

ISBN : 978-602-61059-0-5



PROSIDING

**KONFERENSI NASIONAL TEKNIK SIPIL
DAN PERENCANAAN (KNTSP) 2017**

“INOVASI TEKNOLOGI
SMART BUILDING DAN *GREEN CONSTRUCTION*
UNTUK PEMBANGUNAN YANG BERKELANJUTAN”

Pekanbaru, 9 Pebruari 2017



Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau
Tahun 2017

KNTSP 2017

Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan

Prosiding

**Inovasi Teknologi *Smart Building* dan *Green Construction* untuk
Pembangunan yang Berkelanjutan**

Editor:

Dr. Anas Puri, S.T., M.T.
Bismi Annisa, S.T., M.T.
Roza Mildawati, S.T., M.T.
Muhammad Toyeb, S.T., M.T.

ISBN 978-602-61059-0-5

*Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku dalam bentuk apapun,
tanpa izin tertulis dari penerbit*

Isi makalah di luar tanggung jawab editor dan penerbit

Diterbitkan Oleh
Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau
Fakultas Teknik Gedung A Lt.2
Jl. Kaharuddin Nasution 113 Pekanbaru-28284
Tlp. 0761 72127
Email: kntsp@uir.ac.id

PANITIA PENYELENGGARA

- Pelindung** : Prof. Dr. H. Detri Karya, S.E., M.A.
(Rektor Universitas Islam Riau)
Dr. Nurman, S.Sos, M.Si
(Wakil Rektor Bidang Akademik)
Ir. Asrol, M.Sc
(Wakil Rektor Bidang Administrasi dan Keuangan)
Dr. Abdullah Sulaiman, M.Hum
(Wakil Rektor Bidang Kemahasiswaan dan Alumni)
Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, M.MT
(Wakil Rektor Bidang Perencanaan dan Kerjasama)
-
- Pengarah / Penasehat** : Ir. H. Abdul Kudus Zaini, MT
(Dekan Fakultas Teknik UIR)
Dr. Ir. Saipul Bahri, M.Ec
(Direktur Program Pascasarjana UIR)
Dr. Kurnia Hastuti, ST., MT.
(Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik UIR)
Dr. Mursyidah, M.Sc
(Wakil Direktur Bidang Akademik dan Kemahasiswaan Pascasarjana UIR)
M. Ariyon, ST., MT.
(Wakil Dekan Bidang Administrasi dan Keuangan Fakultas Teknik UIR)
Dr. Syahrul Akmal Latif, M.Si
(Wakil Direktur Bidang Administrasi dan Keuangan Pascasarjana UIR)
Ir. Syawaldi, M.Sc
(Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan dan Alumni Fakultas Teknik UIR)
-
- Penanggung Jawab** : Deddy Purnomo Retno, S.T., M.T.
(Ketua Prodi Teknik Sipil UIR)
Dr. Anas Puri, S.T., M.T.
(Ketua Prodi Magister Teknik Sipil UIR)
Sri Hartati Dewi, S.T., M.T.
(Sekretaris Prodi Teknik Sipil UIR)
-
- Reviewer** : Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT (UIR)
Dr. Anas Puri, S.T., M.T. (UIR)
Dr. Ari Sandhyavitri, M.Sc (UR)
-
- Panitia Pelaksana**
- Ketua** : Dr. Anas Puri, S.T., M.T.
Wakil Ketua : Ir. Firdaus Agus, M.T.
Sekretaris : Sapitri, S.T., M.T.
Bendahara : Harmiyati, S.T., M.Si

Kesekretariatan dan Prosiding: Bismi Annisa, S.T., M.T.

Anggota:	Roza Mildawati, S.T., M.T.	M. Dito Haryadi
	Muhammad Toyeb, S.T., M.T.	Rizki Ahmad Santoso
	Erhan Habib	Naufal Rizki Harun
	Tio Perdana	Rahma Yudi

Seksi Acara dan Protokol : Augusta Adha, S.T., M.T., M.Eng. (koordintaor)

Anggota:	Zuwir, S.Sos.	M. Nanda Irawan
	Zulefendi, S.E.	M. Solihin
	Syahril Luk	Musarifan Julfri
	Tessa Putri Aulia	R. Okta Utari Warman
	Abdul Aziz Nawawi	Rozana
	Ferly Oktavia	Siti Aminah Pohan
	Hamonangan	Poppy Winda Nopita
	Intan Ariska	Mairia Octavia

Seksi Akomodasi, Transportasi dan Perlengkapan : Faizan Dalilla, S.T., M.Si. (koordintaor)

Anggota :	Fajriansyah, S.E.	Apri Sandra
	Rahmad Marzuki	Dedi Setiawan
	Ari Perdana Corades	Deni Pratama
	Ario Dwiva Syahputra	Ferinaldo

Seksi Konsumsi : Dra. Hj. Astuti Boer, M.Si. (koordintaor)

Anggota:	Ida Windi Wahyuni, S.Ag., M.Si.	
	Miswarti, S.T.	Royman Dony
	Nurul Hafizha	Zhella Indah Saviri
	Faiz Ikbar	Muhammad Irvan Ardian
	Andree Aldino	Roby Nanda Syaputra

Seksi Humas, Dokumentasi, Publikasi dan Sponsorship : Mahadi Kurniawan, S.T., M.T. (koordintaor)

Sekretariat

Untuk kebutuhan surat menyurat, pengiriman makalah, dan informasi mengenai kegiatan, maka dapat menghubungi alamat:

Panitia Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan

Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Gedung A Lt.2
dan Program Magister Teknik Sipil, Pascasarjana Gedung A Lt.2
Universitas Islam Riau
Jl. Kaharuddin Nasution 113 Pekanbaru
Telp. 0761 72127
Email: kntsp@uir.ac.id

DAFTAR ISI

SAMPUL DALAM	i
PANITIA PENYELENGGARA	ii
SAMBUTAN KETUA PANITIA/ KETUA PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL	iv
SAMBUTAN KETUA PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL (S1)	v
SAMBUTAN REKTOR UNIVERSITAS ISLAM RIAU	vi
SUSUNAN ACARA	vii
DAFTAR ISI	viii

KEYNOTE SPEECH

Teknologi *Smart Building* dan *Green Construction* untuk Pembangunan yang Berkelanjutan

Prof. Dr. Ir. Agus Taufik Mulyono, M.T.

Infrastruktur Jalan Beton Sistem Pelat Terpaku untuk Pembangunan Jalan Berkelanjutan pada Tanah Dasar Lunak dan Ekspansif <i>Dr. Anas Puri, S.T., M.T.</i>	1
---	---

KATEGORI GEOTEKNIK

Perilaku Kuat Geser Tanah Terstabilisasi Semen untuk <i>Subgrade</i> Jalan <i>Muhammad Toyeb, Anas Puri, Masrizal</i>	18
Penerapan Modulus Reaksi <i>Subgrade</i> Ekuivalen Metode Puri, dkk (2012) dalam Perhitungan Lendutan Pelat pada Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi <i>Novia Afriliyani, Anas Puri, Rony Ardiansyah</i>	29
Upaya Mengurangi Retak pada Lapis Pondasi Tanah-Semen <i>Arif Widiyanto</i>	36
Potensi Degradasi Dasar Sungai di Sekitar Pondasi Jembatan Sungai Kampar Kiri Daerah Taratak Buluh <i>Virgo Trisep Haris, Muthia Anggraini</i>	49
Stabilisasi Tanah dengan Variasi Penambahan Kapur dan Waktu Pemeraman <i>Fitridawati Soehardi, Fadrizal Lubis, Lusi Dwi Putri</i>	54
Pengaruh Perendaman Terhadap Kuat Dukung Tanah Terstabilisasi Pasir <i>Arif Dermawan, Anas Puri, Roza Mildawati</i>	61
Perbaikan Sifat Mekanis Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Abu Vulkanis Sinabung dan Kapur <i>Devi Oktaviana Latif, Ahmad Rifa'i, Kabul Basah Suryolelono</i>	67
Perhitungan Lendutan Perkerasan Jalan Sistem Cakar Ayam Modifikasi dengan Variasi Faktor Aman pada Tambahan Modulus Reaksi <i>Subgrade</i> <i>Dinda Rosita Agustin, Anas Puri, Rony Ardiansyah</i>	76

Pengaruh Indeks Plastisitas Terhadap Kuat Geser Bidang Kontak Tanah Kohesif dan Geotekstil <i>Anas Puri</i>	85
 KATEGORI JALAN RAYA DAN TRANSPORTASI	
Analisis Penggunaan Abu Tandan Kelapa Sawit Sebagai Filler Ditinjau dari Nilai Keausan Perkerasan (<i>Cantabro Test</i>) <i>Winayati, Hendri Rahmat, Alfian Saleh</i>	93
Perbandingan Kadar Pori Agregat Campuran AC-WC Sebelum dan Setelah Ekstraksi <i>Muthia Anggraini</i>	103
Perbandingan Gradasi Agregat AC-WC dari <i>Job Mix Formula</i> dengan Variasi Jumlah Lintasan Pemasangan <i>Muhammad Rofi, Sugeng Wiyono, Anas Puri</i>	110
Studi Pemanfaatan Bahan Material Lokal Abu Kapur Sebagai Filler Campuran Aspal AC-BC <i>Muhammad Reza A. Maha, Harmein Rahman, Joni Harianto</i>	118
Kinerja Struktural, Durabilitas dan Ketahanan Terhadap Deformasi Plastik Aspal Beton Menggunakan Bubuk Botol Plastik sebagai <i>Filler</i> <i>Andi Maal</i>	127
Pengaruh Penambahan Buton <i>Granural Asphalt</i> pada Campuran Aspal Berongga Campur Panas Hampar Dingin terhadap Stabilitas Marshall <i>Sri Gusty, M. W. Tjaronge, Nur Ali, Rudy Djamaluddin</i>	137
Pelayanan Trans Metro Pekanbaru dalam Pencapaian Transportasi yang Berkelanjutan (Studi Kasus: Kelompok Mahasiswa Komuter Aktif Fakultas Teknik Universitas Islam Riau) <i>Muchammad Zaenal Muttaqin</i>	146
Penggunaan Mikrosimulasi Dalam Perancangan Bundaran <i>Andrean Maulana, Putu Kresna Jaya</i>	156
Studi Penggunaan Moda Perjalanan Komuter di Kota Ternate Provinsi Maluku Utara <i>Raudha Hakim, Ramli Rahim, Sumarni Hamid, Isran Ramli</i>	167
Analisis Karakteristik Makroskopik Lalu Lintas Heterogen pada Ruas Jalan Arteri Berbasis Perilaku Pengemudi Kendaraan (Studi Kasus : Perilaku Pengemudi Kendaraan di Kota Makassar) <i>M. Thahir Azikin, Ramli Rahim, Sakti Adji Adisasmita, Sumarni Hamid</i>	174
Analisis Kelayakan Ruang Parkir pada Bandara Sultan Syarif Kasim II Pekanbaru <i>Malesi Anggraini, Abdul Kudus Zaini, Harmiyati</i>	182
Evaluasi Keselamatan Infrastruktur Jalan (Studi Kasus Jalan Trans Kalimantan) <i>Siti Mayuni, Slamet Widodo, Eti Sulandari</i>	187
Tinjauan Penetapan Nilai Ekuivalen Mobil Penumpang Ruas Jalan Perkotaan (Studi Kasus pada Ruas Jalan SM. Amin Pekanbaru) <i>Horas S. M. Marpaung</i>	196

KATEGORI STRUKTUR DAN REKAYASA MATERIAL

Analisis Pengaruh Variasi Bentang Kolom terhadap Kinerja Struktur Gedung pada Beban Gempa Kuat Tanah Lunak <i>Widya Apriani, Muthia Anggraini, Virgo Trisep Haris</i>	203
Evaluasi Perencanaan Kuda-Kuda Baja pada Kantor Unit Pelaksana Teknis Wilayah III Dinas Pekerjaan Umum Kota Dumai Provinsi Riau <i>Abdul Hafis, Sri Hartati Dewi</i>	212
Studi Eksperimental Evaluasi Kekuatan Lateral Dinding Bata Ada Bukaan <i>Maidiawati, Jafril Tanjung, Hamdeni Medriosa</i>	221
Perbandingan Kapasitas Seismik Gedung Beton Bertulang Dengan dan Tanpa Pengaruh Dinding Bata <i>Agus, Maidiawati</i>	231
Analisa Uji Mutu Beton antara Beton Normal Menggunakan Bahan Tambah <i>Superplasticizer</i> dengan Beton Menggunakan <i>High Early Strength Cement</i> <i>Okma Yendri, H. A. Syukri Malian, Putri Yuni Sari</i>	240
Kuat Tekan dan Porositas Mortar Menggunakan Bahan Tambah Bubuk Kulit Kerang di Air Gambut <i>Ismi Siska Rahmayani, Edy Saputra, Monita Olivia</i>	250
Kuat Tekan dan Perubahan Berat Mortar Menggunakan Bahan Tambah Abu Sekam Padi (<i>Rice Husk Ash</i>) di Air Gambut <i>Meirisa Ednor, Iskandar Romey Sitompul, Monita Olivia</i>	258
Kuat Tekan dan Porositas Mortar dengan Bahan Tambah Gula Aren <i>Neri Puspita Sari, Monita Olivia, Zulfikar Djauhari</i>	267
Kuat Lentur Beton Berbahan Semen Portland Komposit, Air Laut dan Pasir Laut <i>Aksa H. Mardani, M.W. Tjaronge, Victor Sampebulu, Rudy Djamaluddin</i>	275
Pemodelan Material Dinding Ringan Dari Tangkai Daun Rumbia (Gaba-Gaba) sebagai Pengkondisi Kenyamanan Termal Bangunan <i>Sudarman Samad, Muh. Ramli Rahim, Rita Tahir Lopa, Ria Wikantari</i>	281
Studi Eksperimental Pembuatan Papan Kayu Laminasi dari Limbah Kulit Batang Sagu <i>Armada, Faisal Ananda</i>	292

KATEGORI URBAN DESAIN, REKAYASA MANAJEMEN INFRASTRUKTUR, BANGUNAN AIR, DAN LINGKUNGAN

Menemukanali Karakteristik Pedagang Kaki Lima (PKL) di Jalan Kaharuddin Nasution Kota Pekanbaru <i>Puji Astuti, Febby Asteriani, M. Sulaiman, Thalia A. Putri</i>	299
Kajian Mengenai Kecukupan Infrastruktur di Kawasan Timur Indonesia <i>Peter F. Kaming, Ferianto Raharjo</i>	310
Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Saluran Drainase Jalan Dorak Berdasarkan Pola Rencana Tata Ruang Tata Wilayah Kabupaten Meranti Tahun 2013-2032 Menggunakan Model EPA SWMM 5.0 <i>Imam Suprayogi, Bambang Sujatmoko, Yenita Morena, Khoirul Ghofirin</i>	321

Penanganan Sampah Kota Palu dengan Model TPST 3R dengan Pelibatan Peran Masyarakat <i>Aryan Gafur, Mary Selintung, M. Ramli Rahim, Johannes Patanduk</i>	335
Pengaruh Rangkaian Struktur Tenggelam Tidak Simetris terhadap Deformasi Gelombang <i>Erni Rante Bungin, Saleh Pallu, M. Arsyad Thaha, Rita Tahir Lopa</i>	343

INFRASTRUKTUR JALAN BETON SISTEM PELAT TERPAKU UNTUK PEMBANGUNAN JALAN BERKELANJUTAN PADA TANAH DASAR LUNAK DAN EKSPANSIF

Dr. Anas Puri, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Pekanbaru
anaspuri@eng.uir.ac.id

Abstrak

Perkerasan kaku konvensional pada tanah lunak memerlukan tebal perkerasan yang lebih besar sehingga beban struktur juga bertambah, sehingga tidak menguntungkan bagi tanah lunak. Perkerasan Sistem Pelat Terpaku telah diusulkan peneliti terdahulu sebagai alternatif solusi perkerasan jalan pada tanah lunak dan ekspansif. Sistem ini bukan metode perbaikan tanah melainkan metode alternatif guna meningkatkan kinerja perkerasan kaku pada tanah lunak dan ekspansif. Tiang-tiang yang dipasang di bawah pelat berfungsi sebagai pengaku. Makalah ini bertujuan memberikan informasi tentang kinerja prototipe Pelat Terpaku pada lempung lunak, prospek aplikasi lapangan dan metode perancangan. Pengujian Pelat Terpakuskala penuh telah dilakukan oleh Puri (2015a). Pelat Terpaku tiga baris tiang telah dibangun pada tanah lunak yang terdiri atas pelat 6,00 m x 3,54 m dengan tebal 0,15 m, 15 buah tiang mikro (diameter 0,20 m, panjang 1,50 m, dan jarak tiang 1,20 m) sebagai pengaku yang dipasang monolit di bawah pelat. Pada kedua ujung pelat diperkuat dengan pelat penutup tepi. Sistem Pelat Terpaku dibebani dengan beban vertikal monotonik dan repetitif. Pelat Terpaku satu baris tiang juga dibuat dan dilakukan uji beban tekan dan beban cabut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tiang-tiang di bawah pelat yang tertanam di dalam tanah dapat berfungsi dengan baik sebagai pengaku dan memberikan respons yang sama ke segala arah. *Differential settlement* yang teramati sangat kecil. Sistem mempunyai tahanan yang tinggi terhadap vibrasi. Kinerja yang baik juga ditunjukkan sistem ini terhadap gaya angkat, terutama akibat tekanan pengembangan (*swelling pressures*) tanah ekspansif. Tampaknya kinerja Sistem Pelat Terpaku ini sangat menjanjikan untuk aplikasi lapangan. Oleh karena itu perlu dilakukan *field trial* pada suatu ruas jalan dengan kondisi tanah lempung lunak atau ekspansif.

Kata-kata Kunci: perkerasan kaku, pelat terpaku, tiang mikro, lempung lunak, tanah ekspansif.

Abstract

Conventional rigid pavement on soft soil needs more thickness of slab which increases self weight, and it is unbeneficial for soft soils. The pavement of Nailed-slab System has been proposed by previous researcher as an alternative solution for pavement on soft soils. This system is not a soil improvement method, but rather as an alternative method to improve the performance of rigid pavement on soft soils. The installed piles under the slab were functioned as slab stiffeners. This paper is aimed to inform the performance of Nailed-slab System on soft clay, its consideration for prospect of practical application, and designing method. The full scale Nailed-slab System was conducted by Puri (2015a) on soft clay which consisted of 6.00 m x 3.54 m slab area with 0.15 m in slab thickness, 15 short micro piles (0.20 m in diameter, 1.50 m in length, and 1.20 m in pile spacing) as slab stiffeners which installed under slab. Piles and slab were connected monolithically, then in due with vertical concrete wall barrier on the two ends of slab. The system was loaded by vertical monotonic and repetitive loadings. One pile row Nailed-slab was also conducted and tested by compression and pull out loadings. Results show that the installed piles under the slab which embedded into the soils were functioned as slab stiffeners and were able to response similarly in 3D. Observed differential settlements were very small. This system has higher resistance due to vibration. Good performance was also shown by

this system due to uplift load, as well as swelling pressures of expansive soils. Thereby, the Nailed-slab system is promising for practical application. Hence, it is needed conducting of a field trial on a road section laid over soft clay or expansive soil.

Key Words: rigid pavement, nailed-slab, micro piles, soft clay, expansive soil.

1. PENGANTAR

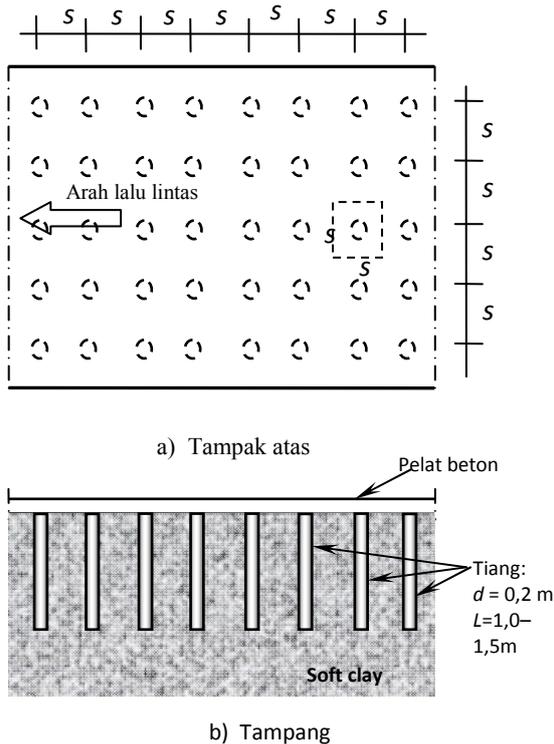
Lapis perkerasan kaku jalan dapat langsung menumpu pada tanah dasar lunak dan/ atau di atas lapis fondasi jalan. Namun penurunan tanah lunak di bawahnya cenderung bersifat tidak seragam (*differential settlement*) pada arah melintang trase jalan sebagai akibat distribusi beban yang tidak merata sepanjang lebar perkerasan, atau disertai dengan penurunan tidak seragam pada arah memanjang trase jalan akibat ketidak-homogenan tanah maupun distribusi beban yang tidak merata. Selain menerima beban siklik oleh kendaraan, perkerasan juga menerima beban akibat temperatur yang membuat perkerasan mengalami momen tekuk bolak-balik. Hal-hal tersebut dapat mengakibatkan bergelombangnya jalan dan/ atau patahnya struktur perkerasan.

Perencanaan perkerasan kaku yang telah banyak distandarisasi didasarkan pada kondisi dimana perkerasan terletak di atas tanah dasar yang mempunyai kekakuan yang cukup untuk menerima beban lalu lintas. Pada tanah lunak diperlukan tebal perkerasan yang lebih besar sehingga beban struktur juga bertambah. Beberapa metode konstruksi telah dikembangkan untuk mengatasi atau meminimalisir masalah perkerasan kaku pada tanah lunak, misalnya penggunaan stabilisasi tanah, perkuatan tanah, *embankment on pile* (dengan *individual pile cap* maupun *continous pile cap*), fondasi Konstruksi Sarang Laba-laba serta perkerasan Sistem Cakar Ayam.

Hardiyatmo (2008) melalui studi analitisnya mengusulkan Sistem Pelat Terpaku (*Nailed-slab System*), yaitu penggunaan tiang-tiang pendek di bawah pelat perkerasan kaku. Tiang-tiang tersebut

berfungsi laksana paku bagi pelat beton sehingga penurunannya lebih merata, sekaligus menambah kuat dukung tanah dan mengurangi faktor kehilangan dukungan (*loss support factor, LS*), serta meningkatkan modulus reaksi *subgrade* vertikal efektif. Diperoleh efisiensi pada tebal pelat beton. Tiang-tiang yang dipasang di bawah pelat meningkatkan kekakuan pelat (Puri, et.al., 2011a). Peningkatan kekakuan pelat ini akan mengurangi ketebalan pelat (Hardiyatmo, 2009). Pelat beton mempunyai fungsi ganda yaitu sebagai perkerasan jalan dan *pile cap*. Dalam hal ini hanya dibutuhkan pelat yang tipis. Penggunaan *pile cap* yang tipis pada tanah lunak menguntungkan, karena beban yang dipikul tanah menjadi lebih ringan sehingga penurunan dapat tereduksi (Hardiyatmo dan Suhendro, 2003). Pada dasarnya, Sistem Pelat Terpaku merupakan inovasi dari Sistem Cakar Ayam. Bilamana Sistem Cakar Ayam menggunakan struktur cakar berupa silinder beton bertulang atau silinder baja galvanis, maka pada Sistem Pelat Terpaku diganti dengan tiang-tiang beton yang pendek. Gambar 1 memperlihatkan tipikal Sistem Pelat Terpaku.

Ilustrasi perbandingan perkerasan kaku konvensional dengan perkerasan sistem pelat terpaku dan perlawanan tiang terhadap beban ditunjukkan pada Gambar 2. Tiang-tiang berfungsi mereduksi perbedaan penurunan (Gambar 2a) sehingga perkerasan tetap rata pada arah memanjang jalan (Gambar 2b) maupun melintang jalan (Gambar 2c). Perbedaan penurunan dapat direduksi oleh karena tiang berfungsi sebagai angkur yang mencegah pelat mengalami jungkitan (Gambar 2c).

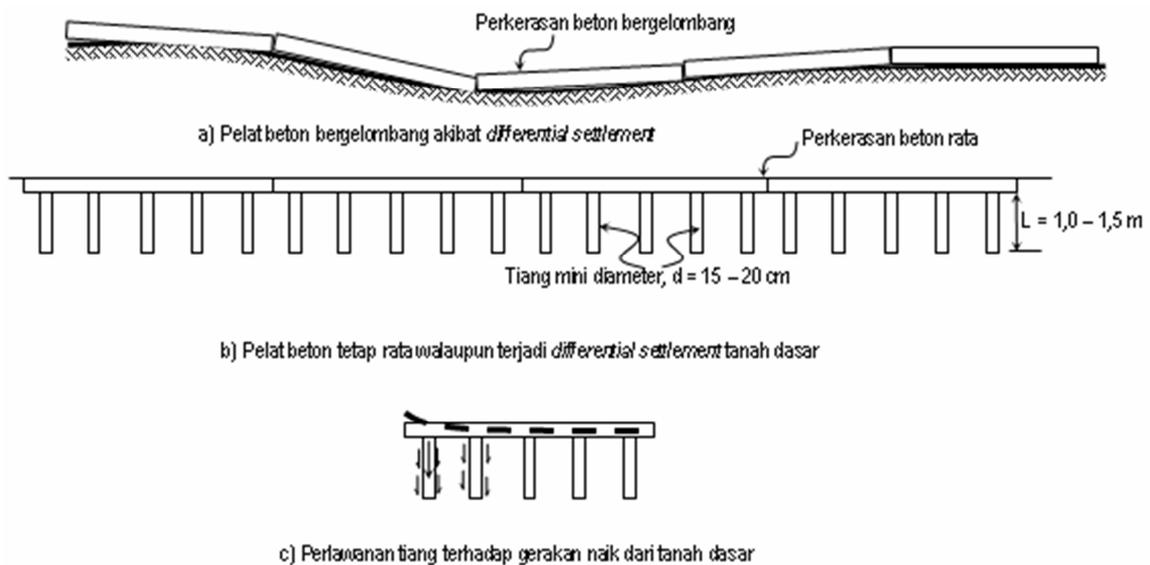


Gambar 1. Tipikal konstruksi Sistem Pelat Terpaku (Hardiyatmo, 2008).

Sistem Pelat Terpaku dan Sistem Cakar Ayam merupakan inovasi pada sistem perkerasan kaku, jadi bukan merupakan perbaikan tanah (*soil improvement*) (Puri,

2015a). Penambahan tiang atau cakar pada sistem tersebut tidak meningkatkan kuat geser tanah. Sistem Pelat Terpaku menghasilkan suatu sistem komposit (*composite system*) sebagai hasil interaksi tanah-struktur dari komponen pelat beton bertulang, tiang-tiang, dan tanah di antara tiang.

Perancangan Sistem Pelat Terpaku didasarkan pada beban statik sebagaimana perancangan jembatan, bukan beban lalu lintas (*axel load*). Hardiyatmo (2011a, 2011b) memberikan metode untuk analisis Sistem Pelat Terpaku. Metode tersebut disederhanakan oleh Puri, et.al. (2012b) dan Puri (2015a) dengan mempertimbangkan lendutan toleransi (*tolerable deflection*). Kedua metode tersebut menggunakan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen dan telah divalidasi dengan uji model (Hardiyatmo, 2011a; Puri, et.al., 2012a) dan skala penuh (Puri, et.al., 2013c; Puri, 2015a).



Gambar 2. Ilustrasi pengaruh pemasangan tiang sebagai "paku" pada perkerasan beton (Hardiyatmo, 2008).

Studi yang dilakukan pada Sistem Pelat Terpaku meliputi studi analitis (Hardiyatmo, 2009, 2011; Puri, et.al., 2013c; Puri, 2015b) dan studi eksperimental skala kecil (Taa, 2010; Puri, et.al., 2011a, 2011b, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b; Somantri, 2013) serta skala penuh/ *prototype*. Uji model Pelat Terpaku pada lempung ekspansif dilakukan Diana (2015). Studi eksperimental skala penuh yang telah dilakukan antara lain Pelat Terpaku tiang tunggal (Nasibu, 2009; Dewi, 2009; Puri, 2015a, 2017) dan Pelat Terpaku dengan 1 baris tiang (Puri, et.al., 2015a, 2015b, 2016a, 2016b; Puri, 2015a, 2016a) serta Pelat Terpaku dengan 3 baris tiang (Puri, et.al., 2013c, 2013d, 2014, 2016, 2017). Studi parametrik juga dilakukan oleh Puri dan Mildawati (2016) menggunakan data uji skala penuh Puri (2015a). Berikut inidisajikan beberapa hasil pengamatan skala penuh Sistem Pelat Terpaku pada lempung lunak dan konsiderasinya untuk aplikasi lapangan. Sistem ini diharapkan menjadi metode alternatif konstruksi jalan pada tanah dasar lunak yang mempunyai kinerja baik.

2. PERILAKU PERKERASAN PELAT TERPAKU TERHADAP BEBAN TEKAN

2.1 Uji Skala Penuh (Prototipe)

Penjelasan rinci tentang kolam uji, material penelitian, dan prosedur pengujian telah diberikan Puri (2015a). Berikut ini diuraikan kembali secara ringkas. Pengujian dilakukan pada Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Gadjah Mada. Pengujian menggunakan tanah yang sama pada uji model di atas, namun lebih lunak (kohesi *undrained*, $c_u = 20,14$ kPa dan CBR = 0,83%). Selanjutnya disebut tanah lempung lunak Ngawi-2. Tanah inidiambil di Lokasi 1 Dusun Widodaren dan tambahan tanah lempung dari Lokasi 2 yang berbeda letak namun berdekatan (Dusun Gendhingan, Kec.

Banjarrejo, Kab. Ngawi, Jawa Timur). Adapun sifat-sifat lempung lunak diberikan pada Tabel 1. Untuk konstruksi, digunakan pelat beton bertulang tebal 15 cm (mutu beton $f_c' = 29$ MPa.), tiang beton bertulang berdiameter 20 cm (mutu beton $f_c' = 17,4$ MPa.) dan lantai kerja (*lean concrete*) tebal 5 cm dengan mutu beton $f_c' = 14,5$ MPa. Tulangan pelat adalah 2 lapis 2 arah berupa *wire mesh* D8-150, sedangkan tulangan tiang adalah 6D8 dan tulangan geser D6-120.

Tabel 1. Sifat-sifat Lempung Lunak (Puri, 2015a)

No.	Parameter	Satuan	Rerata
1	Berat spesifik, G_s	-	2,55
2	Batas-batas konsistensi:		
	- Batas cair, LL	%	88,46
	- Batas plastis, PL	%	28,48
	- Batas susut, SL	%	9,34
	- Indeks plastisitas, PI	%	59,98
3	Kadar air, w	%	54,87
4	Kadar lempung	%	92,93
5	Kandungan pasir	%	6,89
6	Berat volume basah, γ	kN/m ³	16,32
	Berat volume kering, γ_d	kN/m ³	10,90
8	Kuat geser <i>undrained</i> , S_u		
	- <i>Undisturbed</i>	kN/m ²	20,14
	- <i>Remolded</i>	kN/m ²	11,74
9	Kuat tekan bebas, q_u	kN/m ²	37,20
	10 CBR	%	0,83
11	Klasifikasi tanah:		
	- AASHTO	-	A-7-6
	- USCS	-	CH

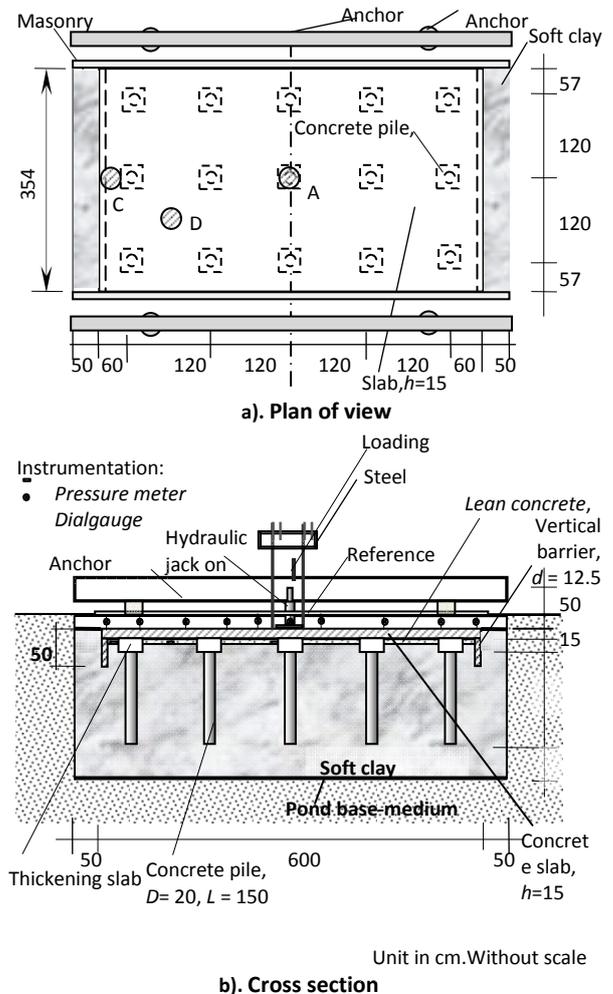
Pelat Terpaku dibangun pada lempung lunak yang berada di dalam sebuah kolam tanah berukuran 6 m x 3,7 m. Kolam tersebut dibuat dengan cara menggali tanah *existing* hingga kedalaman 2,5 m. Kedua sisi panjang kolam diperkuat dengan

dinding batako dan didukung dengan balok penopang sementara. Sistem angkur untuk pembebanan dibangun di dekat kolam. Terpal pemisah dipasang pada dinding dan dasar kolam untuk mencegah pengaruh air tanah sekitarnya. Lempung lunak yang diambil dari Ngawi, Jawa Timur dimasukkan ke dalam kolam secara bertahap hingga ketebalan 2,15 m.

Model skala penuh perkerasan Sistem Pelat Terpaku yang dibangun berukuran 600, m × 3,54 m, dengan ketebalan pelat 0.15 m. Pelat diperkaku dengan memasang tiang-tiang mikro di bawahnya. Ukuran tiang mikro adalah diameter 0,20 m dan panjang 1,50 m. Jarak antar tiang 1,20 m. Seluruh tiang yang dipasang di bawah pelat terhubung secara monolit menggunakan pelat penebalan (0,40 m × 0,40 m dengan tebal 0,20 m). Kedua ujung pelat dilengkapi dengan pelat penutup tepi. Di bawah pelat juga dipasang lantai kerja dengan ketebalan 0,05 m. Konfigurasi tiang dan detail konstruksi Pelat Terpaku diberikan pada Gambar 3. Model skala penuh ini merepresentasikan seksi perkerasan kaku dengan 3 baris tiang.

Uji pembebanan pelat beton dilakukan pada posisi yang berbeda-beda. Beban disalurkan ke permukaan pelat menggunakan pelat beban berdiameter 0,30 m (mewakili bidang kontak roda tunggal). Pengujian tidak mencapai kondisi runtuh, kecuali mencapai awal zona plastis. Uji beban repetitif dilakukan setelah uji beban monotonik. Beban diberikan secara bertahap dengan peningkatan beban sebesar dua kali besar beban sebelumnya. Pembebanan monotonik, intensitas beban dinaikkan secara bertahap mulai dari $P = 0$, berturut-turut menjadi $P = 5$ kN, 10 kN, 20 kN, 40 kN, 80 kN, dan 160 kN (± 4 x beban *single wheel* rencana untuk jalan raya sebesar 40 kN). Kemudian beban diturunkan secara bertahap mulai dari $P = 160$ kN menjadi $P = 80$ kN, 40 kN dan 0 kN, serta semua lendutan di semua titik yang diamati dicatat. Pembebanan repetitif,

intensitas beban dinaikkan secara bertahap mulai dari $P = 0$, berturut-turut menjadi $P = 5$ kN, 10 kN, 20 kN, 40 kN, 80 kN, dan 160 kN (± 4 x beban *single wheel* rencana untuk jalan raya sebesar 40 kN). Kemudian semua lendutan di semua titik yang diamati dicatat.



Gambar 3. Schematic diagram Sistem Pelat Terpaku skala penuh (Puri, 2015a).

2.1.1 Pelat Terpaku 3 Baris Tiang

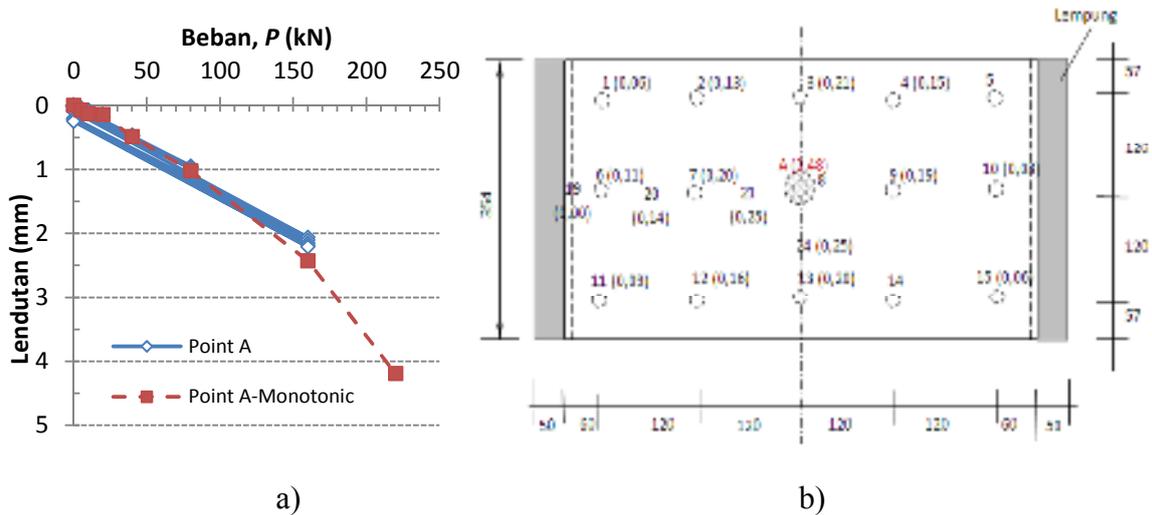
Pada makalah ini hanya disajikan hasil uji beban pada 2 titik saja, yaitu beban sentris (titik A) dan di pinggir (titik C). Berikut ini hasil dan pembahasan untuk pembebanan monotonik yang kemudian dibandingkan dengan pembebanan repetitif (Puri, 2015a).

Beban sentris (di titik A)

Gambar 4a memperlihatkan hubungan beban dan lendutan (khususnya titik-titik

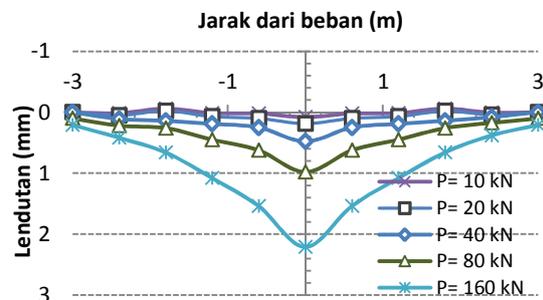
yang terdekat dengan beban). Meskipun beban mencapai 160 kN ($\pm 4 \times 40$ kN *design single wheel load*), lendutan maksimum yang terjadi pada titik beban masih sangat kecil (2,21 mm). Respons linier terlihat jelas hingga mendekati beban

160 kN. Jadi lendutan pada beban $P= 40$ kN berada pada zona linier elastis. Lendutan akibat beban monotonik cenderung sedikit lebih besar beban repetitif. Perilaku ini serupa dengan uji model laboratorium.



Gambar 4. Hasil uji pembebanan repetitif pada titik A, a) Hubungan P - δ untuk repetisi ke-5, b) Lendutan pengamatan pada $P = 40$ kN. Catatan: jarak dalam cm, lendutan dalam mm (ditandai dengan tanda kurung)(Puri, 2015a).

Respons lendutan pada titik lainnya tidak dibahas oleh karena lendutannya kecil. Untuk beban 40 kN, lendutan pada titik beban hanya 0,48 mm, kemudian diikuti secara berurutan sebesar masing-masing 0,25 mm, 0,25 mm, 0,20 mm, 0,19 mm, dan 0,20 mm pada titik 21, 24, 7, 9, dan 13 (Gambar 4b). Respons lendutan pelat sesuai harapan yaitu lendutan berkurang dengan semakin jauh dari beban. Bentuk lendutan (*deflected bowl*) mendekati bentuk simetris sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Hal ini mengindikasikan bahwa tiang-tiang memberikan respons yang sama ke segala arah (3D), dan juga memuktikan bahwa pelat penebalan dapat menghubungkan tiang dan pelat secara monolit. Pelat tidak mengalami jungkitan.



Gambar 5. Bentuk lendutan sepanjang pelat akibat beban di A untuk repetisi ke-5 (Puri, 2015a).

Besar lendutan pada repetisi ke 1, 2, 3, 4, maupun 5 untuk setiap intensitas beban tidak menunjukkan perbedaan signifikan. Salah satu contoh pada intensitas beban 40 kN, besarnya lendutan di titik A pada repetisi ke 1, 2, 3, 4, dan 5 berturut-turut adalah sebesar (dalam mm) 0,46; 0,48; 0,47; 0,47 dan 0,48. Pada intensitas beban yang sama (40 kN), besarnya lendutan di titik 6 pada repetisi ke 1, 2, 3, 4, dan 5

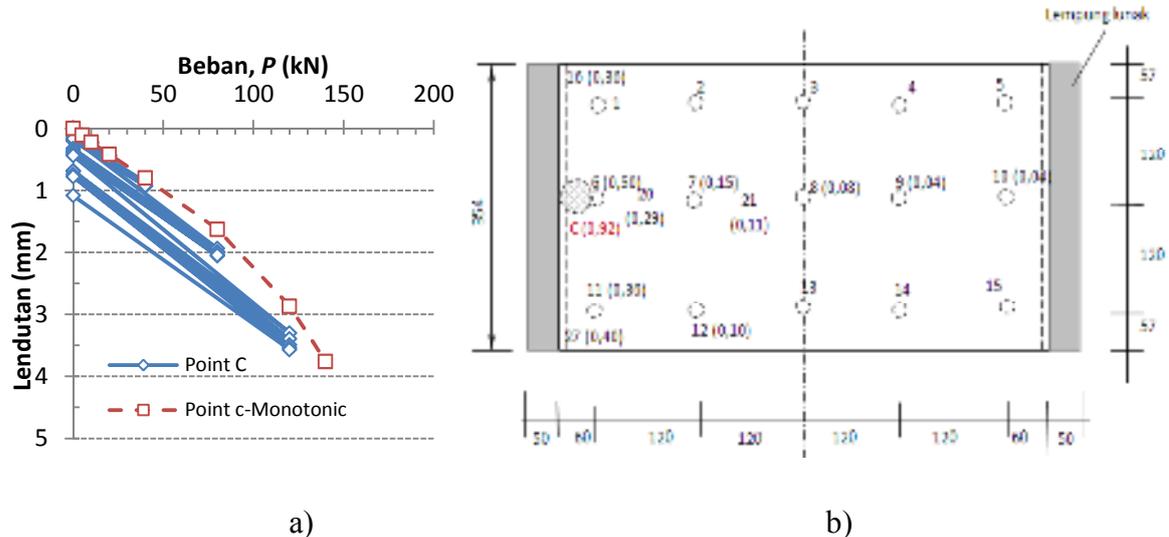
berturut-turut adalah sebesar (dalam mm) 0,11; 0,10; 0,11; 0,11 dan 0,11. Perilaku yang sama untuk titik lainnya.

Beban di Pinggir (titik C)

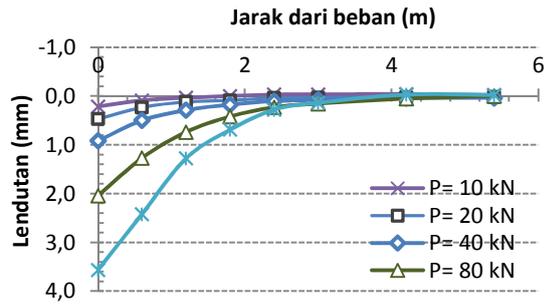
Gambar 6a memperlihatkan hubungan beban dan lendutan (khususnya titik-titik yang terdekat dengan beban). Meskipun beban mencapai 120 kN ($\pm 3 \times \text{design single wheel load}$), lendutan maksimum yang terjadi pada titik beban masih sangat kecil (3,57 mm). Respons linier terlihat jelas hingga mendekati beban 80 kN. Lendutan pada beban $P = 40$ kN berada pada zona linier elastis. Lendutan akibat beban repetitif cenderung sedikit lebih kecil dibanding beban monotonik (serupa dengan perilaku model laborototium). Untuk beban 40 kN, lendutan pada titik beban sebesar 0,92 mm, kemudian diikuti secara berurutan sebesar masing-masing 0,50 mm, 0,36 mm, 0,29 mm, 0,15 mm, dan 0,11 mm pada titik 6, 11, 20, 7, dan 21 (Gambar 6b). Respons lendutan pelat

sesuai harapan yaitu lendutan berkurang dengan semakin jauh dari beban. Bentuk lendutan (*deflected bowl*) mendekati bentuk setengah mangkuk sebagaimana terlihat pada Gambar 7. Hal ini mengindikasikan bahwa tiang-tiang memberikan respons yang memadai. Pelat tidak mengalami jungkitan.

Seperti terlihat pada Gambar 6a, besar lendutan pada repetisi ke 1, 2, 3, 4, maupun 5 untuk setiap intensitas beban tidak menunjukkan perbedaan signifikan. Sebagai contoh pada intensitas beban 40 kN, besarnya lendutan di C pada repetisi ke 1, 2, 3, 4, dan 5 berturut-turut adalah sebesar (dalam mm) 0,87; 0,93; 0,92; 0,93 dan 0,92. Pada intensitas beban yang sama (40 kN), besarnya lendutan di titik 6 pada repetisi ke 1, 2, 3, 4, dan 5 berturut-turut adalah sebesar (dalam mm) 0,49; 0,54; 0,54; 0,52 dan 0,50. Perilaku yang sama untuk titik lainnya.



Gambar 6. Hasil uji pembebanan repetitif pada titik C, a) Hubungan $P-\delta$ untuk repetisi ke-5, b) Lendutan pengamatan pada $P = 40$ kN. Catatan: jarak dalam cm, lendutan dalam mm (ditandai dengan tanda kurung) (Puri, 2015a).



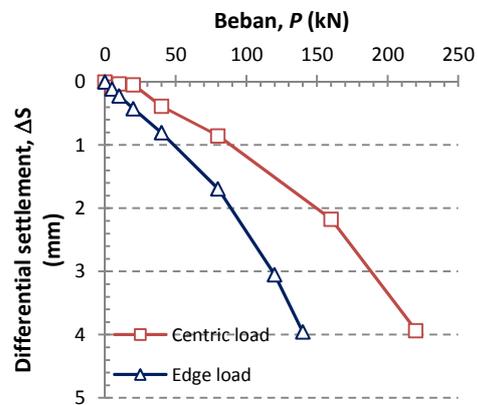
Gambar 7. Bentuk lendutan sepanjang pelat akibat beban di C untuk repetisi ke-5 (Puri, 2015a).

Differential settlement

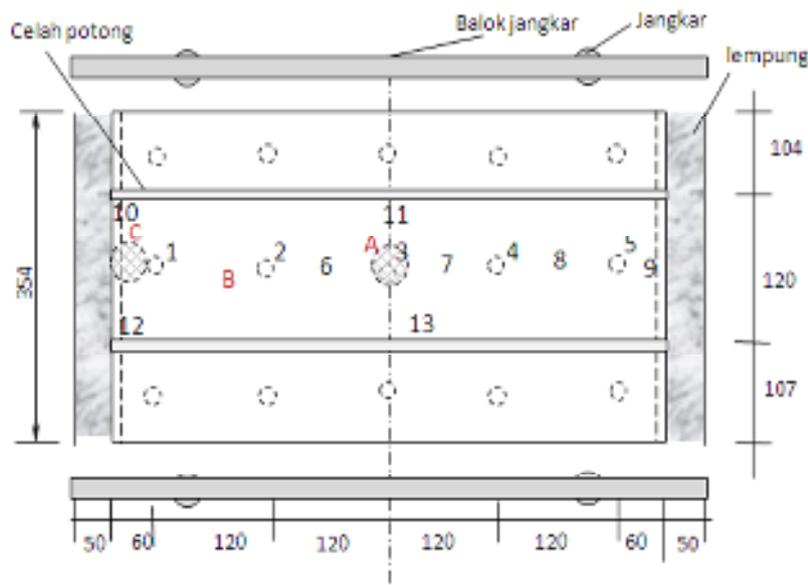
Differential settlement akibat beban monotonik diberikan pada Gambar 8. Pada beban $P=40$ kN, *differential settlement* untuk tiap posisi beban tidak signifikan ($< 1,0$ mm). Respons linier-elastis mencapai beban 160 kN untuk beban sentris dan 80 kN untuk beban pinggir dan interior. Lendutan akibat beban 80 kN ($\approx 2 \times$ beban roda standar 40 kN), untuk beban sentris dan beban di tepi tidak mencapai 2,0 mm ($<$ lendutan izin maksimum sebesar 5,0 mm).

2.1.2 Pelat Terpaku 1 Baris Tiang

Model skala penuh Sistem Pelat Terpaku dengan 3 baris tiang, selanjutnya dipotong menjadi 3 bagian yang masing-masing bagian terdiri atas satu baris tiang. Potongan bagian tengah dengan lebar pelat 1,20 m diuji beban tekan repetitif di A dan di C. Setelah itu, dilanjutkan dengan uji beban cabut hingga runtuh. Di sub bab ini diuraikan hasil uji beban tekan. Pengaruh proses pemotongan beton terhadap lempung dan konstruksi pelat terpaku diabaikan. Gambar 9 memperlihatkan denah uji untuk satu baris tiang.



Gambar 8. *Differential settlement* akibat beban monotonik (Puri, 2015a).



Gambar 9 Denah uji pembebanan untuk satu baris tiang (Puri, 2015a).

Beban repetitif di A

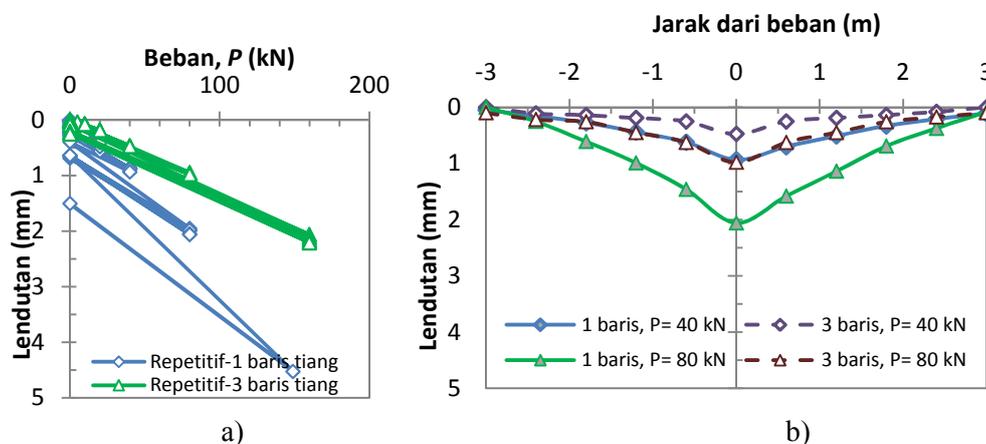
Beban kerja pada permukaan pelat berupa beban merata melalui pelat beban yang berdiameter 30 cm, yakni setara dengan luasan bidang kontak roda ganda suatu kendaraan. Beban diberikan bertahap dengan peningkatan beban dua kali beban sebelumnya. Gambar 10 menunjukkan hasil uji beban di A (tengah pelat) pada model skala penuh satu baris tiang dan tiga baris tiang. Pengujian satu baris tiang dihentikan pada beban 149 kN oleh karena dongkrak mengalami kerusakan. Lendutan-lendutan adalah untuk repetisi kelima, kecuali beban 149 kN untuk satu baris tiang adalah repetisi pertama. Selanjutnya pengujian tidak diulang karena sudah dianggap cukup, dimana sistem sudah berada pada zona plastis. Meskipun intensitas beban sudah mencapai 149 kN ($\pm 3,725 \times$ beban roda tunggal rencana untuk jalan raya), lendutan maksimum yang terjadi di bawah beban masih relatif kecil, hanya sebesar 4,52 mm. Pada intensitas beban 40 kN, lendutan yang terjadi pada titik beban sebesar 0,93 mm disusul titik 6, 2, B, 1 dan C masing-masing sebesar 0,62 mm, 0,44 mm, 0,28 mm, 0,16 mm dan 0,05 mm (Gambar 10a). Akibat beban terpusat di A ini, respons lendutan pelat sesuai dengan harapan bahwa lendutan maksimum terjadi di bawah beban dan semakin jauh dari beban lendutan akan semakin mengecil (Gambar 10b). Hal ini terlihat pada bentuk

lendutan pelat mendekati bentuk setengah mangkok. Fenomena ini mengindikasikan bahwa tiang-tiang merespon dengan cukup baik (Puri, 2015a).

Beban repetitif di C

Pada pengujian ini, beban juga diberikan bertahap dengan peningkatan beban dua kali beban sebelumnya. Untuk seluruh titik beban, intensitas beban dinaikkan secara bertahap mulai dari $P = 0$, berturut-turut menjadi $P = 5$ kN, 10 kN, 20 kN, 40 kN, dan 80 kN ($\pm 2 \times$ beban roda tunggal rencana untuk jalan raya sebesar 40 kN). Pengujian dihentikan pada beban 80 kN oleh karena pelat retak melintang di antara titik B dan tiang nomor 2. Gambar 11 menunjukkan hasil uji beban di C pada model skala penuh satu baris tiang dan tiga baris tiang. Lendutan-lendutan pada repetisi kelima, kecuali untuk beban 80 kN untuk satu baris tiang adalah repetisi pertama (Puri, 2015a).

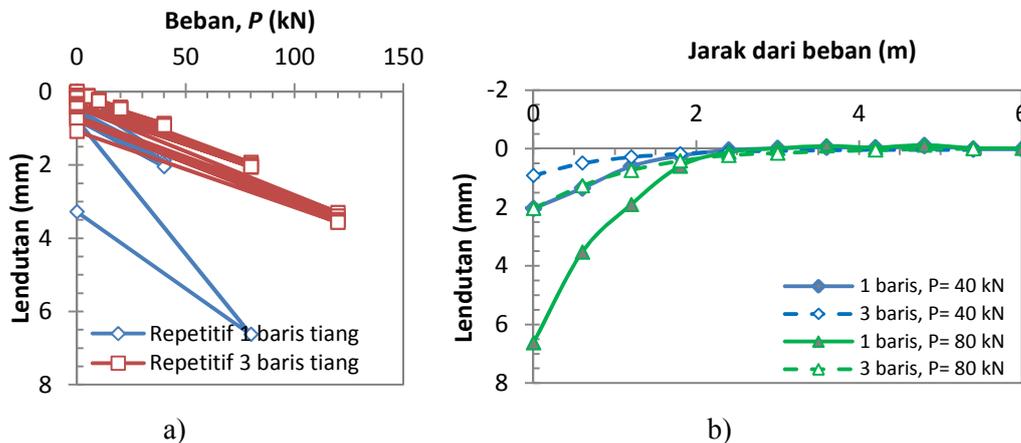
Uji Pelat Terpaku satu baris tiang, pada intensitas beban mencapai 80 kN ($\pm 2 \times$ beban roda tunggal rencana untuk jalan raya), lendutan maksimum yang terjadi di bawah beban sudah cukup besar, mencapai 6,63 mm. Adapun untuk intensitas beban 40 kN, lendutan yang terjadi pada titik beban (titik C) sebesar 2,04 mm disusul



Gambar 10a. Perbandingan hasil uji beban di A satu baris tiang dan 3 baris tiang;
 a) Hubungan $P-\delta$, b) Lendutan sepanjang pelat (Puri, 2015a).

titik 1, B, dan 2 masing-masing sebesar 1,35 mm, 0,61 mm, dan 0,25 mm (Gambar 12a). Akibat beban di C ini, respon lendutan pelat sesuai dengan harapan bahwa lendutan maksimum terjadi di bawah beban dan semakin jauh dari beban lendutan akan semakin mengecil. Hal ini terlihat pada bentuk lendutan pelat (*deflected-bowl*) mendekati bentuk setengah mangkok. Gambar 11b memperlihatkan bentuk *deflected-bowl* tersebut. Fenomena ini mengindikasikan bahwa tiang-tiang merespon dengan cukup baik (Puri, 2015a).

Gambar 11a memperlihatkan bahwa Pelat Terpaku satu baris tiang lebih lemah dibanding 3 baris tiang. Perilaku elastik-linier teramati hingga beban 20 kN, sedangkan untuk 3 baris tiang mencapai 4 kalinya yaitu 80 kN. Untuk intensitas beban yang sama, lendutan maksimum Pelat Terpaku 3 baris tiang mampu mereduksi lendutan sebesar rerata 56,43% untuk beban di A dan rerata 51,04% untuk beban di C terhadap lendutan Pelat Terpaku satu baris tiang. Jadi semakin banyak baris tiang maka lendutan akan semakin berkurang (Puri, 2015a).



Gambar 11. Perbandingan hasil uji beban di C satu baris tiang dan 3 baris tiang; a) Hubungan P - δ , b) Lendutan sepanjang pelat (Puri, 2015a).

2.2 Pengaruh dimensi tiang

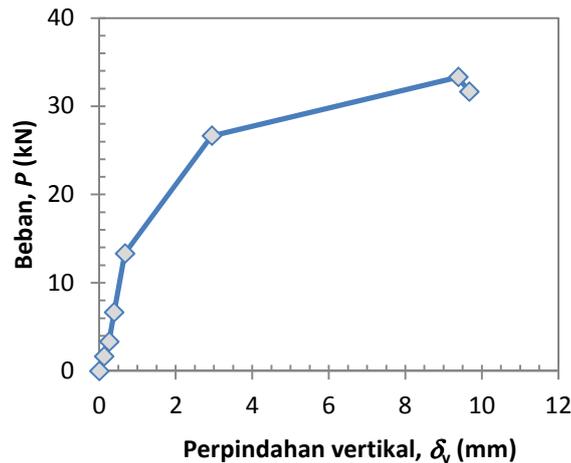
Studi parametrik yang dilakukan Puri dan Mildawati (2016) memperlihatkan bahwa peningkatan diameter tiang meningkatkan kuat dukung sistem dalam memikul beban, sehingga lendutan pelat menjadi berkurang. Tiang berdiameter 10 cm dan 20 cm tidak berbeda signifikan terhadap lendutan, kecuali pada diameter tiang 40 cm lendutan tereduksi signifikan. Peningkatan panjang tiang meningkatkan kuat dukung sistem dalam memikul beban, sehingga lendutan pelat menjadi berkurang. Tiang dengan panjang 1,50 m dan 2,00 m sudah memadai mereduksi lendutan. Selain itu, semakin tebal pelat

maka lendutan semakin berkurang, baik untuk beban sentris maupun beban di tepi. Namun untuk beban di tepi, pengaruh tebal pelat terhadap reduksi lendutan adalah kurang signifikan. Peningkatan tebal pelat meningkatkan kuat dukung sistem dalam memikul beban oleh karena bertambahnya kekakuan pelat, sehingga lendutan pelat menjadi berkurang, walaupun di sisi lain juga terjadi sedikit peningkatan berat sendiri pelat. Tebal pelat antara 12 cm hingga 25 cm sudah memadai dimana lendutan maksimum $< 2,0$ mm pada beban 40 kN (tekanan roda tunggal).

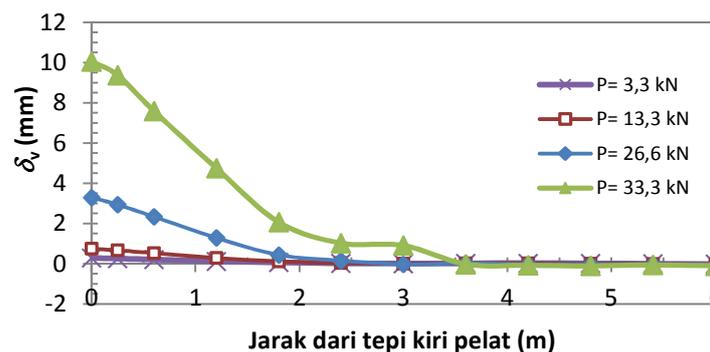
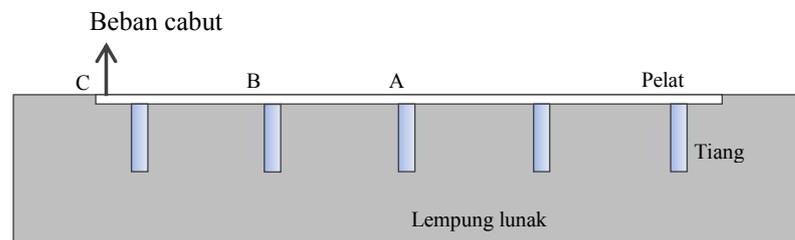
3. PERILAKU PERKERASAN PELAT TERPAKU TERHADAP GAYA ANGKAT/ BEBAN CABUT

Tahanan angkur Pelat Terpaku satu baris tiang diberikan pada Gambar 12. Ini merupakan uji lanjutan berupa uji cabut setelah uji tekan sebagaimana telah disinggung pada anak subbab 2.2.2. Hasil uji menunjukkan bahwa perilaku linier-

elastik mencapai 13,3 kN, sedangkan keruntuhan terjadi pada 33,3 kN (Gambar 12a). Keruntuhan terjadi pada tahanan gesek tiang. Jumlah tiang yang mengerahkan tahanan cabut meningkat dengan peningkatan beban. Pada beban runtuh, terdapat 4 tiang yang menahan gaya angkat dan tiang paling kiri mengalami keruntuhan (Gambar 12b).



a)



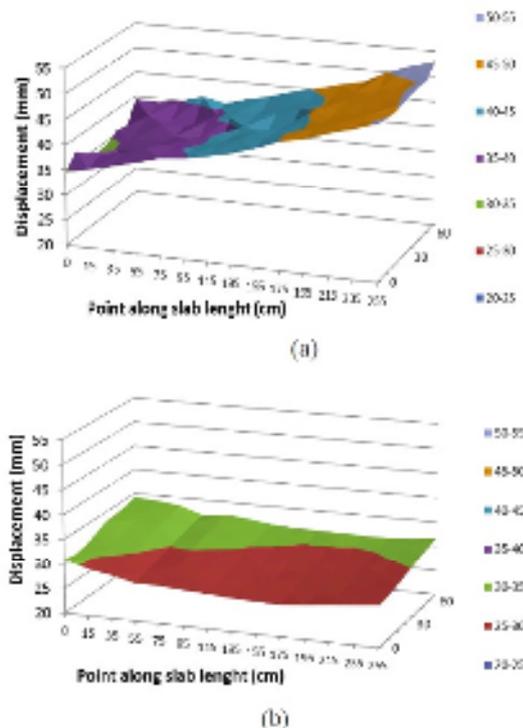
b)

Gambar12. Uji cabut Pelat Terpaku satu baris tiang; a) Hubungan $P-\delta_v$, b) Defleksi sepanjang pelat (Puri, et.al, 2015a).

Tahanan cabut merupakan kontribusi tahanan gesek tiang-tiang (tahanan angkur) serta kekakuan pelat, friksi pelat dan tanah, dan berat sendiri konstruksi. Tahanan

cabut Pelat Terpaku akan semakin meningkat dengan jumlah baris tiang yang lebih banyak. Beban cabut atau gaya angkat dapat disebabkan oleh perbedaan

temperatur perkerasan maupun kembang-susut tanah. Merujuk pada tahanan cabut Pelat Terpaku tiang tunggal sebesar 20 kN (Puri, 2015a), maka Pelat Terpaku dengan 5 buah tiang akan diperoleh tahanan cabut sebesar 100 kN untuk beban sentris (dengan mengabaikan kekakuan pelat). Tahanan cabut akan berkurang untuk beban di tepi. Pada kasus ini, tahanan cabut maksimum untuk beban di tepi diperoleh sebesar 33,3 kN (sepertiga tahanan cabut beban sentris). Jika diberikan faktor aman 2, maka tahanan cabut izin akan diperoleh sebesar 16,5 kN (Puri, et.al, 2015a). Panjang tiang dan jarak antar tiang juga mempengaruhi tahanan cabut Pelat Terpaku. Merujuk pada hasil pengujian Diana (2015), jungkitan akibat tekanan pengembangan lempung ekspansif berkurang dengan peningkatan panjang tiang (Gambar 13). Terkait jarak antar tiang, perpindahan vertikal akibat tekanan pengembangan berkurang dengan semakin dekat jarak antar tiang.



Gambar 13. Jungkitan model uji pada lempung ekspansif; a) pelat, b) Pelat Terpaku dengan tiang panjang 25 cm dan spasi tiang 10 cm (Diana, 2015).

4. PROSPEK APLIKASI LAPANGAN

4.1 Prospek Aplikasi Lapangan

Memperhatikan hasil dan pembahasan pada bagian sebelumnya, beberapa hal penting terkait kinerja Sistem Pelat Terpaku dapat dirangkum sebagai berikut (Puri, 2015a)

- Tiang-tiang mikro yang pendek dapat berfungsi dengan baik sebagai pengaku (*stiffener*) sehingga pelat yang tipis setebal 15 cm dapat berperilaku seperti pelat yang tebal, akan tetapi berat sendirinya lebih rendah.
- Kekakuan pelat yang besar merupakan kontribusi tiang-tiang terhubung monolit di bawah pelat, mampu menyebarkan beban terpusat pada luasan efektif yang relatif besar. Hal ini teridentifikasi dengan tidak adanya jungkitan yang terjadi, dimana tiang-tiang yang tertanam di dalam tanah membuat pelat tetap kontak dengan tanah sehingga meskipun tanah di bawah pelat adalah lunak, namun kapasitas dukung sistem ini tinggi mencapai 4 kali beban roda tunggal.
- Penurunan yang terjadi dan *differential settlement* masih relatif sangat kecil. Hal ini sangat menguntungkan bagi material beton, dimana dengan *differential settlement* yang rendah akan mengurangi regangan tarik yang berlebihan pada beton, sehingga potensi retak dapat dihindari.

Pelat Terpaku yang telah diuji secara skala penuh pada Puri (2015a) hanya berukuran 6 m x 3,54 m, tebal pelat 0,15 m, dan terdapat 15 tiang mikro yang pendek (berdiameter 20 cm, panjang 150 cm, dipasang pada jarak as 120 cm) sebagai pengaku pelat yang terhubung secara monolit menggunakan pelat penghubung, serta dilengkapi dengan pelat penutup tepi pada kedua ujung pelat. Namun demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa

kinerja sistem ini sangat menjanjikan untuk aplikasi. Pada kondisi yang sebenarnya, pelat terpaku yang difungsikan sebagai perkerasan jalan akan mempunyai luasan yang lebih besar, sehingga keberadaan tiang-tiang sebagai pengaku akan semakin banyak ke segala arah. Maka kinerjanya terkait kapasitas dukung dan reduksi lendutan pelat akan lebih baik lagi terhadap beban monotonik maupun repetitif (Puri, 2015a). Sistem ini juga berpotensi untuk diaplikasikan pada infrastruktur lainnya yang sejenis, seperti *runway* dan *apron* pada bandara maupun lapangan parkir.

Untuk aplikasi lapangan dimana sistem ini ditempatkan langsung pada tanah dasar lunak, maka perlu terlebih dahulu dilakukan *triping* tanah permukaan guna menghindari material organik. Sistem ini akan mempunyai kapasitas dukung dan kekakuan yang tinggi, juga tidak bermasalah terhadap penurunan konsolidasi, oleh karena tidak ada timbunan di atas tanah lunak, pelatnya yang tipis mengurangi berat sendiri, dan secara umum beban layan adalah beban sementara. Dalam hal elevasi perkerasan mesti dibuat lebih tinggi dari muka tanah guna menghindari genangan, maka sistem ini dapat dikombinasikan dengan timbunan berbahan ringan, oleh karena Sistem Pelat Terpaku ini bukanlah perbaikan tanah melainkan suatu metode untuk meningkatkan kinerja perkerasan kaku pada tanah lunak (Puri, 2015a). Keuntungan-keuntungan lain yang dapat diperoleh dengan menggunakan sistem ini antara lain (Puri, 2015a)

- a) Pelaksanaan konstruksi yang lebih mudah oleh karena penggunaan tiang mikro yang pendek,
- b) Tidak memerlukan alat-alat berat khusus dalam pengerjaan,
- c) Serta tidak memerlukan perkerasan sementara (berupa lapisan sirtu setebal 35 cm dan lantai kerja setebal 15 cm) sebagai alas kerja guna dilewati kendaraan berat.

- d) Sehingga pekerjaan tidak memakan waktu yang panjang, dan
- e) Biaya konstruksi relatif lebih rendah.

Merujuk pada hasil uji cabut dan uji model Pelat Terpaku pada lempung ekspansif oleh Diana (2015), sistem ini cocok untuk mengatasi masalah perkerasan pada tanah ekspansif. Berdasarkan uraian di atas, tampaknya kinerja Sistem Pelat Terpaku ini sangat menjanjikan untuk aplikasi lapangan.

4.2 Batasan Aplikasi Perkerasan Sistem Pelat Terpaku

Batasan jenis tanah

Berdasarkan pengujian dan analisis numerik yang telah dilakukan, perkerasan Sistem Pelat Terpaku ini cocok digunakan pada lempung lunak hingga sangat lunak dengan $CBR < 3\%$ atau $q_u < 50$ kN/m² (Puri, 2015a). Lendutan maksimum pelat akibat beban roda tunggal standar (40 kN) untuk Pelat Terpaku hanya dengan 3 baris tiang adalah lebih kecil dari 1,0 mm. Lendutan ini akan cenderung berkurang dengan semakin panjangnya pelat perkerasan. Di lapangan, sistem ini diaplikasikan untuk perkerasan kaku bertulangan menerus (CRCP). Untuk menjaga agar pelat beton tidak mengalami regangan tarik berlebihan maka lendutan toleransi (δ_a) maksimum 5,0 mm. Sistem ini juga dapat direkomendasikan untuk tanah ekspansif.

Batasan dimensi struktur

Perkerasan Sistem Pelat Terpaku ditujukan untuk 3 hal utama yaitu (Puri, 2015a)

- a. membuat pelat perkerasan tetap kontak dengan tanah, sehingga jungkitan tidak terjadi,
- b. menjaga pelat perkerasan (bila mengalami penurunan) agar penurunannya seragam, sehingga tidak merusak beton dan tetap dapat melayani kendaraan dengan nyaman, dan

- c. agar pelaksanaan konstruksi lebih praktis dibanding Sistem Cakar Ayam dan sistem perkerasan non konvensional lainnya.

Penentuan dimensi Pelat Terpaku skala penuh pada penelitian ini mengacu pada batasan yang diberikan Hardiyatmo (2008). Batasan-batasan struktur diberikan Puri (2015a). Hal tersebut juga didukung hasil studi Puri dan Mildawati (2016). Batasan-batasan struktur tersebut sebagai berikut (Puri, 2015a)

- pelat perkerasan menggunakan beton bertulangan menerus (CRCP) dengan mutu minimum mengikuti standar umum (minimal K350) dan tebal berkisar 12 cm – 25 cm. Adapun dimensi tulangan mengacu peraturan standar perkerasan kaku konvensional yang telah mempertimbangkan pengaruh lebar retak.
- tiang-tiang berbahan beton bertulang dengan mutu beton minimal K250. Dimensi tiang berdiameter 12 cm – 20 cm dan panjang 1,0 m – 2,0 m. Jarak pemasangan 1,0 – 1,5 m.
- adapun jarak ujung tiang terhadap lapis tanah keras dapat tidak terhingga. Oleh karena sistem ini bukanlah metode perbaikan tanah sehingga tidak memperhitungkan pengaruh konsolidasi tanah di bawahnya. Akan tetapi bilamana tanah dasar mengalami penurunan, dan bila perkerasan Sistem Pelat Terpaku ini juga diizinkan mengalami penurunan, maka penurunan pada perkerasannya akan berupa penurunan seragam yang berkurang. Selain itu, beban dominan yang bekerja adalah beban sementara (lalu lintas).
- bilamana bagian ujung pelat perkerasan dilengkapi pelat penutup tepi, maka mutu pelat ini adalah sama dengan pelat perkerasan. Pelat penutup tepi ini menggunakan beton bertulang dengan tebal pelat 10 cm – 12,5 cm dan tingginya 50 cm – 80 cm.

5. METODE PERANCANGAN PRAKTIS

Perancangan praktis menerapkan perencanaan semi-manual yaitu menggunakan modulus reaksi tanah dasar ekuivalen (Puri, 2015a). Metode perancangan praktis diutamakan untuk *preliminary design*. Lendutan dan gaya-gaya dalam dihitung menggunakan teori BoEF. Adapun tahapan perhitungan menggunakan Beam on Elastic Foundation (BoEF) dilakukan sebagai berikut (Puri, 2015a):

- Rencanakan ukuran Pelat Terpaku dan cukup ditinjau satu baris tiang.
- Estimasi nilai modulus reaksi tanah dasar tanah (k) dalam hal tidak tersedia data k uji beban pelat. Desain akan lebih aman bila lantai kerja diabaikan sekalipun pelaksanaannya menggunakan lantai kerja.
- Koreksi nilai modulus reaksi tanah dasar tanah (k) terhadap bentuk dan dimensi pelat pada Pelat Terpaku.
- Tentukan lendutan toleransi perkerasan beton (δ_a), maksimum 5 mm.
- Hitung tambahan modulus reaksi tanah dasar (Δk), dapat dilakukan dengan salah satu cara berikut
 - menggunakan modifikasi Hardiyatmo (Puri, et.al. 2012a) sebagaimana Persamaan (1) dan (2). Metode ini menggunakan faktor aman (SF) sebesar 2,5.

$$\Delta k = \frac{0,4 f_s A_s}{\delta_a A_{ps}} \quad (1)$$

atau untuk lempung lunak

$$\Delta k = \frac{0,4 a_d c_u A_s}{\delta_a A_{ps}} \quad (2)$$

Dimana f_s : tahanan gesek satuan ultimit tiang (kN/m^2), a_d : faktor adhesi (non-dimensional), c_u : kohesi *undrained* (kN/m^2), δ_a : toleransi penurunan (*tolerable settlement*) pelat perkerasan kaku (m), A_s : luas selimut tiang (m^2), A_{ps} :

luas zona pelat yang didukung oleh satu tiang (m^2), $A_{ps} = s^2$, dan s : jarak antar tiang (m).

Nilai faktor adhesi untuk hitungan tahanan friksi ultimit dapat ditentukan menggunakan kurva Tomlinson atau kurva Kerisel pada Grafik McClelland (1974).

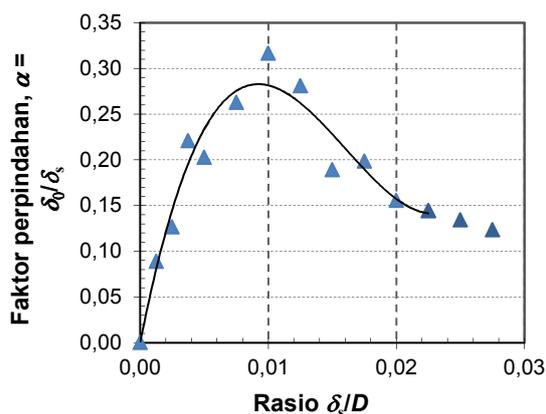
Bila dikehendaki faktor aman selain 2,5 maka Persamaan (2) dapat ditulis sebagai

$$\Delta k = \frac{a_d c_u A_s}{SF \delta_a A_{ps}} \quad (3)$$

- 2) menggunakan formula Hardiyatmo (2011) dan Gambar 13 (Puri, 2017): Tambahan modulus reaksi tanah dasar (Δk) dihitung menggunakan formula Hardiyatmo (Persamaan (4)) yang telah disesuaikan, sedangkan faktor perpindahan α (rasio δ_0/δ_s) ditentukan menggunakan Gambar 14 yang berlaku untuk semua posisi beban.

$$\Delta k' = \frac{\alpha A_s}{\delta_s s^2} (a_d c_u + p_0 K_d \tan \varphi_d) \quad (4)$$

Untuk rasio $\delta_s/D \geq 0,03$ maka α diambil konstan sebesar 0,1.



Gambar 14. Hubungan faktor perpindahan ($\alpha = \delta_0/\delta_s$) terhadap rasio δ_s/D untuk penentuan tambahan modulus reaksi tanah dasar Pelat Terpaku (Puri, 2017).

- f. Selanjutnya hitung modulus reaksi tanah dasar ekuivalen (k'). Khusus untuk beban di tepi dikali dengan faktor penyesuaian antara 1,0 sampai dengan 2,0.

$$k' = k + \Delta k \quad (5)$$

- g. Hitung lendutan pelat dan gaya dalam dengan menggunakan modulus reaksi tanah dasar ekuivalen. Defleksi dan gaya dalam pelat dihitung menggunakan teori BoEF.
- h. Bandingkan lendutan maksimum pada titik beban dengan lendutan toleransi. Desain yang baik bilamana defleksi hitungan tidak melebihi lendutan toleransi yang telah ditentukan ($\delta_{smaks} < \delta_a$).
- i. Rencanakan penulangan pelat.
- j. Buat gambar rencana.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian sebelumnya, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut

1. Perkerasan kaku Sistem Pelat Terpaku mempunyai kinerja yang baik terhadap beban tekan. Sistem memberikan respon lendutan yang masih elastik-linier. Kekakuan sistem ini sebagaimana terlihat pada lendutan yang kecil sekitar 4,35 mm untuk beban di tepi ($P = 80 \text{ kN} \approx 2 \times \text{single wheel load}$).
2. Kinerja yang baik juga ditunjukkan sistem ini terhadap gaya angkat, terutama akibat tekanan pengembangan (*swelling pressures*) tanah ekspansif.
3. Sistem ini mempunyai ketahanan yang lebih tinggi terhadap vibrasi. Secara umum lendutan permanen yang diakibatkan beban repetitif cenderung lebih kecil dibanding lendutan akibat beban monotonik.
4. Tampaknya kinerja Sistem Pelat Terpaku ini sangat menjanjikan untuk aplikasi lapangan.
5. Metode perancangan praktis sudah diberikan.

Oleh karena itu perlu dilakukan *field trial* pada suatu ruas jalan dengan kondisi tanah lempung lunak atau ekspansif. Pada kondisi yang sebenarnya, pelat terpaku yang difungsikan sebagai perkerasan jalan akan mempunyai luasan yang lebih besar, sehingga keberadaan tiang-tiang sebagai pengaku akan semakin banyak ke segala arah. Maka kinerjanya terkait kapasitas dukung dan reduksi lendutan pelat akan lebih baik lagi.

REFERENSI

- Dewi, D.A., 2009, Kajian Pengaruh Tiang Tunggal Terhadap Nilai Koefisien Reaksi Subgrade Ekuivalen pada Uji Beban Skala Penuh, *Tesis*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Diana, W., 2015, Small-scale experimental investigation on the behaviour of nailed slab system in expansive soil, *Proceedings of the 1st International Conference on Science and Technology 2015 (ICST-2015)*, 11–13 November, Yogyakarta, Indonesia.
- Hardiyatmo, H.C., 2008, Sistem "Pelat Terpaku" (*Nailed Slab*) Untuk Perkuatan Pelat Beton Pada Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*), *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Tepat Guna dalam Penanganan Sarana-prasarana*, MPSP JTSL FT UGM., pp. M-1—M-7.
- Hardiyatmo, H.C., 2009, Metode Hitungan Lendutan Pelat dengan Menggunakan Modulus Reaksi Tanah Dasar Ekuivalen untuk Struktur Pelat Fleksibel, *Dinamika Teknik Sipil*, Vol.9 No.2, pp. 149-154.
- Hardiyatmo, H.C., 2011a, Method to Analyze the Deflection of the Nailed-slab System, *International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCE-IJENS*, Vol. 11 No. 4, pp. 22-28.
- Hardiyatmo, H.C., 2011b, *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah: perkerasan aspal, perkerasan beton, Sistem Cakar Ayam Modifikasi, Sistem Pelat Terpaku*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, Indonesia.
- Hardiyatmo, H.C., dan Suhendro, B., 2003, Fondasi Tiang dengan *Pile Cap* Tipis sebagai Alternatif untuk Mengatasi Problem Penurunan Bangunan di Atas Tanah Lunak, *Laporan Komprehensif Penelitian Hibah Bersaing IX Perguruan Tinggi*, Tahun Anggaran 2001-2003, Lembaga Penelitian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Nasibu, R., 2009, Kajian Modulus Reaksi Tanah Dasar Akibat Pengaruh Tiang (Uji Beban pada Skala Penuh, *Tesis*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Puri, A., 2015a, Perilaku Perkerasan Kaku Sistem Pelat Terpaku pada Lempung Lunak, *Disertasi*, Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia.
- Puri, A., 2015b, Studi Parametrik Jalan Beton Sistem Pelat Terpaku pada Tanah Dasar Lunak, *Proc. The 1st Annual Civil Engineering Seminar (ACES)*, Fakultas Teknik Universitas Riau, 22 November, pp.305-313.
- Puri, A., 2016, Behavior of Uplift Resistance of Single Pile Row Nailed-slab Pavement System on Soft Clay Sub Grade, *Proc. The 3rd Asia Future Conference (AFC)*, Kitakyushu, Japan, 29 Sept-3 Oct. 2016.
- Puri, A., 2017, Developing the Curve of Displacement Factor for Determination The Additional Modulus of Sub Grade Reaction on Nailed-slab Pavement System, *International Journal of Technology, Vol. 1*, pp. 122-131. ISSN 2086-9614.
- Puri, A., dan Mildawati, R., 2016, Validasi Metode Perencanaan Sistem Pelat Terpaku pada Lempung Lunak Menggunakan Metode Elemen Hingga, *Laporan Akhir Penelitian Hibah Bersaing*, Lembaga Penelitian Universitas Islam Riau, Pekanbaru.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2011a, Studi Eksperimental Lendutan Pelat yang Diperkuat dengan Tiang-tiang Friksi Pendek pada Lempung Lunak, *Proc. of 14th Annual Scientific Meeting (PIT) HATTI*, HATTI, Yogyakarta, 10-11 Februari, pp. 317-321.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2011b, Kontribusi Koperan dalam Mereduksi Lendutan Sistem Pelat Terpaku pada Lempung Lunak, *Proc. of 9th Indonesian Geotech. Conf. and 15th Annual Scientific Meeting (KOGEI IX & PIT XV) HATTI*, HATTI, Jakarta, 7-8 Desember 2011, pp. 299-306.

- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., and Rifa'i, A., 2012a, Determining Additional Modulus of Subgrade Reaction Based on Tolerable Settlement for the Nailed-slab System Resting on Soft Clay, *Intrnl. Journal of Civil and Environmental Eng. (JCEE-IJENS)*, Vol. 12 No. 3, pp. 32-40. www.ijens.org/Vol_12_I_03/129903-8585-IJCEE-IJENS.pdf.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., and Rifa'i, A., 2012b, Application of The Additional Modulus of Subgrade Reaction to Predict The Deflection of Nailed-slab System Resting on Soft Clay Due to Repetitive Loadings, *Proc. of 16th Annual Scientific Meeting (PIT) HATTI*, Jakarta, 4 December, pp. 217-222.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., and Rifa'i, A., 2013a, Pile Spacing and Length Effects Due To the Additional Modulus of Subgrade Reaction of the Nailed-Slab System on the Soft Clay, *Proc. of 13th International Symposium on Quality in Research (QiR)*, Yogyakarta, 25-28 June, pp. 1032-1310.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., and Rifa'i, A., 2013b, Deflection Analysis of Nailed-slab System which Reinforced by Vertical Wall Barrier under Repetitive Loading, *Proc. the 6th Civil Engineering Conference in Asian Region (CECAR6)*, Jakarta, 20-22 August, pp. TS6-10—TS6-11.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2013c, Application of Method of Nailed-slab Deflection Analysis on Full Scale Model and Comparison to Loading Test, *Proc. the 7th National Conference of Civil Engineering (KoNTekS7)*, Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta, 24-26 October 2013, pp. G201-G211,
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2013d, Behavior of Full Scale Nailed-slab System with Variation on Load Positions, *1st International Conference on Infrastructures Development (ICID)*, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Solo, 1-3 November 2013, pp. 26-36.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2014, Behavior of Nailed-slab System on Soft Clay Due to Repetitive Loadings by Conducting Full Scale Test, *IJCEE-IJENS*, Vol. 14 No. 06, pp. 24-30.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2015a, Pull out Test of Single Pile Row Nailed-slab System on Soft Clay, *Proc. The 14th International Conference on Quality in Research (QiR)*, Universitas Indonesia, Lombok, 10-13 August, pp. 63-68.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2016a, Differential Deflection of Rigid Pavement of 1-Pile Row Nailed-Slab System on Soft Clay Sub Grade Due To Repetitive Loadings, *Proc. The 1st International Conference on Technology, Innovation, and Society (ICTIS)*, Padang, 20th -21st July 2016, pp. 377-388.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2016b, Effects of Vertical Wall Barrier Due To Rigid Pavement Deflection of Full Scale 1-Pile Row Nailed-Slab System on Soft Sub Grade By Compression Loadings, *Accepted in International Journal on Geotechnique, Construction Materials and Environment (GEOMATE)*.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., Rifa'i, A., dan Khatib, A., 2015b, Validasi Metode Analisis Lendutan Perkerasan Sistem Pelat Terpaku pada Model Skala Penuh Dengan Satu Baris Tiang, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XIX dan Konferensi Geoteknik Indonesia X*, Jakarta, 24-25 November 2015, pp. 453-464.
- Taa, P.D.S., 2010, Pengaruh Pemasangan Kelompok Tiang Terhadap Kenaikan Pelat dalam Sistem Nailed-Slab yang Terletak di Atas Tanah Dasar Ekspansif, *Tesis*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Somantri, A.K., 2013, Kajian Lendutan Sistem Pelat Terpaku pada Tanah Pasir dengan Menggunakan Metode Beam on Elastic Foundation dan Metode Elemen Hingga, *Tesis*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta, Indonesia.



Sertifikat

diberikan kepada

ANAS PURI

Atas partisipasinya sebagai:

PEMAKALAH

dalam KONFERENSI NASIONAL TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

“Inovasi Teknologi *Smart Building* dan *Green Construction* untuk Pembangunan yang Berkelanjutan”

yang diselenggarakan oleh Program Studi Teknik Sipil dan
Program Magister Teknik Sipil Universitas Islam Riau
di Aula Pascasarjana Universitas Islam Riau

Kamis, 9 Pebruari 2017



Prof. Dr. H. Detri Karya, S.E., M.A.
Rektor Universitas Islam Riau



Deddy Purnomo Retno, S.T., M.T.
Ketua Prog. Studi Teknik Sipil

KN-TSP
Konferensi Nasional Teknik Sipil & Perencanaan
UNIVERSITAS ISLAM RIAU

Dr. Anas Puri, S.T., M.T.
Ketua Panitia/Ketua Prog. Magister Teknik Sipil