

**LAPORAN KEMAJUAN**  
**RISET PENGEMBANGAN**  
**ILMU PENGETAHUAN DAN TEKNOLOGI (IPTEK)**



**SISTEM KOLOM DARI CAMPURAN**  
**MIKROKALSIUM DAN MIKROSILIKA UNTUK**  
**FONDASI PERKERASAN LENTUR JALAN PADA**  
**TANAH EKSPANSIF**

Tahun ke -1 dari rencana 2 tahun

Agus Setyo Muntohar, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.	NIDN: 0514087501
Nur Setiawan., S.T., M.T., Ph.D.	NIDN: 0412047101
Anita Rahmawati, ST., M.Sc.	NIDN: 0512067701

Dibiayai dengan  
DIPA Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat  
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan  
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi  
Nomor : DIPA-042.06.0.1.401516/2016 tanggal 7 Desember 2015

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**  
**AGUSTUS 2016**

## HALAMAN PENGESAHAN

**Judul** : SISTEM KOLOM DARI MIKROSILIKA DAN MIKROKALSIUM UNTUK FONDASI PERKERASAN LENTUR JALAN PADA TANAH EKSPANSIF

**Peneliti/Pelaksana**

**Nama Lengkap** : AGUS SETYO MUNTOHAR Ph.D  
**Perguruan Tinggi** : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
**NIDN** : 0514087501  
**Jabatan Fungsional** : Lektor  
**Program Studi** : Teknik Sipil  
**Nomor HP** : +6282138363248  
**Alamat surel (e-mail)** : muntohar@umy.ac.id

**Anggota (1)**

**Nama Lengkap** : NURSETIAWAN ST., MT., Ph.D.  
**NIDN** : 0412047101  
**Perguruan Tinggi** : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

**Anggota (2)**

**Nama Lengkap** : ANITA RAHMAWATI S.T  
**NIDN** : 0512067701  
**Perguruan Tinggi** : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
**Institusi Mitra (jika ada)** : -  
**Nama Institusi Mitra** : -  
**Alamat** : -  
**Penanggung Jawab** : -  
**Tahun Pelaksanaan** : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun  
**Biaya Tahun Berjalan** : Rp 125.000.000,00  
**Biaya Keseluruhan** : Rp 394.310.000,00



Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik

(Jazaul Ikhsan, Ph.D.)

NIP/NIK 19720504199804123037

Yogyakarta, 3 - 9 - 2016  
Ketua,

(AGUS SETYO MUNTOHAR Ph.D)

NIP/NIK 19750814199904123040

# DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN .....	3
A. Latar Belakang.....	3
B. Peta Jalan Riset dan Teknologi.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
A. Hasil-Hasil Penelitian Terdahulu.....	6
B. Perbaikan Tanah dengan Teknik Kolom-Kapur (lime-column).....	8
C. Kuat Dukung Tanah Dasar .....	9
D. Modulus Reaksi Tanah Dasar.....	10
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	12
A. Tujuan Penelitian.....	12
B. Manfaat Penelitian.....	12
C. Target Penelitian.....	13
BAB IV METODE RISET .....	14
A. Desain Riset.....	14
B. Metode Penelitian Tahun ke-1.....	14
1. Tahapan Penelitian .....	14
2. Bahan Yang Digunakan .....	16
3. Alat Yang Digunakan.....	18
4. Pembuatan Benda Uji.....	19
5. Uji Pengembangan dan Beban Pelat .....	20
BAB V HASIL YANG DICAPAI .....	22
A. Luaran Penelitian.....	22
B. Hasil Penelitian.....	22
1. Pengembangan Tanah .....	22
2. Uji Beban Pelat.....	25
3. Modulus Reaksi Tanah Dasar .....	25
BAB VI RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA .....	29
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN .....	32
A. Kesimpulan.....	32
B. Saran .....	32

BAB VIII DAFTAR PUSTAKA.....	34
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	
Lampiran A: Naskah – Naskah Publikasi .....	41

## Ringkasan

Pada banyak pekerjaan perkerasan jalan di atas tanah ekspansif seperti pada ruas jalan Surabaya – Bojonegoro, Caruban – Ngawi, Indramayu – Pamanukan menerapkan sistem perkerasan kaku baik yang telah dimodifikasi dengan tambahan tiang (mini pile) atau sistem Cakar Ayam. Pekerjaan perkerasan jalan di atas tanah lunak dengan menggunakan perkerasan ini memenuhi aspek teknis tetapi biaya konstruksi menjadi sangat mahal yaitu berkisar Rp. 4-5 milyar/km dibandingkan dengan Rp. 1-1,8 milyar/km untuk sistem perkerasan lentur. Permasalahan yang sering dijumpai pada konstruksi yang dibangun di atas tanah lunak dan tanah ekspansif adalah penurunan tanah yang besar saat basah yang menyebabkan kuat dukung tanah yang sangat rendah, dan susut yang tinggi saat kering yang menyebabkan retakan pada tanah dasar dan permukaan perkerasan jalan. Untuk itu sistem fondasi untuk perkerasan jalan hendaknya memiliki kinerja yang lebih baik ditinjau dari aspek teknis (strength, stiffness, serviceability, stability, dan durability), maupun aspek ekonomisnya yang mencakup investasi awal dan biaya perawatan jangka panjang selama dioperasikan. Perbaikan tanah dengan menggunakan bahan dari limbah industri seperti abu terbang, limbah karbit, abu sekam padi dapat menjadi alternatif bahan perbaikan tanah. Limbah karbit mengandung unsur kalsium hidroksida ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) yang berpotensi sebagai bahan pembentuk pozzolan bila dicampur dengan unsur silica ( $\text{SiO}_2$ ) dari abu sekam padi. Untuk itu pemanfaatannya dalam bidang konstruksi seperti sebagai perbaikan tanah dasar jalan atau fondasi dapat memberikan keuntungan konstruksi untuk menciptakan konstruksi ramah lingkungan atau green-construction.

Pada penelitian Tahun ke-1 ini dilakukan uji pengembangan-deformasi dan beban-deformasi pada pelat fleksibel yang didukung dan tanpa didukung oleh kolom-kolom SiCC. Teknik kolom yang digunakan dalam penelitian ini memiliki dua bentuk, yaitu kolom dengan bentuk polos dan kolom dengan bentuk pembesaran di kepala kolom atau T-Shape. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh diameter kepala kolom terhadap beban dan deformasi pelat terhadap pengembangan tanah. Pengamatan defleksi pelat akibat beban dan pengembangan dilakukan dengan model di laboratorium. Kolom dan pelat diuji di atas tanah ekspansif yang diletakkan dalam drum uji dengan ukuran tinggi 95 cm dan lebar 54 cm. Lapisan tanah lempung ekspansif setebal 70 cm berada di atas lapisan pasir jenuh air setebal 20 cm. Diameter kolom ( $D_c$ ) yang digunakan adalah 5,08 cm dengan panjang 50 cm. Diameter kepala kolom yang digunakan adalah 15,24 cm ( $3D_c$ ). Pengujian beban (loading test) dilakukan

setelah 4 hari penjenuhan dan setelah kolom berumur 14 hari. Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa pemasangan kolom SiCC mampu mengurangi defleksi akibat pengembangan di tengah pelat dari 64,79 mm menjadi 61,65 mm dan 57,11 mm masing-masing untuk kolom polos dan kolom T-Shape. Defleksi akibat beban sebesar 140 kg terhadap pelat fleksibel yang didukung oleh kolom polos dan kolom T-Shape masing-masing adalah 35,1 mm dan 9,05 mm. Hasil menunjukkan bahwa tanah yang diperkuat oleh kolom T-Shape mampu mengurangi defleksi yang terjadi pada pelat akibat beban mencapai 4 kali bila dibandingkan tanah yang diperkuat dengan kolom polos. Selanjutnya, pelat fleksibel di atas tanah lempung yang tidak didukung oleh kolom hanya mampu menerima beban sebesar 21 kg. Defleksi akibat beban terhadap pelat fleksibel pada beban 21 kg adalah sebesar 6,05 mm.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Pada banyak pekerjaan perkerasan jalan di atas tanah ekspansif seperti pada ruas jalan Surabaya – Bojonegoro (Prabowo, 2010), Caruban – Ngawi (Widajat dan Suherman, 2008), Indramayu – Pamanukan (Daud dkk., 2009) digunakan sistem perkerasan kaku baik yang telah dimodifikasi dengan tambahan tiang (*mini pile*) atau sistem Cakar Ayam. Pekerjaan perkerasan jalan di atas tanah lunak dengan menggunakan perkerasan ini memenuhi aspek teknis tetapi biaya konstruksi menjadi sangat mahal yaitu berkisar Rp. 4-5 milyar/km dibandingkan dengan Rp. 1-1,8 milyar/km untuk sistem perkerasan lentur (Widajat & Suherman, 2008; Daud dkk., 2009; Prabowo, 2010).

Memperhatikan perilaku tanah ekspansif tersebut, dikenal beberapa metode penanganan untuk daerah tanah ekspansif seperti penggantian material tanah ekspansif, memperbaiki karakteristik tanah ekspansif secara mekanis dan atau kimiawi, *counterweight*, pemasangan geomembran horisontal dan atau vertikal. Teknik perbaikan tanah ekspansif secara kimiawi dengan menggunakan kapur telah banyak diterapkan. Umumnya kapur dicampurkan ke lapisan tanah dasar jalan yang ekspansif, dipadatkan pada kadar air tertentu (Sahoo & Pradhan, 2010; Adam dkk., 2012). Teknik lain yang digunakan adalah dengan teknik kolom kapur (*lime-column*) seperti yang diterapkan oleh Muntohar (2003), Budi (2003), Muntohar & Liao (2006), dan Tonoz dkk. (2005). Akan tetapi teknik kolom kapur ini lebih diarahkan untuk perbaikan tanah dalam atau dikenal dengan *deep ground improvement* yang memiliki ukuran diameter mencapai 1 m dan kedalaman hingga 20 m (Broom, 1981; Rogers & Glendinning, 1997; Porbaha dkk., 1999). Selain itu, teknik kolom ini juga dapat digunakan sebagai fondasi untuk bangunan gedung (Kempfert, 2003). Walaupun demikian aplikasi teknik kolom ini masih diperlukan untuk dikaji dan dikembangkan pada sistem perkerasan lentur jalan.

Perbaikan tanah dengan menggunakan bahan dari limbah industri seperti abu terbang, limbah karbit, abu sekam padi dapat menjadi alternatif bahan perbaikan tanah. Pemanfaatan limbah industri tersebut dapat mengatasi permasalahan lingkungan dan memberikan keuntungan bagi pekerjaan konstruksi (Kamon dan Nontananandh, 1991).

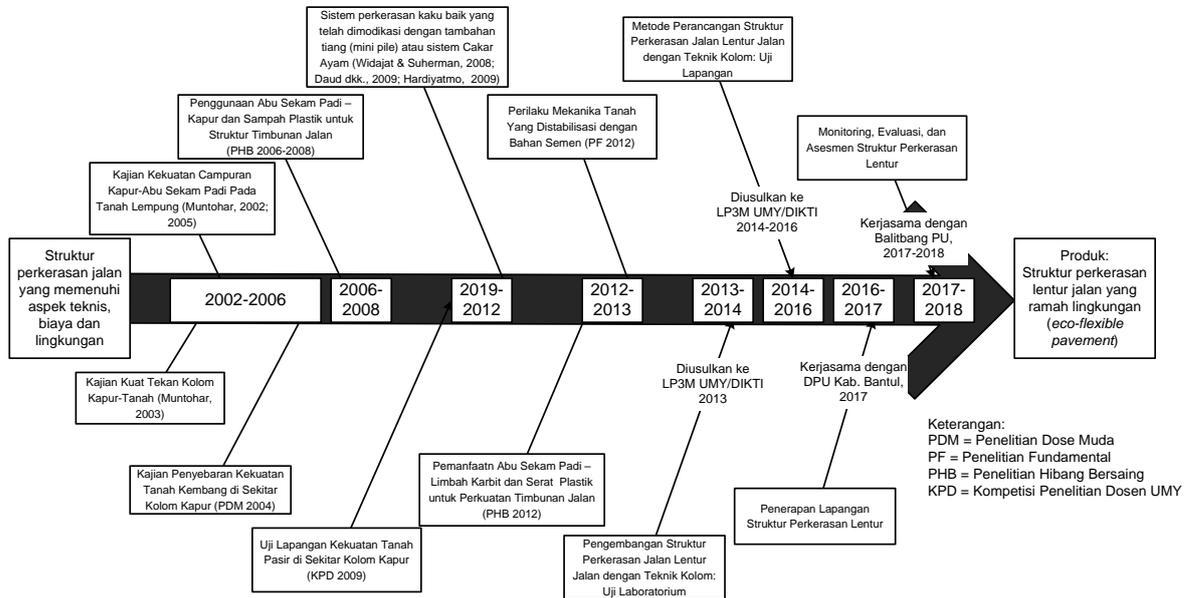
Pada sisi lain, limbah karbit dan abu sekam padi adalah dua bahan yang cukup banyak dijumpai di Indonesia. Limbah karbit mengandung unsur kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) yang berpotensi sebagai bahan pembentuk pozzolan bila dicampur dengan unsur *silica* ( $\text{SiO}_2$ ) dari abu sekam padi. Untuk itu pemanfaatannya dalam bidang konstruksi seperti sebagai perbaikan tanah dasar jalan atau fondasi dapat memberikan keuntungan konstruksi untuk menciptakan konstruksi ramah lingkungan atau *green-construction*.

Pada tanah ekspansif, struktur perkerasan jalan harus mampu menahan tekanan ekspansif (*swelling pressure*) dari lapisan tanah dasar di bawah lapis perkerasan. Untuk itu, teknik perbaikan tanah dengan metode kolom juga harus mampu mengurangi tekanan ekspansif dan sifat ekspansif-susut tanah. Kajian awal yang dilakukan oleh Budi (2003), Muntohar (2006) dan Tonoz dkk., (2005) telah menunjukkan bahwa teknik kolom kapur telah mampu mengurangi sifat ekspansif-susut dan tekanan ekspansif tanah. Penelitian terhadap perilaku beban dan deformasi pelat lentur yang didukung oleh kolom-kolom dari mikrosilika dan mikrokalsium dalam skala model 1 : 10 di laboratorium telah dilakukan oleh Muntohar, dkk. (2014). Hasil pengujiannya menyimpulkan bahwa deformasi pelat berkurang dan beban yang dapat diterima oleh pelat bertambah setelah pemasangan kolom-kolom. Pemodelan numerik dengan metode elemen hingga untuk perkerasan lentur yang didukung oleh kolom-kolom mikrosilika dan mikrokalsium pada tanah ekspansif dikaji oleh Muntohar (2014). Hasil kajian numerik ini menyebutkan bahwa jarak antar kolom optimum adalah sebesar 3 kali diameter kolom. Dalam kajian ini, sistem kolom-kolom hanya mampu mengurangi *heaving* relatif kecil. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, Muntohar dan Nugraha (2015) melakukan modifikasi terhadap kolom dengan membuat perbesaran di pangkal kolom. Teknik ini mampu mengurangi *differential settlement* dan *heaving*. Berdasarkan hasil-hasil kajian ini, maka perlu dilakukan penelitian dalam skala yang lebih besar dan uji gelar (*field scale model*) agar menghasilkan kehandalan sistem kolom-kolom yang mendukung perkerasan lentur.

## **B. Peta Jalan Riset dan Teknologi**

Peta jalan penelitian dan technology (*research and technology road map*) untuk struktur perkerasan jalan ditunjukkan oleh diagram pada Gambar 2.1. Hasil akhir dari penelitian adalah struktur perkerasan lentur jalan yang ramah lingkungan. Pada penelitian terdahulu telah dihasilkan bahan ikat mikrosilika dan mikrokalsium yang berasal dari abu sekam padi dan limbah karbit, yang mana telah didaftarkan untuk memperoleh Patent dengan Nomor Pendaftaran P00201304681. Aplikasi produk ini untuk model pelat

fleksibel yang didukung oleh kolom-kolom telah diterapkan dalam penelitian pendahuluan di laboratroium pada tahun 2013-2014.



**Gambar 2. 1** Peta jalan penelitian dan teknologi struktur perkerasan jalan ramah lingkungan (*eco-flexible pavement*)

Bagian penelitian yang diusulkan dalam penggal waktu 2016-2018 adalah pengujian model 3D di laboratorium (*3D laboratory model*) dan uji lapangan (*field scale model*). Kajian selanjutnya untuk model lapangan atau prototype diperlukan guna menguji kehandalan produk dan metode/prosedur perancangan. Hasil akhir dari penelitian diharapkan dapat diterapkan pada tahun 2020.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Hasil-Hasil Penelitian Terdahulu**

Kajian yang dilakukan oleh Muntohar et al. (2014) tentang model laboratorium kolom-kolom SiCC yang menopang pelat fleksibel bertujuan untuk perilaku pelat fleksibel yang didukung kolom-kolom pada tanah ekspansif di laboratorium. Hasil pengamatan defleksi pelat dan beban dibandingkan dengan model metode elemen hingga. Kolom dan pelat diuji di atas tanah ekspansif yang diletakkan dalam kotak uji berukuran 1 m x 0,2 m x 0,2 m. Kolom yang digunakan berukuran panjang 0,1 m dan diameter 0,05 m. Terdapat 2 konfigurasi kolom yang diuji untuk mendukung pelat yaitu 2 kolom (K1) dan 3 kolom (K2). Pelat yang digunakan berupa pelat baja berukuran 0,3 m x 0,2 m dengan tebal 1,2 mm. Pengujian beban (*loading test*) dilakukan setelah kolom berumur 7 hari. Untuk model elemen hingga, tanah dimodelkan dengan model undrained Hardening Soil (HS) dan pelat serta kolom dengan model linear-elastic. Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa pelat fleksibel diatas tanah ekspansif yang didukung oleh 2 dan 3 kolom Eco-SiCC mampu menerima beban ultimit masing-masing sebesar 2 kali dan 5 kali dari beban ultimit tanpa kolom. Deformasi pelat fleksibel yang didukung kolom Eco-SiCC berkurang hingga 3 kali dari deformasi tanpa kolom. Simulasi numerik menunjukkan bahwa ketika menerima beban yang bekerja, kolom mengalami deformasi arah lateral sehingga mampu mengurangi deformasi pelat fleksibel.

Muntohar dan Saputro (2015) mengkaji pengaruh kadar air tanah terhadap kuat tekan bebas dari model kolom SiCC di laboratorium. Benda uji kuat tekan bebas berbentuk silinder dengan diameter 50 mm dan tinggi 100 mm, serta diameter kolom SiCC 0,5 inch (12,7 mm). Benda uji dipadatkan pada dua kondisi kadar air yang berbeda yaitu kondisi kadar air optimum (OMC) dan kadar air basah-optimum (OW). Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan dari tanah yang diperkuat dengan kolom SiCC meningkat seiring dengan umur kolom. Kuat tekan meningkat dari 11 kPa menjadi 127 kPa pada umur kolom 28 hari. Pada umur-umur awal, nilai kuat tekan bebas tanah yang dipadatkan pada kondisi OW lebih tinggi daripada kondisi OMC. Tetapi setelah umur kolom 14 hari, kuat tekan bebas tanah yang dipadatkan pada kondisi OMC lebih tinggi

daripada kondisi OW. Kondisi ini menghasilkan nilai modulus sekan ( $E_{50}$ ) tanah-kolom pada OMC lebih tinggi daripada pada kondisi OW.

Muntohar dan Nugraha (2015) telah mengkaji pemodelan numerik terhadap model kolom SiCC yang digunakan sebagai sistem fondasi perkerasan lentur jalan. Teknik kolom yang digunakan dalam penelitian memiliki pembesaran pada ujung atas kolom sehingga berbentuk T (T-shape). Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh dimensi pembesaran kepala kolom terhadap deformasi sistem fondasi perkerasan lentur jalan. Model kolom-kolom yang menopang lapisan perkerasan lentur jalan dimodelkan sebagai plane strain dalam PLAXIS ver. 8. Diameter kolom ( $D_c$ ) yang digunakan adalah 0,15 m dengan panjang 1 m. Diameter kepala kolom ( $D_{ch}$ ) divariasikan  $2D_c$ ,  $3D_c$ , dan  $4D_c$ . Jarak antar kolom ke kolom atau spasi ( $s$ ) diatur  $4D_c$ ,  $5D_c$ ,  $6D_c$ , dan  $8D_c$ . Penampang badan jalan yang dimodelkan berukuran 15 m panjang dan kedalaman 10 m, dengan struktur perkerasan jalan setebal 0,2 m untuk lapis fondasi dan 0,2 m subbase serta lapis aspal setebal 0,1 m. Lapisan tanah lempung setebal 4,5 m berada di atas lapisan pasir jenuh air setebal 5 m. Material tanah dan lapisan perkerasan jalan dimodelkan sebagai Mohr-Coulomb model (MC). Pengembangan tanah dimodelkan dengan memberikan volumetric strain sebesar 1% pada material tanah. Hasil analisis menunjukkan bahwa secara umum deformasi vertikal tanah akibat tekanan pengembangan berkurang dengan bertambahnya dimensi kepala kolom dan berkurangnya spasi kolom. Perbesaran ukuran kepala kolom hingga 2 kali diameter kolom ( $D_{ch} = 2D_c$  atau  $D_{ch}/D_c = 2$ ) tidak terlalu menyebabkan pengurangan deformasi akibat pengembangan yaitu sebesar 3%. Selanjutnya, perbesaran kepala kolom hingga mencapai 4 kali diameter kolom menghasilkan pengurangan deformasi hingga mencapai 10% jika dibandingkan deformasi tanpa perkuatan kolom. Dengan demikian, semakin besar ukuran kepala kolom cenderung menghasilkan deformasi yang semakin kecil.

Dalam kajian model numerik perkerasan lentur yang didukung oleh kolom-kolom pada tanah ekspansif, Muntohar (2016) mengkaji pengaruh pengembangan dan pembenanan tekanan roda. Pemodelan numerik dilakukan untuk tiga kondisi jalan, yaitu (1) jalan dengan perkerasan lentur, (2) jalan dengan perkerasan lentur dan ditopang oleh kolom-kolom, dan (3) jalan dengan perkerasan lentur dan overlay yang didukung oleh kolom-kolom. Hasil eksperimen menyatakan bahwa pemasangan kolom-kolom dibawah lapisan fondasi jalan (kondisi 2) mampu mengurangi deformasi dari lapis perkerasan secara efektif. Pada pemodelan kondisi 3, pemasangan kolom-kolom dibawah lapisan overlay, juga mengurangi deformasi lapis perkerasan lentur.

## B. Perbaikan Tanah dengan Teknik Kolom-Kapur (lime-column)

Stabilisasi tanah menggunakan teknik kolom atau campuran kapur-semen merupakan metode yang sering dilakukan untuk perbaikan tanah khususnya tanah lunak. Metode ini dilakukan dengan cara memasukkan 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 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. 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 (2,5D–3D) 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.

### C. Kuat Dukung Tanah Dasar

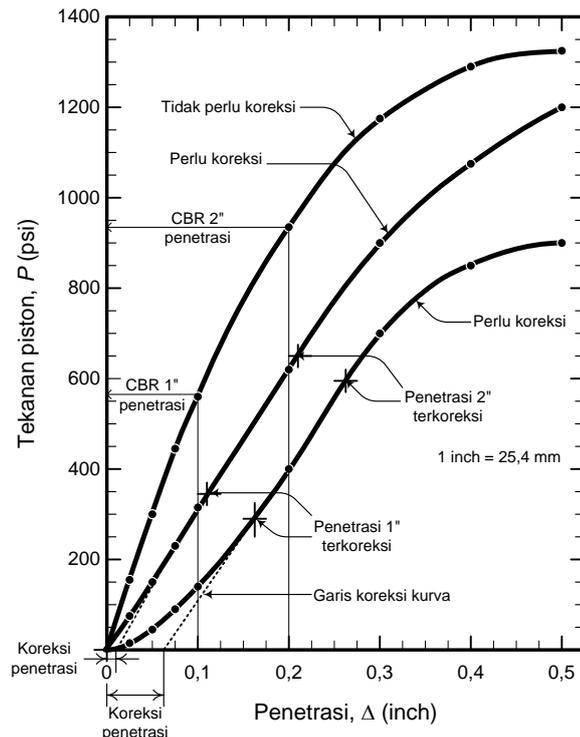
Pemadatan tanah dasar berkaitan erat dengan peningkatan kuat dukung tanah. Untuk tanah dasar jalan, nilai kuat dukung tanah lebih sering diukur dengan nilai *California Bearing Ratio (CBR)*. Nilai *CBR* ini digunakan untuk perencanaan tebal lapisan perkerasan jalan. Untuk menentukan nilai *CBR* ini diperlukan pengujian *CBR* di laboratorium atau dapat diperkirakan berdasarkan Tabel 2.1. Nilai *CBR* lebih dipengaruhi oleh variasi kadar air tanah, sehingga untuk perencanaan ditetapkan nilai *CBR* pada nilai kadar air yang tetap.

Tipikal nilai *CBR* beberapa jenis tanah (Tutumler dan Thompson, 2005)

Jenis Tanah	Indeks Plastisitas (%)	CBR (%) kedalaman dibawah muka air tanah	
		≤ 600 mm	> 600mm
Lempung plastis	70	2	1
	60	2	1,5
	50	2,5	2
	40	3	2
Lempung berlanau	30	5	3
Lempung berpasir	20	6	4
	10	7	5
Lanau	-	2	1*
Pasir gradasi buruk	non-plastis	20	10
Pasir gradasi baik	non-plastis	40	15
Kerikil berpasir gradasi baik	non-plastis	60	20

Dalam penerapannya bilamana pengaruh kadar air pemadatan terhadap *CBR* relatif kecil, seperti pada tanah non-kohesif, bahan berbutir-kasar, maka nilai *CBR* dapat ditentukan pada pemadatan dengan kadar air optimum. Pada beberapa pekerjaan, nilai *CBR* rencana ditetapkan berdasar variasi berat volume kering. Untuk itu, kadar air pemadatan dibuat tetap namun usaha pemadatan dibuat berbeda dengan cara mengubah jumlah tumbukan tiap lapisannya. Memperhatikan kondisi lingkungan, uji *CBR* rendaman (*soaked CBR*) biasanya dilakukan dengan merendam benda uji selama 4 hari.

Melalui uji akan diperoleh dua parameter yaitu nilai CBR rendaman dan potensi pengembangan tanah dasar. Untuk jenis tanah lempung kembang, biasanya memiliki nilai CBR rendaman yang sangat rendah dibandingkan dengan CBR normal (tanpa rendaman). Prosedur pengujian CBR laboratorium dapat dilihat dalam standar uji ASTM D1883. Tipikal pembacaan hasil uji CBR ini adalah kurva hubungan tekanan dan penetrasi seperti Gambar 2.1.



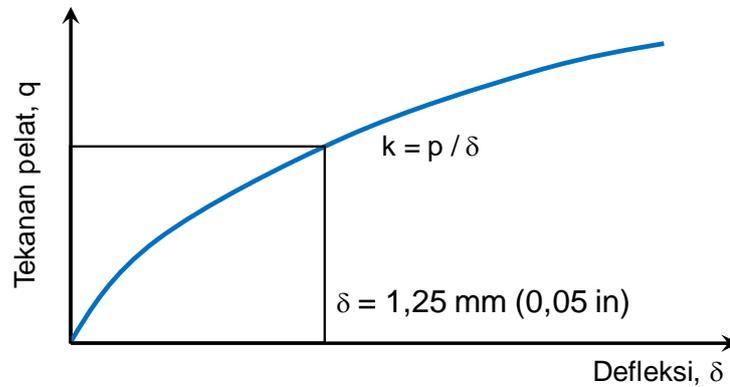
**Gambar 2. 2** Tipikal kurva tekanan dan penetrasi CBR (dimodifikasi dari ASTM D1883)

#### D. Modulus Reaksi Tanah Dasar

Penentuan nilai modulus reaksi tanah-dasar (*modulus of subgrade reaction*), umumnya dilakukan dengan melakukan uji beban pelat (*plate load test*), yaitu dengan cara membebani secara sentris pelat baja berbentuk lingkaran yang sangat kaku berdiameter antara 30 sampai 76 cm. Hasil uji tersebut digunakan untuk menentukan tebal perkerasan atau pelat beton yang terletak pada tanah-dasar dari bahan tertentu. Modulus reaksi tanah-dasar didefinisikan sebagai rasio antara tekanan ( $q$ ) pada suatu pelat kaku terhadap lendutan ( $\delta$ ), seperti dinyatakan dalam persamaan 2.1.

$$k = \frac{q}{\delta} \tag{2.1}$$

Dalam ASTM D1196/D1196M-12 untuk pengujian beban pelat *non-repetitive*, nilai modulus reaksi tanah dasar ditetapkan pada defleksi pelat sebesar 1,25 mm (0,05 inch).



**Gambar 2. 3 Kurva hubungan tekanan dan defleksi pelat pada uji beban pelat non-repetitive menurut ASTM D1196**

Hardiyatmo (2009) menyebutkan bahwa modulus reaksi tanah yang didukung oleh tiang-tiang untuk setiap susunan tiang dan tebal pelat dihitung dengan persamaan 2.2 berikut :

$$k = \frac{q}{\delta_a} \quad (2.2)$$

dimana

$$\delta_a = \frac{1}{2L} [l_i (\delta_i + \delta_{i+1}) + l_{i+1} (\delta_{i+1} + \delta_{i+2}) + \dots + l_{n-1} (\delta_{n-1} + \delta_n)] \quad (2.3)$$

dengan  $q$  = tekanan pada pelat =  $P/A$ ,  $P$  = beban titik,  $A$  = luas pelat,  $\delta_a$  = defleksi rata-rata pelat,  $L$  = panjang total pelat,  $\delta_i$  = defleksi di titik ke- $i$  dari pelat fleksibel,  $l_i$  = jarak antar titik,  $n$  = jumlah titik pengukuran defleksi.

## **BAB III**

### **TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

#### **A. Tujuan Penelitian**

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengkaji model teknik kolom untuk fondasi perkerasan lentur. Karakteristik kekuatan dan deformasi serta ketahanan dari teknik kolom dikaji di laboratorium dan lapangan. Secara rinci tujuan penelitian dapat diuraikan sebagai berikut ini.

##### **Tujuan Penelitian Tahun ke-1 :**

1. menerapkan teknik kolom pada perkerasan lentur jalan di atas tanah ekspansif.
2. mempelajari karakteristik tekanan ekspansif tanah di sekitar kolom dan di bawah lapis perkerasan.

##### **Tujuan Penelitian Tahun ke-2 :**

1. mempelajari perubahan kuat dukung dan deformasi sistem kolom pada perkerasan lentur jalan terhadap perubahan waktu.
2. menyusun rancangan struktur perkerasan jalan di atas tanah ekspansif yang memenuhi aspek teknis, ekonomis, dan lingkungan.

#### **B. Manfaat Penelitian**

Struktur perkerasan jalan di atas tanah ekspansif harus memenuhi aspek teknis, ekonomis, dan lingkungan. Untuk itu diperlukan suatu rancangan struktur perkerasan jalan yang memenuhi tiga aspek tersebut. Untuk itu struktur perkerasan perlu yang dirancang seperti halnya perancangan pelat-kolom, sehingga dimensi lapis perkerasan dan kolom dirancang berdasar beban lalu-lintas rancangan yang paling kritis. Sistem perkerasan teknik kolom perlu dirancang kuat menahan momen, gaya lintang dan geser pons, sehingga pengaruh beban-beban tambahan seperti: beban akibat vibrasi tanah-dasar dan naik-turunnya tanah-dasar akibat ekspansif susut tanah-dasar dapat diperhitungkan dalam perancangan. Muntohar (2006) secara khusus menyebutkan bahwa konstruksi jalan di atas tanah ekspansif menyebabkan kerusakan di beberapa ruas jalan nasional, provinsi, dan kabupaten di wilayah Yogyakarta. Permasalahan yang sering dijumpai pada konstruksi yang dibangun di atas tanah lunak dan tanah ekspansif adalah penurunan tanah yang besar saat basah yang menyebabkan kuat dukung tanah yang

sangat rendah, dan susut yang tinggi saat kering yang menyebabkan retakan pada tanah dasar dan permukaan perkerasan jalan. Untuk itu sistem fondasi untuk perkerasan jalan hendaknya memiliki kinerja yang lebih baik ditinjau dari aspek teknis (*strength, stiffness, serviceability, stability, dan durability*), maupun aspek ekonomisnya yang mencakup investasi awal dan biaya perawatan jangka panjang selama dioperasikan.

### C. Target Penelitian

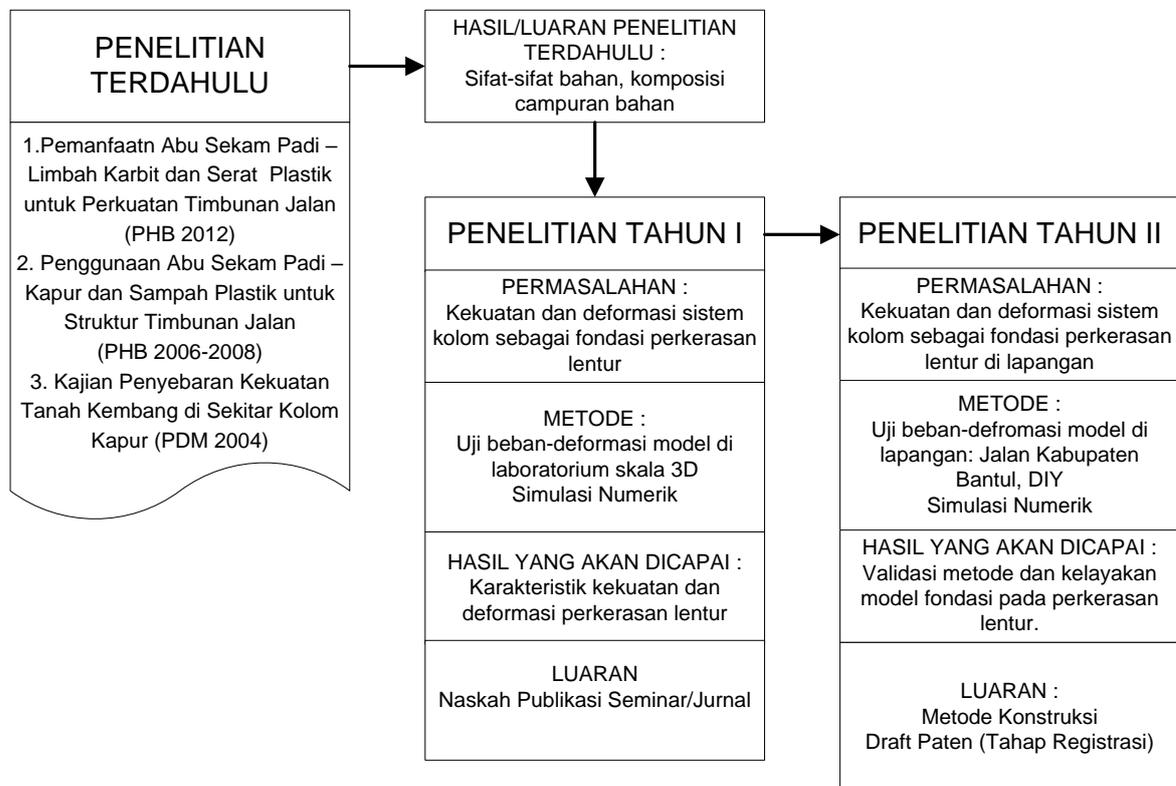
Target penelitian dapat diuraikan sebagai berikut :

<b>Waktu</b>	<b>Target</b>	<b>Luaran</b>
Tahun I	Karakteristik model struktur perkerasan lentur yang didukung oleh kolom-kolom	Naskah Seminar/Jurnal
Tahun II	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produk model/prototype struktur perkerasan lentur yang didukung oleh kolom-kolom</li> <li>- Metode perancangan struktur perkerasan lentur yang didukung oleh kolom-kolom</li> </ul>	Draft Patent

## BAB IV METODE RISET

### A. Desain Riset

Penelitian ini direncanakan untuk kurun waktu tiga tahun yang meliputi tahap pengujian model laboratorium, tahap pengujian model di lapangan (*full scale*), dan tahap monitoring serta evaluasi struktur perkerasan jalan. Secara umum metode penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1.



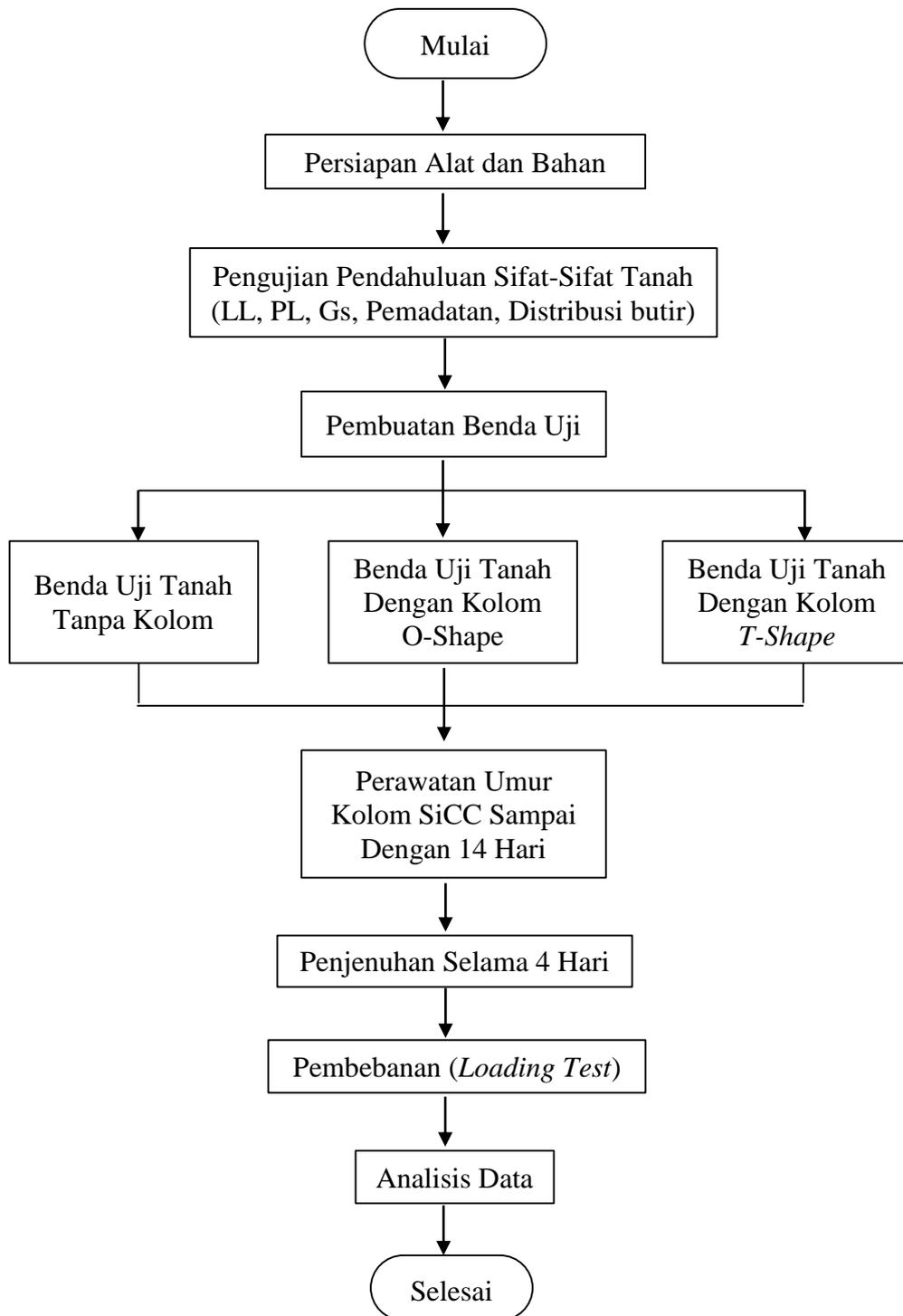
**Gambar 4. 1** Gambaran umum metode penelitian.

### B. Metode Penelitian Tahun ke-1

#### 1. Tahapan Penelitian

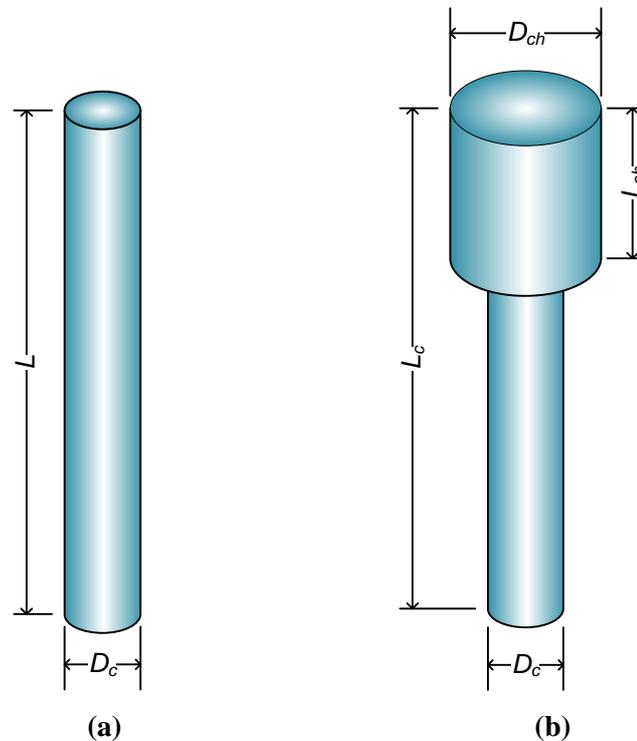
Secara garis besar tahapan penelitian seperti disajikan dalam diagram alir pada Gambar 4.2. Pengujian dilakukan untuk mengkaji perilaku sistem fondasi dengan pelat fleksibel yang didukung oleh kolom-kolom SiCC pada tanah ekspansif di Laboratorium Geoteknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Pengujian

beban dilakukan di atas pelat fleksibel yang berfungsi sebagai fondasi berbahan mika dengan diameter 250 mm dan tebal 5 mm. Pada pengujian ini variabel utama yang akan dikaji adalah defleksi pelat dan beban ultimit yang bekerja pada sistem fondasi, baik yang ditopang oleh kolom SiCC atau pun tanpa ditopang oleh kolom SiCC.



**Gambar 4. 2 Bagan alir penelitian**

Benda uji disiapkan dengan tiga kondisi yakni drum uji berisi tanah dan drum uji berisi tanah yang diperkuat oleh dua variasi kolom SiCC. Dua variasi kolom SiCC, yaitu kolom SiCC dengan bentuk lingkaran (O-Shape) dan dengan bentuk pembesaran di kepala kolom (*T-Shape*). Sketsa bentuk kolom seperti pada Gambar 4.3. Diameter kolom ( $D_c$ ) yang yang digunakan adalah 2 inches atau 50,8 mm. Untuk kolom T-Shape, ukuran kepala kolom adalah  $D_{ch} = 152,4$  mm dan  $L_{ch} = 152,4$  mm. Dua variasi panjang kolom digunakan dalam penelitian ini yaitu 500 mm dan 700 mm.. Pengujian pembebanan dilakukan setelah kolom berumur 14 hari. Pembebanan dilakukan secara bertahap hingga mencapai keruntuhan. Sebelum pengujian beban, tanah dalam *container* direndam air selama 4 hari untuk mengamati pengembangan.



Gambar 4. 3 Sketsa bentuk kolom yang digunakan (a) O-Shape, (b) T-Shape

## 2. Bahan Yang Digunakan

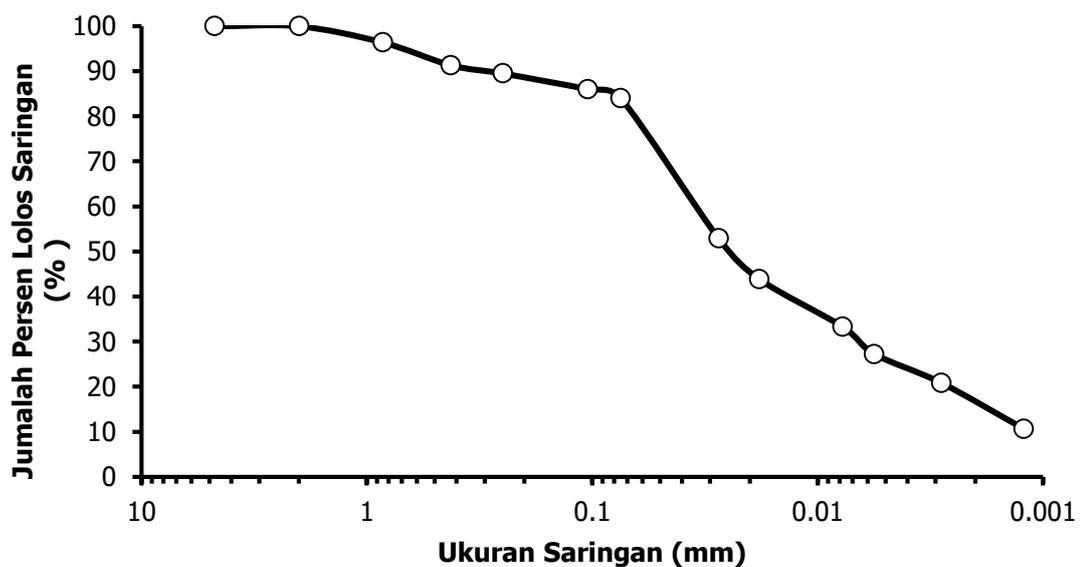
Tanah dasar yang digunakan yaitu tanah lempung ekspansif yang berasal dari Ngawi, Jawa Timur. Sifat-sifat tanah disajikan dalam Tabel 4.1. Distribusi ukuran butir tanah disajikan oleh kurva pada Gambar 3.2. Berdasarkan kurva distribusi ukuran butir tanah ini, tanah yang digunakan mengandung fraksi tanah berbutir halus sebanyak 84% dan fraksi tanah berbutir kasar sebanyak 16%. Dengan demikian, karena fraksi tanah berbutir halus lebih dari 50%, maka dikategorikan sebagai tanah berbutir halus. Selanjutnya dari hasil

pengujian batas cair dan batas plastis (Tabel 4.1), menurut sistem klasifikasi tanah Unified Soil Classification System (ASTM D422) tanah diklasifikasikan sebagai tanah lempung plastisitas tinggi dengan simbol CH.

Bahan untuk membuat mini-kolom meliputi pasir, abu sekam padi, dan kapur karbit. Pasir yang digunakan untuk membuat campuran kolom adalah pasir lolos saringan No. 10 dan tertahan pada saringan No. 40. Abu sekam padi yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Kecamatan Godean, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta dan memiliki ukuran butir 0,075 mm atau lolos saringan No.200. Abu sekam padi yang digunakan mengandung 87,68% silika.

**Tabel 4.1 Karakteristik Tanah Asli**

Parameter	Nilai
Berat jenis,	2,61-2,68
Batas-batas Atterberg:	
Batas cair, LL	95%
Batas plastis, PL	35%
Indek plastisitas, PI	60%
Pemadatan Proctor standar:	
Berat unit kering maksimum, MDD	12,2 kN/m <sup>3</sup>
Kadar air optimum, OMC	27%
Klasifikasi USCS	CH

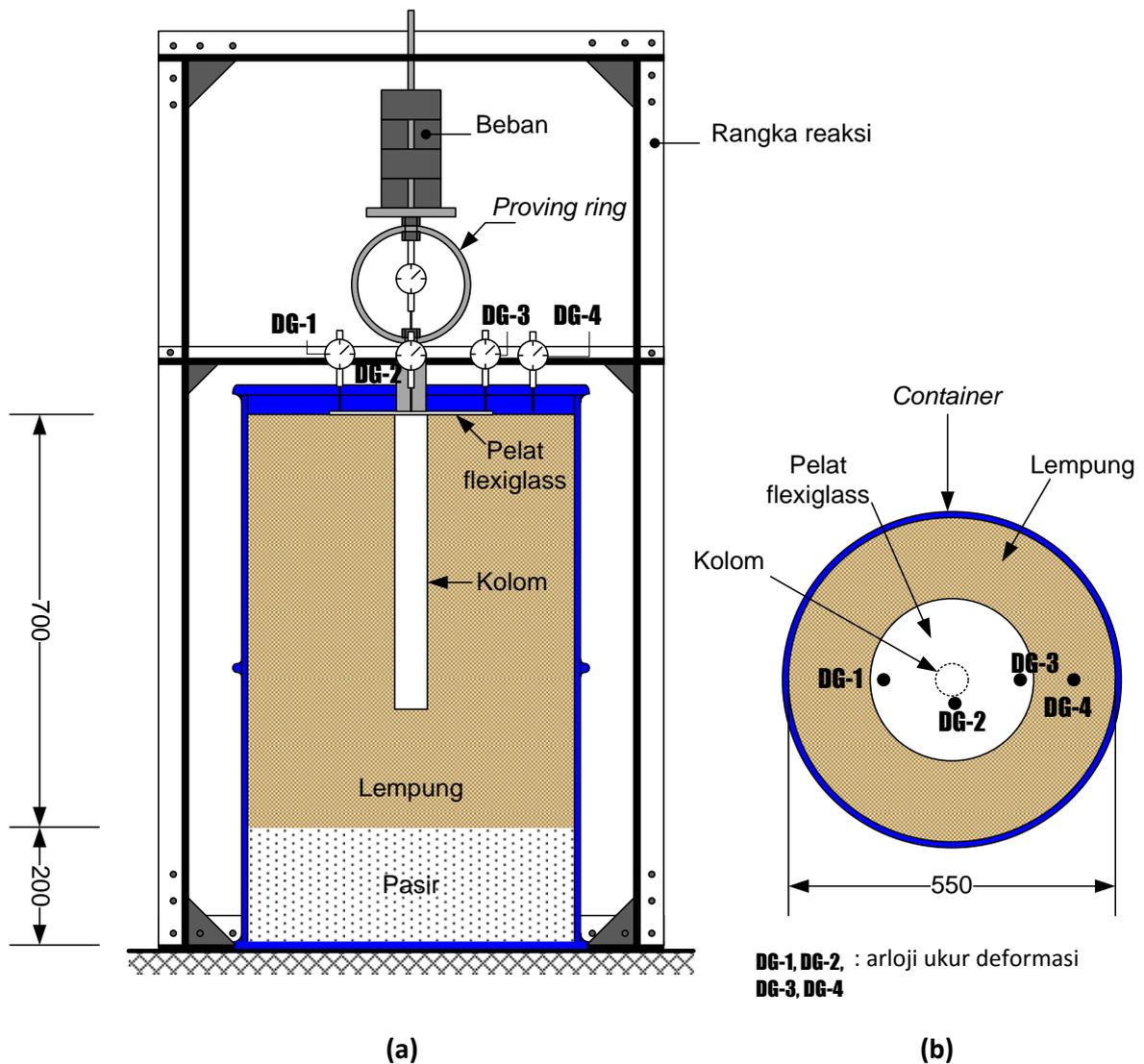


**Gambar 4. 4 Kurva distribusi ukuran butir tanah yang digunakan**

Kapur karbit yang digunakan pada penelitian ini adalah kapur yang berasal dari limbah karbit dan biasanya disebut sebagai kapur karbit. Kapur karbit yang digunakan berasal dari Kecamatan Sedayu, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Ukuran butir kapur karbit yang digunakan kurang dari 0,075 mm atau lolos saringan No.200. Unsur kimia penyusun limbah karbit yang utama adalah CaO sebanyak 60%.

### 3. Alat Yang Digunakan

Peralatan utama yang digunakan dalam pengujian adalah *container* tanah dan beban seperti digambarkan pada Gambar 4.4. *Container* yang digunakan berupa drum plastik (Gambar 4.5a) dengan ketebalan 5-6 mm yang berdiameter 550 mm dan tinggi 950 mm. Untuk membuat kolom SiCC digunakan alat bor tangan berukuran 55 mm (2 inch.) seperti pada Gambar 4.5b.



Gambar 4. 5 Sketsa susunan pengujian (a) penampang melintang, (b) tampak atas



**Gambar 4. 6 (a) Drum plastik untuk tempat tanah, (b) Bor tangan**



**Gambar 4. 7 Pengaturan uji beban langsung**

#### ***4. Pembuatan Benda Uji***

Benda uji yang dibuat pada penelitian ini dibagi menjadi dua tahapan yaitu penyiapan tanah di dalam drum uji dan pembuatan kolom.

### a. Penyiapan tanah

Tanah yang sudah disipakan kemudian ditempatkan dalam drum uji dengan diameter 54 cm dan tinggi 95 cm, setelah itu dipadatkan pada dejabat kepadatan 95% MDD dengan kondisi optimum kering. Pemadatan dilakukan per 20 kg tanah yang dimasukkan dalam drum uji sampai dengan 200 kg dengan ketinggian tanah 700 mm. Sebelum tanah dasar dipadatkan, terlebih dahulu dimasukkan pasir ke dalam drum yang kemudian dipadatkan hingga mencapai ketebalan 200 mm seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.5.

### b. Pembuatan kolom

Setelah tanah dipadatkan, tanah dibor dengan menggunakan bor tangan berdiameter 50,8 mm di tengah drum uji dengan kedalaman 500 mm dan dan 700 mm sesuai dengan rencana pengujian (Gambar 4.8a). Untuk kolom T-Shape, lubang yang telah dibor diperbesar hingga berdiameter 152,4 mm sedalam 152,4 mm (lihat Gambar 4.8b). Kolom dicetak didalam lubang menggunakan mortar SiCC yang dibuat dari campuran pasir, abu sekam padi, kapur karbit, dan air. Kapur karbit dan abu sekam padi berfungsi sebaga bahan ikat. Perbandingan air terhadap bahan ikat (*water binder ratio, wbr*) sebesar 0,6. Perbandingan antara berat pasir, abu sekam padi dan kapur karbit adalah 2 : 1 : 1. Gambar 4.8c menunjukkan hasil kolom mortar SiCC yang telah dicetak di dalam drum uji berisi tanah.



**Gambar 4. 8 (a) Pembuatan lubang (b) Pembesaran lubang, (c) Kolom SiCC.**

## 5. Uji Pengembangan dan Beban Pelat

Uji pengembangan tanah yang berada di bawah pelat dilakukan dengan cara menggenangi tanah dengan air selama empat hari. Pengembangan diamati dari perubahan

deformasi vertikal pelat dan permukaan tanah yang diukur arloji ukur (*dial gauge*) seperti pada Gambar 4.9.



**Gambar 4. 9 Perendaman tanah dalam drum untuk uji pengembangan**

Setelah selesai uji pengembangan, selanjutnya dilanjutkan dengan uji beban pelat. Uji beban pelat dilakukan untuk mengetahui hubungan beban dan deformasi pelat pada setiap benda uji. Pengujian dilakukan setekah 4 hari penjemuran. Beban diberikan secara terpusat yang diletakkan di tengah-tengah pelat (Gambar 4.7). Pembebanan dilakukan secara bertahap hingga mencapai beban 140 kg. Setelah mencapai beban maksimum, dilakukan pengurangan beban (*unloading*) secara bertahap. Selama penambahan dan pengurangan beban, dilakukan pembacaan deformasi vertikal dari pelat dan permukaan tanah yang dtelah dipasang seperti Gambar 4.5.

## BAB V

### HASIL YANG DICAPAI

#### A. Luaran Penelitian

Luaran penelitian pada Tahun ke-1 berupa naskah untuk seminar nasional, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.1. Masing-masing naskah disertakan pada Lampiran B.

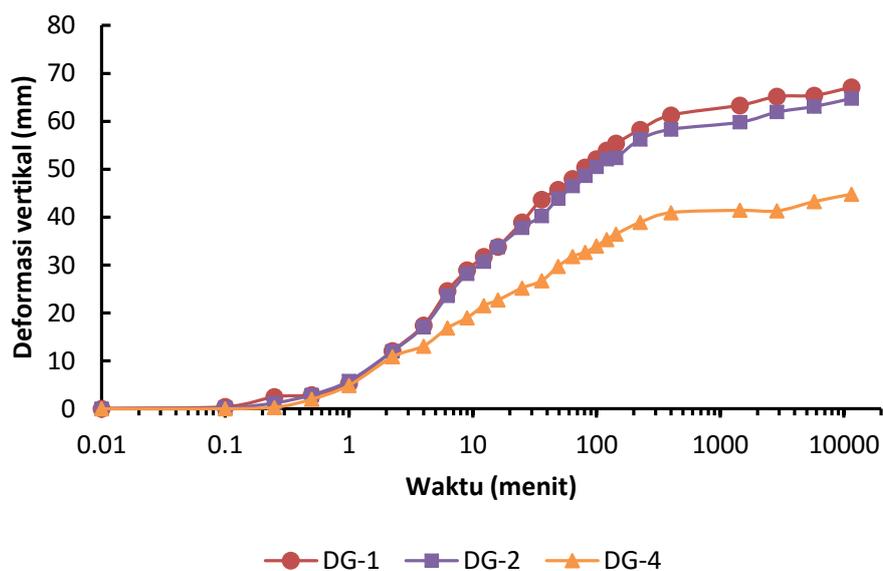
**Tabel 5. 1 Luaran penelitian pada Tahun ke-1**

No.	Nama Jurnal/Seminar	Tingkat	Judul Naskah	Status
1	Seminar Nasional Teknik Sipil 2016, 25 Mei 2106, Surakarta	Nasional	DESAIN NILAI CBR TANAH DASAR JALAN DENGAN PERBAIKAN KAPUR DAN ABU SEKAM PADI	Published

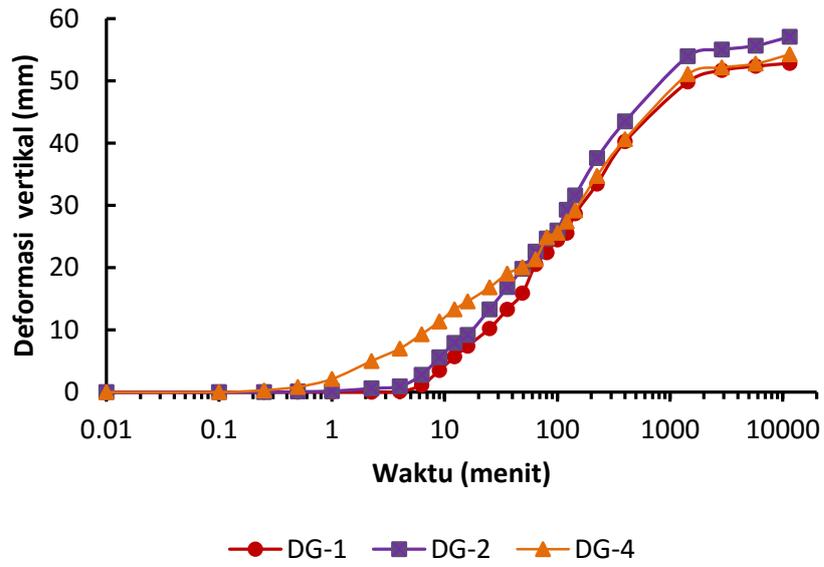
#### B. Hasil Penelitian

##### 1. Pengembangan Tanah

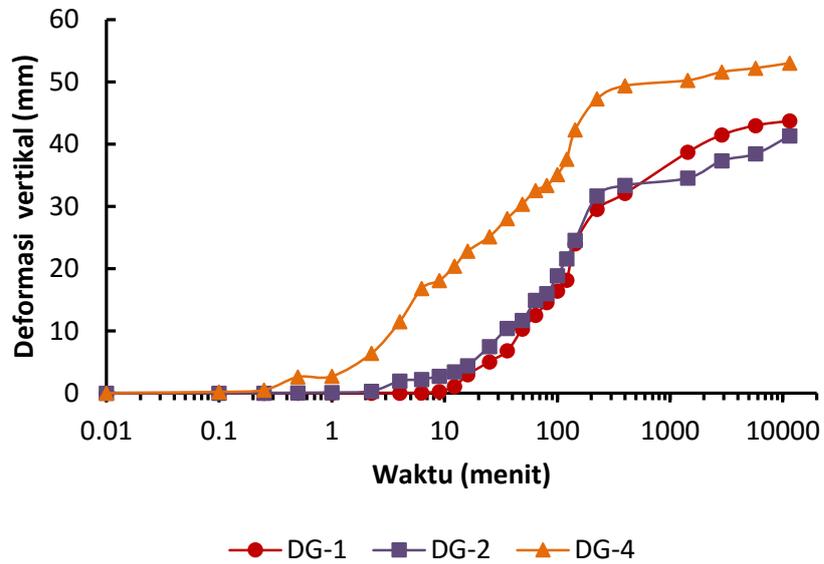
Gambar 5.1 hingga 5.3 menyajikan perubahan deformasi vertical tanah dan pelat akibat perendaman selama 4 hari. Secara umum, pelat dan permukaan tanah bergerak ke atas sebagai akibat dari pengembangan tanah. Deformasi ke atas atau pengembangan ini terus bertambah seiring dengan bertambahnya waktu. Besarnya pengembangan tanah ini disajikan pada Tabel 5.2.



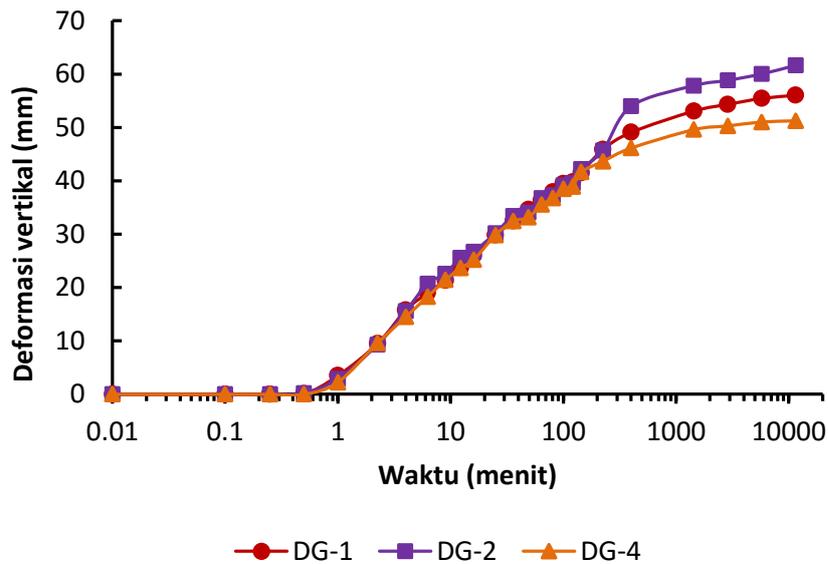
**Gambar 5. 1 Perubahan deformasi permukaan tanah akibat rendaman**



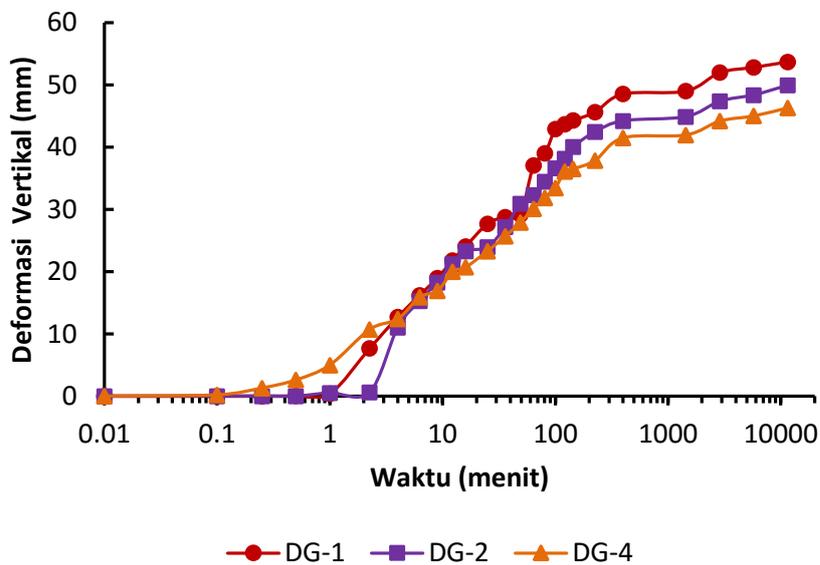
(a)



**Gambar 5. 2** Perubahan deformasi permukaan tanah dan pelat akibat rendaman untuk kolom O-shape (a) panjang kolom  $L_c = 500$  mm, (b) panjang kolom  $L_c = 700$  mm



(a)



(b)

**Gambar 5. 3 Perubahan deformasi permukaan tanah dan pelat akibat rendaman untuk kolom T-shape (a) panjang kolom  $L_c = 500$  mm, (b) panjang kolom  $L_c = 700$  mm**

Pengukuran deformasi di titik DG-1 dan DG-2 merupakan pengukuran pada pelat, sedangkan pengukuran deformasi di titik DG-4 adalah pengukuran permukaan tanah. Berdasarkan hasil deformasi vertikal pada masing-masing titik pengamatan, maka dapat diperoleh pengembangan tanah (tanpa kolom) adalah 9,58% pada titik DG-1, 9,26% di titik DG-2, dan 6,40% di titik DG-4. Untuk pelat yang diperkuat dengan kolom O-Shape, didapatkan pengembangan pada titik DG-1 sebesar 7,55%, titik DG-2 sebesar 8,16%, dan 7,76% di titik DG-4. Sedangkan pengembangan terbesar pada pelat yang diperkuat dengan kolom *T-Shape* adalah 8% di titik DG-1, 8,81% di titik DG-2, dan 7,32% di titik DG-4.

Dari pengukuran tersebut dapat diketahui bahwa tanah yang didukung oleh kolom-kolom mampu mengurangi pengembangan.

**Tabel 5.2 Pengembangan maksimum tanah di bawah pelat**

Kondisi	Deformasi Vertikal Maksimum (mm)			Pengembangan (%)		
	DG-1	DG-2	DG-4	DG-1	DG-2	DG-4
Tanah (tanpa kolom)	67,09	64,79	44,79	9,58	9,26	6,40
Tanah dengan kolom O-Shape						
L = 500 mm	56,05	61,65	51,25	8,01	8,81	7,32
L = 700 mm	53,70	49,93	46,31	7,67	7,13	6,62
Tanah dengan kolom T-Shape						
Lc = 500 mm	52,86	57,11	54,30	7,55	8,16	7,76
Lc = 700 mm	43,73	41,33	53,02	6,25	5,90	7,57

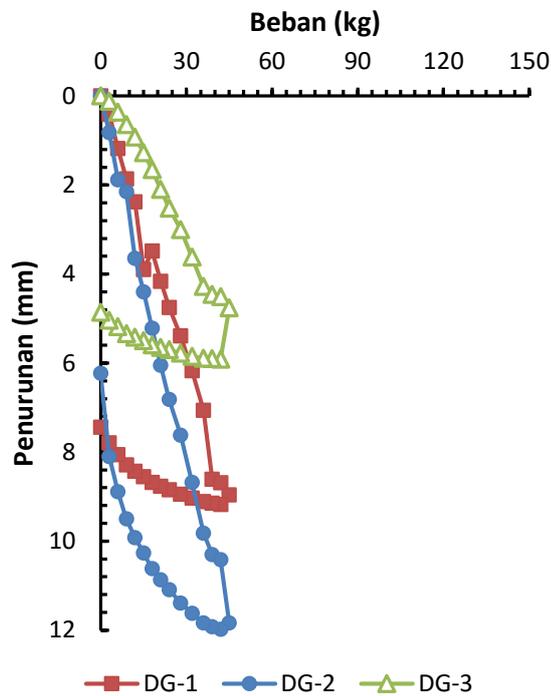
## 2. Uji Beban Pelat

Hasil uji beban langsung berupa kurva beban dan penurunan seperti disajikan pada Gambar 5.4 hingga 5.6 masing-masing untuk pelat tanpa kolom, pelat dengan kolom O-Shape, dan kolom T-Shape. Pengujian dilakukan satu siklus yaitu pembebanan (*loading*) dan pelepasan beban (*unloading*). Beban yang dapat diteruskan pada pelat tanpa kolom relatif kecil yaitu 45 kg (Gambar 5.4) atau setara dengan tekanan 8,7 kPa. Deformasi vertikal maksimum dari pelat fleksibel akibat tekanan 8,7 kPa yaitu 8,96 mm di titik DG-1, 11,84 mm di titik DG-2 (tengah pelat), dan 4,76 mm di titik DG-3. Penempatan kolom dibawah pelat mampu meningkatkan beban yang diterima oleh pelat hingga mencapai 140 kg (Gambar 5.5 dan 5.6). Penurunan pelat berkurang sebagai akibat dari pemasangan kolom. Kolom yang lebih panjang memberikan nilai penurunan pelat yang lebih kecil. Selanjutnya perbesaran pangkal kolom mampu mengurangi penurunan pelat. Kondisi ini seperti ditunjukkan pada Gambar 5.7.

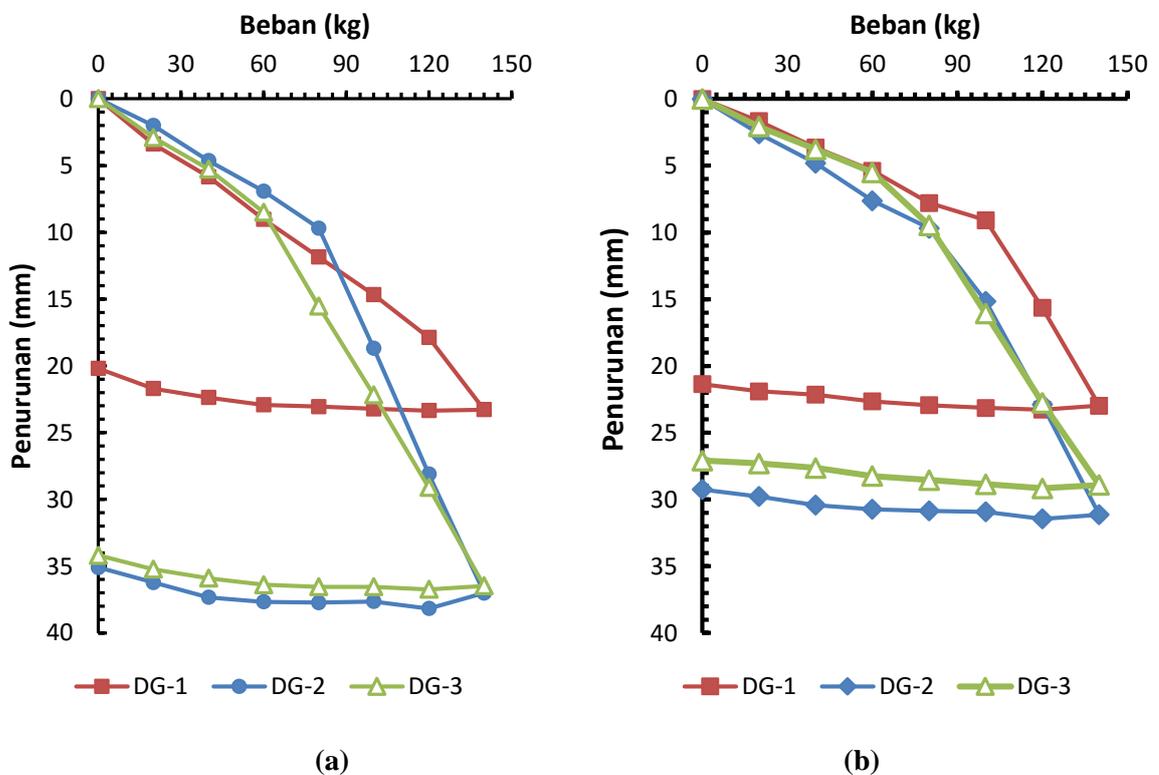
## 3. Modulus Reaksi Tanah Dasar

Modulus reaksi tanah dasar merupakan perbandingan antara tekanan terhadap penurunan. Dengan tekanan yang sama, semakin besar penurunan yang terjadi pada pelat fleksibel maka semakin kecil nilai modulus reaksi tanah dasarnya. Tabel 5.3 menyajikan nilai modulus reaksi tanah dasar ( $k$ ) yang diperkirakan dari persamaan 2.1 dan 2.2. Secara umum dapat diketahui bahwa nilai  $k$  cenderung meningkat dengan pemasangan kolom di bawah pelat fleksibel. Nilai  $k$  tanpa kolom yaitu 1,30 MPa/m dan 1,12 MPa/m jika masing-masing diperkirakan dengan persamaan 2.1 dan 2.3. Nilai  $k$  untuk pelat yang

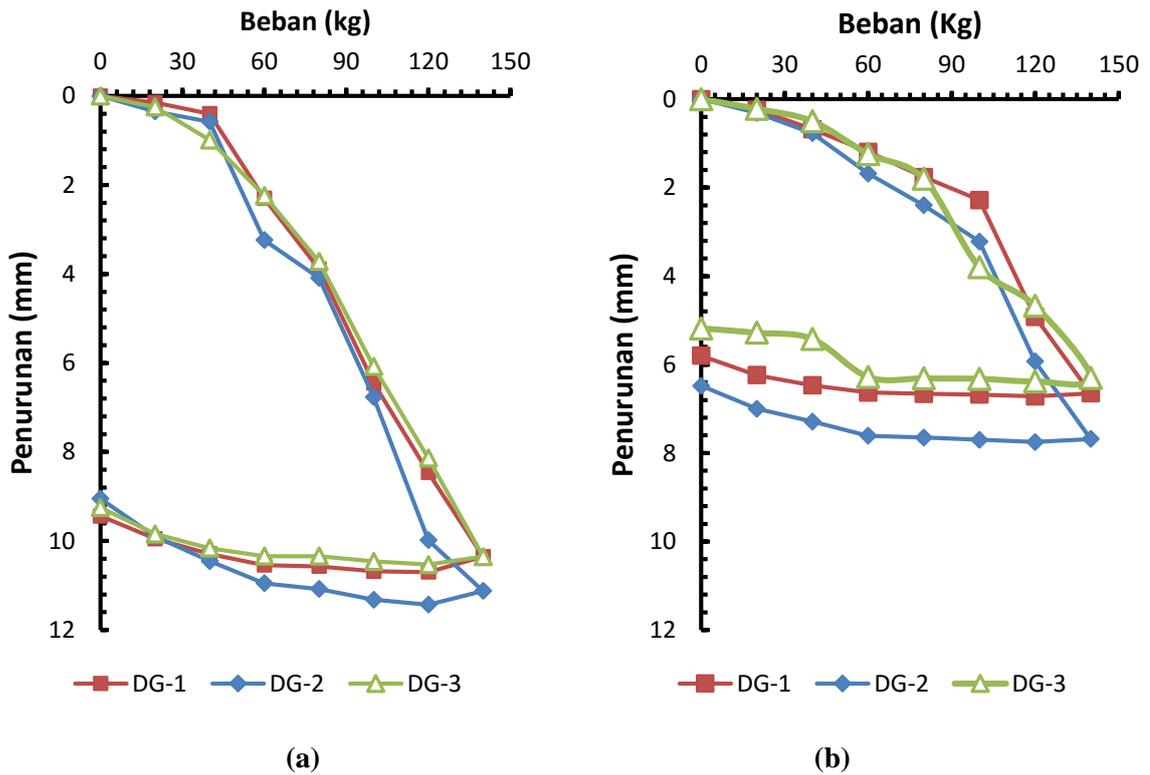
didukung dengan kolom meningkat dengan bertambahnya panjang kolom dan perbesaran pangkal kolom.



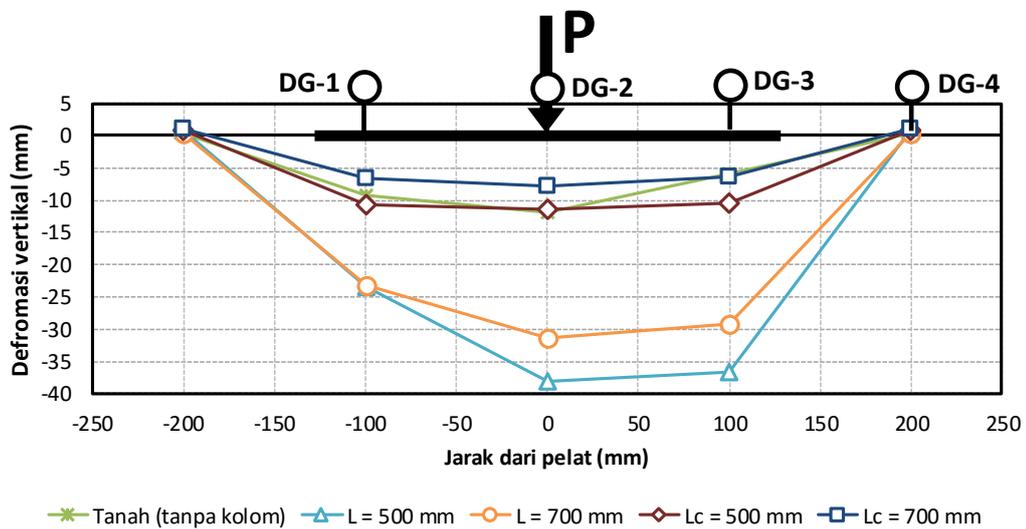
Gambar 5. 4 Kurva hubungan beban dan penurunan pelat pada tanah tanpa kolom



Gambar 5. 5 Kurva hubungan beban dan penurunan pelat yang didukung oleh kolom O-Shape (a) panjang L = 500 mm, (b) panjang L = 700 mm



Gambar 5.6 Kurva hubungan beban dan penurunan pelat yang didukung oleh kolom T-Shape (a) panjang  $L_c = 500$  mm, (b) panjang  $L_c = 700$  mm



Gambar 5.7 Pola deformasi pelat akibat pembebanan

**Tabel 5. 3 Nilai modulus reaksi tanah dasar hasil uji beban pelat**

Kondisi	Pers. 2.1			k *	Pers. 2.2 & 2.3	
	Tekanan pada $\delta = 1,25$ mm				$\delta_a$	k
	DG-1	DG-2	DG-3	(MPa/m)	(m)	(MPa/m)
Tanah (tanpa kolom)	1,2	0,82	2,85	1,30	-0,0078	1,12
Tanah dengan kolom O-Shape						
L = 500 mm	1,42	2,4	1,65	1,46	-0,0273	0,99
L = 700 mm	3	1,8	2,3	1,89	-0,0231	1,18
Tanah dengan kolom T-Shape						
Lc = 500 mm	10	9,5	8,8	7,55	-0,0088	3,07
Lc = 700 mm	12	9,8	12,2	9,07	-0,0057	4,74

Keterangan :

tanda (-) menandakan terjadi penurunan (deformasi vertikal ke bawah)

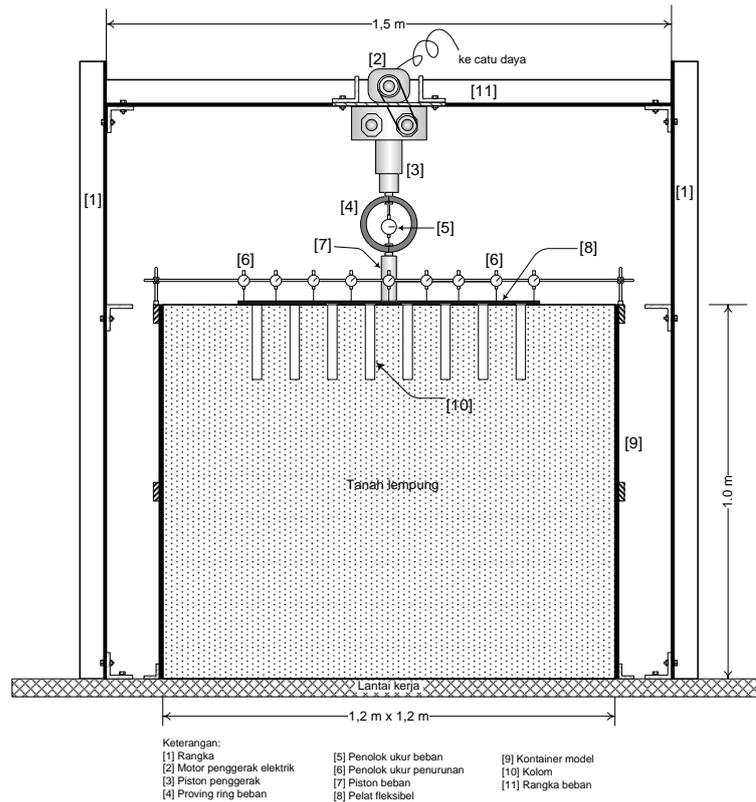
\* nilai rata-rata pada defleksi di DG-1 s.d DG-3

## **BAB VI**

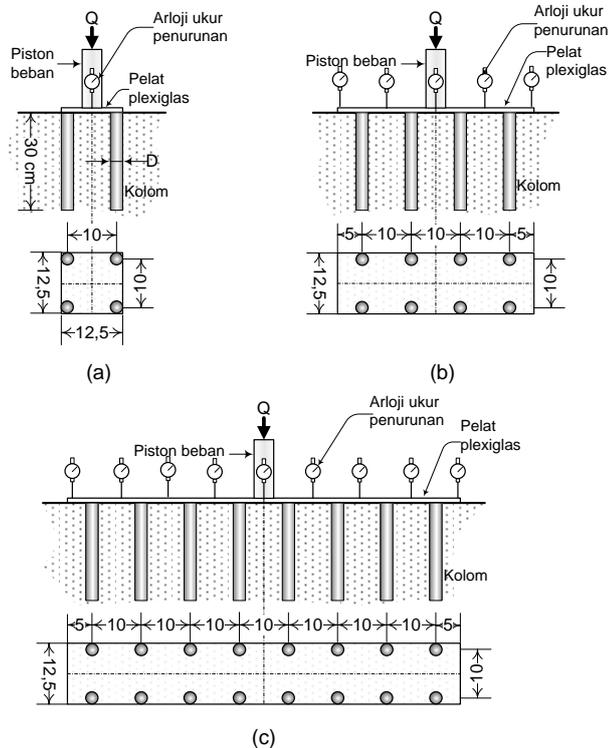
### **RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA**

Pada tahun kedua akan dilakukan pengujian laboratorium terhadap model kolom yang dimaksudkan untuk mengkaji pengaruh ukuran dan susunan kolom terhadap beban dan penurunan, dan modulus reaksi tanah. Bahan kolom terbuat dari campuran limbah karbit dan abu sekam padi. Pada penelitian ini kolom-kolom ini mendukung perkerasan jalan yang dimodelkan dengan pelat lentur (*flexible plate*). Kolom dan pelat diuji di atas tanah ekspansif yang diletakkan dalam kotak uji seperti Gambar 6.1. Pengujian ini dilakukan untuk modulus reaksi tanah dasar dan kolom berdasarkan hubungan beban defleksi. Pengujian dilaksanakan setelah kolom berumur 7 hari. Pada pengujian model pelat fleksibel yang didukung kolom-kolom, kekuatannya akan bergantung pada kekuatan pelatnya sendiri, kuat dukung tanah dasar dan interaksi antara pelat dan tanah dasar, serta kekuatan kolom. Untuk mengevaluasi sistem ini maka diperlukan pengujian model struktur perkerasan lentur itu sendiri. Pengujian terhadap model struktur perkerasan lentur dilakukan untuk menentukan kuat dukung struktur perkerasan lentur yang didukung oleh kolom-kolom. Variasi susunan kolom dan pelat seperti ditunjukkan pada Gambar 6.2. Uji beban pelat dilakukan guna mengetahui hubungan beban dan lendutan yang nantinya dinyatakan dalam modulus reaksi tanah dasar ( $k$ ).

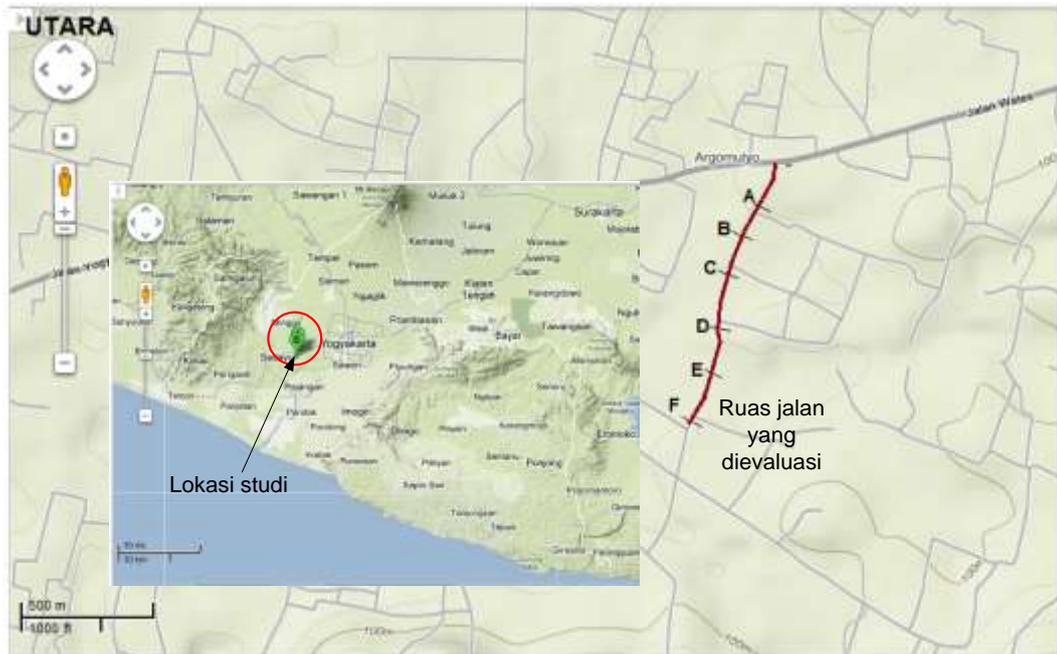
Pada tahap selanjutnya akan dilakukan uji model lapangan (*full scale*) atau uji gelar yang dilaksanakan di atas tanah ekspansif. Pada tahun ke-2 ini, penelitian akan **melibatkan pihak Puslitbang Jalan Kemen PU atau Dinas PU Kabupaten Bantul**. Lokasi pelaksanaan uji gelar ini direncanakan pada ruas jalan kabupaten yang menghubungkan Sedayu–Bangunjiwo. Gambar 6.3 menunjukkan rencana lokasi yang digunakan untuk uji gelar. Pada uji gelar, susunan kolom yang digunakan adalah susunan kolom optimum yang diperoleh dari hasil penelitian Tahun ke-1. Penentuan titik uji gelar dilakukan dengan melakukan evaluasi tanah dasar jalan dengan menggunakan uji DCP, SASW, dan uji kandungan fraksi lempung serta indeks plastistas pada ruas jalan A hingga F (Gambar 6.4).



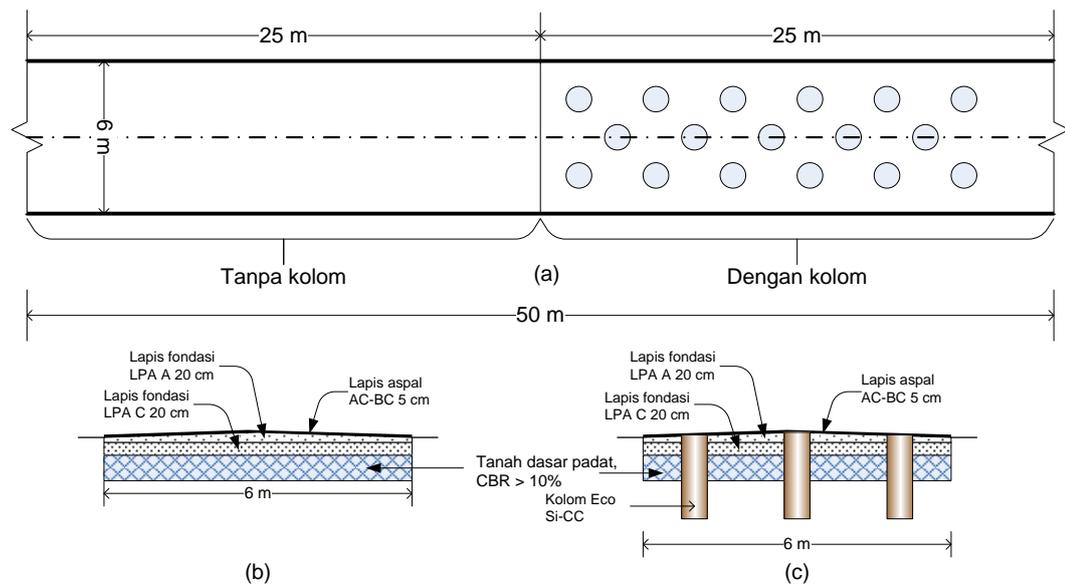
**Gambar 6. 1 Skema alat uji beban langsung di laboratorium.**



**Gambar 6. 2 Rencana susunan kolom dan pelat untuk pengujian beban – deformasi laboratorium (a) susunan 4 kolom, (b) susunan 8 kolom, dan (c) susunan 16 kolom**



**Gambar 6.3 Rencana lokasi uji gelar pada ruas jalan Sedayu – Bangunjiwo, Bantul**



**Gambar 6.4 (a) Denah jenis konstruksi yang dilaksanakan pada ruas jalan untuk uji gelar, (b) penampang perkerasan jalan tanpa kolom, (c) penampang perkerasan jalan dengan kolom.**

## **BAB VII**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa kolom SiCC secara umum dapat mengurangi potensi kembang-susut dan dapat meningkatkan daya dukung tanah. Secara rinci kesimpulan penelitian ini dapat dituliskan sebagai berikut :

1. Pemasangan kolom SiCC mampu mengurangi defleksi akibat pengembangan di tengah pelat dari 64,79 mm menjadi 61,65 mm dan 57,11 mm masing-masing untuk kolom polos dan kolom *T-Shape* akibat pengembangan.
2. Pemasangan kolom-kolom SiCC juga mampu mengurangi defleksi yang diakibatkan oleh beban sebesar 140 kg. Defleksi akibat beban terhadap pelat fleksibel yang didukung oleh kolom polos dan kolom *T-Shape* masing-masing adalah 35,1 mm dan 9,05 mm. Hasil menunjukkan bahwa tanah yang diperkuat oleh kolom *T-Shape* mampu mengurangi defleksi yang terjadi pada pelat akibat beban mencapai 4 kali bila dibandingkan tanah yang diperkuat dengan kolom polos.
3. Pelat fleksibel di atas tanah lempung yang tidak didukung oleh kolom hanya mampu menerima beban sebesar 45 kg. Defleksi akibat beban terhadap pelat fleksibel pada beban 45 kg adalah sebesar 11,84 mm.
4. Modulus reaksi tanah dasar pada tanah ekspansif tanpa didukung oleh kolom dan didukung oleh kolom polos dan kolom *T-Shape* masing-masing adalah 725,01 kPa/m, 551,72 kPa/m, dan 3137,25 kPa/m. Tekanan yang diberikan pada tanah tanpa kolom adalah sebesar 8,99 kPa, sedangkan pada kolom polos dan *T-Shape* adalah 16 kPa. Hasil menunjukkan bahwa tanah lempung ekspansif yang diperkuat oleh kolom *T-Shape* mempunyai nilai modulus elastisitas tanah dasar yang lebih besar 6 kali lipat dibandingkan dengan tanah yang hanya diperkuat oleh kolom polos.

#### **B. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya :

1. Pada penelitian selanjutnya, dapat digunakan variasi panjang kolom.

2. Pada penelitian selanjutnya, dapat digunakan variasi tinggi tanah lempung yang digunakan.
3. Pada penelitian selanjutnya, untuk dapat diperhatikan masalah penyetingan alat sehingga dalam penelitian tidak terjadi kesulitan yang berarti.

## BAB VIII DAFTAR PUSTAKA

- Adam, A., Ibrahim, I., Alhardllo, A., Hadi, A., Ibrahim, M., 2012, *Effect of hydrated lime on behavior of expansive soil as subgrade of flexible pavement structural system*, Proceeding The 2<sup>nd</sup> International Conference on Sustainable Construction Materials: Design, Performance, and Application, Wuhan, China, 18-22 October 2012, pp. 64-76
- ASTM D1196/D1196M-12, 2012, Standard Test Method for Nonrepetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D1883-16, 2016, Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Budi, G.S., 2003, Penyebaran kekuatan dari kolom yang terbuat dari limbah karbit dan kapur. *Jurnal Dimensi Teknik Sipil*, Vol. 5 No. 2: 99-102.
- Daud, S., Junica, M.I., Sunaryo, M.E., Pertiwi, D., 2009, Kajian dan monitoring hasil uji coba skala penuh teknologi Cakar Ayam Modifikasi, Kolokium Hasil Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan Tahun 2009, Badan Penelitian dan Pengembangan Jalan, Kementerian Pekerjaan Umum, pp. 244-284.
- Hardiyatmo, H.C., 2009, Metode hitungan lendutan pelat dengan menggunakan modulus reaksi tanah dasar ekuivalen untuk struktur pelat fleksibel. *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*, Vol. 9(2), pp. 149-154.
- Kamon, M., Nontananandh, S., 1991. Combining industrial wastes with lime for soil stabilization. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 117 No. 1: 1-17.
- 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 Glöckauf, 101-112.
- 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*, Proceeding of the International Conference on Civil Engineering, 1-3 October 2003, Malang, East Java (CD-ROM)
- 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., 2006, The swelling of expansive subgrade at Wates - Purworejo roadway STA. 8+127, *Civil Engineering Dimension*, Vol. 8(2), pp. 106 – 110.
- Muntohar, A.S., 2014, Improvement of expansive subgrade using column technique of carbide lime and rice husk ash mixtures, Proceeding of the Southeast Asia Conference on Soft Soil (Soft Soil 2014), Bandung, 21-23 October 2014, Vol. 2, pp. I4.1 – I4.6.
- Muntohar, A.S., 2016, A Numerical Method of the Flexible Pavement Supported by SSC on Expansive Soil, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 845, pp 62-69
- Muntohar, A.S., 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., Muhammad, A., Damanhuri, 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. (CD-ROM)
- Muntohar, A.S., Nugraha, R.A, 2015, Pengaruh pembesaran kepala kolom bentuk T-Shape pada sistem fondasi jalan raya terhadap deformasi akibat pengembangan tanah ekspansif, Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil ke-11, Surabaya, 28 Januari 2015, pp. 749-756.
- Muntohar, A.S., Nugraha, R.A., 2015, Pengaruh Pembesaran Kepala Kolom Bentuk T-Shape Pada Sistem Fondasi Jalan Raya Terhadap Deformasi Akibat Pengembangan Tanah Ekspansif, Seminar Nasional XI – 2015 Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, Indonesia, 28 Januari 2015, pp. 749-756
- Muntohar, A.S., Rosyidi, S.A.P., Diana, W., Iswanto, 2014, Perilaku beban – deformasi pelat fleksibel didukung dengan kolom-kolom Eco-SiCC di tanah ekspansif, Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-8, Bandung, 16 – 18 Oktober 2014, pp. STR. 95 – STR.101
- Muntohar, A.S., Rosyidi, S.A.P., Diana, W., Iswanto, 2014, Perilaku Beban-Deformasi Pelat Fleksibel Didukung dengan Kolom-Kolom Eco-SiCC di Tanah Ekspansif (Characteristics of Load-Deformation of the Eco-SiCC column supported flexible plate on expansive soil), Konferensi Nasional Teknik Sipil 8 (KoNTekS 8), Institut Teknologi Nasional, Bandung, Indonesia, 16–18 Oktober 2014, pp. STR95-STR101
- Muntohar, A.S., Saputro, S.A., 2015, The SiCC Column Improved the Expansive Clay, The 14th International Conference on QiR (Quality in Research), Mataram, Indonesia, 10-13 August 2015, Symposium A – International Symposium on Civil and Enviromental Engineering, pp. 37-43
- Muntohar, A.S., Widiarti, A., Oktovian, E., Hartono, E., 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. (CD-ROM)
- Porbaha, A., Zen, K., Kobayashi, M., 1999, Deep mixing technology for liquefaction mitigation, *Journal of Instrastructure Systems*, Vol. 5 No. 1, 21-34.
- Prabowo, D.R., 2010, *Analisis ekonomi perkerasan lentur dan perkerasan menggunakan pile slab pada ruas jalan Babat-Bojonegoro*, Tugas Akhir RC09 1380, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Rogers, C.D.F., Glendinning, S., 1997, Improvement of clay soils in situ using lime piles in UK, *Engineering Geology*, Vol. 47, 243-257.
- Sahoo, J.P., Pradhan, P.K., 2010, Effect of lime stabilized soil cushion on strength behaviour of expansive soil, *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 28, pp. 889–897
- 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.
- Widajat, D., Suherman, 2008, *Evaluasi penanganan kerusakan perkerasan jalan diatas tanah ekspansif*, Kolokium Hasil Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan Tahun 2009, Badan Penelitian dan Pengembangan Jalan, Kementerian Pekerjaan Umum. (CD-ROM)

---

# Lampiran A

---

Naskah Publikasi:

1. Naskah Seminar Nasional Teknik Sipil 2016
2. Draft Naskah Seminar

---

Dr.Eng. Agus Setyo  
Muntohar Dr. Nursetiawan  
Anita Rahmawati, M.Sc.

---



## DESAIN NILAI CBR TANAH DASAR JALAN DENGAN PERBAIKAN KAPUR DAN ABU SEKAM PADI

**Agus Setyo Muntohar**

Laboratorium Geoteknik, Jurusan Teknik Sipil,  
Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Jl. Lingkar Selatan Taman Tirto, D.I. Yogyakarta  
\*Email: muntohar@umy.ac.id

### Abstrak

*Kadar air tanah memiliki pengaruh yang besar terhadap kuat dukung tanah dasar jalan baik tanpa stabilisasi maupun dengan stabilisasi. Naskah ini menyajikan hasil kajian pengaruh pencampuran kapur dan abu sekam padi secara terpisah terhadap kuat dukung tanah dalam berbagai kondisi kadar air tanah. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menentukan desain nilai desain CBR tanah yang dicampur dengan kapur dan abu sekam padi. Kadar kapur dan abu sekam padi dalam campuran adalah 2%, 4%, dan 6% dari berat tanah kering yang digunakan. Variasi kadar air tanah untuk desain dibuat antara 16% - 28%. Benda uji dipadatkan dengan metode pemadatan Proctor termodifikasi. Pengujian CBR laboratorium dilakukan dalam kondisi tanpa rendaman setelah benda uji diperam dalam cetakan selama 7 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai CBR cenderung berkurang dengan bertambahnya kadar air tanah baik untuk tanah tanpa stabilisasi dan tanah dengan stabilisasi kapur atau abu sekam padi. Tanah yang dipadatkan pada kondisi kering, dimana kadar air kurang dari OMC, cenderung menghasilkan nilai CBR yang lebih tinggi daripada tanah yang dipadatkan pada kondisi OMC dan kondisi basah*

**Kata kunci:** abu sekam padi, CBR, lempung, kadar air, subgrade.

## PENDAHULUAN

Kondisi tanah lempung sangat dipengaruhi oleh kadar airnya, terutama untuk tanah lempung ekspansif. Apabila tanah lempung ini digunakan sebagai tanah dasar jalan (*subgrade*), maka harus memenuhi kriteria seperti disyaratkan dalam SNI 03-1732-1989 (BSN, 1989), yaitu minimal 6% pada kondisi kering, dan 4% pada kondisi terendam air. Dalam perencanaan jalan ini, umumnya daya dukung tanah dasar (DDT) ditetapkan berdasarkan korelasi dengan nilai CBR baik CBR lapangan atau CBR laboratorium. CBR laboratorium ini biasanya dipakai untuk perencanaan pembangunan jalan baru. Sementara ini dianjurkan untuk mendasarkan data dukung tanah dasar hanya kepada pengukuran nilai CBR. Muntohar (2006) menyebutkan bahwa tanah lempung ekspansif pada kondisi terendam hanya memiliki nilai CBR yang kurang dari 2% ( $CBR < 2\%$ ). Berbagai teknik perbaikan tanah telah dilakukan untuk meningkatkan nilai daya dukung tanah. Teknik paling sering dilakukan adalah dengan metode stabilisasi tanah secara kimia.

Penggunaan abu sekam padi dan kapur sebagai bahan stabilisasi tanah telah banyak dikaji dalam skala laboratorium seperti oleh Lazaro dan Moh (1970), Rahman (1987), Ali *et al.* (1992), Muntohar dan Hantoro (2000), Bashaet *al.* (2004), Muntohar (2005), Hossain (2011). Namun, penelitian-penelitian tersebut belum menghasilkan suatu rekomendasi terhadap prosedur dan desain campuran. Walaupun demikian, sebagian besar hasil-hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa abu sekam padi tidak dapat digunakan sendiri sebagai bahan stabilisasi tanpa bahan lainnya seperti kapur, semen, atau sejenisnya. Namun, Rahman (1987) menyebutkan untuk tanah residu dalam kondisi tanah yang basah, tetapi tidak terendam (jenuh air), pencampuran abu sekam padi dengan tanah mampu meningkatkan kuat dukung tanah jika dibandingkan pencampuran tanah dengan kapur.

Untuk itu diperlukan kajian guna mempelajari pengaruh pencampuran kapur dan abu sekam padi secara terpisah terhadap kuat dukung tanah dalam berbagai kondisi kadar air tanah. Tujuan

penelitian ini secara rinci dapat dirumuskan (1) untuk mengkaji pengaruh kadar air tanah terhadap nilai kuat dukung tanah (CBR) yang dicampur dengan kapur dan abu sekam padi, (2) untuk menentukan desain nilai desain CBR tanah yang dicampur dengan kapur dan abu sekam padi.

## METODE PENELITIAN

### 1. Bahan Yang Digunakan

#### Tanah

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Kasihan, Bantul Yogyakarta. Berdasarkan hasil uji distribusi ukuran partikel tanah dan batas-batas konsistensi, tanah ini diklasifikasikan sebagai tanah lempung plastisitas tinggi dengan simbol CH menurut USCS (ASTM, 2010a). Sifat-sifat geoteknik tanah ini seperti disajikan pada Tabel 1. Menurut Gromko (1974) dan Seed et al. (1962), tanah ini memiliki potensi pengembangan sebesar 10% dan dikategorikan sebagai tanah sangat ekspansif.

Tabel 1. Sifat-sifat geoteknik tanah yang digunakan

Parameter	Nilai
Kadar air tanah asli, $w_N$	71 %
Kadar air tanahterusik	18 %
Beratjenis, $G_s$	2,63
Batas cair, $LL$	74 %
Batas plastis, $PL$	32 %
Batas susut, $SL$	14 %
Indeksplastisitas, $PI$	41 %
Pemadatan Proctor standar :	
Berat volume keringmaksimum, $\gamma_d$	13,5kN/m <sup>3</sup>
Kadar air optimum, OMC	27 %
Distribusiukuranpartikel:	
▪ Pasir	9 %
▪ Lanau	81 %
▪ Lempung	11 %
Aktifitas, $A = PI/C$	3,059

#### Abu Sekam Padi dan Kapur.

Abu sekam padi yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari sisa pembakaran sekam padi dalam pembuatan batu bata di Godean, Sleman. Proses pembakaran yang dilakukan dikategorikan sebagai pembakaran tak-terkendali (*uncontrolled burnt*). Agar memenuhi sebagai bahan stabilisasi tanah, abu sekam padi dihaluskan dalam mesin Los Angeles selama 2 jam dan disaring dengan saringan No. 200 (0,075 mm). Sedangkan, kapur yang digunakan berupa kapur padam (*hydrated lime*).

Berdasarkan hasil uji unsur kimia dengan metode *Atomic Absorption Spectroscopy*, abu sekam padi mengandung 88% SiO<sub>2</sub>, 1% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,5% CaO, 1% unsur Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan 8% LOI. Mengacu pada kriteria ASTM C1240 (ASTM, 2010b), tingkat aktivitas pozzolanik adalah kumulatif dari unsur SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan batas minimum 85%. Untuk abu sekam padi, ketiga unsur oksida tersebut berjumlah 89,5% sehingga memenuhi persyaratan sebagai pozzolan. Untuk mengurangi proses hidrasi, abu sekam padi yang telah halus disimpan dalam kantong plastik kedap air

### 2. Pembuatan Benda Uji dan Prosedur Pengujian

Untuk membuat benda uji tanpa stabilisasi (benda uji S0), sejumlah 4 kg tanah kering yang telah lolos saringan No. 40 dicampurkan dengan enam variasi air dalam rentang volume air antara 300 mL hingga 1000 mL. Campuran air ini akan menghasilkan kadar air tanah antara 16% - 28%. Sedangkan untuk benda uji dengan stabilisasi, tanah kering dicampurkapur dan abu sekam padi,

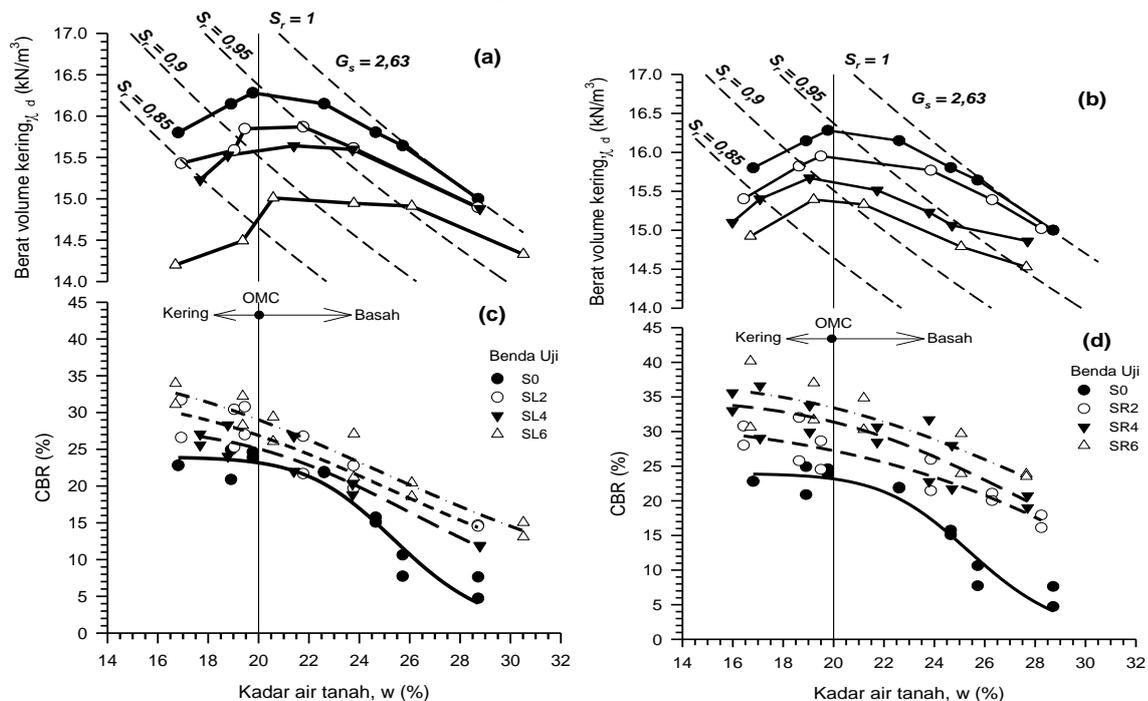
kemudian diaduk dengan enam variasi kadar air. Kadar kapur dan abu sekam padi dalam campuran adalah 2%, 4%, dan 6% dari berat tanah kering yang digunakan. Tabel 2 menyajikan rencana campuran benda uji untuk pengujian CBR. Untuk setiap campuran, dibuat dua benda uji. Campuran tanah basah atau tanah yang telah dicampur bahan stabilisasi, kemudian dipadatkan dengan metoda pemadatan Proctor termodifikasi sebagaimana dalam ASTM D1557 (ASTM, 2007a). Pemeraman benda uji dilakukan selama 7 hari di dalam cetakan CBR yang dibungkus plastis dan diikat serta disimpan dalam suhu ruang ( $\pm 28^{\circ}\text{C}$ ), sehingga perubahan kadar air dari benda uji dapat dijaga tetap. Pengujian utama yang dilakukan adalah uji CBR tanpa rendaman. Pengujian CBR mengikuti prosedur dalam standar ASTM D1883 (ASTM, 2007b).

**Tabel 2. Rencana benda uji untuk pengujian CBR**

Jenis Bahan Stabilisasi	Persentase Campuran			Berat
	0	2%	4%	
Kapur	S0	SL2	SL4	SL6
Abu Sekam padi		SR2	SR4	SR6

**HASIL PENELITIAN**

Gambar 1a dan 1b menyajikan kurva pemadatan Proctor modifikasi masing-masing untuk tanah yang distabilisasi kapur dan abu sekam padi. Untuk tanah tanpa stabilisasi (benda uji S0), nilai kepadatan kering maksimum (MDD) dan kadar air optimum (OMC) masing-masing diperoleh  $16,4 \text{ kN/m}^3$  dan 20%. Apabila dibandingkan dengan hasil pemadatan Proctor standar (Tabel 1),  $MDD = 13,5 \text{ kN/m}^3$  dan  $OMC = 27\%$ , terdapat peningkatan nilai MDD dan pengurangan OMC. Pencampuran tanah dengan kapur atau abu sekam padi menghasilkan pengurangan nilai MDD dari tanah dasar, sedangkan perubahan nilai OMC relatif sangat kecil. Pada gambar 1a dan 1b juga ditampilkan kurva derajat jenuh air ( $S_r$ ). Dalam penelitian ini dapat diketahui bahwa pemadatan tanah berada pada daerah jenuh air antara 0,85 hingga 1, dimana tanah dipadatkan pada kadar air kurang dari OMC cenderung berada dalam kondisi jenuh sebagian sedangkan tanah dipadatkan dengan kadar air lebih dari OMC (lebih dari 26%) cenderung mendekati jenuh air.



**Gambar 1. Kurva pemadatan tanah (a) stabilisasi dengan kapur, (b) stabilisasi dengan abu sekam padi, dan kurva hubungan kadar air dan nilai CBR (c) stabilisasi dengan kapur, (d) stabilisasi dengan abu sekam padi**

Nilai CBR cenderung berkurang dengan bertambahnya kadar air tanah sebagaimana Gambar 1v dan 1d. Untuk tanah tanpa stabilisasi (S0), nilai CBR pada kondisi OMC adalah 24%, berangsur-angsur berkurang hingga mencapai 6% pada kadar air 29%. Sedangkan pada kadar air kurang dari OMC, tidak terjadi perubahan nilai CBR yang berarti. Secara umum dapat dilihat bahwa pada kondisi kering dari OMC (lihat Gambar 1c dan 1d), nilai CBR tanah cenderung lebih besar daripada kondisi OMC dan basah. Tiga faktor yang paling berpengaruh pada desain perkerasan adalah analisis lalu lintas, evaluasi tanah dasar dan penilaian efek kelembaban. Ampadu (2007) menjelaskan bahwa efek kelembaban atau derajat jenuh air tanah akan mengontrol CBR dimana hal ini berkaitan dengan tekanan air pori negatif atau *matric suction*. Pada tanah dengan kepadatan yang lebih tinggi, laju pengurangan CBR terjadi lebih besar pada kondisi basah daripada kondisi kering.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pencampuran kapur dan abu sekam dengan kadar 2-6% telah meningkatkan nilai CBR tanah lempung. Pada kadar air dekat OMC, menghasilkan peningkatan nilai CBR sebesar 5-20% untuk stabilisasi kapur dan 9-40% untuk stabilisasi abu sekam padi yang bergantung pada kadar air tanah. Pengurangan kadar air tanah dari OMC menghasilkan peningkatan nilai CBR. Nilai CBR tanah yang stabilisasi kapur pada zona kering berkisar 26-32%, atau terdapat peningkatan sebesar 9-30% terhadap nilai CBR pada OMC. Sedangkan untuk tanah dengan stabilisasi abu sekam padi menghasilkan nilai CBR sebesar 26-36% yang berarti terjadi peningkatan sebesar 9-50%. Sebaliknya, penambahan kadar air tanah lebih dari OMC cenderung mengurangi nilai CBR baik untuk tanah tanpa stabilisasi dan tanah yang distabilisasi dengan kapur atau abu sekam padi. Laju pengurangan nilai CBR tanah yang distabilisasi dengan kapur cenderung lebih besar terhadap kadar air jika dibandingkan dengan campuran abu sekam padi. Nilai CBR terendah pada kondisi basah untuk campuran tanah-kapur berkisar 11-14%, atau terdapat pengurangan CBR hingga mencapai 54%. Sedangkan untuk campuran tanah-abu sekam padi berkisar 17-23% yang berarti terjadi pengurangan hingga 30%.

## PEMBAHASAN

Pada prinsipnya, pemadatan Proctor modifikasi memiliki energi pemadatan yang lebih besar daripada Proctor standar. Dalam hal pemadatan, energi ditransfer ke tanah melalui tegangan normal dan tegangan geser yang menyebabkan partikel-partikel tanah berpindah. Perpindahan partikel-partikel tanah ini membentuk suatu struktur tanah yang lebih stabil. Wang et al. (2007) menyebutkan bahwa energi pemadatan yang lebih besar akan menghasilkan nilai MDD tanah dasar yang lebih tinggi. Pengurangan nilai MDD pada stabilisasi dengan kapur dapat disebabkan oleh dua hal yaitu (1) berat jenis kapur yang lebih rendah daripada tanah ( $G_s = 2,0-2,1$ ), dan (2) walaupun bukan menjadi fokus dalam penelitian ini, dimungkinkan bahwa hasil reaksi pozzolan antara kapur dan tanah menghasilkan ukuran partikel tanah yang lebih besar sehingga terbentuk rongga-rongga antar butir tanah. Tetapi keberadaan gel *calcium-silicate-hydrate* (CSH) dari reaksi pozzolan ini membentuk struktur yang lebih kokoh, sehingga mampu meningkatkan kekuatan tanah. Kondisi inilah yang menyebabkan peningkatan nilai CBR. Beberapa penelitian terdahulu seperti Muntohar dan Hantoro (2000), Ramakrishna dan Pradeepkumar (2008), Dash dan Hussain (2012), Athanasopoulou (2014) telah menunjukkan hal serupa dengan hasil penelitian ini untuk tanah yang dicampur dengan kapur.

Pada dasarnya abu sekam padi tidak memberikan reaksi kimia apabila digunakan sebagai bahan stabilisasi, karena kandungan kapur dalam abu sekam padi tidak mencukupi untuk menghasilkan reaksi pozzolan sendiri (*self-hardening*). Hal ini sebagaimana disebutkan oleh penelitian terdahulu seperti Rahman (1987), Ali et al. (1992), dan Muntohar (2005). Sehingga pengaruhnya dalam proses stabilisasi tanah lebih pada fenomena fisik (*physical phenomena*). Berat jenis dari abu sekam padi yang lebih rendah ( $G_s = 1,7-1,9$ ) daripada tanah dapat menyebabkan terjadinya pengurangan nilai MDD. Penelitian terdahulu seperti Ramakrishna dan Pradeepkumar (2008) menyebutkan bahwa struktur berpori (*porous*) dari permukaan abu sekam padi menghasilkan nilai kepadatan yang rendah. Muntohar dan Hantoro (2000) menjelaskan bahwa pencampuran abu sekam padi dalam tanah menghasilkan pengurangan nilai berat jenis tanah.

Namun struktur berpori ini memungkinkan abu sekam padi mampu menyerap air sehingga kandungan air dalam rongga antar partikel-partikel (air pori tanah) tanah relatif berkurang. Kondisi ini menyebabkan tanah dalam kondisi tidak jenuh dan menghasilkan nilai CBR yang lebih tinggi.

Hasil-hasil penelitian terdahulu (Ali et al.,1992; Basha et al., 2004; Muntohar, 2005, Hossain, 2011), sebagian besar menyimpulkan bahwa nilai CBR tanah yang distabilisasi oleh kapur atau semen atau *cement kiln dust* lebih besar daripada campuran abu sekam padi sendiri. Tetapi, dalam penelitian diperoleh bahwa nilai CBR untuk tanah dengan stabilisasi abu sekam padi sedikit lebih besar daripada tanah dengan campuran kapur. Kondisi ini secara mudah dapat dijelaskan sebagai akibat dari nilai MDD dari campuran tanah-abu sekam padi yang lebih tinggi daripada campuran tanah-kapur (lihat Gambar 1a dan 1b). Hasil serupa juga dicapai oleh Rahman (1987) untuk stabilisasi tanah residu dengan abu sekam padi. Apabila dibandingkan pada zona basah, nilai CBR campuran tanah-kapur lebih rendah daripada campuran-abu sekam padi. Hasil reaksi pozzolan dalam campuran tanah-kapur menyebabkan tanah memiliki permeabilitas yang rendah sebagai akibat terbentuknya gel CSH dipermukaan butiran tanah. Ramakrishna dan Pradeepkumar (2008) menjelaskan bahwa air diperlukan dalam menjaga reaksi hidrasi dan pozzolan. Akan tetapi, penambahan air yang lebih dari kondisi OMC dapat menyebabkan air tidak dapat disimpan dalam rongga-rongga tanah sebagai akibat rendahnya permeabilitas. Sehingga, fungsi air sebagai "pelumas" antar butiran tanah menyebabkan tanah relatif sulit dipadatkan. Sebagai hasilnya, nilai MDD menjadi lebih rendah yang berkaitan erat dengan berkurangnya nilai CBR.

## KESIMPULAN

Hasil pengujian kuat dukung tanah dasar melalui uji CBR laboratorium tanpa rendaman untuk tanah yang distabilisasi dengan kapur atau abu sekam padi telah dibahas pada bagian sebelumnya. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa kadar air tanah sangat mempengaruhi nilai CBR tanah. Nilai CBR tanah cenderung berkurang dengan bertambahnya kadar air tanah. Tanah yang dipadatkan pada kondisi kering, dimana kadar air kurang dari OMC, cenderung menghasilkan nilai CBR yang lebih tinggi daripada tanah yang dipadatkan pada kondisi OMC dan kondisi basah. Laju pengurangan nilai CBR tanah yang distabilisasi dengan kapur dapat mencapai 54%, sedangkan untuk campuran abu sekam padi terjadi pengurangan nilai CBR hingga 30% pada kondisi basah. Meskipun dalam penelitian ini menunjukkan bahwa nilai CBR tanah dengan stabilisasi abu sekam padi lebih tinggi daripada campuran tanah-kapur, pengujian terhadap CBR rendaman perlu dilakukan guna memberikan desain CBR yang lebih sesuai dengan persyaratan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi atas pendanaan penelitian melalui Riset Pengembangan Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi (IPTEK) tahun 2016.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, F.H., Adnan, A., Choy, C.K., 1992, Geotechnical properties of a chemically stabilised soil from Malaysia with rice husk ash as an additive, *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 10, pp. 117 – 134.
- Ampadu, S.I.K., 2007, A Laboratory investigation into the effect of water content on the CBR of a subgrade soil, in T. Schanz(Ed.): *Experimental Unsaturated Soil Mechanics*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 137-144.
- ASTM, 2007a, D1557-07, Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort (56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>)), ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

- ASTM, 2007b, D1883-07e2, Standard test method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory-compacted soils, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA
- ASTM, 2010a, D2487-10, Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System), ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- ASTM, 2010b, C1240-10, Standard specification for silica fume used in cementitious mixtures, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- Athanasopoulou, A., 2014, Addition of lime and fly ash to improve highway subgrade soils, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 26 (4), pp. 773-775.
- Basha, E.A., Hashim, R., Mahmud, H.B. Muntohar, A.S., 2005, Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement, *Construction and Building Materials*, Vol. 19, pp. 448–453.
- BSN, 1989, SNI 03-1732-1989: Tebalperkerasanlenturjalanrayadenganmetodeanalisisakomponen, Petunjukpelaksanaan, BadanStandarisasi Nasional, Jakarta
- Dash, S.K., Hussain, M., 2012, Lime stabilization of soils: Reappraisal, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 24 (6), pp. 707–714.
- Gromko, G.J., 1974, Review of expansive soils, *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 100 (6), pp. 667–687.
- Hossain, K.M.A., 2011, Stabilized soils incorporating combinations of rice husk ash and cement kiln dust, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 23 (9), pp. 1320–1327
- Lazaro, R.C., Moh, Z.C., 1970, Stabilisation of deltaic clays with lime-rice husk ash admixtures. Proceeding of the 2<sup>nd</sup> Southeast Asian Conference on Soil Engineering, 11-15 June 1970, Singapore, pp. 215 – 223.
- Muntohar, A.S., 2005, Geotechnical properties of rice husk ash enhanced lime-stabilized expansive clay, *Media Komunikasi Teknik Sipil*, Vol. 13 (3), pp. 36-47.
- Muntohar, A.S., 2006, The swelling of expansive subgrade at Wates-Purworejo roadway, STA.8+12, *DimensiTeknikSipil*, Vol. 8 (2), pp: 106-110
- Muntohar, A.S., Hantoro, G., 2000, Influence of the rice husk ash and lime on the engineering properties of Clayey Subgrade, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 5, 2000, pp. #0193.
- Rahman, M.A., 1987, Effect of cement–rice husk ash mixtures on geotechnical properties of lateritic soils. *Soil and Foundation*, Vol. 27(2), pp. 61–65.
- Ramakrishna, A.N., Pradeepkumar, A.V., 2008, Influence of compaction moisture content on UCS and CBR of RHA-lime stabilized BC soil, *Indian Geotechnical Journal*, Vol. 38(2), pp. 140-155
- Seed, H.B., Woodward, R.J., Lundgren, R., 1962, Prediction of swelling potential for compacted clays, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE*, SM3, June, 1962, pp. 53–87.
- Wang, P., Guo, C.C., Wang, H.T., 2007, Experimental Research for Subgrade Compactness Effect of Increased Compaction Energy, *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, Vol.2 No. 2, pp. 1-4