambahan kekuatan relatif kecil setelah umur 7 hari.

Muntohar dan Liao (2006) melakukan kajian penyebaran kekuatan tanah disekitar kolom kapur yang berdiameter 50 mm di laboratorium. Hasil kajian ini menyebutkan bahwa penyebaran kekuatan tanah disekitar kolom kapur terjadi pada arah radial dan arah vertikal. Pada arah radial, kekuatan tanah dapat meningkat hingga jarak 4 kali diameter ( $4x D$ ) seperti disajikan pada Gambar 3a. Sedangkan pada arah vertikal, kekuatan tanah dapat meningkat hingga pada kedalaman  $8 x D$  dibawah kolom kapur.

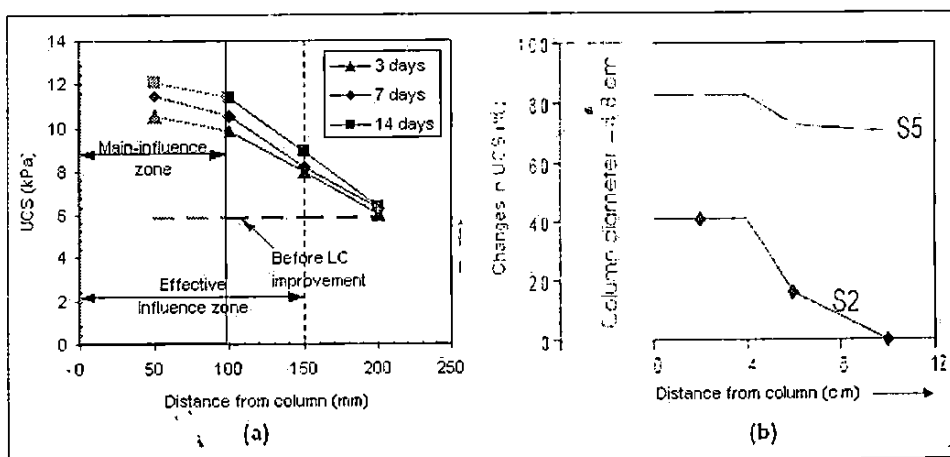
Muntohar dkk (2008b) telah melakukan pengujian lapangan terhadap kekuatan tanah di sekitar kolom-kapur. Kolom kapur yang digunakan berukuran diameter 0,152 m (6 inch) dan panjang kolom yang dipasang 1,5 m. Berdasarkan hasil uji sondir sebelum pemasangan kolom kapur, tanah di kedalaman 1,6 m - 2,0 m berotensi mengalami

likuifaksi yang mana nilai kuat dukungnya sangat rendah yaitu berkisar 0,19 MPa - 0,29 MPa (Gambar 4). Namun, setelah pemasangan kolom-kapur, nilai  $q_c$  menunjukkan peningkatan pada kedalaman 1,6 m hingga 2 m. Kejadian ini menjadi salah satu indikasi adanya pengurangan resiko likuifaksi.



(Keterangan: UCS = unconfined compressive strength, S1 = 5% Bentonite + 95% Kaolin; S2: 10% Bentonite + 90% Kaolin; S3: 30% Bentonite + 70% Kaolin;)

Gambar 2 Pengaruh kadar kapur terhadap nilai kuat tekan bebas pada berbagai umur (a) 1 hari (b) 7 hari (c) 28 hari, dan (d) 56 hari (Muntohar, 2003).

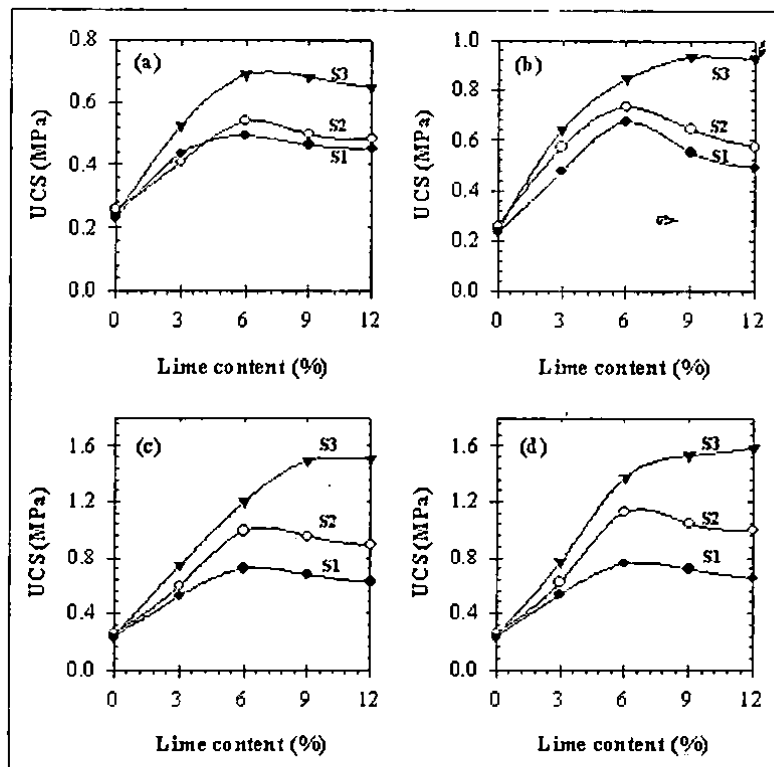


(Keterangan: UCS = unconfined compressive strength, S2 = benda uji tanah lanau plastisitas tinggi, S5 = benda uji lempung plastisitas tinggi, LC = lime-column)

Gambar 3 Penyebaran kekuatan arah radial berdasarkan nilai kuat tekan bebas (a) Muntohar and Liao (2006), (b) Tonoz (2003).

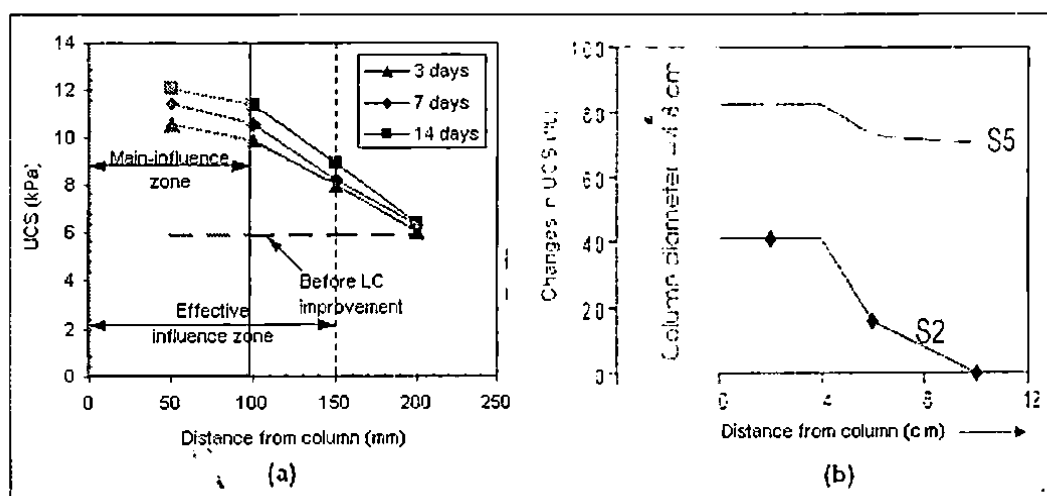


likuifaksi yang mana nilai kuat dukungannya sangat rendah yaitu berkisar 0,19 MPa - 0,29 MPa (Gambar 4). Namun, setelah pemasangan kolom-kapur, nilai  $q_c$  menunjukkan peningkatan pada kedalaman 1,6 m hingga 2 m. Kejadian ini menjadi salah satu indikasi adanya pengurangan resiko likuifaksi.



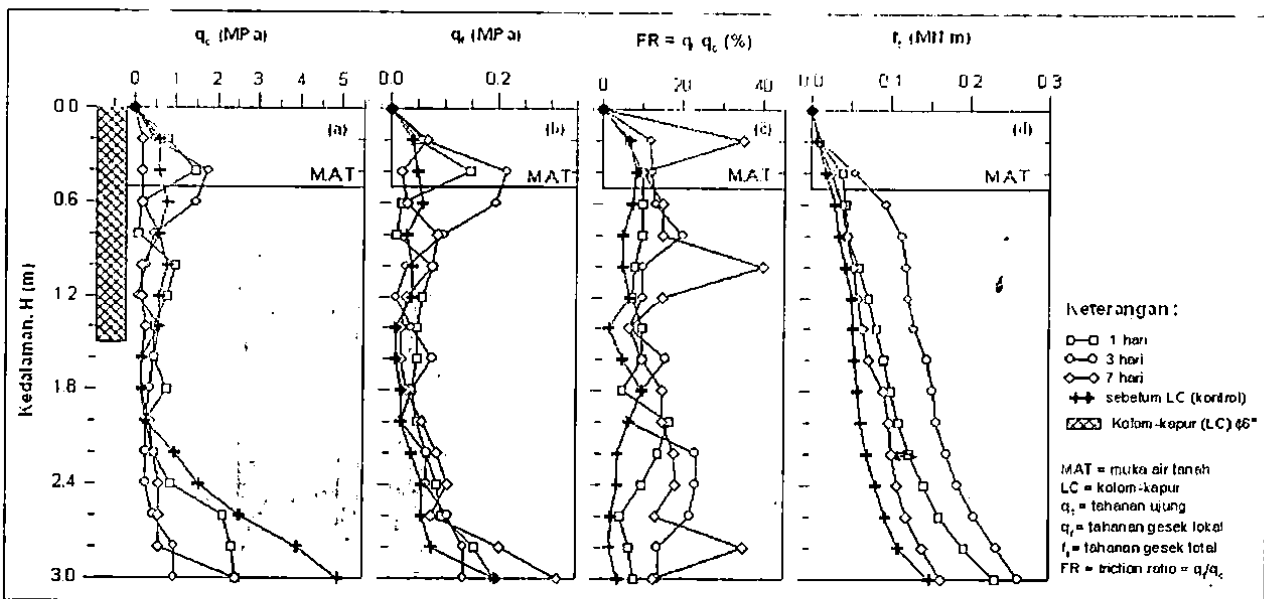
(Keterangan: UCS = unconfined compressive strength, S1 = 5% Bentonite + 95% Kaolin; S2: 10% Bentonite + 90% Kaolin; S3: 30% Bentonite + 70% Kaolin;)

Gambar 2 Pengaruh kadar kapur terhadap nilai kuat tekan bebas pada berbagai umur (a) 1 hari (b) 7 hari (c) 28 hari, dan (d) 56 hari (Muntohar, 2003).

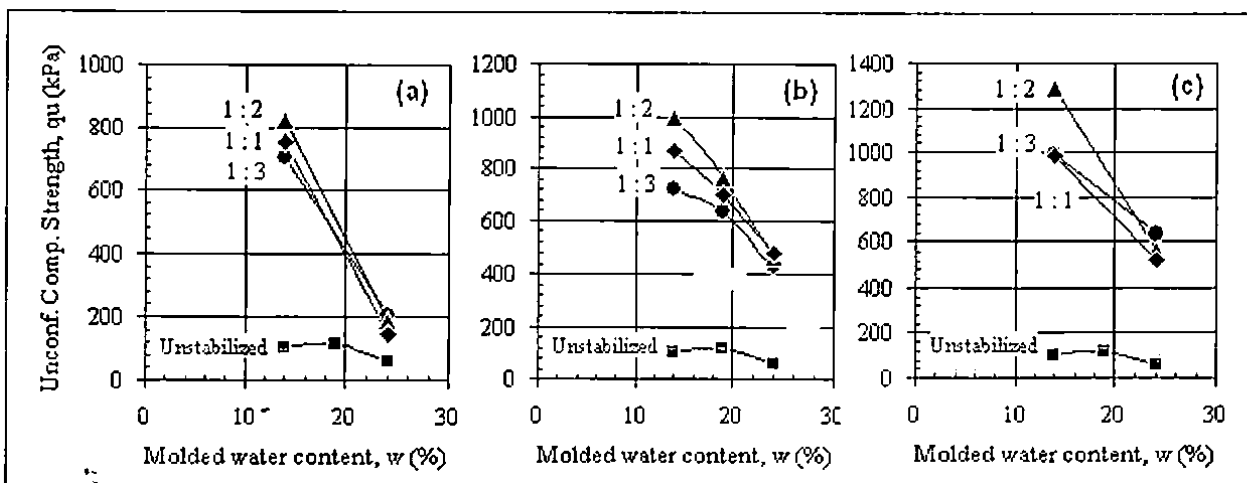


(Keterangan: UCS = unconfined compressive strength, S2 = benda uji tanah lanau plastisitas tinggi, S5 = benda uji lempung plastisitas tinggi, LC = lime-column)

Gambar 3 Pengaruh jarak dari kolom kapur terhadap nilai kuat tekan bebas (a) Muntohar



Gambar 4 Hasil uji sondir setelah pemasangan kolom-kapur pada umur 1 hari, 3 hari, dan 7 hari (Muntohar dkk, 2008).



(Catatan: Angka 1 : 1, 1 : 2, dan 1 : 3 menunjukkan perbandingan campuran kapur : abu sekam padi)

Gambar 5 Kuat tekan bebas pada variasi kadar air (a) kadar kapur pada LRS-3%, (b) kadar kapur pada LRS (c) kadar kapur pada LRS+3% (Muntohar, 2005a).

Kajian tentang campuran kapur dan abu sekam padi untuk perbaikan tanah lempung telah dilakukan sebelumnya untuk menentukan perbandingan campuran yang menghasilkan sifat-sifat tanah yang baik. Muntohar (2005a) memperoleh bahwa proporsi campuran kapur - abu sekam padi dengan perbandingan 1 : 2 (pada kadar kapur optimum) memberikan peningkatan kekuatan yang sangat baik seperti disajikan pada Gambar 5. Tanah yang dicampur dengan kapur dan abu sekam padi memiliki kekuatan atau kuat geser yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan tanah yang tidak distabiliasi. Namun cenderung untuk berperilaku getas (*brittle*) seperti ditunjukkan oleh oleh Muntohar dan Hashim (2002). Muntohar (2002) menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi pada 6% kapur cenderung menyebabkan tanah menjadi berperilaku

agak getas. Penelitian yang dilakukan oleh Basha dkk (2005) menunjukkan bahwa kekuatan yang tinggi dicapai oleh tanah *residual* yang distabilisasi oleh semen dan abu sekam padi. Pada campuran 8% semen dan 20% abu sekam padi, tanah berperilaku agak getas jika dibandingkan dengan tanah yang hanya distabilisasi oleh 10% semen. Hasil kajian yang dilakukan oleh Muntohar (2005b) menyebutkan kekuatan geser yang tinggi ini juga diikuti oleh perilaku tanah yang getas sebagai akibat terbentuknya cemented material seperti *calcium silicate hydrate* (CSH) yang mana diamati melalui *X-Ray diffraction*. Kekuatan tanah ini terus meningkat seiring dengan bertambahnya waktu sebagai akibat adanya reaksi pozolanisasi antara partikel tanah, kapur dan abu sekam padi. Salah satu hal penting dalam stabilisasi tanah adalah ketahanan terhadap rendaman (*resistance to immersion in water*). Akibat rendaman air selama 7 hari, tanah yang distabilisasi dengan 6% kapur hanya memiliki kekuatan sebesar 40% dari kekuatan tanah jika tidak direndam. Namun dengan penambahan abu sekam padi hingga mencapai 12%, kekuatan tanah yang direndam mampu meningkat hingga mencapai 70% dari kekuatan tanah tanpa direndam (Muntohar, 2005b).

## 6.2 Hasil-Hasil Penelitian Pustaka Rujukan

### 6.2.1 Perbaikan Tanah dengan Teknik Kolom-Kapur (*lime-column*)

Stabilisasi tanah (*deep soil stabilization*) menggunakan teknik kolom atau campuran kapur-semen merupakan metode yang sering dilakukan untuk perbaikan tanah khususnya tanah lunak (*soft soils*). Metode ini dilakukan dengan cara menyemprotkan (*injection*) campuran kering kapur ke dalam tanah lempung sehingga terbentuklah kolom-kolom tegak (Rogers & Glendinning, 1997). Metode ini telah terbukti dapat mengurangi biaya konstruksi dibandingkan dengan metode lainnya seperti pada konstruksi jalan dan embankment jalan kereta, timbunan di atas tanah lunak (Baker, 2000). Uji model di lapangan (*full scale model*) oleh Baker (2000) menunjukkan bahwa penggunaan kolom kapur memiliki daktilitas yang lebih baik dibandingkan dengan kolom kapur-semen. Bahan yang digunakan untuk membuat kolom seperti kapur atau semen atau kapur-semen akan menyebar melalui rongga atau pori tanah sehingga terjadi reaksi sementasi dengan tanah di sekitar kolom. Sebagai hasilnya, teknik ini meningkatkan kuat dukung dan mengurangi penurunan sebagai akibat dari meningkatnya kekuatan dan kekakuan tanah. menyimpulkan bahwa kapur dalam kolom kapur dapat merubah sifat-sifat tanah lempung dalam waktu 1 - 3 hari setelah pembuatan kolom. Penggunaan kapur untuk pembuatan kolom kapur didasarkan pada kebutuhan awal kapur (*initial consumption of*

*lime*) oleh tanah yang penentuannya mengacu pada ASTM C977-98 (Roger dan Glendinning, 2002).

Zhou dkk. (2002) mengkaji tentang kapasitas dukung dan settlement dari kolom kapur-*fly ash* dengan uji model lapangan. Uji lapangan ini menggunakan dua model yang berbeda yaitu kolom tunggal dan kelompok kolom dengan kadar kapur 10% dan 20%. Kolom tunggal berdiameter 0,50 m dan panjang 9,6 m, sedangkan kelompok kolom tersusun dari 4 kolom tunggal yang dihubungkan dengan kepala kolom berukuran 2 m x 2 m dengan jarak antar kolom 1 m. diketahui bahwa kelompok kolom kapur-abu terbang mengalami penurunan lebih besar dibandingkan dengan kolom tunggal untuk kadar kapur yang sama. Namun demikian, kelompok kolom kapur-abu terbang mencapai kuat dukung yang lebih besar daripada kolom tunggal. Hal lain menunjukkan kinerja kolom kapur-abu terbang dalam kelompok lebih baik dibandingkan kolom tunggal.

Tonoz dkk. (2003) melakukan kajian model di laboratorium terhadap karakteristik kolom kapur untuk tanah lempung mengembang pada arah radial terhadap pusat kolom. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa jarak efektif dari pengaruh kolom kapur adalah 1 kali diameter ke arah radial (Gambar 2.2b). Namun, kolom kapur masih mampu memperbaiki sifat-sifat geoteknis seperti kekuatan dan pengembangan sampai dengan jarak 2 kali diameter ( $2 \times D$ ). Hasil serupa dengan Tonoz et. al (2003) juga dikemukakan oleh Budi (2003) bahwa penyebaran kekuatan akibat pembuatan kolom kapur adalah sampai dengan jarak 2,5 - 3 kali diameter kolom ( $2,5 \times D - 3 \times D$ ) dengan kekuatan terbesar di dekat kolom. Tonoz dkk. (2003) dan Budi (2003) mengkaji karakteristik kolom kapur terhadap sifat-sifat tanah adalah pada umur kolom 7 dan 28 hari dengan asumsi bahwa pada umur-umur tersebut telah terjadi reaksi kimia antara kapur dan tanah yang menyebabkan perubahan sifat-sifat tanah secara tetap.

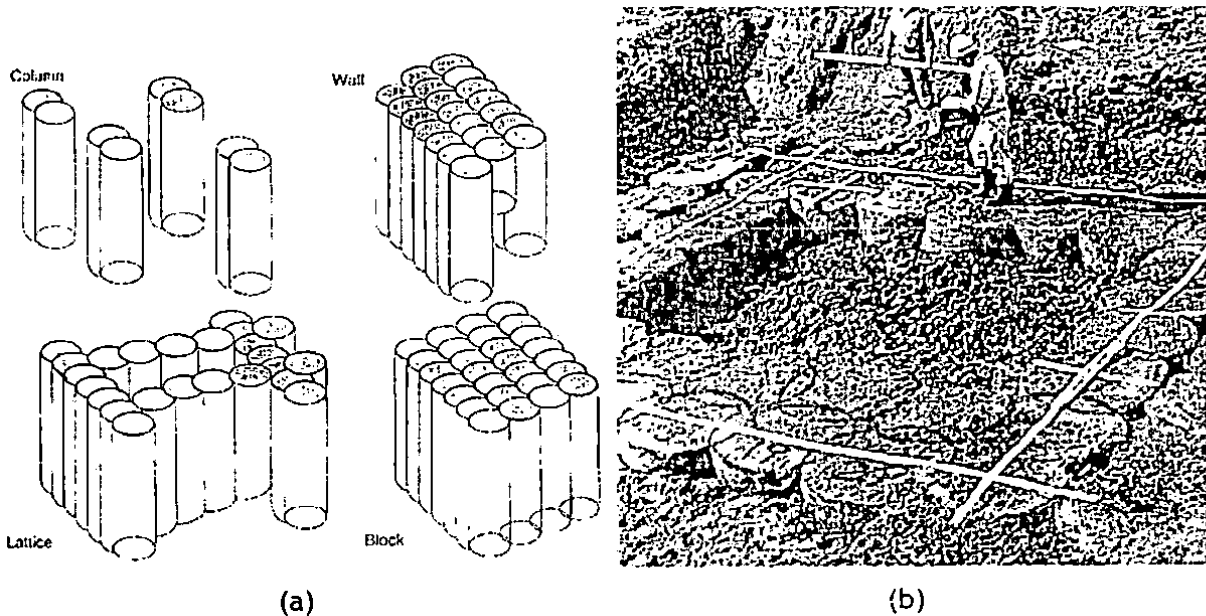
### 6.2.2 Perbaikan Tanah Untuk Mitigasi Likuifaksi

Peneliti-peneliti sebelumnya juga melakukan beberapa kajian teknik perbaikan tanah berpasir yang memiliki potensi likuifaksi. Pada area urban yang relatif padat bangunan, teknik grouting lebih sering digunakan. Jenis bahan untuk grouting yang berasal dari kapur atau semen akan membentuk suatu kolom (Galagher dkk., 2007a). Susunan kolom dapat beragam dan dapat dibentuk menjadi suatu pola kolom (*column*), dinding (*wall*), jejaring (*lattice*), dan kelompok kolom (*block*) seperti disajikan pada Gambar 6. Untuk area yang relatif luar pola jejaring dan kelompok lebih sering diterapkan. Namun, pola jejaring lebih ekonomis dan efektif untuk mengurangi resiko likuifaksi. Pola kolom dan dinding lebih sesuai untuk perbaikan tanah pada area urban (Probaha dkk., 1999).

Probaha, S., & H. S. (1999). *Soil Improvement Techniques for Liquefaction Mitigation in Urban Areas*.

Station. Kolom-semen dibuat dengan teknik grouting hingga kedalaman 14 m dan jarang antar kolom 2 m pada area seluas 17 m x 48 m. Setelah umur 28 hari, contoh benda uji diambil dari tengah kolom untuk diuji tekan bebas dan hasilnya adalah 1,4 MPa (Tsai dkk, 1993).

Sedangkan jenis bahan *colloidal silica* selain dapat membentuk kolom juga akan mudah masuk (*permeate*) dan menyebar lebih luas ke dalam pori-pori tanah. Liao dkk (2004) melakukan uji laboratorium terhadap penggunaan *colloidal-silica* dengan metode grouting pada tanah berpasir pasca gempa Chi-Chi yang terjadi di Taiwan 1999. Pengujian laboratorium yang dilakukan meliputi uji tekan bebas dan uji triaksial-siklik (*cyclic-triaxial*) dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Penelitian ini menunjukkan bahwa regangan yang ditimbulkan akibat adanya likuifaksi pada tanah yang tidak distabilisasi adalah 1,6 kali lebih besar dibanding dengan tanah yang distabilisasi dengan *colloidal silica*. Gallagher dan Mitchell (2002) menyebutkan bahwa konsentrasi *colloidal-silica* sebesar 5% (terhadap berat) telah mampu untuk mengurangi resiko likuifaksi akibat gempa bumi.



Gambar 6 (a) Ragam pola teknik kolom, dan (b) Hasil penerapan teknik kolom (Probaha dkk., 1999)

Uji model kolom terhadap beban dinamik dengan alat *centrifuge* dilakukan oleh Gallagher dkk. (2007a) guna mengetahui pola penyebaran model kolom. Hasil kajiannya menjelaskan bahwa bahan stabilisasi lebih mudah menyebar mengikuti aliran air tanah. Pada kajian teknik kolom di lapangan, Gallagher dkk. (2007b) menggunakan metode *slow injection* digunakan untuk menstabilisasi tanah berpasir sampai pada kedalaman 2

dengan 8 lokasi grouting *colloidal-silica*. Penelitian ini, menunjukkan bahwa tanah yang distabilisasi mengalami penurunan setinggi 0,3 m, lebih rendah 0,2 m di banding dengan tanah yang tidak distabilisasi yaitu setinggi 0,5 m. Namun demikian, pada evaluasi dengan menggunakan sondir dan *shear wave velocity* tidak diperoleh hasil yang memuaskan dikarenakan beragamnya sifat-sifat tanah di sekitar area yang distabilisasi. Akan tetapi, hasil penelitian lapangan lainnya dapat mengevaluasi pengaruh kolom-semen dari uji sondir secara baik dengan cara menghitungnya menjadi *cyclic resistance ratio* (CRR) yang merupakan hasil analisis data CPT (Martin dkk., 2004).

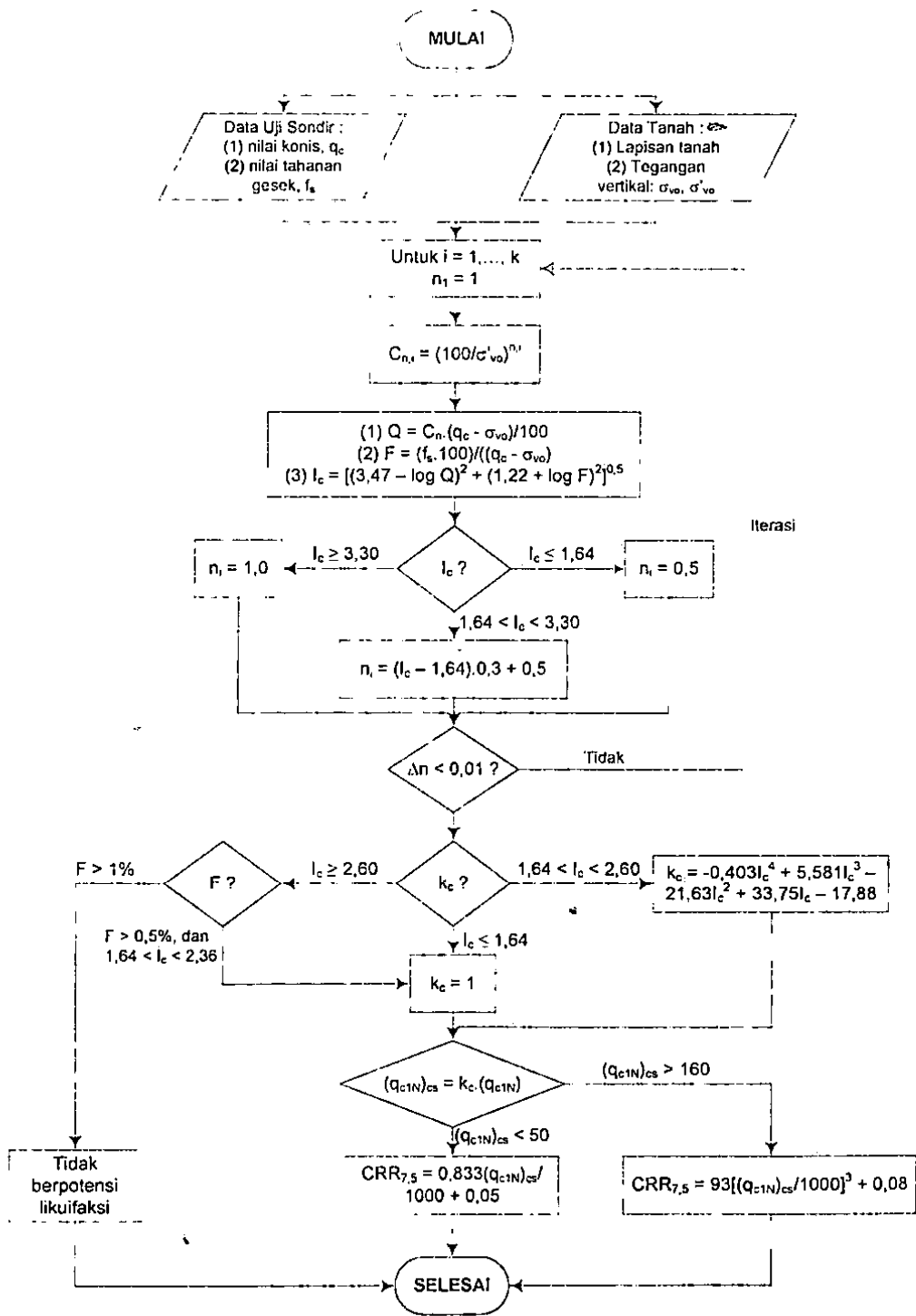
### 6.2.3 Estimasi Potensi Likuifaksi dengan Data Uji Sondir

Prinsip dasar dalam evaluasi likuifaksi tanah adalah menghitung atau estimasi dua variabel utama yaitu (1) perilaku seismik tanah atau *cyclic stress ratio* (CSR) yang merupakan tegangan siklik yang menyebabkan likuifaksi dan (2) kemampuan tanah untuk menahan likuifaksi atau *cyclic resistance ratio* (CRR). Estimasi nilai CRR pada tanah berpasir dapat dihitung dengan menggunakan data lapangan dapat didasarkan pada data hasil uji penetrasi standar atau *standard penetration test* (SPT), uji sondir atau *cone penetration test* (CPT), pengukuran kecepatan gelombang geser atau *shear wave velocity* ( $V_s$ ). Masing-masing jenis pengujian tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Namun diantara ketiga metode tersebut, metode CPT memiliki kualitas data yang sangat baik (Youd dan Idriss, 2001; Robertson, dan Wride, 1998).

Metode analisis likuifaksi pada awalnya adalah analisis deterministik dengan menghasilkan suatu kurva yang mengidentifikasi suatu tanah mengalami likuifaksi atau tidak. Pada analisis deterministik, likuifaksi akan terjadi jika nilai faktor keamanan (*factor of safety*, FS) kurang dari dan sama dengan satu,  $FS \leq 1$ . Faktor keamanan ini merupakan perbandingan antara CRR dan CSR ( $FS = CRR/CSR$ ). Sedangkan likuifaksi tidak akan terjadi bila  $FS > 1$ . Metode analisis probabilistik merupakan pengembangan dari metode deterministik yang didasarkan pada derajat ketidakpastian (*uncertainties*). Pada beberapa kasus yang ada, metode probabilistik ini memberikan hasil estimasi yang lebih baik daripada metode deterministik (Juang dkk., 2002; Cetin dkk., 2004; Moss dkk., 2006). Untuk evaluasi CSR tidak ada perbedaan dalam penelitian-penelitian terdahulu yaitu mengacu pada persamaan (1) yang diusulkan oleh Seed dan Idriss (1971) sebagaimana dituliskan dalam Robertson (2004).

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) \cdot r_d \quad (1)$$

dengan  $\tau_{uv}$  adalah tegangan geser siklik yang didekati dengan percepatan permukaan tanah maksimum arah horisontal ( $a_{max}$ ),  $g$  merupakan percepatan gravitasi =  $9,81 \text{ m/s}^2$ ,  $\sigma_{uv}$  dan  $\sigma'_{uv}$  adalah tegangan overburden vertikal total dan efektif, dan  $r_d$  adalah faktor pengurangan tegangan yang merupakan fungsi kedalaman ( $z$ ). Nilai  $r_d$  ini didekati dengan fungsi bi-linear seperti dituliskan pada persamaan (2).



Gambar 7.2 Diagram Alir untuk Menentukan CRR (diperoleh dari Robertson, 2001)

$$r_d = \begin{cases} 1 - 0,00765z & \text{untuk } z < 9,15 \text{ m} \\ 1,174 - 0,0267z & \text{untuk } 9,15 \leq z \leq 23 \text{ m} \end{cases} \quad (2)$$

dimana  $z$  adalah kedalaman dengan satuan m. Walaupun Robertson (2004) menyebutkan bahwa persamaan (2) tersebut memberikan hasil estimasi yang baik, Cetin dkk. (2004) menjelaskan bahwa estimasi  $r_d$  tersebut menghasilkan nilai bias.

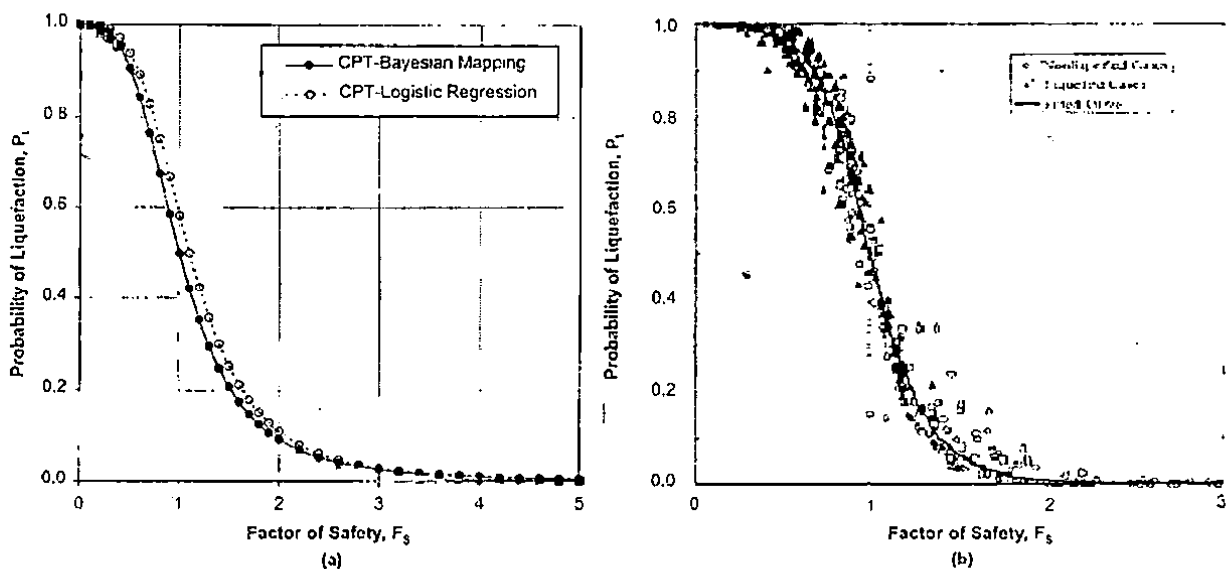
Sedangkan untuk evaluasi CRR terdapat beberapa usulan, namun dalam NCEER workshop pada tahun 1996 (Youd dan Idriss, 2001) digunakan pendekatan yang dibuat oleh Robertson dan Campanella (1985) dengan beberapa perbaikan. Gambar 7 menyajikan diagram alir untuk estimasi CRR.

Selanjutnya faktor keamanan (FS) terhadap likuifaksi dapat dihitung berdasarkan persamaan (3).

$$FS = \left( \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \right) \cdot MSF \quad (3)$$

dengan MSF adalah faktor pengali besar gempa (magnitude scaling factor) yaitu faktor pengali besar gempa dalam skala momen  $M = 7,5$  agar setara dengan CRR untuk gempa. Besarnya MSF yang diusulkan dalam Youd dan Idriss (2001) seperti dituliskan pada persamaan (2.4).

$$MSF = \frac{174}{M^{2,56}} \quad (4)$$



Gambar 8 Hubungan probabilitas likuifaksi dan faktor keamanan (a) Juang dkk., (2002), (b) Lai dkk. (2006).

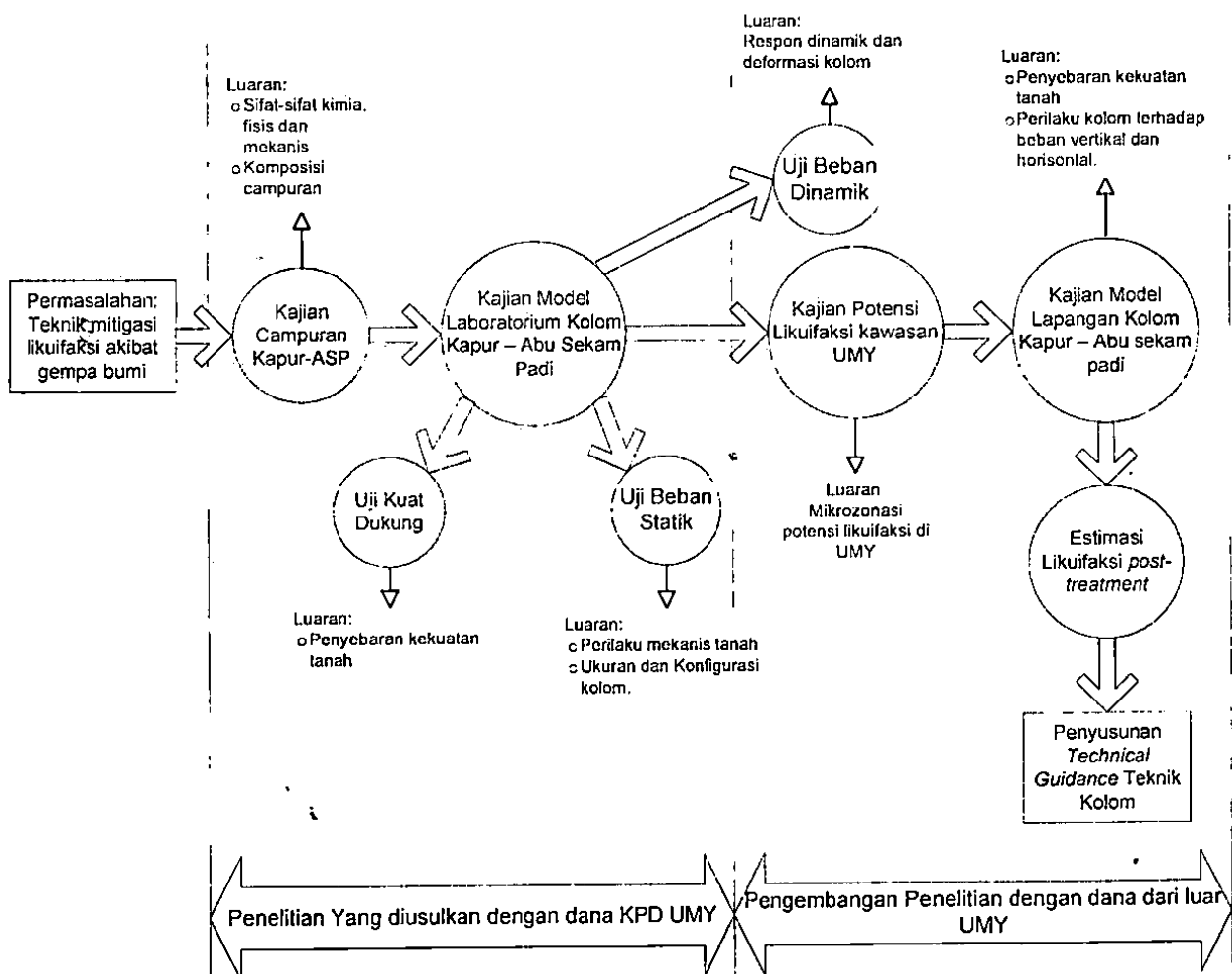
Menggunakan persamaan-persamaan (1) hingga (4) yang diberikan pada analisis deterministik Juang dkk. (2002) dan Lai dkk. (2006) memberikan suatu hubungan antara



probabilitas likuifaksi dan faktor keamanan berdasarkan analisis probabilistik (gambar 8). Salah satu kelebihan metode analisis probabilistik adalah mampu menunjukkan derajat resiko (*level of risk*) atau derajat kebolehjadian (*plausibility*) yang mana tidak dapat ditunjukkan dari hasil analisis deterministik. Hal ini menjadi penting sehubungan dengan derajat ketidakpastian likuifaksi itu sendiri.

## 7. KONTRIBUSI PENELITIAN

Penelitian ini akan memberikan manfaat terhadap pengembangan pengetahuan dan teknologi khususnya bidang geoteknik. Selain itu penelitian ini dapat memberikan manfaat untuk mitigasi bahaya likuifaksi akibat gempa bumi. Pemanfaatan campuran kapur - abu sekam padi dapat menggantikan bahan semen untuk bahan konstruksi kolom kapur yang serupa dengan fondasi kolom bor dapat digunakan sebagai struktur fondasi. Sehingga memberikan pilihan dalam konstruksi fondasi untuk tanah mengembang. Hasil kajian penyebaran kekuatan tanah di sekitar kolom akan memberikan informasi tentang efektifitas penggunaan kolom. Secara detail posisi, kontribusi, dan rencana pengembangan penelitian ini dapat dijelaskan dengan skema pada gambar 9.



## 8. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dibagi menjadi dua kajian utama yaitu :

1. Tahap I merupakan kajian yang dimaksudkan untuk mengeksplorasi campuran kapur dan abu sekam padi
2. Tahap II yaitu kajian tentang model kolom di laboratorium untuk mengetahui penyebaran kekuatan tanah (kuat geser) di sekitar kolom dan kuat dukung kolom akibat beban statik.

Secara rinci tahapan pengujian dalam penelitian dijelaskan sebagai berikut.

### 8.1.1 Tahap I: Studi Campuran Kapur dan Abu Sekam Padi

#### a. Bahan

Kapur yang digunakan merupakan jenis kapur padam (*hydrated lime*) berbentuk bubuk (*powder*), guna menghindari proses *exothermic* yang dapat merusak kulit dan peralatan yang digunakan. Abu sekam padi yang digunakan merupakan sisa dari pembakaran sekam padi untuk bahan bakar dalam proses pembuatan batu bata di daerah Godean, Yogyakarta. Abu sekam padi ini kemudian dihaluskan (*grinding*) dengan alat Los Angeles selama  $\pm 2$  jam. Sebagai variabel kontrol dibuat pula benda uji dengan bahan semen atau *original portland cement* (OPC). Campuran kapur - abu sekam padi dibuat menjadi pasta dan mortar dengan perbandingan air 0,65 guna mengkaji sifat-sifat mekanis dan hidraulik campuran tersebut. Proporsi persentase kapur dan abu sekam padi yang dibuat bervariasi dengan perbandingan persentase terhadap berat yaitu 10 : 90, 30 : 70, 50 : 50, 70 : 30, dan 90 : 10 (Tabel 2).

Tabel 2 Rancangan penelitian untuk eksplorasi bahan

Benda Uji	Kode	Jenis Pengujian	
		Vicat	$f_c$ *
Kapur	K	○	○
Abu sekam padi	ASP	○	○
Semen	OPC	●	●
Campuran 10K : 90ASP	KA1	●	●
Campuran 30K : 70ASP	KA3	●	●
Campuran 50K : 50ASP	KA5	●	●
Campuran 70K : 30ASP	KA7	●	●
Campuran 90K : 10ASP	KA9	●	●

Keterangan : ● = diuji, ○ = tidak diuji, Vicat = uji vicat untuk setting time pasta.  $f_c$  = uji kuat

### b. Rancangan Pengujian Laboratorium

Pengujian sifat-sifat hidraulik dan mekanis yang dilakukan adalah uji *setting time* dan kuat tekan mortar yang masing-masing mengacu pada standar uji mengacu pada ASTM C191 (2003) dan ASTM C109 (2003). Kuat tekan mortar diuji pada umur benda uji 1, 3, 7, 14, 28, 60, 90, dan 180 hari. Benda uji mortar dibuat berbentuk kubus dengan ukuran sisi-sisinya 5 cm. Pengujian sifat-sifat fisik, mekanis dan hidraulik dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Rancangan pengujian laboratorium terhadap benda uji diringkaskan dalam Tabel 2. Benda uji yang dibuat untuk uji kuat tekan mortar adalah 2 benda uji untuk setiap variasi campuran.

### c. Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengujian laboratorium terhadap sifat-sifat mekanis adalah *setting time* (dalam menit), dan kuat tekan untuk berbagai variasi campuran kapur dan abu sekam padi. Untuk menentukan proporsi campuran kapur dan abu sekam padi yang memberikan sifat-sifat yang baik maka dilakukan analisis korelasi sederhana masing-masing variabel dengan variasi campuran kapur dan abu sekam padi. Seluruh analisis korelasi di atas ditampilkan dalam suatu grafik-grafik hubungan dengan variasi campuran kapur dan abu sekam padi sebagai variabel bebas.

## 8.1.2 Tahap II: Uji Model Kolom di Laboratorium

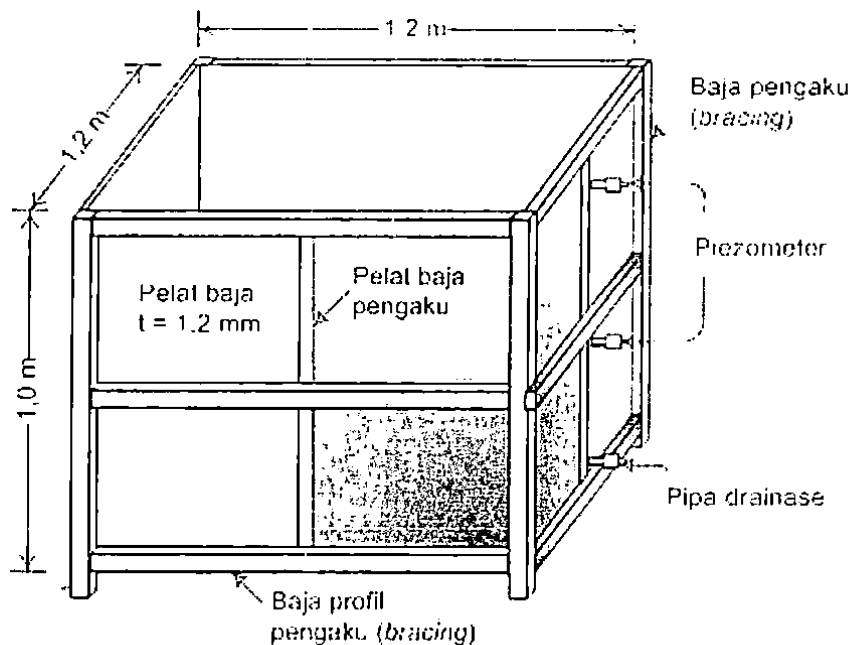
Pada tahap ini akan dilakukan pengujian laboratorium terhadap model kolom yang dimaksudkan untuk mengkaji pola penyebaran kekuatan tanah di sekitar kolom dan konfigurasi kolom yang efektif. Bahan pembuat kolom merupakan campuran kapur - abu sekam padi yang diperoleh dari hasil kajian campuran pada tahap pertama penelitian.

### a. Pemodelan Laboratorium

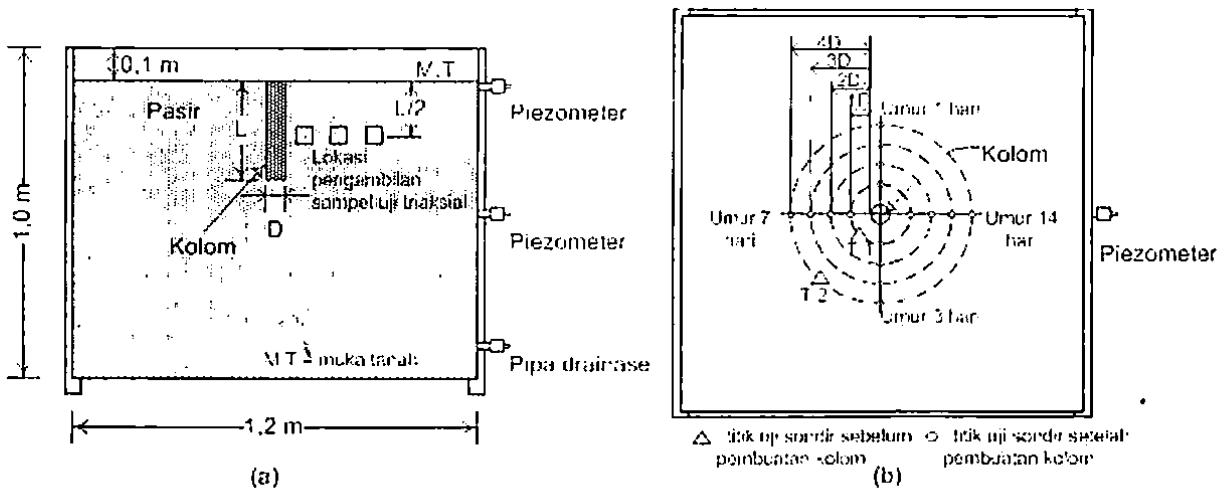
Tanah dan kolom dimodelkan dengan Model 3-D di laboratorium yang terbuat dari panel kotak atau container kedap air berukuran 120 x 120 x 100 cm (Gambar 10). Tanah yang digunakan sebagai media adalah pasir dengan gradasi seragam (*uniformly graded*) yang dikondisikan dalam keadaan jenuh air (*fully-saturated*). Ketebalan pasir dalam kontainer direncanakan 90 cm. Pasir dituangkan ke dalam kontainer dalam tiga lapisan (setiap 30 cm) sehingga memiliki angka pori  $0,5 \pm 0,1$ . Setelah pasir selesai dituangkan, derajat kepadatan pada setiap lapisan diuji dengan metode *land cone method* sesuai prosedur standar ASTM D

1556. Guna memastikan lapisan pasir dalam kondisi jenur air, pasir digenangi air dengan ketinggian 10 cm di atas permukaan pasir.

Ukuran kolom dibuat dengan ukuran diameter  $D = 50 \text{ mm}$  (2 inch) dan perbandingan panjang ( $L$ ) terhadap diameter kolom,  $\frac{L}{D} = 3$  (dikategorikan sebagai tiang pendek). Kolom kapur dibuat dengan cara memasukkan selubung pipa dan mengeluarkan tanah dalam pipa dengan bor tangan, kemudian kapur dimasukkan sesuai dengan volume tanah yang dikeluarkan dan diberi tekanan agar padat.



Gambar 10 Kontainer model 3-D kolom kapur-abu sekam padi di laboratrium.



Gambar 11 (a) Kolom dan lokasi pengambilan sampel (b) rencana titik uji sondir

## b. Pengujian Laboratorium

Uji laboratorium ini meliputi : (1) uji sondir (*cone penetration test*) untuk menentukan kekuatan tanah pada arah radial dan vertikal, 2) uji beban langsung untuk mengetahui perilaku penurunan kolom akibat beban, dan (3) Uji triaksial untuk mengetahui kuat geser tanah.

- **Uji Sondir**

Uji sondir dilakukan hanya pada kolom tunggal (gambar 11b) pada jarak radial 1XD, 2XD, 3XD, dan 4XD. Jenis konis yang digunakan adalah konis ganda. Kekuatan tanah berupa nilai perlawanan ujung konis  $q_c$  dan gesek  $q_f$  dibaca dari manometer pada setiap kedalaman 20 cm. Uji sondir ini dilakukan pada umur kolom 1, 2, 7 dan 14 hari. Selama pengujian, muka air dibuat sama dengan ketinggian muka pasir di dalam kontainer.

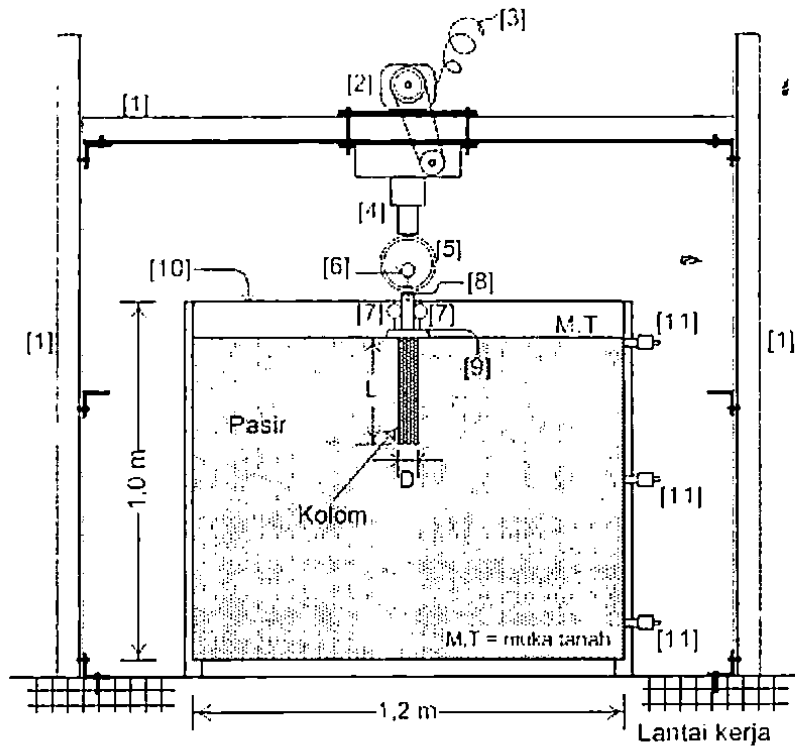
- **Uji Triaxial Unconsolidated-Undrained**

Setelah pengujian sondir umur 14 hari, contoh tanah diambil pada jarak 1XD, 3XD, dan 4XD dari kolom dengan kedalaman  $L/2$  dibawah muka tanah (dimana  $D$  = diameter kolom, dan  $L$  = panjang kolom) (gambar 11a). Contoh tanah diambil secara tidak terusik (*undisturbed*) untuk selanjutnya dilakukan uji triaksial kondisi unconsolidated-undrained (UU). Ukuran benda uji triaksial UU ini adalah diameter  $d = 3,8$  cm dan tinggi  $h = 7,6$  cm berjumlah masing-masing 3 buah benda uji. Tegangan keliling yang diberikan adalah  $100 \text{ kg/cm}^2$ ,  $200 \text{ kg/cm}^2$  dan  $300 \text{ kg/cm}^2$ . Tegangan aksial diberikan melalui tegangan deviator dengan kecepatan pembebanan  $1 \text{ mm/menit}$  hingga benda uji mencapai keruntuhan. Perubahan benda uji selama penerapan tegangan deviator dicatat. Prosedur uji triaksial ini mengikuti standar ASTM D-2580. Hasil uji triaxial UU ini dapat memberikan data modulus elastisitas tanah undrained  $E_u$  yang merupakan kemiringan kurva tegangan - regangan pada bagian yang linear.

- **Uji Beban Langsung**

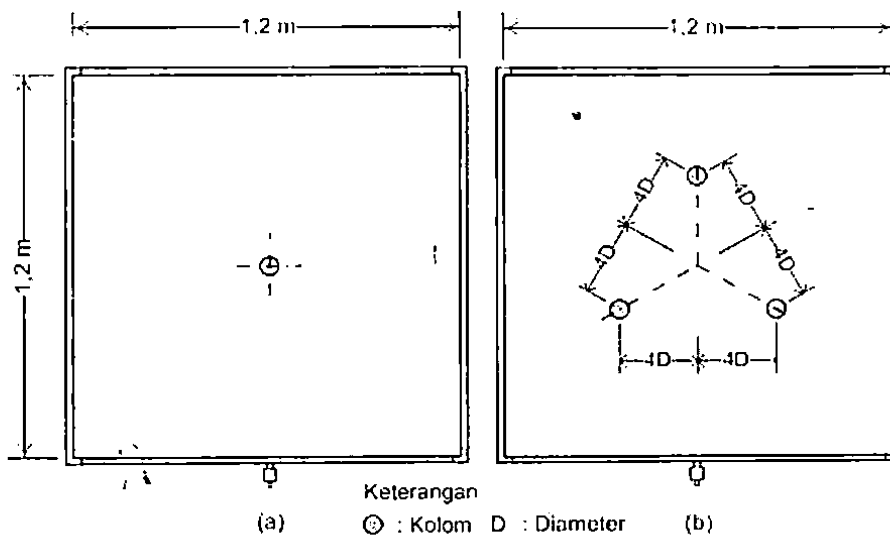
Uji beban langsung dilaksanakan pada umur kolom 7 hari setelah pembuatannya. Skema uji beban langsung ditunjukkan pada gambar 12. Uji beban langsung dilakukan pada 2 susunan kolom yaitu kolom tunggal (gambar 13a) dan kolom *triangular* (gambar 13b). Beban yang bekerja diberikan dari mesin penekan yang digerakkan secara elektrik dengan kecepatan pembebanan  $1 \text{ mm/menit}$ . Beban yang bekerja dibaca dari penolak ukur pada proving ring setiap penurunan  $1 \text{ mm}$ .

Penurunan ini dibaca dari penolok ukur yang diletakan di atas kolom (gambar 12). Pemberian beban dihentikan bila telah terjadi keruntuhan kolom yang ditunjukkan dengan tidak adanya perubahan pembacaan beban yang bekerja.



- Keterangan
- |                              |  |
|------------------------------|--|
| [1] Rangka beban             | [6] Penolok ukur beban                     |
| [2] Motor penggerak elektrik | [7] Penolok ukur penurunan                 |
| [3] Catu daya 240V           | [8] Piston beban                           |
| [4] Piston penggerak         | [9] Pelat perata beban, $t = 1 \text{ cm}$ |
| [5] Proving ring beban       | [10] Kontainer model                       |
|                              | [11] Piezometer                            |

Gambar 12 Skema rancangan uji beban langsung



Uji sondir akan memberikan data perlawanan ujung konis  $q_c$  dan perlawanan gesek  $q_f$  untuk setiap kedalaman 20 cm dan setiap jarak  $1xD$ ,  $2xD$ ,  $3xD$ , dan  $4xD$ . Untuk mengetahui penyebaran kekuatan tanah di sekitar kolom pada arah vertikal dibuat grafik hubungan antara nilai  $q_c$  dan  $q_f$  terhadap kedalaman untuk masing-masing jarak radial yang ditinjau. Selanjutnya, perilaku mekanis tanah di sekitar kolom dapat diketahui dari grafik hubungan antara  $E_u$  hasil uji triaxial UU dan jarak radial dari kolom.

Pengaruh susunan kolom (kolom tunggal dan *triangular*) terhadap kuat dukung tanah dapat diketahui dengan membandingkan hasil kuat dukung ultimit yang dihasilkan dari uji beban langsung. Hasil uji beban langsung ini adalah grafik hubungan antara beban dan penurunan.

### 9. JADWAL PELAKSANAAN PENELITIAN

No	Pekerjaan	Bulan ke-					
		1	2	3	4	5	6
I.	Persiapan alat dan bahan	=====					
II.	Uji Laboratorium :						
	Uji sifat fisis dan indeks tanah di laboratorium	=====	=====				
	Uji sifat mekanis campuran kapur-abu sekam padi		=====	=====			
	Uji sondir model kolom			=====	=====		
	Uji beban langsung				=====	=====	
III	Analisis dan Pelaporan :						
1	Analisis hasil data			=====		=====	
2	Penyusunan Laporan akhir						=====
3	Seminar						=====

### 10. PERSONALIA PENELITIAN

Ketua Peneliti

- a. Nama Lengkap & Gelar : Dr.Eng. Agus Setyo Muntohar, S.T., M.Eng.Sc.
- b. Golongan Pangkat/NIP : III-C, Penata Muda Tk. 1/-
- c. Jabatan Fungsional : Lektor
- d. Jabatan Struktural : -
- e. Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Sipil
- f. Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
- g. Bidang Keahlian : Geoteknik

- h. Waktu untuk Penelitian : 6 (enam) bulan
3. Anggota Peneliti : Taufiq Nugraha Siagian (Mahasiswa)  
Eli Sariat (Mahasiswa)  
Yosi Andre (Mahasiswa)
4. Tenaga Laboran/Teknisi : Ekrrar Oktoviar
5. Tenaga Lapangan : Setia Dinnoor
6. Tenaga Administrasi : Sadad

## 11. PERKIRAAN BIAYA PENELITIAN

Perincian Biaya	Jumlah
a. Honorarium	Rp 3.968.000
b. Peralatan dan Bahan Penelitian	Rp 6.500.000
c. Perjalanan (lokal Yogyakarta untuk pemesanan <i>box model</i> di SMK Muhammadiyah 1)	Rp 200.000
e. Laporan Penelitian	Rp 500.000
f. Seminar Hasil Penelitian	Rp 300.000
e. Biaya Lain-Lain :	
(1) Pembuatan Poster Hasil Penelitian	Rp 200.000
(2) Penyusunan & Pengiriman Naskah Jurnal Terakreditasi	Rp 300.000
(3) Bahan Habis Pakai	Rp 1.007.000
<b>Jumlah</b>	<b>Rp12.975.900</b>



## LAMPIRAN

### 12. DAFTAR PUSTAKA

- Baker, S., 2000, *Deformation behavior of lime/cement stabilized clay*. Thesis for Ph.D, Department of Geotechnical Engineering, Chalmers University of Technology, Göterberg, Sweden.
- Basha, E.A., Hashim, R., Mahmud, H.B., dan Muntohar, A.S., 2005, Stabilization of residual soils with ice husk ash and cement. *Construction and Building Material*, Vol. 19, pp. 448-453.
- Budi, G.S., 2003, Penyebaran kekuatan dari kolom yang terbuat dari limbah karbit dan kapur. *Jurnal Dimensi Teknik Sipil*, Vol. 5 No. 2, hal. 99-102.
- Cetin, K.O., Seed, R.B., Der Kiureghian, A., Tokimatsu, K., Harder Jr., L.F., Kayen, R.E., dan Moss, R.E.S., 2004, Standard penetration test-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 130 (12), 1314-1340.
- Gallagher, M.P., Conlee, C.T., dan Rollins, K.M., 2007b, Full-Scale Field Testing of Colloidal Silica Grouting for Mitigation of Liquefaction Risk. *Journal of Geotechnical and Environmental Engineering*, Vol. 133, No. 2, pp 186-196.
- Gallagher, M.P., dan Mithcell, J.K., 2002, Influence of colloidal silica grout on liquefaction potential and cyclic undrained behavior of loose sand. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 22, 1017-1026.
- Gallagher, M.P., Pamuk, A., dan Abdoun, T., 2007a, Stabilization of liquefiable soils using colloidal silica grout. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 19 (1), 33-40.
- Juang, C.H., Jiang, T., dan Andrus, R.D., 2002, Assessing probability-based methods for liquefaction potential evaluation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 128 (7), 580-589.
- Kempfert, H.G., 2003, *Ground improvement methods with special emphasis on column-type techniques*, In Vermeer, Schwiger, and Cudny (Eds.), *Proceeding of International Workshop on Geotechnics of Soft Soil: Theory and Practice*, Netherlands, Verlag Glückauf, 101-112.
- Lai, S-Y., Chang, W-J., dan Lin, P.S., 2006, Logistic regression model for evaluating soil liquefaction probability using CPT data. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 132 (6), 694-704.
- Lee, S.H.H., Ching, H.H., dan Muntohar, A.S., 2006, *Study on Liquefaction Problem of Yogyakarta Area at 052706 Earthquake*, *Proceeding International Seminar and Symposium on Earthquake Engineering and Infrastructure & Building Retrofitting (EE & IBR)*, 28 Agustus 2006, Yogyakarta, 6-10
- Liao, H.J., Huang, C.C., dan Chao, B.S., 2003, *Liquefaction Resistance of a Colloid Silica Grouted Sand*. *Proceeding 3rd International Specialty Conference on Soil Liquefaction and Ground Treatment*, New Orleans, Louisiana, USA, 10-12 February

- Martin, J.R., Olgun, C.G., dan Mitchell, J.K., 2004, High-modulus columns for liquefaction mitigation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 130 (6), 561-571.
- Mitchell, J.K., Baxter, C. D. P., and Munson, T. C., 1995, *Performance of Improved Ground during Earthquakes*, In Hryciw, R.D., (Ed.): Soil Improvement for Earthquake Hazard Mitigation, Geotechnical Special Publication No. 49, ASCE, 1-36.
- Moss, R.E.S., Seed, R.B., Kayen, R.E., Stewart, J.P., Der Kiureghian, A., dan Cetin, K.O., 2006, CPT-based probabilistic and deterministic assessment of in situ seismic soil liquefaction potential. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 132 (8), 1032-1051.
- Muntohar, A.S., 1999, Abu sekam padi untuk stabilisasi tanah lempung. *Jurnal Wahana Teknik*, Vol. 1 No. 2, 1-10
- Muntohar, A.S., 2002, Utilization of uncontrolled-burnt of rice husk ash in soil improvement. *Jurnal Dimensi Teknik Sipil*, Vol. 4 No. 2, 100-105.
- Muntohar, A.S., 2003, *Lime-column in expansive soil: A study on the compressive strength*, Makalah Disajikan, International Conference on Civil Engineering, 1-3 October 2003, Malang, East Java.
- Muntohar, A.S., 2005a, The influence of molding water content and lime content on the strength of stabilized soil with lime and rice husk ash. *Jurnal Dimensi Teknik Sipil*, Vol. 7(1), 1-5.
- Muntohar, A.S., 2005b, Geotechnical properties of rice husk ash enhanced lime-stabilized expansive clay. *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil*, Vol. 13 No. 3, 1-11.
- Muntohar, A.S., and Hantoro, G., 2000, Influence of the rice husk ash and lime on engineering properties of clayey sub-grade. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 5 - 2000 ([www.ejge.com](http://www.ejge.com)).
- Muntohar, A.S., and Liao, H.J., 2006, *Strength distribution of the soil surrounding lime-column*, In Chan, D., and Law, K.T. (Eds.) : Proceeding 4<sup>th</sup> International Conference on Soft Soil Engineering, 2-6 October 2006, Vancouver, Canada, 315-319.
- Muntohar, A.S., dan Hashim, R., 2002, *Silica waste utilization in ground improvement: A study of expansive soil treated with LRHA*. Proceeding 4th International Conference on Environmental Geotechnics, 12-14 August 2002, Rio de Janeiro, Brazil, 515-519.
- Muntohar, A.S., Muhammad, A., Damanhuri, dan Dinor, S., 2008b, *Karakteristik kuat dukung tanah berpasir di sekitar kolom-kapur (lime-column)*. Naskah disajikan pada Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 (SATEK2), Universitas Lampung, 17 - 18 November 2008.
- Muntohar, A.S., Widianti, A., Oktovian, E., Hartono, E., dan Diana, W., 2008a, *Aplikasi teknik kolom-semen (cement-column) pada tanah berpasir*. Naskah disajikan pada Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 (SATEK2), Universitas Lampung, 17 - 18 November 2008.
- Porbaha, A., Zen, K., and Kobayashi, M., 1999, Deep mixing technology for liquefaction mitigation, *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 5 No. 1, 21-34.
- Robertson, P.K., 2004, Evaluating Soil Liquefaction and Post-earthquake deformations

- Geotechnical and Geophysical Site Characterization, Millpress, Rotterdam, 233-252.
- Robertson, P.K., dan Wride, C.E., 1998, Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 35, 442-459.
- Rogers, C.D.F., dan Glendinning, S., 1997, Improvement of clay soils in situ using lime piles in UK, *Engineering Geology*, Vol. 47, 243-257.
- Rogers, C.D.F., dan Glendinning, S., 2002, *Lime requirement for stabilization*, Transportation Research Record No. 1721, Paper No. 00-0604, National Research Council, pp. 9-18.
- Seed, R.B., Cetin, K.O., Moss, R.E.S., Kammerer, A.M., Wu, J., Pestana, J.M., and Riemer, M.F., 2001, *Recent advances in soil liquefaction engineering and seismic site response evaluation*, Proceeding 47<sup>th</sup> International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamic, 26-31 March 2001, San Diego, California, USA, 1 - 45.
- Tonoz, M.C., Gokceoglu, C., dan Ulusay, R., 2003, A laboratory-scale experimental investigation on the performance of lime in expansive Ankara (Turkey) clay, *Bulletin Engineering Geology & Environmental*, Vol. 62, 91-106.
- Tsai, K.W., Chou, C. K., Chang, J. C., dan Wang, W.H., 1993, *Jet grouting to reduce liquefaction potential*. In Prakash, S. (Ed.): Proceeding. Third International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, St. Louis, Missouri, 1-4 June 1993, Vol. 1, 609-611.
- Youd, T.L., dan Idriss, I.M., 2001, Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 127 (4), 297-313.
- Zhang, M.H., Lastra, R., and Malhotra, V.M., 1996, Rice husk ash paste and concrete: Some aspects of hydration and the microstructure of the interfacial zone between the aggregate and paste. *Cement and Concrete Research*, Vol. 26 (6), 963 - 977.
- Zhou, C., Yin, J.H., dan Ming, J.P., 2002, *Bearing capacity and settlement of weak fly ash ground improved using lime-fly ash or stone columns*, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 39, 585 - 596.
- ASTM C191, 2003, Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle. International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C109, 2003, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C786 - 96, 2003, Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement and Raw Materials by the 300- $\mu\text{m}$  (No. 50), 150- $\mu\text{m}$  (No. 100), and 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) Sieves by Wet Methods. International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C188 - 95, 2003, Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. International, West Conshohocken, PA.

### 13. BIODATA PENGUSUL

1.1. Nama Lengkap (dengan gelar)	Dr.Eng. Agus Setyo Muntohar, S.T. M.Eng.Sc.
1.2. Jabatan Fungsional	Lektor
1.3. NIP/NIK/No. identitas lainnya	123 040
1.4. Tempat dan Tanggal Lahir	Purworejo, 14 Agustus 1975
1.5. Alamat Rumah	Taman Sedayu Blok I No. 1C RT. 44, Bantul Yogyakarta
1.6. Nomor Telepon/Fax	0274-3154678
1.7. Nomor HP	081392705064
1.8. Alamat Kantor	Kampus Terpadu UMY, Jl. Lingkar Selatan, Taman Tirto, Kasihan, Bantul. Yogyakarta
1.9. Nomor Telepon/Fax	0274-387656/387646
1.10. Alamat e-mail	muntohar@umy.ac.id
1.11. Lulusan yg telah dihasilkan	S1= 30 orang ; S2= orang; S3= orang;
1.12 Mata Kuliah yg diampu	1. Pengantar Geologi dan Mekanika Tanah 2. Mekanika Tanah 3. Mekanika Bahan 4. Analisis Struktur I 5. Topik Khusus

### RIWAYAT PENDIDIKAN

2.1. Program:	S1	S2	S3
2.2. Nama PT	Universitas Gadjah Mada	University of Malaya	National Taiwan University of Science and Technology
2.3. Bidang Ilmu	Teknik Sipil	Geotechnical Engineering	Geotechnical Engineering
2.4. Tahun Masuk	1993	2001	2005
2.5. Tahun Lulus	1998	2003	2008
2.6. Judul Skripsi/ Tesis/Disertasi	Aplikasi Teknologi Geosintetik Untuk Perkuatan Perkerasan Kaku	Engineering Properties of Rice Husk Ash Enhanced Lime-Stabilised Expansive Soil	An Integrated Infiltration and Slope Stability Model for Predicting Rainfall Induced Landslides Along a Mountain Road in Taiwan
2.7. Nama Pembimbing/ Promotor	Prof. Dr. Ir. Kabul Basah Suryolelono, Dip.H.E., DEA.	Assoc.Prof. Ir. Dr. Roslan Hashim	Prof. Dr. Hung-Jiun, Liao , Asst. Prof. Dr. Jian-Ye, Ching

### PENGALAMAN PENELITIAN (bukan skripsi, tesis, maupun disertasi)

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp)
1	2008	Development of Infiltration and Slope Stability Model for Predicting Shallow Landslide	Ministry of Transportation and Communication, Taiwan	240
2	2005	Kuat Dukung Tanah Lempung Dengan Campuran LRHA dan Serat Karung Plastik	PDM	9,5
3	2004	Karakteristik Sifat Tanah Mengembang Sekitar Kolom Kapur (Lime-column)	PDM	6

4	2001-2003	Development of Ground Improvement Techniques on Soft Soil	IRPA RM#5 Ministry of Science, Technology, and Environment Malaysia	420
5	2002-2003	Swelling Characteristics and Soil Improvement of Expansive Clay with Lime-Rice Husk Ash	Vot-F, University of Malaya	56

#### PENGALAMAN PENULISAN ARTIKEL ILMIAH DALAM JURNAL

No.	Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Volume/ Nomor	Nama Jurnal
1	2008	Analysis of rainfall induced infinite slope failure during typhoon using a hydrological - geotechnical model	Article in Press (online first)	Environmental Geology
2	2005	Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement	Vol. 19 No. 6, pp. 448-453.	Construction and Building Materials
3	2005	The influence of molding water content and lime content on the strength of stabilized soil with lime and rice husk ash	Vol. 7(1), pp. 1-5	Jurnal Dimensi Teknik Sipil
4	2005	Geotechnical properties of rice husk ash enhanced lime-stabilized expansive clay	Vol. 13 No. 3, pp. 1-11	Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil,
5	2005	Determination of plastic limit using cone penetration: Re-appraisal	Vol. XI No. 2, pp. 87-98.	Jurnal Teknik Sipil
6	2004	Stabilization of clay and residual soils using cement - rice husk ash mixtures	Vol. 5 No.1, pp. 51-66.	Jurnal Teknik Sipil
7	2003	Effect of the cement - rice husk ash on the plasticity and compaction of soil [http://www.ejge.com/2003/Ppr0304/Ab0304.htm]	Vol. 8, 2003 – Bundle A.	Electronic Journal of Geotechnical Engineering,
8	2003	Swelling and compressibility characteristics of the soil - bentonite mixtures	Vol. 5 No. 2, pp. 93-98.	Jurnal Dimensi Teknik Sipil
9	2003	A Simple predictive model for swelling potential of expansive clay soils	Vol. 9, No. 2 pp. 263-275	Jurnal Teknik Sipil
10	2006	Mekanisme keruntuhan lereng tegak dan teknik perkuatannya dengan geotekstil	Vol. 7 No. 2, pp. 137-152	Jurnal Teknik Sipil
11	2007	Uses of lime - rice husk ash and plastic fibers as mixtures-material in high-plasticity clayey subgrade: A preliminary study	Vol. 10 No. 2, pp. 111-125.	Jurnal Semesta Teknika
12	2007	Kekuatan geser campuran tanah - kapur - abu sekam padi dengan inklusi kadar serat karung plastic yang bervariasi	Vol. 10 No. 1, pp. 1-13	Jurnal Semesta Teknika
13	2004	Penurunan konsolidasi embankment di atas tanah lempung lunak	Vol. 7 No. 2, pp. 111-125	Jurnal Semesta Teknika

#### PENGALAMAN PENULISAN BUKU

No.	Tahun	Judul Buku	Jumlah Halaman	Penerbit
1	2008	Rekayasa Geoteknik: Mekanika Tanah 1	196	--- (dicetak sendiri)
2	2008	Rekayasa Geoteknik: Mekanika Tanah 2	200	Beta Offset

#### 14. SARANA

Penelitian ini secara keseluruhan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Laboratorium Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Laboratorium ini telah dilengkapi dengan peralatan untuk keperluan pengajaran (*teaching purposes*) dan penelitian (*research purposes*) serta untuk keperluan konsultasi pekerjaan-pekerjaan penyelidikan tanah. Peralatan utama laboratorium tersedia yang berkaitan dengan penelitian antara lain : (1) alat-alat uji sifat fisis dan indeks tanah, (2) sondir mekanis kapasitas 2 ton dan 10 ton, (3) alat uji vicat, (4) alat uji desak, (5) alat uji bor. Untuk penelitian pada tahun kedua, telah tersedia di laboratorium satu unit kotak model terbuat dari pelat baja berukuran 1200 mm x 1200 mm x 1200 mm yang dilengkapi dengan rangka beban mekanis dan sistem uji. Alat uji bahan langgam (*loading test*) juga dimiliki oleh Laboratorium



- Kartu ini harus selalu dibawa selama mengikuti kegiatan di lingkungan kampus
- Kartu ini tidak dapat digunakan sebagai agunan transaksi dalam bentuk apapun
- Kartu ini dan penggunaannya tidak dapat dipindahtangankan dengan cara apapun
- Penggantian kartu karena hilang, harus ada surat keterangan dari keposisian

Yogyakarta, 2 Februari 2009  
Rektor  
  
Dasron Hamid, M.Sc

Jika menemukan kartu ini mohon diserahkan ke  
**BIRO AKADEMIK**  
Telp. (0274) 387656 Pesawat 136/158, Fax. (0274) 387646

Lingkar Baran, Tamanjito, Kasihan, Yogyakarta 55183  
Telp. (0274) 387656 (Muntling) Fax. (0274) 387646  
**KARTU MAHASISWA AKTIF SEMESTER GENAP 2008/2009**



**Taufiq Nugraha Siagian**

N P M : 20060110003  
Tempat, tgl lahir : Aek kanopan, 25 Des 1987  
Fakultas : TEKNIK  
Program Studi : S1. TEKNIK SIPIL  
Alamat : Jl. Risna Joli Desa Sukarame Baru,  
Kec. Kel. Hulu



Berlaku sampai dengan  
31 Agustus 2009



Kartu ini harus selalu dibawa selama mengikuti kegiatan di lingkungan kampus  
Kartu ini tidak dapat digunakan sebagai agunan transaksi dalam bentuk apapun  
Kartu ini dan penggunaannya tidak dapat dipindahtangankan dengan cara apapun  
Penggantian kartu karena hilang, harus ada surat keterangan dari kepolisan

Yogyakarta, 2 Februari 2009  
Rektor



Jika menemukan kartu ini mohon diserahkan ke

**BIRO AKADEMIK**



Jl. Lingkar Barat, Tamansari, Kasihan, Yogyakarta 55183  
Telp. (0271) 387656 (Maling) Fax. (0271) 337646

**KARTU MAHASISWA AKTIF SEMESTER GENAP 2008 / 2009**

**Eli Sariat**



N P M : 20060110047  
Tempat, tgl lahir : Semukut, Riau, 27 Jul 1988  
Fakultas : TEKNIK  
Program Studi : S1. TEKNIK SIPIL  
Alamat : Jl. Masjid Semukut Kec. Merbabu, Riau,  
Bengalis 28752



Berlaku samaa dengan  
S1 Agustus 2009





Kartu ini harus selalu dibawa selama mengikuti kegiatan di lingkungan kampus  
Kartu ini tidak dapat digunakan sebagai agunan transaksi dalam bentuk apapun  
Kartu ini dan penggunaannya tidak dapat dipindahtangankan dengan cara apapun  
Penggantian kartu karena hilang, harus ada surat keterangan dari kepolisian

Yogyakarta, 2 Februari 2009  
Rektor  
  
M. Dasron Hamid, M.Sc



Jika menemukan kartu ini mohon diserahkan ke  
**BIRO AKADEMIK**  
Telp. (0274) 387656 Pesawat 188/1583 Fax (0274) 387656

Jl. Ungkar Barat, Tamantirto, Kasihan, Yogyakarta 55183  
Telp. (0274) 387656 (Hunting) Fax. (0274) 387646  
**KARTU MAHASISWA AKTIF SEMESTER GENAP 2008 / 2009**



**Yosi Andre**

N.P.M : 20060110013  
Tempat, tgl lahir : Simpang Kubu, 11 Jul 1988  
Fakultas : TEKNIK  
Program Studi : S1. TEKNIK SIPIL  
Alamat : Demakan Lama Tegalrejo Kasihan,  
Bantul DIY 55183



Berlaku sampai dengan  
31 Agustus 2009