

UJI BEBAN HORIZONTAL PERKERASAN JALAN SISTEM PELAT TERPAKU TIANG TUNGGAL PADA LEMPUNG LUNAK

Anas Puri

*Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau, Pekanbaru, Indonesia
Email: anaspuri@eng.uir.ac.id*

ABSTRAK

Perkerasan kaku tidak hanya menerima beban searah gravitasi akibat tekanan roda kendaraan dan beban temperatur, namun juga beban horizontal akibat pengereman. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui perilaku perkerasan kaku Sistem Pelat Terpaku akibat beban horizontal. Ditinjau Pelat Terpaku tiang tunggal dengan skala model 1 : 1 pada lempung lunak. Dimensi pelat adalah 120 cm x 120 cm x 15 cm dan di bawahnya dipasang tiang tunggal berdiameter 15 cm dengan panjang 150 cm. Di bawah pelat juga diberi lantai kerja setebal 5 cm. Hubungan pelat dan tiang dibuat monolit dan diperkuat pelat penebalan berukuran 40 cm x 40 cm x 20 cm. Beban horizontal diberikan di tengah pelat dan diamati deformasi lateral pelat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Pelat Terpaku tiang tunggal berperilaku linier elastik hingga beban 10,4 kN. Adapun defleksi lateral pada beban tersebut sebesar 0,52 mm. Perilaku plastik mulai terbentuk di atas beban 10,4 kN yang diiringi kecepatan peningkatan defleksi lateral pelat.

Kata kunci: *gaya rem, defleksi lateral, perilaku elastik*

HORIZONTAL LOADING TEST ON SINGLE PILE NAILED-SLAB PAVEMENT SYSTEM ON SOFT CLAY

ABSTRACT

Rigid pavement is not only loaded by gravity loads from wheel pressure and temperature, also by horizontally load related to braking forces. This research is aimed to learn the behaviour of Nailed-slab Pavement System due to horizontal load. The 1 : 1 model of single pile Nailed-slab was considered on soft clay. The slab dimension was 120 cm x 120 cm x 15 cm and a pile with diameter 20 cm and length 150 cm was installed under the slab. There was 5 cm lean concrete under the slab. Pile and slab was connected monolithically and improved by thickening slab 40 cm x 40 cm x 20 cm. Slab deflections were observed for each horizontal loads. Results show that the single pile Nailed-slab has a linear elastic behaviour until load 10.4 kN. Lateral deflection for this load was 0.52 mm. Plastic behaviour was developed after load 10.4 kN which indicated by increasing in the lateral deflection of slab.

Keywords: *braking force, lateral deflection, elastic behaviour*

1 PENDAHULUAN

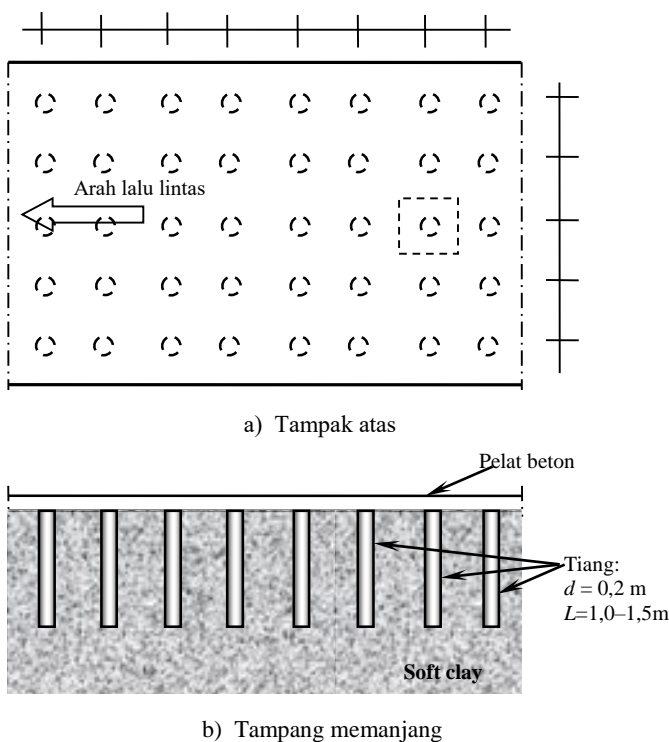
Perkerasan kaku menerima beban berat sendiri, beban lalu lintas dan beban akibat pengaruh lingkungan seperti beban temperatur. Umumnya beban lalu lintas adalah beban tekanan roda kendaraan searah gravitasi. Namun pada kondisi tertentu juga bekerja beban lalu lintas berupa gaya pengereman yang menimbulkan beban horizontal pada pekerasan.

Guna meningkatkan kinerja perkerasan kaku pada tanah dasar (*subgrade*) lunak, telah dikembangkan suatu sistem perkerasan jalan yang disebut Sistem Pelat Terpaku. Hal ini berawal dari studi analitis yang dilakukan oleh Hardiyatmo (2008) dengan penggunaan tiang-tiang pendek pada perkerasan kaku. Sistem Pelat Terpaku bukan merupakan metode perbaikan tanah melainkan suatu metode meningkatkan kinerja perkerasan kaku pada tanah lunak (Puri, et al., 2014). Studi yang telah dilakukan pada Sistem Pelat Terpaku meliputi studi analitis (Hardiyatmo, 2009, 2011; Puri, et al., 2013c; Puri, 2015b; Puri dan Mildawati, 2019) dan studi eksperimental skala kecil (Taa, 2010; Puri, et al., 2011a, 2011b, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b; Somantri, 2013) serta skala penuh/ *prototype*. 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., 2015b, 2016a, 2016b; Puri, 2015a) serta Pelat Terpaku dengan 3 baris tiang (Puri, et al., 2013c, 2013d, 2014, 2016, 2017). Beban uji yang telah diberikan adalah beban statis tekan. Adapun untuk beban cabut telah dilakukan oleh Puri, et al., (2015a) dan Puri (2016).

Penelitian ini akan membahas hasil uji beban horizontal Pelat Terpaku guna mempelajari perilakunya akibat beban horizontal. Di sini ditinjau Pelat Terpaku tiang tunggal pada lempung lunak.

2 PERKERASAN KAKU SISTEM PELAT TERPAKU

Sistem Pelat Terpaku (*Nailed-Slab System*) diusulkan oleh Hary Cristady Hardiyatmo (2008) adalah suatu perkerasan beton bertulang (tebal antara 12 – 20 cm) yang didukung oleh tiang-tiang beton mini (panjang 150–200 cm dan diameter 15–20 cm). Tiang-tiang dan pelat beton dihubungkan secara monolit dengan bantuan tulangan-tulangan. Hubungan antara pelat beton-tiang tanah di sekitarnya menciptakan suatu perkerasan yang lebih kaku, yang lebih tahan terhadap perubahan perilaku tanah. Tipikal perkerasan jalan Sistem Pelat Terpaku diberikan pada Gambar 1. 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.



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

Analisa beban horizontal yang bekerja pada perkerasan jalan berupa gaya rem dari jenis kendaraan dapat dilakukan menggunakan persamaan energi kinetik. Energi kinetik adalah energi yang dimiliki benda karena geraknya, ketika suatu benda melakukan usaha karena geraknya, benda itu dikatakan memiliki energi kinetik. Persamaan energi kinetik yang dimiliki benda bergerak dituliskan sebagai (Raharja, dkk, 2014):

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (1)$$

Dimana E_k : energi kinetik, m : massa kendaraan (kg), v : kecepatan kendaraan (m/s). Selanjutnya menentukan besar gaya rem yang dihasilkan dari kendaraan sebagaimana Persamaan (2) (Raharja, dkk, 2014). Gaya rem tersebut dianggap bekerja di permukaan pelat perkerasan.

$$F = \frac{w}{s} \quad (2)$$

Dimana F : gaya rem (kN), w : usaha yang didapat dari perhitungan energi kinetik, s : perpindahan atau jarak aman kendaraan (m).

3 METODE

Penjelasan rinci tentang kolam uji, material penelitian, dan persiapan tanah telah diberikan pada publikasi terdahulu (Puri, et.al., 2013d, 2014). Berikut ini diuraikan kembali secara ringkas.

3.1 Kolam tanah dan bahan-bahan

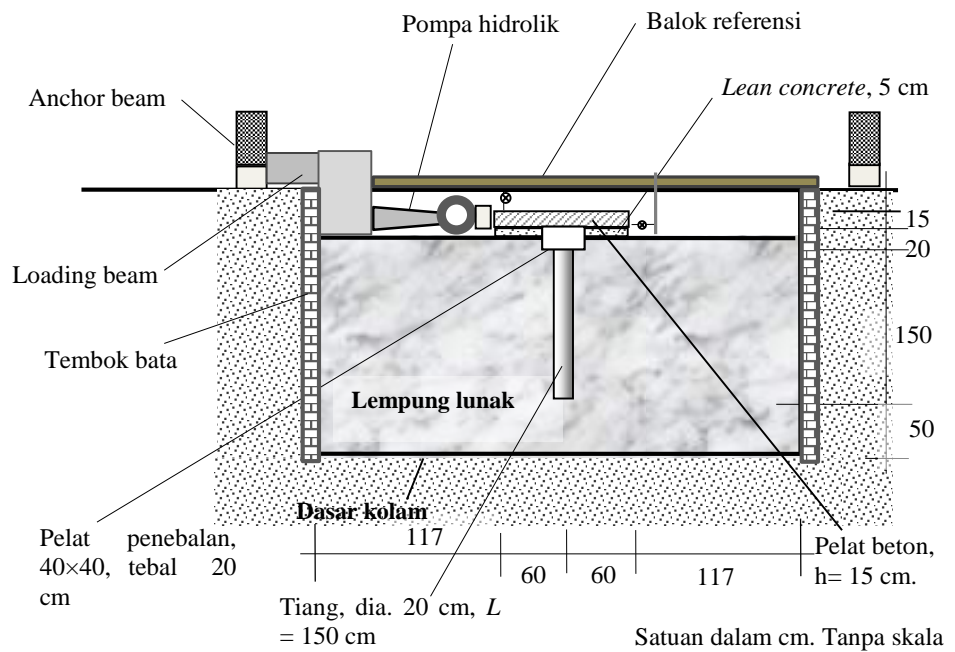
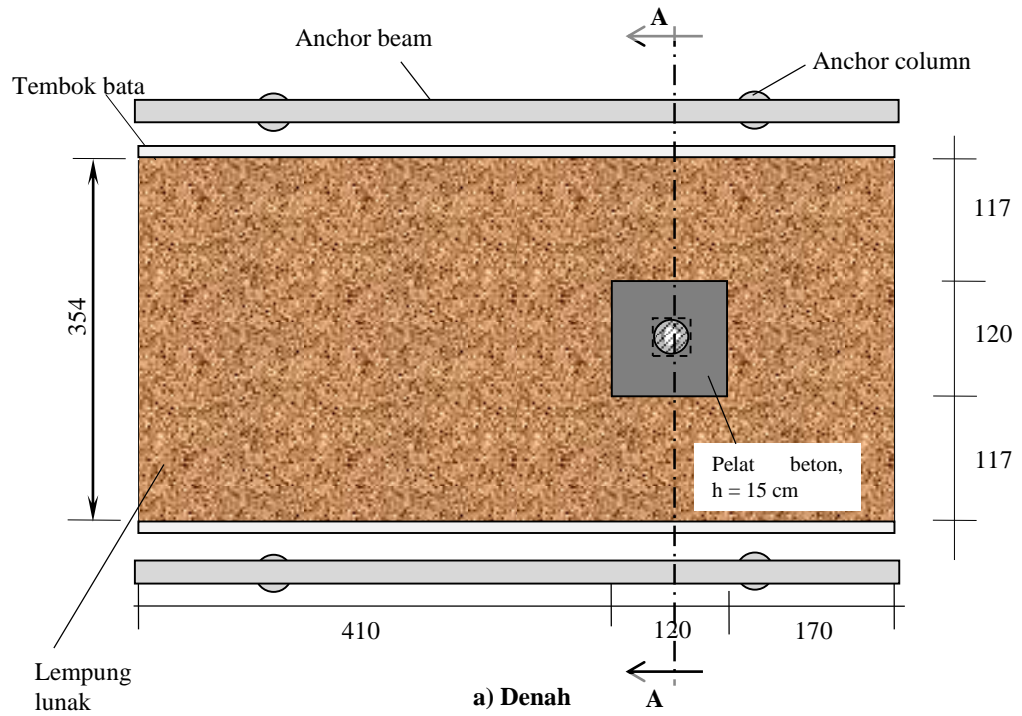
Pelat Terpaku tiang tunggal dibangun pada lempung lunak yang berada di dalam sebuah kolam tanah berukuran 600 cm x 370 cm x 250 cm. Kolam tersebut dibuat dengan cara menggali tanah *existing* hingga kedalaman 250 cm. Kedua sisi panjang kolam diperkuat dengan dinding batako dan didukung dengan balok penopang 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 215 cm. Adapun sifat-sifat lempung lunak diberikan pada Puri, et al. (2013d) dimana kohesi undrained, $c_u = 20,14 \text{ kN/m}^2$ dengan kadar air 54,87% dan CBR = 0,83%. Pelat dan tiang dibuat dari beton bertulang. Tulangan pelat adalah 2 lapis 2 arah berupa *wire mesh* D8-150, sedangkan tulangan tiang adalah 6D8 dan tulangan geser D6-120. Kuat tekan karakteristik beton pelat dan tiang masing-masing 29,2 MPa dan 17,4 MPa.

3.2 Ukuran Pelat Terpaku

Model skala penuh Pelat Terpaku tiang tunggal yang dibangun berukuran 120 cm x 120 cm, dengan ketebalan pelat 15 cm. Pelat diperkaku dengan memasang tiang mikro di bawahnya. Ukuran tiang mikro adalah diameter 20 cm dan panjang 150 cm. Tiang yang dipasang di bawah pelat terhubung secara monolit menggunakan pelat penebalan (40 cm x 40 cm dengan tebal 20 cm). Di bawah pelat juga dipasang lantai kerja ketebalan 5 cm. Konfigurasi Pelat Terpaku diberikan pada Gambar 2.

3.3 Prosedur Pengujian

Tahapan konstruksi Pelat Terpaku skala penuh dijelaskan secara ringkas sebagai berikut: pemancangan tiang beton dengan metode pre-drilled, penggalan tanah untuk pelat penebalan, pemasangan bekisting dan cor lantai kerja, pemasangan tulangan pelat penebalan dan pelat, pengecoran pelat, perawatan pelat dan tanah yang ditutup dengan karpet basah, setelah beton berumur 28 hari dilakukan pemasangan instrumentasi dan uji pembebanan dan pengamatan *displacement* pelat. Beban disalurkan menggunakan dongkrak hidrolik. Pengujian tidak mencapai kondisi runtuh, kecuali mencapai awal zona plastis. Beban monotonik diberikan secara bertahap mengacu pada ASTM 1143-81 R94 *quick load test method*. Foto pelaksanaan diperlihatkan pada Gambar 3.



b) Potongan A-A dan peralatan uji wquipment

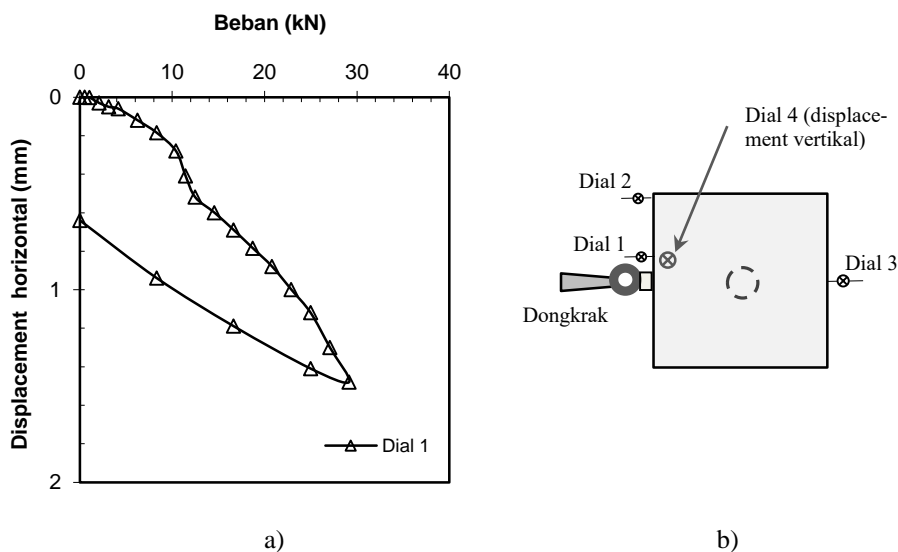
Gambar 2. Schematic diagram uji Pelat Terpaku tiang tunggal skala penuh



Gambar 3. Foto pelaksanaan uji

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji beban horizontal pada Pelat Terpaku tiang tunggal disajikan pada Gambar 4. *Displacement* yang diamati terdiri *displacement* horizontal dan vertikal. *Displacement* horizontal yang diukur adalah pada titik beban (dial 1 pada Gambar 4b), dan dial kontrol untuk *displacement* horizontal pada dial 2 dan dial 3, sedang dial kontrol untuk *displacement* vertikal pada dial 4. Hasil bacaan pada dial 4 tidak disajikan, namun pengamatan menunjukkan pelat tidak mengalami penurunan maupun jungkitan.



Gambar 4. Hasil uji beban lateral a) Hubungan beban dan *displacement* horizontal b) Penempatan dialgauge

Uji dilakukan hingga beban maksimum 29,1 kN dimana kurva mulai masuk zona plastis. Defleksi lateral (*displacement* horizontal) maksimum pada beban tersebut sebesar 1,48 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Pelat Terpaku tiang tunggal berperilaku linier elastik hingga beban 10,4 kN dengan defleksi 0,52 mm. Perilaku plastik mulai terbentuk di atas beban 10,4 kN yang diiringi dengan peningkatan kecepatan defleksi lateral pelat.

Di lapangan, kemampuan Sistem Pelat Terpaku dalam menahan beban horizontal akibat pengereman akan lebih besar oleh karena semakin banyaknya jumlah yang terpasang.

5 KESIMPULAN

Mengacu pada hasil uji dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa Pelat Terpaku tiang tunggal mempunyai kemampuan menahan beban horizontal yang memadai. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Pelat Terpaku tiang tunggal berperilaku linier elastik hingga beban 10,4 kN dengan defleksi lateral sebesar 0,52 mm. Kemampuan Sistem Pelat Terpaku dalam menahan beban horizontal akibat pengereman di lapangan akan lebih besar oleh karena semakin banyaknya jumlah yang terpasang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Laboratorium Mekanika Tanah, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada sebagai tempat pelaksanaan uji dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Islam Riau atas dukungan finansial.

DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- 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.
- 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, *accepted in International Journal of Technology*.
- Puri, A., dan Mildawati, R., 2019, Studi Parametrik Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Terhadap Variasi Dimensi Struktur, *Jurnal Bentang*, Vol. 7 No. 1, pp. 1-7.
- Puri, A., Hardiyatmo, C. H., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2011a. Studi Eksperimental Lendutan Pelat yang Diperkuat dengan Tiang-tiang Frikksi 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, *Submitted 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.