

PERILAKU MODEL SISTEM PELAT TERPAKU (NAILED SLAB) TERHADAP PENGEMBANGAN PADA TANAH DASAR EKSPANSIF

Willis Diana

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Luar Barat, Taman Tirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta
Email: willisdiana80@yahoo.com

Abstrak

Berbagai cara dilakukan untuk mengatasi problem kerusakan perkerasan jalan akibat proses kembang susut tanah dasar pada tanah ekspansif. Penggantian tanah dasar dengan tanah yang mempunyai kapasitas yang lebih baik, modifikasi tanah dengan cara stabilisasi, membuat penghalang kelembaban (*moisture barrier*) agar kadar air dibawah perkerasan relatif tetap, dan membuat struktur perkerasan yang tahan terhadap deformasi (kembang susut) tanah dasar. Penelitian ini mencoba mengamati perilaku sistem perkerasan kaku (*rigid pavement*) yang diperkuat dengan tiang-tiang mini yang kemudian disebut sistem pelat terpaku. Penelitian dilakukan dengan uji model 1:10 di laboratorium, dengan variasi pelat tanpa tiang dan pelat dengan tiang diameter 2 cm, panjang 20 cm, dan variasi spasi antar tiang 10 cm dan 20 cm. Pengembangan tanah dipicu karena perubahan sistem air dalam tanah. Pada penelitian ini perilaku tiang terhadap pengembangan tanah diamati dengan melakukan pengukuran terhadap perpindahan vertikal (ke atas) pelat dan gaya tekan pengembangan akibat mengembangnya tanah dasar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelat dengan tiang (sistem pelat terpaku) dengan spasi antar tiang 10 cm menghasilkan perpindahan vertikal (ke atas) dibagian pinggir 50,39% lebih kecil dibandingkan pelat tanpa tiang. Beda perpindahan vertikal dibagian pinggir dan tengah yang paling kecil diantara variasi lainnya yaitu sebesar 6,15 mm. Penambahan tiang dengan spasi 10 cm dapat mengurangi gaya tekan pengembangan di bagian pinggir sampai 21,15% dibanding pelat tanpa tiang.

Kata kunci: tanah ekspansif; sistem pelat terpaku; perpindahan vertikal; gaya tekan pengembangan

Pendahuluan

Kondisi tanah dasar yang kurang baik (California Bearing Ratio(CBR)<6), adalah salah satu sebab seringnya terjadi kerusakan jalan, ditambah dengan perancangan dan pelaksanaan perkerasan yang tidak memenuhi syarat dan beban kendaraan yang besar memperparah kondisi perkerasan jalan. Perkerasan yang berada diatas tanah dasar ekspansif sering kali terlihat bergelombang, bagian pinggir aspal yang retak, yang disebabkan proses kembang susut tanah di bawahnya. Kembang susut pada tanah ekspansif disebabkan karena perubahan kadar air yang terjadi di dalam tanah.

Untuk mengatasi problem perkerasan jalan pada tanah ekspansif biasanya dilakukan dengan mencegah air masuk dalam tanah dibawah perkerasan (*moisture barrier*) berupa penghalang vertikal dan penghalang horisontal. Modifikasi tanah dapat dilakukan dengan mencampur tanah dengan semen, kapur, fly ash, dan bahan lainnya yang dapat mengurangi sifat kembang susutnya.

Problem perkerasan pada tanah ekspansif juga dicoba diatasi dengan merancang struktur yang lebih tahan terhadap proses kembang susut seperti dengan pondasi cakar ayam (Hardiyatmo, 2009). Cakar (sumuran) di bawah perkerasan akan memperkaku sistem perkerasan, melawan pengembangan dengan momen cakar, dan cakar-tanah dan pelat diatasnya menjadi suatu sistem yang mempunyai berat sendiri yang besar sehingga dapat menahan tekanan pengembangan dari tanah ekspansif.

Penanaman (pemancangan) cakar (sumuran) bukanlah hal yang mudah dilakukan di lapangan, sehingga ada alternatif lain untuk mengganti cakar-cakar dengan tiang-tiang mini, dengan pelaksanaan di lapangan yang lebih mudah, kemudian sistem perkerasan dengan menanamkan tiang dibawah perkerasan kaku disebut sistem pelat terpaku (Hardiyatmo, 2011). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku sistem pelat terpaku pada tanah ekspansif jika digunakan sebagai sistem perkerasan kaku (*rigid pavement*). Dengan mengetahui perilaku ini

diharapkan dapat diketahui gaya-gaya yang terjadi pada struktur pelat terpaku sehingga dapat dibuat usulan desain perancangan. Penelitian kali ini hanya dibatasi untuk mengetahui perilaku sistem pelat terpaku saja.

Tanah ekspansif

Secara umum bila terjadi perubahan kadar air (derajat kejenuhan) pada tanah, maka akan mempengaruhi kondisi tegangan dalam tanah, hal ini mempengaruhi kekuatan geser dan perubahan volume tanah. Tanah pasir pun juga mengalami hal tersebut, tetapi karena ukuran pori tanah pasir relatif lebih besar dibandingkan tanah berbutir halus, sehingga rentang perbedaan *matric suction* antara kondisi tanah basah dan kering relatif kecil, maka kekuatan geser dan perubahan volume yang terjadi pada tanah pasir akibat perbedaan *suction* ini menjadi relatif kecil, hingga kekuatan tanah pasir pada kondisi basah dan kering menjadi relatif sama. Pada tanah berbutir halus, rentang *matric suction* antara kondisi basah dan kering relatif besar, sehingga perbedaan kekuatan geser tanah pada saat kondisi basah dan kering menjadi sangat besar. Saat tanah kondisi kering kuat geser akan besar, ketika kondisi basah, kekuatan geser akan berkurang secara drastis. Pengetahuan tentang perubahan kekuatan tanah akibat perubahan tegangan karena perubahan kadar air ini menjadi penting untuk mencegah kegagalan struktur dan merancang struktur menjadi optimum.

Umumnya sistem klasifikasi memasukan mineral lempung kedalam ukuran diameter efektif yang kurang dari 0,002 mm. Ukuran partikel ini bukanlah satu satunya penentu bahwa tanah yang dimaksud termasuk dalam mineral lempung. Yang lebih penting adalah susunan mineralnya. Untuk partikel yang berukuran kecil, gaya listrik yang bekerja pada permukaan partikel lebih besar daripada gaya grafitasi, Partikel seperti ini disebut partikel koloid. Tiga jenis mineral lempung yang paling utama adalah montmorillonite, illite, kaolinite. Partikel ini tersusun dari kristalhidro-aluminasilikat. Montmorillonite adalah mineral yang paling sering ditemui pada tanah ekspansif (Chen,1975)

Tanah ekspansif adalah istilah yang digunakan untuk menyebut material tanah atau batuan yang memiliki potensi penyusutan atau pengembangan oleh karena perubahan kadar air. Mekanisme pengembangan pada tanah lempung ekspansif sangat kompleks dan dipengaruhi banyak faktor. Pengembangan terjadi karena perubahan sistem air. Akibat adanya interaksi antara tanah lempung dengan air, maka tanah akan mengembang atau volumenya bertambah (Sorochan,1991).

Faktor yang mempengaruhi kembang susut tanah adalah, (1) karakteristik tanah yang mempengaruhi sifat dasar dari medan gaya internal, (2) kondisi lingkungan, (3) kedudukan tegangan (Nelson dan Miller, 1992).

Tanah ekspansif biasanya memiliki rentang kedudukan plastis yang lebar (indeks plastisitas (IP) yang tinggi. Hubungan potensi pengembangan dan indeks plastisitas seperti pada Tabel 1. Kenaikan kepadatan tanah oleh pemadatan akan mengakibatkan pengembangan lebih besar dan tekanan pengembang lebih tinggi (Hardiyatmo, 2009). Perubahan kadar air di bawah batas susutnya, akan menghasilkan sedikit atau tanpa perubahan volume tanah. Tetapi, perubahan diatas batas susut akan mempengaruhi perubahan volume secara signifikan (Sorochan, 1991). Estimasi kemungkinan perubahan volume tanah ekspansif seperti Tabel 2.

Tabel 1. Hubungan potensi pengembangan dengan indeks plastisitas (Chen, 1975)

Potensi Pengembangan	Indeks Plastisitas (%)
Rendah	0-15
Sedang	10-25
Tinggi	20-55
Sangat tinggi	>35

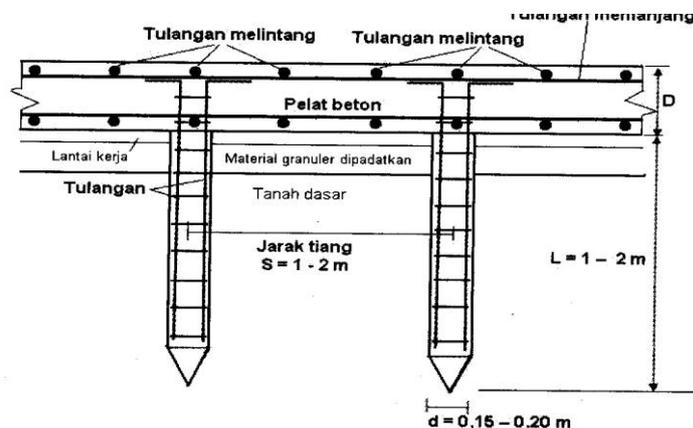
Tabel 2. Estimasi kemungkinan perubahan volume tanah ekspansif (Chen, 1975)

Lolos saringan no 200 (%)	Batas cair, LL (%)	N-SPT	Kemungkinan ekspansi (%)	Tekanan Pengembangan (kPa)	Potensi pengembangan
>95	>60	>30	>10	>1000	Sangat tinggi
60-95	40-60	20-30	3-10	500-1000	Tinggi
30-60	30-40	10-20	1-5	150-250	Sedang
<30	<30	<10	<1	50	rendah

Untuk meminimumkan gerakan kembang susut penanganan tanah dasar dengan cara stabilisasi sering dilakukan, seperti (Nelson dan Miller, 1992): mencampur tanah dengan kapur, semen, atau abu terbang, dengan bahan tambah, injeksi larutan kapur, struktur penghalang kelembaban, pengendalian kepadatan, dsb.

Sistem Pelat Terpaku

Sistem pelat terpaku diusulkan untuk perkuatan pelat beton pada perkerasan kaku, sistem ini berupa perkerasan beton bertulang (tebal antara 12-20 cm) yang didukung oleh tiang-tiang beton mini (panjang 150 cm-200 cm dan diameter 15 cm -20 cm). Tiang-tiang dan pelat beton dihubungkan secara monolit dengan tulangan-tulangan. Interaksi antara pelat beton-tiang-tanah disekitarnya menciptakan suatu perkerasan yang lebih kaku, yang lebih tahan terhadap deformasi tanah-dasar (Hardiyatmo, 2011).



Gambar 1 Tampang Sistem Pelat Terpaku dirancang untuk beban berat dan tanah dasar bermasalah (Hardiyatmo, 2011)

Fungsi tiang-tiang dalam sistem pelat terpaku berguna untuk (Hardiyatmo, 2011),

1. Meningkatkan daya dukung tanah dasar (meningkatkan koefisien reaksi subgrade), dengan adanya kenaikan kapasitas dukung tanah dasar akibat dukungan tiang-tiang pada pelat akan mengurangi kebutuhan tebal perkerasan beton dan memperkaku sistem perkerasan.
2. Menjaga agar pelat beton tetap kontak dengan baik dengan lapis pondasi bawah dan/atau tanah dasar dibawahnya, sehingga timbulnya rongga-rongga di bawah pelat beton yang mengurangi kekuatan struktur perkerasan dapat dicegah, kekuatan jangka panjang struktur perkerasan lebih terjamin
3. Gerakan tanah dasar disekitar tiang-tiang akibat penurunan tidak seragam (*differensial settlement*) akan mendapat perlawanan gesek tiang, sehingga beda penurunan akan menjadi kecil, atau ketidakrataan pelat akan terkendalikan.

Sistem Pelat Terpaku pada Tanah Ekspansif

Pengujian sistem pelat terpaku sebelumnya telah dilakukan pada tanah lempung lunak (*soft soil*) (Puri, 2010). Pada Tanah dasar ekspansif sistem pelat terpaku harus dirancang kuat terhadap pengembangan yang bekerja dibagian bawah pelat. Pengamatan perilaku sistem pelat terpaku menjadi penting untuk mengetahui mekanisme interaksi antara pelat, tiang, dan tanah, apabila dibagian bawah sistem struktur ini terjadi kenaikan/pengembangan tanah. Pengembangan tanah dasar bergantung pada gerakan kelembaban air dari pinggir menuju ke tengah, yang merupakan faktor yang kompleks bila digambarkan dalam diagram tekanan. Untuk penyederhanaan tekanan diasumsikan linier dengan bagian maksimum pada pinggir sistem pelat terpaku.

Pemakaian tiang juga telah umum dilakukan untuk mengurangi penurunan (*settlement reducer*) atau mengatasi beda penurunan yang relatif besar pada pondasi rakit (Poulus, 2001). Semakin panjang tiang, dapat mengurangi pergerakan vertikal ke atas semakin besar karena pengembangan tanah (*soil heave*) (Mohamedzein, et.al, 1999). Penambahan panjang tiang akan menurunkan perpindahan ke atas, tetapi jika tiang terlalu panjang perpindahan ke atas menjadi tidak sensitif terhadap panjang tiang. Tiang dengan diameter kecil efektif menurunkan *displacement* ke atas (Xiao, et al., 2007)

Teori Pemodelan

Pada penelitian ini akan digunakan model kekuatan (*strenght model*), yaitu suatu model dimana geometri dan pembebanan pada model mirip dengan prototype-nya, dan bahan model sama dengan bahan prototype-nya. Model ini dapat dipakai untuk memperoleh respon struktur sampai dengan keruntuhan struktur tersebut (*inelastic range*). Model struktur harus dirancang, dibebani, dan diinterpretasikan hasil-hasilnya berdasarkan persyaratan-persyaratan similitas (*similitude requirements*) yang menghubungkan antara model dengan prototype-nya. (Suhendro, 2000)

Bahan dan Metode Penelitian

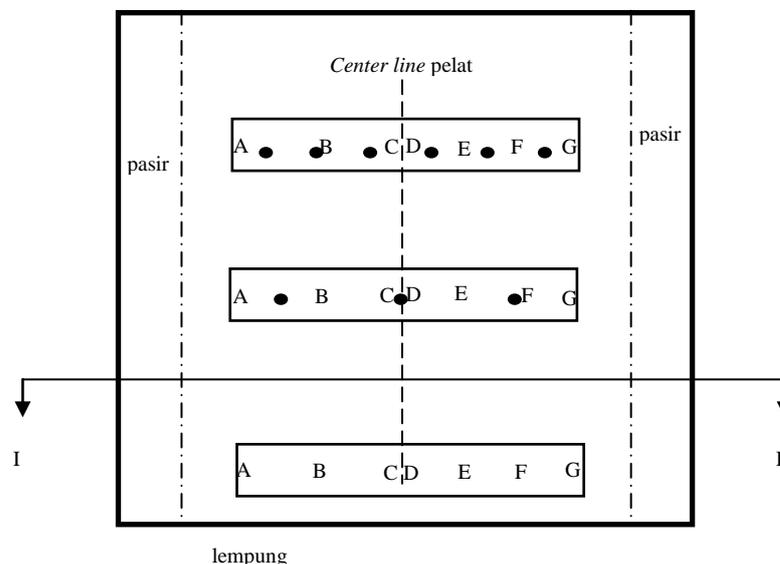
Tanah yang digunakan dalam penelitian berasal dari Desa Suko, Ngawi. Sifat tanah yang digunakan seperti dalam Tabel 3.

Tabel 3 *Properties* tanah yang digunakan

<i>Properties</i>	
<i>Specific Gravity</i> (Gs)	2,65
Atterberg limit	
• <i>Liquid limit</i> (LL)	95,80%
• <i>Plastic limit</i> (PL)	34,96%
• <i>Shrinkage limit</i> (SL)	11,64%
• <i>Plastisity Indeks</i> (IP)	60,84%
Distribusi ukuran butir	
• Lolos saringan #200	96,32%
Pemadatan Standard	
• OMC	35,50%
• MDD	1,25 gram/cm ³
CBR (lapangan/dalam box uji)	4,86%
Kuat geser (Triaksial UU)	
• Kohesi (c)	4,22 kN/m ²
• Sudut geser internal (Ø)	37,37°

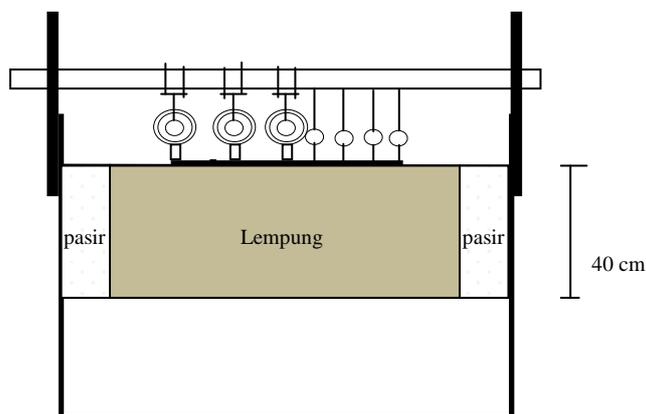
Dari tabel 1 dan 2, dapat disimpulkan bahwa media tanah yang digunakan termasuk lempung ekspasif dengan ekspansifitas sangat tinggi. Bahan untuk tiang dan pelat dibuat dari mortar semen, tiang berukuran diameter 2 cm dan panjang 20 cm, dengan diberikan tulangan kawat 2 mm. Pelat dibuat dari mortar dengan di tulangan dari kawat anyam. Ukuran pelat yang digunakan adalah 60 cm x 10 cm x 1,5 cm. Tiang dipancang ke dalam tanah, sedangkan pelat di cor ditempat. Peralatan yang digunakan untuk uji model semi 3 dimensi ini terdiri dari box (kotak) uji berukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,2 m, dan peralatan untuk setting pembebanan dan peletakan dial gauge, dial gauge, batang pembebanan, proving ring untuk mengukur tekanan pengembangan.

Tanah dimasukkan dalam kotak uji dengan kepadatan 1,2 gram/cm³, kadar air kurang lebih 15%. Bagian sisi terluar tanah (sebelah kiri kanan) diberikan lapisan pasir, untuk memodelkan drainasi pinggir. Sebelum dilakukan pemancangan tiang dilakukan pengujian CBR. Kemudian tiang dipancang kedalam tanah. Variasi model yang dibuat adalah pelat ukuran 60 cm x 10 cm x 1,5 cm tanpa tiang, pelat 60 cm x 10 cm x 1,5 cm dengan tiang 20 cm spasi antar 20 cm, pelat 60 cm x 10 cm x 1,5 cm dengan tiang 20 cm spasi 10 cm. Gambar 3 memperlihatkan skema pemodelan tiang dalam box. Untuk memicu terjadinya pengembangan tanah lempung, dilakukan pembasahaan (*wetting*) dipinggir tanah lempung (drainasi samping dari pasir). Pembasahan dilakukan setiap hari dengan menggunakan air sebanyak 12 liter (6 liter drainasi samping kanan, 6 liter drainasi samping kiri). Pembacaan dial gauge untuk mengukur perpindahan vertikal pelat akibat pengembangan tanah dan proving ring digunakan untuk mengukur tekanan pengembangan tanah.



A,B,C posisi *proving ring*
 D,E,F,G posisi *dial gauge*
 ● letak tiang

Gambar 2. Skema box pengujian, penempatan dial dan *proving ring*



Gambar 3. Potongan I-I skema pengujian model

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengamatan defleksi pelat akibat pengembangan tanah

Gambar 4 menunjukan perpindahan vertikal pelat akibat pengembangan tanah. Dari gambar 4 tersebut dapat diketahui bahwa perpindahan vertikal terbesar terjadi pada pelat tanpa tiang, kemudian pelat dengan tiang dengan spasi tiang 20 cm, dan perpindahan vertikal terkecil pada pelat dengan tiang dengan spasi tiang 10 cm.

Besarnya perpindahan vertikal terbesar yang terjadi pada bagian pinggir pelat untuk seluruh model pelat, karena air mengalir dari bagian pinggir ke bagian tengah. Tanah dibagian pinggir telah bereaksi lebih dahulu dengan air, sehingga telah terjadi pengembangan tanah dibagian pinggir pelat, kemudian merayap dari pinggir ke tengah.

Semakin lama waktu pembasahan perpindahan vertikal pelat semakin besar. Dari hasil pengamatan, diketahui sampai waktu 312 jam, terlihat perpindahan vertikal di pinggir pelat masih cukup signifikan. Terjadi perubahan kadar air tanah dalam box pengujian, yang semula 15%, setelah proses pembasahan selama 312 jam bertambah menjadi 52,16% dibagian pinggir dan 21,94% dibagian tengah box. Hal ini menunjukan bahwa bagian tengah box, perubahan kadar air tidak sebesar bagian pinggir, sehingga pengembangan yang terjadi dibagian tengah lebih kecil dari bagian pinggir. Akibatnya perpindahan vertikal bagian pinggir lebih besar daripada bagian tengah.

Tabel 4 Perbandingan Perpindahan vertikal pelat di bagian pinggir pelat (titik G)

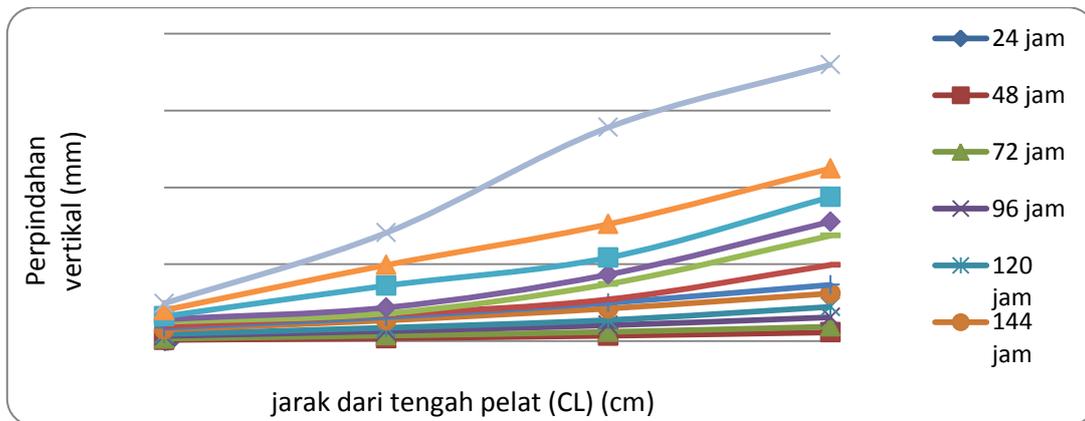
Lama Pembasahan (jam)	Perpindahan Vertikal (mm)		
	Pelat saja	Dengan tiang spasi 20cm	Dengan tiang spasi 10 cm
48	0,57	0,465	0,5
96	0,94	1,015	1,02
144	3,13	3,58	2,68
240	7,70	6,7	4,07
312	17,98	13,75	8,92

Pada akhir pembasahan diketahui bahwa dengan pemasangan tiang panjang 20 cm dan spasi 20 cm dapat mereduksi perpindahan vertikal di pinggir pelat sebesar 23,52% dibanding pelat tanpa tiang, dengan pemasangan tiang 20 cm dengan spasi 10 cm, reduksi perpindahan vertikal sebesar 50,39%.

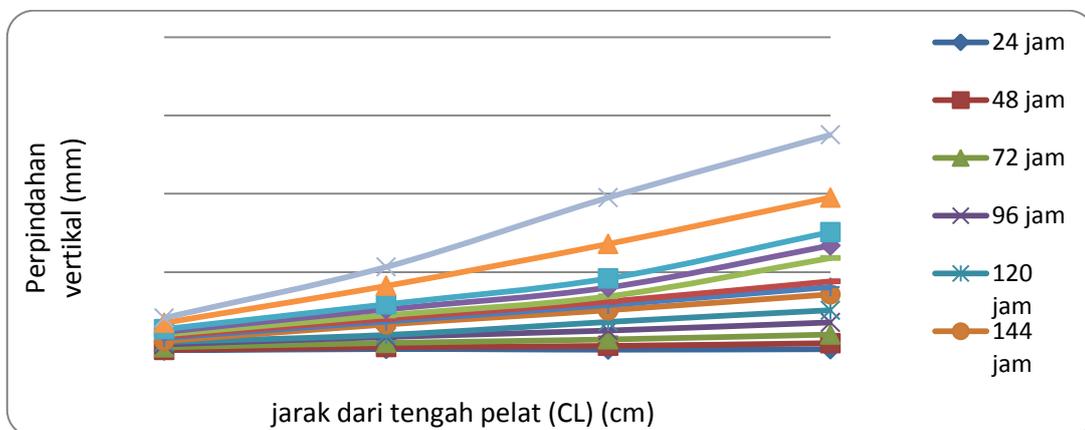
Tabel 5. Beda Perpindahan vertikal antara dibagian tengah pelat dan dibagian pinggir pelat dengan lama pembasahan 312 jam

Jenis Pelat	Perpindahan vertikal (mm)		Beda penurunan di tengah dan di pinggir pelat (mm)
	Ditengah pelat (titik D)	Dipinggir pelat (titik G)	
Pelat saja	2,45	17,98	15,53
Pelat dengan tiang 20 cm spasi tiang 20 cm	2,08	13,75	11,67
Pelat dengan tiang 20 cm spasi tiang 10 cm	2,77	8,92	6,15

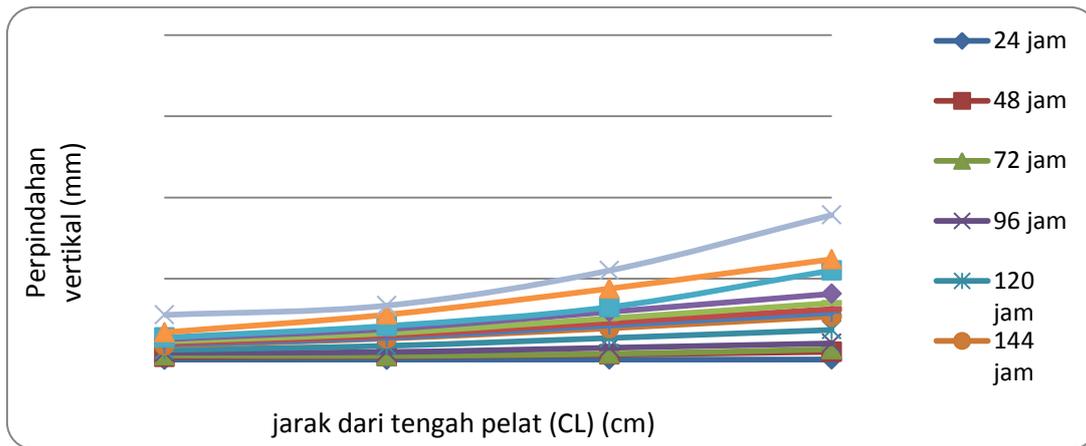
Dari tabel 5, dapat diketahui bahwa beda perpindahan vertikal pada pelat dengan tiang 20 cm spasi 10 paling kecil. Secara umum pelat dengan tiang lebih kaku dan lebih tahan terhadap deformasi yang terjadi pada tanah dasar. Penambahan tiang dengan spasi yang lebih kecil lebih menjamin kerataan pelat.



(a) Pelat tanpa tiang



(b) Pelat dengan tiang 20 cm jarak tiang 20 cm



(c) Pelat dengan tiang 20 cm jarak tiang 10 cm

Gambar 4. Perpindahan vertikal pelat akibat pengembangan tanah

Gaya Tekan Pengembangan

Hasil pengukuran gaya tekan pengembangan seperti pada gambar 5. Sama halnya dengan perpindahan vertikal, gaya tekan pengembangan terbesar terjadi pada bagian pinggir pelat, dan semakin ke tengah pelat semakin mengecil. Pengaruh penambahan tiang cukup signifikan dalam menurunkan gaya tekan pengembangan. Semakin kecil spasi tiang, gaya tekan pengembangan juga semakin kecil. Hal tersebut disebabkan sistem pelat dengan tiang (sistem pelat terpaku) lebih kaku dan sistem pelat-tiang-tanah mempunyai berat yang lebih besar untuk melawan gaya tekan ke atas tanah mengembang. Selain itu deformasi yang disebabkan oleh mengembangnya tanah ditahan oleh tahanan gesek tiang.

Tabel 6 Perbandingan gaya tekan pengembangan di bagian pinggir pelat (titik A)

Lama Pemasakan (jam)	Gaya tekan pengembangan (kN)	
	Pelat saja	Dengan tiang spasi 10 cm
48	0,0092	0,0025
96	0,0520	0,0267
144	0,0984	0,0722
240	0,1332	0,1246
312	0,1762	0,1388

Pada akhir proses pemsasahan gaya tekan pengembangan pada pelat dengan tiang 20 cm spasi 10 cm, terjadi penurunan gaya tekan pengembangan sebesar 21,25% dibanding pelat tanpa tiang.

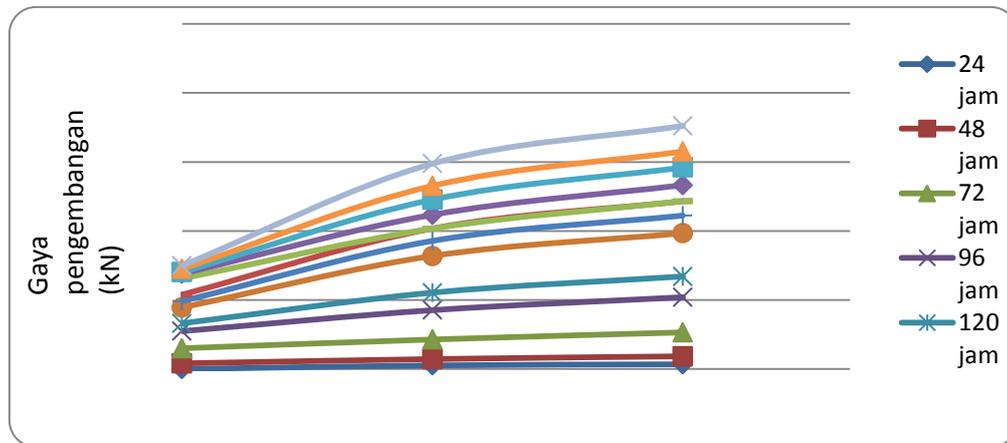
Tabel 7. Beda gaya tekan pengembangan antara dibagian tengah pelat dan dibagian pinggir pelat dengan lama pemsasahan 312 jam

Jenis Pelat	Gaya tekan pengembangan (kN)		Beda gaya tekan pengembangan di tengah dan di pinggir pelat (kN)
	Ditengah pelat (titik C)	Dipinggir pelat (titik A)	
Pelat saja	0,0749	0,1762	0,1013
Pelat dengan tiang 20 cm spasi tiang 10 cm	0,0381	0,1388	0,0957

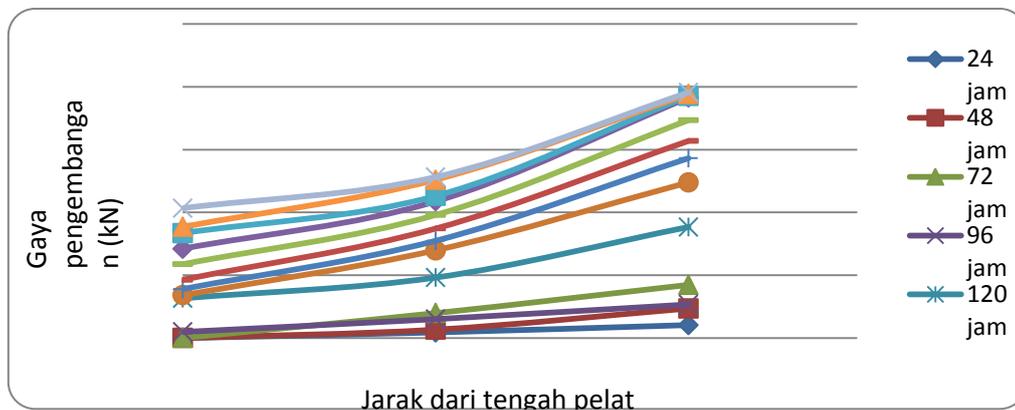
Dari tabel 7 dapat ketahu bahwa beda gaya tekan pengembangan antara dibagian pinggir dan dibagian tengah relatif lebih kecil pada pelat dengan tiang dibanding pelat tanpa tiang

Asumsi gaya pengembangan untuk analisis dengan menganggap bahwa gaya tekan pengembangan terbesar terjadi pada bagian pinggir, dan berkurang secara linier sampai dibagian tengah, terbukti realistis. Terutama jika perubahan kadar air belum berkembang sampai ke tengah pelat perkerasan (pada awal periode pemsasahan)

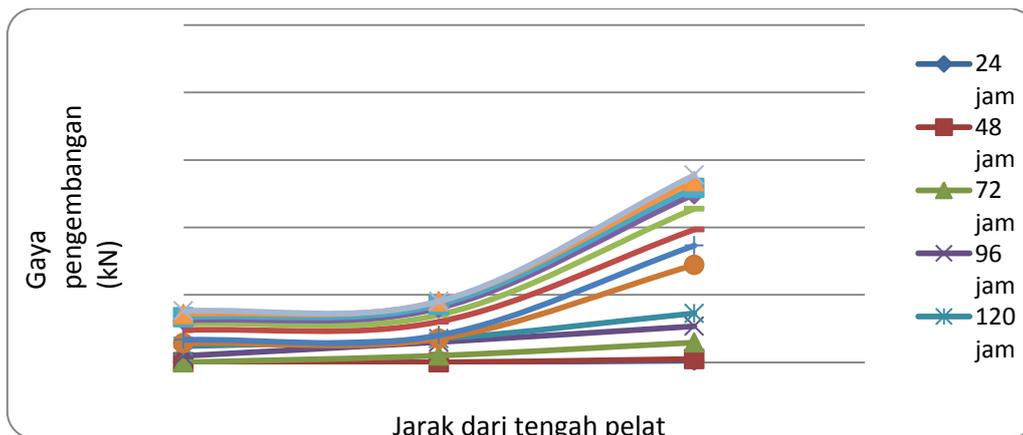
Dari perilaku ini juga dapat diketahui bahwa penghalang kelembaban (*moisture barrier*) sangat perlu dibuat untuk menjaga agar kadar air di bawah struktur perkerasan relatif tetap.



(a) Pelat tanpa tiang



(b) Pelat dengan tiang 20 cm dengan spasi 20 cm



(c) Pelat dengan tiang 20 cm dengan spasi 10 cm

Gambar 5 Grafik gaya tekan pengembangan terhadap jarak dari tengah pelat

Kesimpulan

Perpindahan vertikal (ke atas) akibat pengembangan tanah pada pelat dengan perkuatan tiang (pelat terpaku) diameter 2 cm, panjang 20 cm, spasi tiang 10 cm di bagian pinggir pelat lebih kecil 50,39% dibanding pelat tanpa

tiang. Pelat dengan tiang (pelat terpaku) dapat mereduksi gaya tekan pengembangan ke atas di bagian pinggir pelat 21,15% lebih kecil dari pelat tanpa tiang.

Beda perpindahan vertikal (ke atas) dan beda gaya tekan pengembangan di bagian pinggir dan tengah pelat terkecil terjadi pada pelat dengan tiang (pelat terpaku), artinya kerataan permukaan pelat lebih terjaga pada pelat terpaku.

Daftar Pustaka

- Chen, F.H., (1975), "*Foundation on Expansive Soils*", Elsevier Scientific Publishing Company, pp 1-60
- Hardiyatmo, H.C., (2009), "Perilaku Sistem Cakar Ayam pada Tanah Ekspansif", *Laporan Penelitian Program Intensif Peningkatan Kapasitas Iptek sistem produksi*, Lembaga Penelitian dan Pengabdian Universitas Gadjah Mada
- Hardiyatmo, H.C., (2011), "*Cakar Ayam Modifikasi*", Gadjah Mada University Press,
- Mohamedzein, Y.E.A, Mohamed, M.G, Sharief, A,M, (1999), "Finite element analysis of Short piles in Expansive soils", *Computers and Geotechnics*, vol 24 pp 231-243
- Nelson, J.D., and Miller, D.J (1992), "*Expansive Soils-Problems and Practice in Foundation and Pavement engineering*", John Willey & Sons,.
- Poulus, H.G.,(2001), "Methods of Analysis of Piles raft Foundations", *Report prepared on behalf of technical committee TC18 on Piled Foundations International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*,
- Puri, A, Hardiyatmo, H.C, Suhendro,B., Rifai, A., 2011, "Kontribusi Koperan dalam Mereduksi Lendutan Sistem Pelat Terpaku pada Tanah Lempung Lunak", *9th Indonesian Geotechnical Conference and 15th annual scientific meeting*, pp 229-305.
- Sorochan, (1991), "*Construction of Building on Expansive Soils*", Balkema Publishers, pp1-42
- Suhendro, B, (2000), "*Teori Model Struktur dan Teknik Instrumental*", Penerbit Beta Offset.
- Xiao, H.B, Zhang, C.S, Wang, Y., Fan, Z., (2011)., "Pile Soil Interaction in Expansive Foundation: Analytical Solution and Numerical Simulation", *International Journal of Geomechanics ASCE*, pp 159-165