

## Riset Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK)

Iwan Kuswanto

STT Raden Wijaya, Indonesia

Alamat: Jl. Benteng Pancasila No.242, Mergelo, Balongsari, Kec. Magersari, Kota Mojokerto, Jawa Timur 61314

Korespondensi Penulis : [iwankuswanto20@gmail.com](mailto:iwankuswanto20@gmail.com)

**Abstract:** *This research discusses road pavement repairs on expansive soil using various methods such as rigid pavement with additional pillars, the Chicken Claw system, and flexible pavement supported by lime columns or alternative material mixtures. One efficient technical solution is the use of industrial waste such as rice husk ash and carbide waste, which have the potential to be used as environmentally friendly soil improvement materials. The lime column technique has been proven to be able to reduce expansive soil pressure and flexible plate deformation in laboratory scale tests, with an optimal distance between columns of around three times the column diameter. Column modification by enlarging the base can reduce differential settlement and heaving, making it an alternative for sustainable flexible pavement structural repairs. This research roadmap is planned for three years with stages of 3D testing in the laboratory, field tests, and evaluation of road pavement structures. The final results of the research are expected to create a road pavement system that is not only technically effective but also supports the concept of environmentally friendly construction (green construction), with a target of full implementation in 2020.*

**Keywords:** *Flexible Pavement, Expansive Soil, Lime Column*

**Abstrak:** Penelitian ini membahas perbaikan perkerasan jalan pada tanah ekspansif menggunakan berbagai metode seperti perkerasan kaku dengan tiang tambahan, sistem Cakar Ayam, dan perkerasan lentur yang didukung oleh kolom kapur atau campuran material alternatif. Salah satu solusi teknis yang efisien adalah pemanfaatan limbah industri seperti abu sekam padi dan limbah karbit, yang berpotensi sebagai bahan perbaikan tanah ramah lingkungan. Teknik kolom kapur terbukti mampu mengurangi tekanan ekspansif tanah dan deformasi pelat lentur pada pengujian skala laboratorium, dengan jarak optimal antar kolom sekitar tiga kali diameter kolom. Modifikasi kolom dengan pembesaran pangkalnya dapat mengurangi differential settlement dan heaving, menjadikannya sebagai alternatif perbaikan struktur perkerasan lentur yang berkelanjutan. Peta jalan riset ini direncanakan untuk tiga tahun dengan tahapan pengujian 3D di laboratorium, uji lapangan, serta evaluasi struktur perkerasan jalan. Hasil akhir penelitian diharapkan menciptakan sistem perkerasan jalan yang tidak hanya efektif secara teknis tetapi juga mendukung konsep konstruksi ramah lingkungan (green construction), dengan target penerapan penuh pada tahun 2020.

**Kata Kunci:** Perkerasan Lentur, Tanah Ekspansif, Kolom Kapur

### 1. PENDAHULUAN

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.

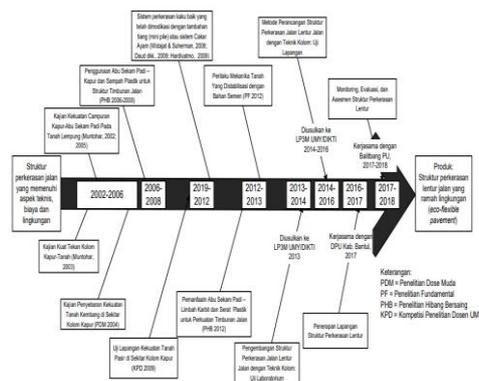
Kajian awal yang dilakukan oleh Budi (2003), Muntohar (2006) dan Tonoz dkk., (2005) telah menunjukkan bahwa teknik kolom kapur telah mampu mengurangi sifat ekspansif-susut dan tekanan ekspansif tanah. Penelitian terhadap perilaku beban dan deformasi pelat lentur yang didukung oleh kolom-kolom dari mikrosilika dan mikrokalسيوم 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 kolomkolom 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.

**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.



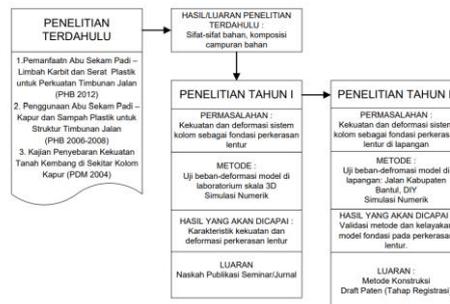
**Gambar 1.** Peta jalan penelitian dan teknologi struktur perkerasan jalan ramah lingkungan (eco-flexible pavement)

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.

## 2. METODE Riset

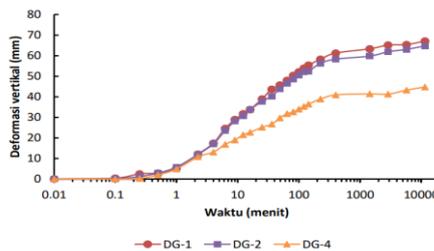
Desain Riset Penelitian ini direncanakan untuk kurun waktu tiga tahun yang meliputi tahap pengujian model laboratorium, tahap pengujian model di lapangan (full scale), dan tahap monitoring serta evaluasi struktur perkerasan jalan. Secara umum metode penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar sebagai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



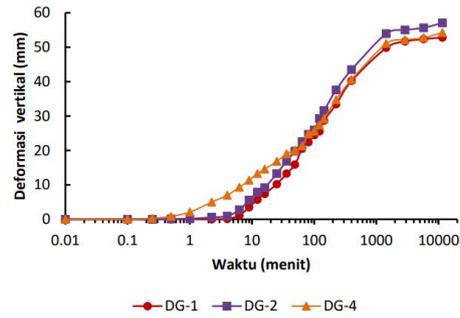
Gambar 2. Metode Penelitian

## 3. HASIL PENELITIAN

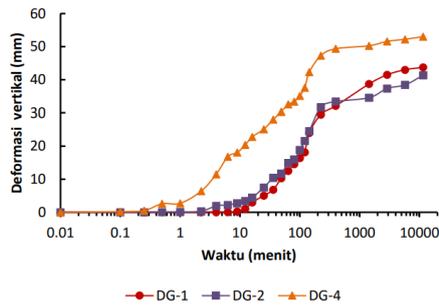
Pengembangan Tanah Gambar menyajikan perubahan deformasi vertikal tanah dan pelat akibat perendaman selama 4 hari. Secara umum, pelat dan permukaan tanah bergerak ke atas sebagai akibat dari pengembangan tanah. Deformasi ke atas atau pengembangan ini terus bertambah seiring dengan bertambahnya waktu.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



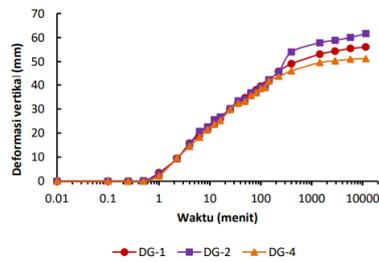
Gambar 3. Perubahan deformasi permukaan tanah akibat rendaman



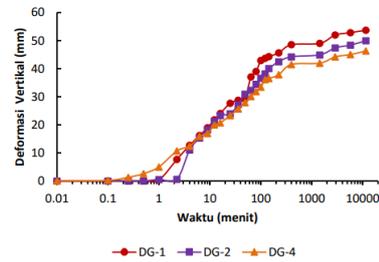
(a)



**Gambar 4.** 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.** 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.

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

**Gambar 6.** Pengembangan maksimum tanah di bawah pelat

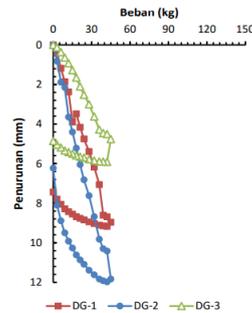
### Uji Beban Pelat

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 OShape, 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 DG1, 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 di atas.

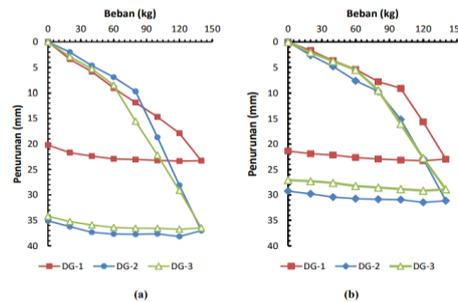
### Modulus Reaksi Tanah Dasar

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.

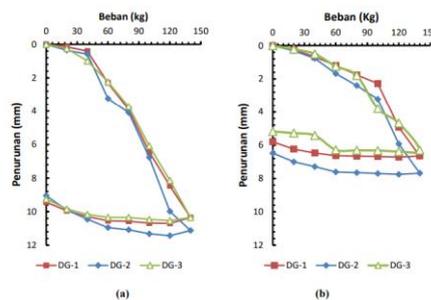


**Gambar 7.** Kurva hubungan beban dan penurunan pelat pada tanah tanpa kolom



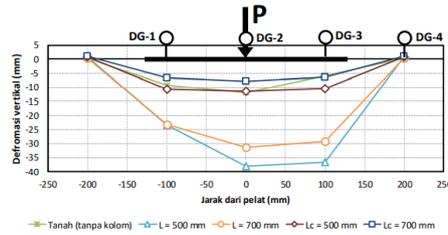
**Gambar 8.** Kurva hubungan beban dan penurunan pelat yang didukung oleh kolom OShape

(a) panjang  $L = 500$  mm, (b) panjang  $L = 700$  mm



**Gambar 9.** Kurva hubungan beban dan penurunan pelat yang didukung oleh kolom TShape

(a) panjang  $L_c = 500$  mm, (b) panjang  $L_c = 700$  mm



Gambar 10. Kurva hubungan beban dan penurunan pelat

Tabel 1. Nilai modulus reaksi tanah dasar hasil uji beban pelat

Kondisi	Pers. 2.1			Pers. 2.2 & 2.3		
	Tekanan pada $\delta = 1,25$ mm			$k^*$	$k$	
	DG-1	DG-2	DG-3	(MPa/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

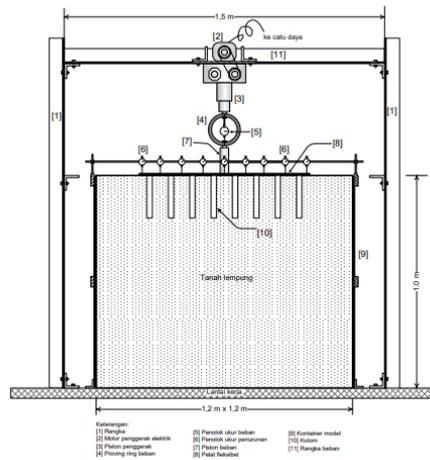
Keterangan :  
tanda (-) menandakan terjadi penurunan (defleksi vertikal ke bawah)  
\* nilai rata-rata pada defleksi di DG-1 s.d DG-3

### Rencana Tahapan Berikutnya

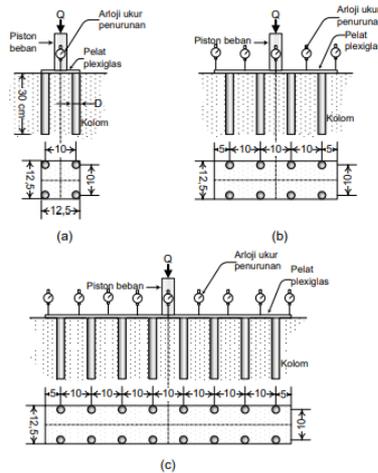
Pada tahun kedua akan dilakukan pengujian laboratorium terhadap model kolom yang dimaksudkan untuk mengkaji pengaruh ukuran dan susunan kolom terhadap beban dan penurunan, dan modulus reaksi tanah. Bahan kolom terbuat dari campuran limbah karbit dan abu sekam padi. Pada penelitian ini kolom-kolom ini mendukung perkerasan jalan yang dimodelkan dengan pelat lentur (flexible plate). Kolom dan pelat diuji di atas tanah ekspansif yang diletakkan dalam kotak uji.

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. 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.



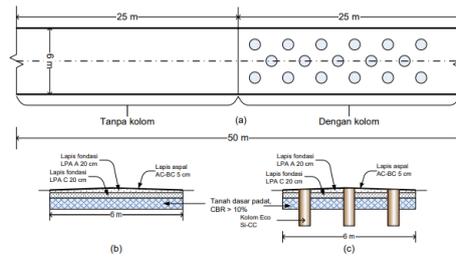
**Gambar 11.** Skema alat uji beban langsung di laboratorium.



**Gambar 12.** Rencana susunan kolom dan pelat untuk pengujian beban – deformasi laboratorium (a) susunan 4 kolom, (b) susunan 8 kolom, dan (c) susunan 16 kolom



**Gambar 13.** Rencana lokasi uji gelar pada ruas jalan Sedayu – Bangunjiwo, Bantu



**Gambar 14.** (a) Denah jenis konstruksi yang dilaksanakan pada ruas jalan untuk uji gelar, (b) penampang perkerasan jalan tanpa kolom, (c) penampang perkerasan jalan dengan kolom

#### 4. 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.

**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. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Sustainable Construction Materials: Design, Performance, and Application* (pp. 64-76). Wuhan, China: October 18-22, 2012.
- ASTM International. (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 D1196/D1196M-12). West Conshohocken, PA.
- ASTM International. (2016). *Standard test method for California bearing ratio (CBR) of laboratory-compacted soils* (ASTM D1883-16). West Conshohocken, PA.
- Budi, G. S. (2003). Penyebaran kekuatan dari kolom yang terbuat dari limbah karbit dan kapur. *Jurnal Dimensi Teknik Sipil*, 5(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. In *Kolokium Hasil Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan Tahun 2009* (pp. 244-284). Badan Penelitian dan Pengembangan Jalan, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Hardiyatmo, H. C. (2009). Metode hitungan lendutan pelat dengan menggunakan modulus reaksi tanah dasar ekuivalen untuk struktur pelat fleksibel. *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*, 9(2), 149-154.
- Kamon, M., & Nontananandh, S. (1991). Combining industrial wastes with lime for soil stabilization. *Journal of Geotechnical Engineering*, 117(1), 1-17.
- Kempfert, H. G. (2003). Ground improvement methods with special emphasis on column-type techniques. In Vermeer, P. A., Schwiger, H. J., & Cudny, M. (Eds.), *Proceedings of the International Workshop on Geotechnics of Soft Soil: Theory and Practice* (pp. 101-112). Netherlands: Verlag Glückauf.
- Muntohar, A. S. (2002). Utilization of uncontrolled-burnt rice husk ash in soil improvement. *Jurnal Dimensi Teknik Sipil*, 4(2), 100-105.
- Muntohar, A. S. (2003). Lime-column in expansive soil: A study on the compressive strength. In *Proceedings of the International Conference on Civil Engineering* (CD-ROM). Malang, East Java, October 1-3.
- Muntohar, A. S. (2005a). The influence of molding water content and lime of stabilized soil with lime and rice husk ash. *Jurnal Dimensi Teknik Sipil*, 7(1), 1-5.
- Muntohar, A. S. (2005b). Geotechnical properties of rice husk ash enhanced lime-stabilized expansive clay. *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil*, 13(3), 1-11.
- Muntohar, A. S. (2006). The swelling of expansive subgrade at Wates - Purworejo roadway STA. 8+127. *Civil Engineering Dimension*, 8(2), 106-110.

- Muntohar, A. S. (2014). Improvement of expansive subgrade using column technique of carbide lime and rice husk ash mixtures. In *Proceedings of the Southeast Asia Conference on Soft Soil (Soft Soil 2014)* (pp. I4.1-I4.6). Bandung, October 21-23.
- Muntohar, A. S. (2016). A numerical method of the flexible pavement supported by SSC on expansive soil. *Applied Mechanics and Materials*, 845, 62-69.
- Muntohar, A. S., & Liao, H. J. (2006). Strength distribution of the soil surrounding lime-column. In Chan, D., & Law, K. T. (Eds.), *Proceedings of the 4th International Conference on Soft Soil Engineering* (pp. 315-319). Vancouver, Canada, October 2-6.