Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil XI – 2015
ISBN : 978 –602 – 72056 –0 –4

PROSIDING
SEMINAR NASIONAL
TEKNIK SIPIL XI- 2015

INOVASI TEKNIK SIPIL DALAM PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR DAN KEMARITIMAN MENGHADAPI MASYARAKAT EKONOMI ASEAN

PROGRAM STUDI PASCASARJANA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

ISBN : 978 –602 – 72056 –0 –4

DAFTAR ISI

SUSUNAN PANITIA IV

KATA PENGANTAR VII

SAMBUTAN KETUA PANITIA IX

DAFTAR ISI XI

BIDANG 1 - KEAIRAN DAN TEKNIK PANTAI

OPTIMASI A LOKASI AIR IRIGASI DENGAN METODE PROGRAMA LINIER 1

Acep Hidayat

STABILITAS SALURAN DI DAERAH RAWA PASANG SURUT DAN PENGARUHNYA TERHADAP PRODUKTIVITAS 9

Achmad Syarifudin

ANALISA HIDRAULIK ALIRAN PADA KOLAM OLAK BERPENAMPANG MAJEMUK 17

Agustinus Haryanto Pattiraja, Umboro Lasminto, Edijatno

ANALISIS MASA MANFAAT WADUK SAGULING DI JAWA BARAT 27

Ana Nurganah Chaidar, Indratmo Soekarno, Agung Wiyono & Joko Nugroho

REKAYASA PERCABANGAN SUNGAI BENGAWAN SOLO DENGAN MODEL NUMERIK DUA DIMENSI UNTUK OPTIMALISASI ALIRAN KE *FLOODWAY* PLANGWOT 37

Andi Patriadi, Umboro Lasminto, dan Wasis Wardoyo

HYDRODYNAMICS CHANGE AT REJOSO ESTUARY DUE TO JETTY CONSTRUCTION 45

Ardiansyah Fauzi, Sutat Weesakul, Umboro Lasminto

PENGARUH LEBAR PUNCAK DAN KEDALAMAN AIR DI ATAS MERCU TERHADAP TRANSMISI DAN REFLEKSI GELOMBANG PADA PEMECAH GELOMBANG BAWAH AIR 53

Bambang Surendro

STATIC ARMOUR LAYER, CAN THEY BE PREDICTED 63

Cahyono Ikhsan, Mamok Suprapto , Siti Qomariyah, Solichin

DISTRIBUSI KONSENTRASI SEDIMEN SUSPENSI ARAH TRANSVERSAL PADA SALURAN MENIKUNG (STUDI KASUS PADA SALURAN IRIGASI MATARAM) 73

Chairul Muharis, B. Agus Kironoto, B.Yulistiyanto dan Istiarto

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PEKERJAAN TAMBAH KURANG PADA PROYEK KONSTRUKSI GEDUNG 693

Bayu Purnomo, Nirmalawati, Ruslan Moh. Yunus

PERSEPSI INSINYUR TEKNIK SIPIL MENGENAI KELAYAKAN INFRASTRUKTUR PROVINSI JAMBI DI KORIDOR SUMATERA 705

Peter F Kaming, Ferianto Raharjo, Benedictus Satrio Joko Pitoyo

ANALISA STRATEGI PERSAINGAN PERNIAGAAN GAS BUMI (STUDI KASUS PT PERUSAHAAN GAS NEGARA (PERSERO) TBK. SBU DISTRIBUSI WILAYAH II) 717

Wahyu Wicaksono dan I Putu Artama Wiguna

PENGGUNAAN METODE *LEVEL OF EFFORT* PADA PENGUKURAN PRODUKTIVITAS TENAGA KERJA AKTUAL PADA PEKERJAAN PEMBESIAN.....729

Yusroniya Eka Putri, Cahyono Bintang Nurcahyo, dan Christina Yolanda

BIDANG 5 - GEOTEKNIK

STUDI PENINGKATAN TEGANGAN GESER TANAH LUNAK PADA PELAKSANAAN VACUUM PRELOADING BERDASARKAN PEMODELAN LABORATORIUM.....741

Aan Fauzi, Indarto dan Ria A. A. Soemitro

PENGARUH PEMBESARAN KEPALA KOLOM BENTUK *T-SHAPE* PADA SISTEM FONDASI JALAN RAYA TERHADAP DEFORMASI AKIBAT PENGEMBANGAN TANAH EKSPANSIF.....749

Agus Setyo Muntohar dan Rahmadika Arizal Nugraha

PEMODELAN DAN SIMULASI BUTIRAN HALUS MENJADI BUTIRAN KASAR BERGRADASI BAIK (*WELL GRADED*) 757

Akhmad Maliki, Noor Endah Mochtar, Ali Altway

DESAIN EKSPERIMENTAL MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI PADA DAYA DUKUNG LERENG YANG DIPERKUAT TIANG BAMBU KOMPOSIT 765

As'ad Munawir

PENGGUNAAN METODE GIBSON & LO UNTUK PREDIKSI PEMAMPATAN TANAH GAMBUT BERSERAT YANG MENGALAMI PENURUNAN KADAR AIR 775

Faisal Estu Yulianto dan Noor Endah Mochtar

PENGARUH HUJAN 2 HARIAN TERHADAP STABILITAS LERENG DI DAS TIRTOMOYO WONOGIRI.....785

Hawin Widyo Hutomo, Noegroho Djarwanti, dan Niken Silmi Surjandari

ISBN 978 – 602 – 72056 – 0 – 4

PENGARUH PEMBESARAN KEPALA KOLOM BENTUK *T-SHAPE* PADA SISTEM FONDASI JALAN RAYA TERHADAP DEFORMASI AKIBAT PENGEMBANGAN TANAH EKSPANSIF

Agus Setyo Muntohar[1] dan Rahmadika Arizal Nugraha[1]

[1]*Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. email: muntohar@umy.ac.id*

ABSTRAK

Metode perbaikan tanah dengan teknik kolom kapur atau semen atau bahan pozzolan merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mengurangi pengaruh tekanan pengembangan pada tanah ekspansif. Teknik kolom tersebut juga dapat berfungsi sebagai fondasi perkerasan jalan. Pada naskah ini disajikan hasil 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 pembesarn 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.

Kata kunci: teknik kolom, perkerasan lentur, tanah ekspansif, pengembangan

1. PENDAHULUAN

Banyak daerah di Indonesia yang memiliki jenis tanah lempung ekspansif, diantaranya ditemukan di Pulau Jawa yang meliputi Cikampek, Cikarang, Serang, Ngawi, Caruban, Solo, Sragen, Wates Yogyakarta, Semarang, Purwodadi, Kudus, Cepu dan Gresik. Sifat kembang dan susut pada tanah lempung ekspansif telah menjadi perhatian untuk ditangani apabila di atasnya akan dibangun jalan raya. Kerusakan jalan raya pada tanah ekspansif disebabkan oleh tidak mempunyai sistem fondasi perkerasan lentur jalan untuk menahan tekanan pengembangan dari tanah ekspansif. Dengan meningkatkan kualitas tanah baik secara fisik, kimiawi, maupun mekanis kita dapat mengatasi fluktuasi muka air yang cukup tinggi sebagai akibat dari pergantian musim. Metode yang digunakan untuk meningkatkan kualitas tanah lempung ekspansif antara lain dengan cara penggantian material atau mencampur tanah, pemakaian cerucuk bambu, pengubahan sifat kimiawi, dan penggunaan geosintesik. Metode perbaikan tanah dengan teknik kolom kapur atau semen atau bahan pozzolan merupakan salah satu teknik yang

dapat digunakan untuk mengurangi pengaruh tekanan pengembangan pada tanah ekspansif.

Kajian tentang penggunaan kolom-kapur atau kolom kapur/semen untuk memperkuat tanah ekspansif telah diteliti oleh Swamy [1], Tonoz dkk. [2], Rao dan Thyagaraj [3]. Hewayde dkk. [4] menjelaskan bahwa teknik kolom ini dapat juga dianggap seperti fondasi tiang mini (*mini pile*) yang berfungsi untuk mengendalikan gaya angkat dan deformasi. Muntohar [5] melakukan simulasi numerik terhadap penggunanan teknik kolom untuk sistem fondasi perkerasan lentur pada tanah ekspansif. Hasil kajiannya menyebutkan bahwa penggunaan teknik kolom dengan pembesaran di bagian kepala kolom dapat mengurangi deformasi vertikal akibat pengembangan, juga mampu mengurangi "*arching effect*" pada sistem tanah yang didukung oleh kolom-kolom atau tiang-tiang.

Pada naskah ini disajikan hasil kajian parametrik terhadap deformasi vertikal sistem perkerasan lentur yang diperkuat dengan kolom-kolom pada tanah ekspansif. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh jarak spasi kolom (s) dan ukuran kepala kolom (D_{ch}) terhadap deformasi vertikal akibat pengembangan volumetrik tanah ekspansif. Sifat-sifat tanah ekspansif pada naskah ini telah dikaji terlebih dahulu oleh Muntohar [6]. Kolom-kolom yang digunakan berbahan campuran mikro-kalsium dan mikro-silika sebagaimana telah dikaji oleh Muntohar dkk. [7].

2. METODE PENELITIAN

Pemodelan Numerik dan Parameter Material

Analisis numerik dilakukan dengan memodelkan perkerasan lentur jalan pada lapisan tanah ekspansif sebagai *plane strain* dalam PLAXIS ver. 8.5. 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 (Gambar 1). Model kolom-kolom yang memperkuat perkerasan lentur seperti disajikan pada Gambar 2a. Jarak antar kolom ke kolom atau spasi (s) diatur $4D_c$ $5D_c$, $6D_c$, dan $8D_c$. Bentuk kolom yang digunakan seperti digambarkan pada Gambar 2b. Diameter kolom (D_c) yang digunakan adalah 0,15 m dengan panjang (L_c) 1 m (Gambar 2b). Diameter kepala kolom (D_{ch}) divariasikan $2D_c$, $3D_c$, dan $4D_c$ serta panjang kepala kolom (L_{ch}) adalah 0,15 m. Material tanah dan lapisan perkerasan jalan dimodelkan sebagai *Mohr-Coulomb model* (*MC*). Pengembangan tanah dimodelkan dengan memberikan *volumetric strain* sebesar 1% ($0{,}65 m^3/m$) pada material tanah lempung. Parameter material yang digunakan untuk simulasi numerik diberikan pada Tabel 1. Leena dan Rainer [8] menjelaskan bahwa pemilihan model keruntuhan bahan menggunakan model MC merupakan kriteria keruntuhan yang sering diadopsi untuk material-material geoteknik dan perkerasan jalan.

Tahapan Simulasi Numerik

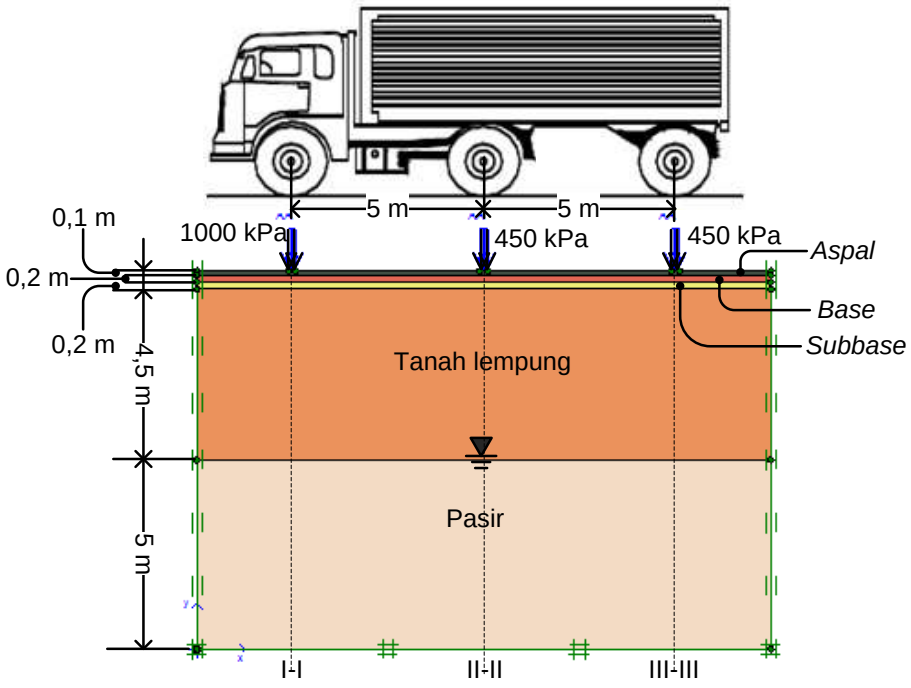
Jumlah elemen (*mesh*) yang digunakan dalam pemodelan adalah sebanyak 364 elemen berbentuk segitiga. Kondisi awal tekanan air pori diberikan dengan tekanan hidrostatis. Sedangkan, tegangan awal (*initial stress*) diberikan dengan prosedur K_o. Pada tahap pertama, pengembangan tanah diberikan dengan sebesar 1% ($0{,}63$ m^3/m) dengan mengaktifkan *volumetric strain* pada material tanah lempung ekspansif. Tahap berikutnya adalah pembebanan dengan memberikan *distributed load* sebesar 1000 kPa

dan 450 kPa sesuai dengan tekanan roda kendaraan seperti pada Gambar 1. Deformasi yang ditinjau adalah pada permukaan lapisan aspal dan pada potongan I-I, II-II, dan III-III.

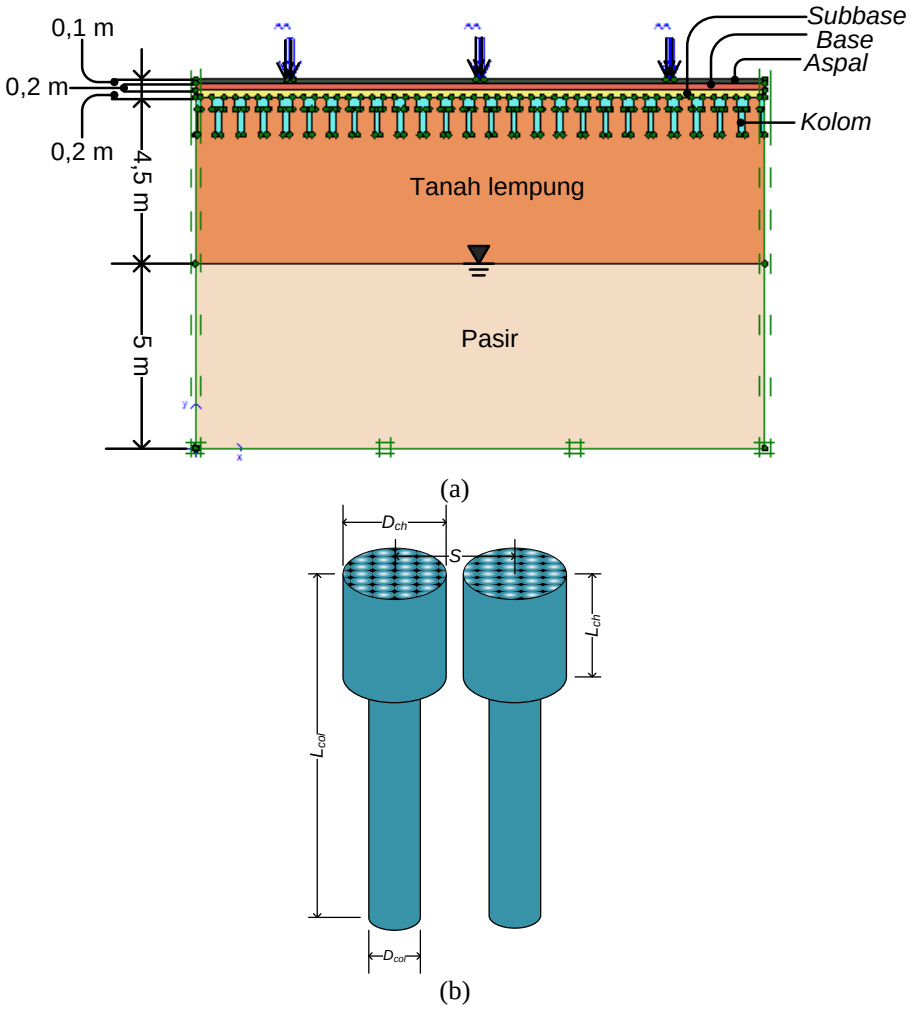
Tabel 1 Parameter material yang digunakan dalam pemodelan PLAXIS

Parameter	Tanah Lempung	Pasir	Kolom	*Subbase course*	*Base course*	Aspal
γ_{unsat} (kN/m^3)	17	20	17	22	21	25
γ_{sat} (kN/m^3)	20	22	20	24	23	25
E^{ref} (MPa)	3,0	6,0	550	200	400	4000
υ_u	0,495	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
c' (kPa)	30	0,01	43	20	30	30
ϕ' (degree)	10	30	46	40	40	40
ψ (degree)	-	5	-	10	10	-
Model	MC	MC	Non-Porous	MC	MC	Elastic
Kondisi	Undrained	Drained	Non-Porous	Drained	Drained	Non-Porous

Keterangan: E^{ref} = Young's modulus of elastisitas; υ_u = the Poisson's ratio; c' = kohesi; ϕ' = sudut gesek internal tanah; ψ' = sudut dilatansi; γ_{unsat} = berat volume tanah kering; γ_{sat} = berat volume tanah jenuh air



Gambar 1 Pemodelan lapisan tanah dan perkerasan lentur jalan.

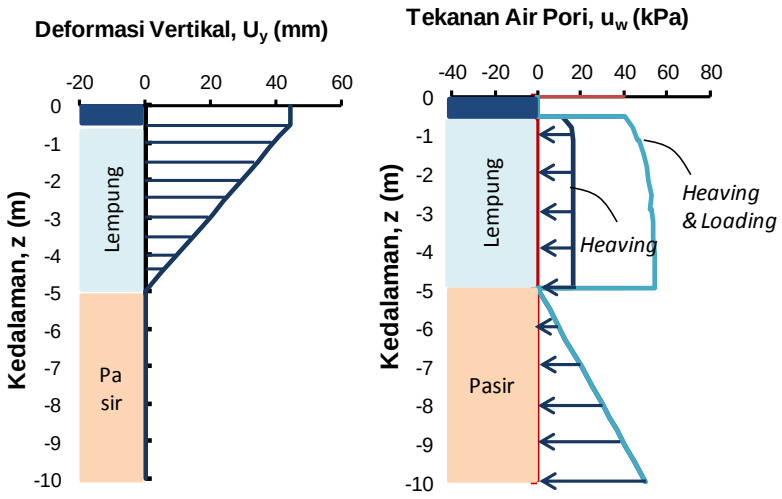


Gambar 2 (a) Pemodelan lapisan tanah dan perkerasan lentur jalan yang diperkuat dengan kolom-kolom, (b) bentuk dan ukuran kolom yang digunakan.

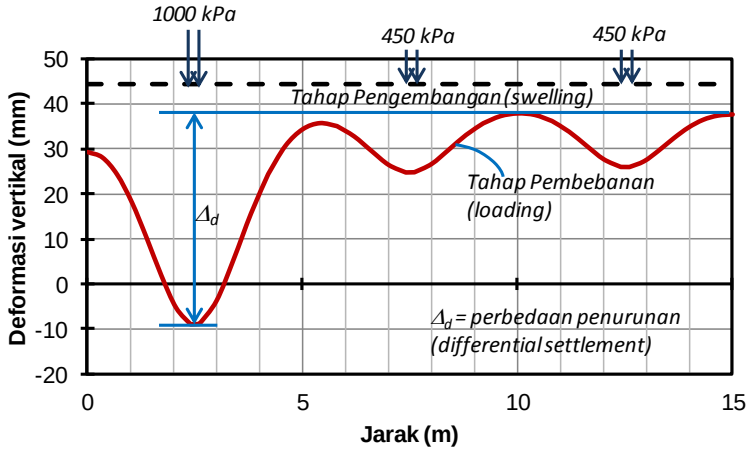
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perilaku Deformasi Akibat Pengembangan dan Beban Roda Kendaraan

Pada Gambar 3a ditunjukkan diagram deformasi vertikal (U_y) terhadap kedalaman tanah akibat pengembangan atau perubahan volume sebesar 1%. Deformasi vertikal terbesar terjadi merata di permukaan perkerasan jalan yaitu sebesar 44 mm. Deformasi vertikal berangsur-angsur berkurang secara linier hingga mencapai lapisan tanah pasir. Akibat pembebanan dari tekanan roda kendaraan, perilaku deformasi vertikal pada permukaan perkerasan jalan seperti disajikan pada Gambar 4. Selama pengembangan, tanah lempung dalam kondisi undrained yang menyebabkan terjadinya tekanan air pori berlebih (*excess pore water pressure*) sebesar 16 kPa seperti ditunjukkan pada Gambar 3b. Tekanan air pori berlebih menjadi meningkat hingga mencapai 60 kPa ketika lapisan jalan menerima beban roda kendaraan. Kondisi ini menyebabkan tanah dalam kondisi lunak, maka ketika menerima beban roda kendaraan mengalami penurunan hingga -10 mm. Pada kondisi ini terjadi perbedaan penurunan (*differential settlement*) Δ_d sebesar 50 mm pada lapisan perkerasan yang tidak diperkuat kolom-kolom.



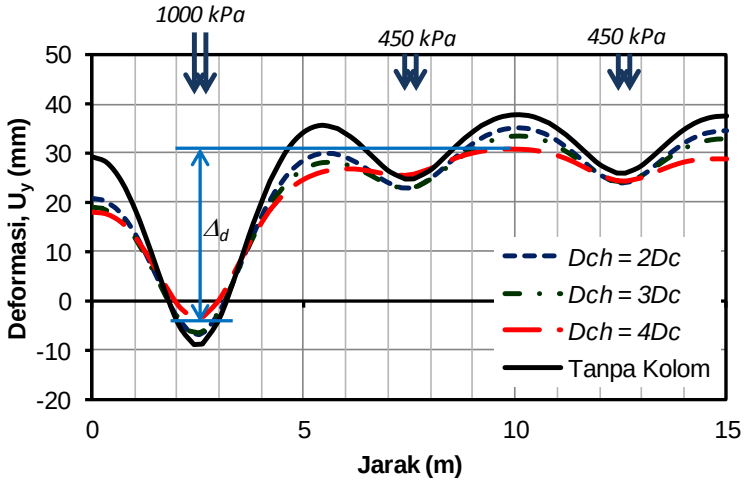
Gambar 3 (a) Diagram deformasi vertikal akibat pengembangan, (b) Distribusi tekanan air pori



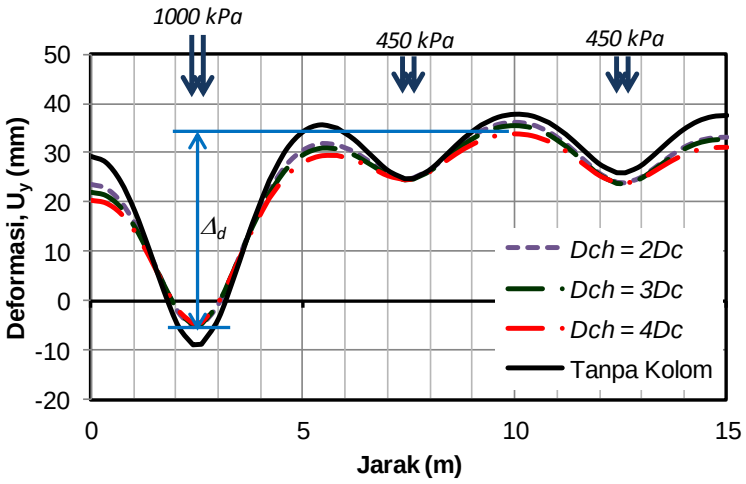
Gambar 4 Perilaku deformasi vertikal akibat pengembangan dan tekanan roda kendaraan

Pemasangan kolom-kolom pada tanah lempung untuk menopang lapisan perkerasan lentur jalan mampu mengurangi perbedaan penurunan seperti ditunjukkan pada profil deformasi dalam Gambar 5. Perbedaan penurunan yang terjadi mencapai 34 mm (Gambar 5a) dan 38 mm (Gambar 5b) masing-masing untuk spasi kolom $4D_c$ dan $5D_c$. Pengurangan nilai perbedaan penurunan lapisan perkerasan lentur tanpa dan dengan perkuatan kolom-kolom tersebut adalah relatif kecil yaitu berkisar 10 mm hingga 16 mm. Hal ini dapat disebabkan oleh kolom-kolom yang masih berada di zona aktif pengembangan (*active zone*). Kolom-kolom tersebut seperti *floating piles* yang mana antara tanah dan kolom hanya berupa hubungan mekanis (*mechanically improved*), sehingga hanya diharapkan agar permukaan tanah mampu mengalami penurunan seragam (*uniformly settlement*) atau memperkecil *differential settlement*. Pada kondisi *floating piles*, maka beban yang ada di atas tiang-tiang atau kolom-kolom akan dilawan oleh gesekan (*friction*) yang terjadi antara kolom dan tanah lempung. Kondisi serupa juga terjadi untuk tiang-tiang atau kolom-kolom yang digunakan untuk memperkuat struktur timbunan pada tanah lunak sebagaimana dikaji oleh Satibi [9], Ng dan Tan [10].

Perbesaran kepala kolom telah meningkatkan daya atau kemampuan kolom (*column efficacy*) dalam menerima dan meneruskan beban ke tanah di sekitarnya. Liu dkk. [11] menyebutkan daya kolom merupakan perbandingan konsentrasi tegangan yang terjadi pada kepala tiang dan tegangan pada permukaan tanah dasar. Penggunaan kolom dengan perbesaran di bagian permukaan menghasilkan bidang kontak yang lebih besar, sehingga beban yang bekerja di permukaan jalan akan lebih besar yang diteruskan ke kepala kolom.



(a)



(b)

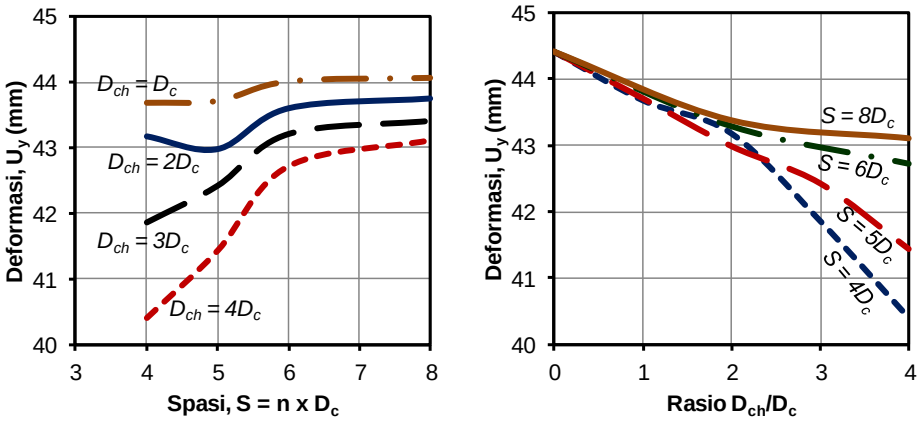
Gambar 5 Tipikal deformasi vertikal perkerasan lentur yang diperkuat kolom-kolom akibat pengembangan dan tekanan roda kendaraan (a) spasi = $4D_c$, (b) spasi = $5D_c$

Pengaruh Spasi Kolom dan Pembesaran Ukuran Kepala Kolom Terhadap Deformasi Vertikal Akibat Pengembangan

Hubungan antara spasi kolom dan deformasi vertikal lapisan di pemukaan perkerasan jalan akibat pengembangan seperti disajikan pada Gambar 6a. Dari hubungan tersebut dapat diketahui bahwa deformasi vertikal berkurang dengan berkurangnya spasi kolom. Sebaliknya, deformasi vertikal cenderung bertambah dengan bertambahnya spasi kolom. Untuk kolom-kolom yang dipasang dengan spasi kolom lebih dari $6D_c$ terjadi

perubahan deformasi yang relatif kecil hingga cenderung tidak mengalami perubahan deformasi. Semakin besar spasi kolom maka menghasilkan luasan bidang cakupan beban yang diterima oleh kolom (*load transfer area*) menjadi lebih besar dan menyebabkan deformasi yang lebih besar. Pada spasi kolom yang sama, ukuran kepala kolom yang semakin besar mampu mengurangi deformasi vertikal akibat pengembangan. Dalam studi ini, perbesaran ukuran kepala kolom hingga 4 kali ukuran diameter kolom ($4D_c$) menghasilkan deformasi yang paling kecil.

Pada grafik hubungan deformasi dan rasio ukuran kepala kolom dan kolom (D_{ch}/D_c) pada Gambar 6b dapat diketahui bahwa 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. Pada simulasi ini belum dapat diketahui ukuran kepala kolom yang optimal. Namun demikian, dapat disebutkan bahwa ukuran kepala kolom dibatasi oleh spasi kolom. Perbesaran kepala kolom akan memperbesar kekakuan (*stiffness*) kolom dan *load transfer area* sehingga dapat mengurangi deformasi. Caravajal dkk. [12] juga menyebutkan bahwa penggunaan kekakuan kolom dengan modulus deformasi (E_{50}) lebih besar dari 1000 MPa mampu mengurangi *differential settlement* tanah dasar.



Gambar 6 (a) Hubungan spasi kolom dan deformasi vertikal, (b) Hubungan rasio diameter kepala kolom dan diameter kolom (D_{ch}/D_c) dan deformasi vertikal di permukaan perkerasan jalan,

4. KESIMPULAN

Simulasi numerik penggunaan kolom-kolom untuk menopang perkerasan lentur jalan telah dilakukan untuk mengkaji pengaruhnya terhadap deformasi akibat pengembangan tanah ekspansif. Secara umum dapat disimpulkan bahwa pemasangan kolom-kolom pada tanah lempung untuk menopang lapisan perkerasan lentur jalan mampu mengurangi perbedaan penurunan. 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.

Ucapan Terima Kasih

Naskah ini merupakan bagian dari hasil penelitian yang didanai oleh melalui skema Penelitian Perguruan Tinggi derdasarkan DIPA Kopertis Wilayah V Tahun Anggaran 2014 Nomor: SP DIPA-023.04.2.189971/2014 Tanggal 5 Desember 2013 dan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian Nomor : 1314/K5/KM/2014 tertanggal 6 Mei 2014. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (Ditlitabmas), Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan atas dukungan dana penelitian tersebut.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Swamy, V.B., (2000). Stabilisation of Black Cotton Soil By Lime Piles. M.*Sc.(Eng.) Thesis*, Indian Institute of Science (unpublished).
[2] Tonoz M.C., Gokceoglu, C, and Ulusay, R. (2003). A laboratory -scale experimental investigation on the performance of lime columns in expansive Ankara (Turkey) Clay. *Bulletin of Engineering Geology and Environment* 62:91–106
[3] Rao, S.M., and Thyagaraj, T. (2003). Lime slurry stabilisation of an expansive soil. *Proceedings ICE - Geotechnical Engineering* 156: 139–146
[4] Hewayde, E, El Naggar, H., and Khorshid, N. (2005). Reinforced lime columns: a new technique for heave control. *Proceedings of the ICE - Ground Improvement* 9(2): 79 –87
[5] Muntohar, A.S., (2014), Improvement of Expansive Subgrade Using Column Technique of Carbide Lime and Rice Husk Ash Mixtures, *Southeast Asia Conference on Soft Soils Engineering and Ground Improvement (SOFT SOILS 2014)*, Bandung, Indonesia, 20–23 Oktober 2014, pp. I4-1 - I4-6.
[6] Muntohar, A.S., (2006). The Swelling Of Expansive Subgrade At Wates-Purworejo Roadway, STA. 8+127. *Dimensi Teknik Sipil* 8(2): 106 – 110.
[7] Muntohar, A.S., Rosyidi, S.A.P., Diana, W., dan Iswanto (2014). Pengembangan Fondasi Perkerasan Lentur Jalan Dengan Kolom Eco Si-CC Pada Tanah Ekspansif. *Laporan Penelitian Tahun I "Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi*", Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta (unpublished)
[8] Leena, K-T. and Rainer, L. (2004), Modeling of the stress state and deformations of APT tests. *Proceeding of the 2nd International Conference on Accelerated Pavement Testing*, September 26–29, 2004, Minneapolis, Minnesota, USA. (CD ROM)
[9] Satibi, S. (2009) Numerical analysis and Design criteria of embankment on floating piles. *Mitteilung 62, des Instituts für Geotechnik*, Universität Stuttgart.
[10] Ng, K.S. and Tan, S.A. (2014) Design and analyses of floating stone columns, *Soils and Foundations* 54 (3): 478–487
[11] Liu S-Y., Du Y-J., Yi Y-L., and Puppala A.J., (2012) Field Investigations on Performance of T-Shaped Deep Mixed Soil Cement Column–Supported Embankments over Soft Ground. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 138(6) : 718–727

[12] Carvajal, E., Vukotić, G., Sagaseta, C., Wehr W. (2013) Column Supported Embankments for Transportation Infrastructures: Influence of Column Stiffness, Consolidation Effects and Cyclic Loading. *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2-6 September 2013, Paris, France Vol 2: 2441-2444