

Investigasi Numerik Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku terhadap Variasi Dimensi Struktur

Anas Puri^{1,*}, Roza Mildawati²

¹ Program Studi Teknik Sipil; Universitas Islam Riau; Jl. Kaharuddin Nasution 113 Pekanbaru;
e-mail: anaspuri@eng.uir.ac.id.

² Program Studi Teknik Sipil; Universitas Islam Riau; Jl. Kaharuddin Nasution 113 Pekanbaru;
e-mail: rozamildawati@eng.uir.ac.id

* Korespondensi: e-mail: anaspuri@eng.uir.ac.id

ABSTRAK

Sebuah inovasi dalam teknik perkerasan kaku dikembangkan dengan menggunakan Sistem Perkerasan Pelat Terpaku. Dalam hal ini, perkerasan kaku diperkuat dengan tiang-tiang mikro yang pendek di bawah pelat perkerasan guna meningkatkan kinerja perkerasan di atas tanah dasar lunak. Makalah ini menyajikan diskusi hasil analisis numerik menggunakan metode elemen hingga 3D. Diameter dan panjang tiang serta tebal pelat divariasikan secara terpisah. Sifat-sifat bahan yang digunakan merujuk pada Puri, dkk. (2015b). Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi dimensi elemen struktur mempengaruhi lendutan pelat. Lendutan cenderung berkurang dengan peningkatan diameter dan panjang tiang, serta tebal pelat. Hal ini disebabkan terjadi peningkatan kekakuan global dari sistem Pelat Terpaku.

Kata kunci: perkerasan kaku, sistem Pelat Terpaku, lempung lunak, lendutan pelat, tiang pancang mikro.

ABSTRACT

An innovation in rigid pavement engineering was developed by using Nailed-slab Pavement System. In this case, the rigid pavement is reinforced by short micro piles underneath to increase the performance of pavement on soft subgrade. In this paper, numerical analysis results will be discussed. The analysis was done by using 3D finite element method. The diameter and length of piles were varied separately, including the slab thickness. The used materials properties were referred to Puri, et.al. (2015b). Results show that the variation in structural element dimensions influences the slab deflections. Slab deflections tend to decrease by increasing the diameter and length of piles, also by increasing the slab thickness. Its were caused by increasing the stiffness of the Nailed-slab System.

Keywords: rigid pavement, Nailed-slab System, soft clay, slab deflection, micro piles.

1. PENDAHULUAN

Sistem Pelat Terpaku merupakan inovasi pada sistem perkerasan kaku, dan bukan merupakan perbaikan tanah (Puri, 2015a). Sistem Pelat Terpaku menghasilkan suatu sistem komposit (*composite system*) yang diperoleh melalui interaksi tanah-struktur dari komponen pelat beton bertulang, tiang-tiang, dan tanah di antara tiang. Beberapa kajian telah dilakukan antara lain oleh Hardiyatmo (2008) pada beban dinamik, dan pada beban vertikal oleh Hardiyatmo (2009; 2011), Nasibu (2009), Dewi (2009), Taa (2010), Puri, dkk. (2011a, 2011b, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b, 2013c, 2013d, 2014), dan Puri (2015a, 2017). Adapun beban cabut telah diuji oleh Puri, dkk. (2015a). Puri, dkk. (2013a) melakukan analisis model Palat Terpaku satu baris tiang menggunakan elemen hingga 2D. Puri, dkk. (2015b) melakukan analisis elemen hingga 3D solid pada prototipe Pelat Terpaku satu baris tiang untuk beban tekan, sedangkan untuk beban cabut dilakukan oleh Puri (2016). Hasil analisis elemen hingga 3D menggunakan *software* aplikasi Plaxis 3D memberikan hasil yang cukup memuaskan, walaupun perangkat lunak tersebut belum dapat memodelkan dinding penahan vertikal (*vertical wall barrier*) dengan baik (Puri, dkk.,

Terpaku berada pada lempung lunak yang terdapat di dalam bak uji berukuran 7,00 m x 3,54 m x 2,50 m. CBR sebesar 0,83% juga membuktikan bahwa kuat dukung tanah sangat rendah. Tanah lempung ini termasuk lempung gemuk dengan indeks plastisitas 60% dan batas cair 88%. Adapun beton pelat mempunyai f_c' sebesar 29,21 MPa dan beton tiang $f_c' = 17,4$ MPa. Untuk lantai kerja dengan campuran 1PC : 3PS : 5KR diasumsikan mempunyai mutu $f_c' = 14,5$ MPa. Modulus elastisitas beton ditentukan dengan pendekatan umum sebesar $4.700\sqrt{f_c'}$.

Tiang yang digunakan berdiamater 0,20 m dan panjang 1,50 m. Di antara pelat dan tiang diberikan pelat penebalan setebal 0,20 m. Pelat perkerasan mempunyai tebal 0,15 m dengan ukuran panjang dan lebar yaitu 6,00 m dan 1,20 m. Di kedua bagian ujung pelat dipasang pelat penutup tepi/ dinding penahan vertikal (*vertical wall barrier*) dengan tinggi 0,50 m dan tebal 0,125 m. Uji ini diperoleh dengan cara memotong pelat uji sebelumnya yaitu 600 cm x 354 cm x 15 cm pada arah memanjang sehingga menjadi 3 bagian (masing-masing terdiri atas 1 baris tiang). Bagian tengah diperoleh pelat berukuran 600 cm x 120 cm x 15 cm dengan satu baris tiang di bawahnya. Pengaruh proses pemotongan diabaikan. Seluruh tiang yang dipasang di bawah pelat terhubung secara monolit menggunakan pelat penebalan (0,40 m x 0,40 m dengan tebal 0,20 m). Masing-masing kedua ujung pelat dilengkapi pelat penutup tepi. Di bawah pelat juga dipasang lantai kerja dengan ketebalan 0,05 m. Model skala penuh ini merepresentasikan seksi perkerasan kaku dengan 1 baris tiang. Pelat tersebut dibebani di A (tengah pelat) dan C (di tepi pelat-segaris dengan baris tiang) dengan beban statik monotonik.

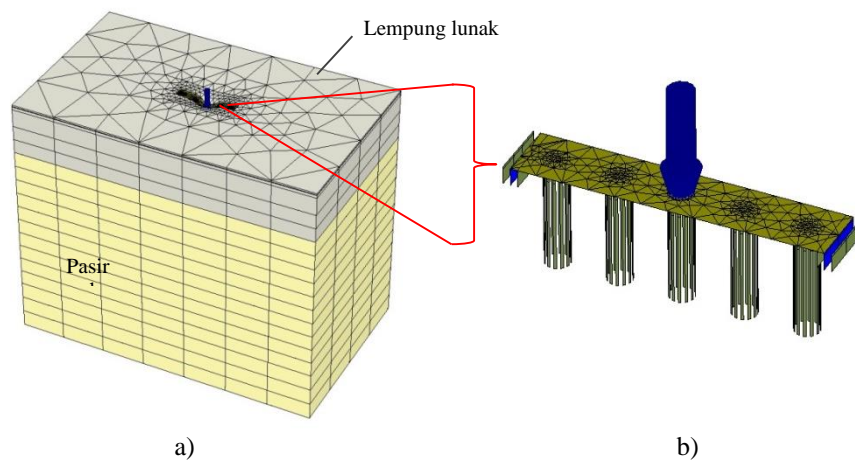
Model tanah dan elemen struktur mengacu pada Puri, dkk. (2015b). Lempung menggunakan model *soft soil* dan elemen struktur menggunakan model elastis linier. Model dan parameter tanah pada analisis 3D diberikan pada Tabel 1, sedangkan model dan parameter elemen struktur menggunakan model material solid diberikan pada Tabel 2. Namun pada kajian ini, *boundary* bak uji dilepas ke arah mendatar, sedangkan ke arah vertikal diambil tebal lempung lunak sebesar 5,00 m dan di bawah lempung terdapat lapisan pasir sedang (Gambar 2a). Gambar 2b memperlihatkan model Pelat Terpaku menerima beban vertikal sentris di titik A. Sesuai dengan Puri (2015a, 2016a), dan Puri, dkk. (2015b), pelat penebalan diabaikan oleh karena tidak dapat diakomodir oleh *software*.

Tabel 1. Model dan parameter tanah pada analisis 3D

Parameter	Nama/ Notasi	Lempung Lunak	Pasir	Satuan
Model material	Model	Softsoil2	Mohr-Coulomb	-
Perilaku material	Tipe	<i>Undrained</i>	<i>Drained</i>	-
Berat volume terendam	γ_{sat}	16,30	20,00	kN/m ³
Berat volume kering	γ_d	10,90	18,00	kN/m ³
Modulus Young's	E	1.790,00	42.750,00	kPa
	E_{oed}^{ref}	833,68	-	-
Rasio Poisson's	ν	0,45	0,35	-
Kohesi <i>undrained</i>	c_u	20,00	1,00	kPa
Sudut gesek internal	ϕ	1,00	47,80	°
Sudut dilatansi	ψ	0,00	2,00	°
Indeks kompresi modifikasi	λ^*	0,12	-	-
Swelling indeks modifikasi	κ^*	0,024	-	-
Kadar pori awal	e_0	1,20	0,50	-
Interface strength ratio	R	0,80	0,70	-

Tabel 2. Model dan parameter elemen struktur pada MEH 3D solid

Parameter	Nama/ simbol	Tiang	Pelat	Pelat Penutup Tepi	Lantai Kerja	Satuan
Model material	Model	<i>Solid</i>	<i>Floor</i>	<i>Walls</i>	<i>Solid</i>	-
Tipe perilaku material	Tipe	Linier elastik	Linier elastik	Linier elastik	Linier elastik	-
Tebal (diameter)	d	0,20	0,15	0,15	0,05	m
Berat volume	γ	24	24	24	22	kN/m ³
Modulus Young	E	$1,96 \times 10^7$	$2,53 \times 10^7$	$2,53 \times 10^7$	$1,79 \times 10^7$	kN/m ²
Modulus geser	G	$8,8 \times 10^6$	$1,1 \times 10^7$	$1,1 \times 10^7$	$5,42 \times 10^6$	kN/m ²
Rasio Poisson	ν	0,15	0,15	0,15	0,20	

Gambar 2. Model pada analisis elemen hingga 3D; a) *Boundary*, b) Model Pelat Terpaku satu baris tiang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Variasi Dimensi Tiang

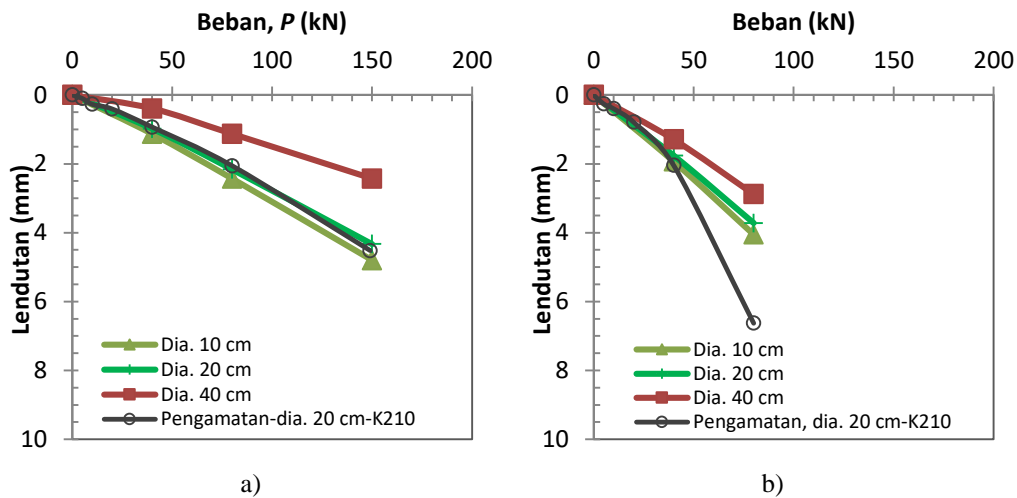
Tinjauan terhadap variasi dimensi tiang dilakukan dengan memvariasikan diameter dan panjang tiang secara terpisah. Hasil-hasil analisis variasi dimensi tiang terhadap perilaku lendutan sebagaimana berikut ini.

3.1.1 Pengaruh variasi diameter tiang

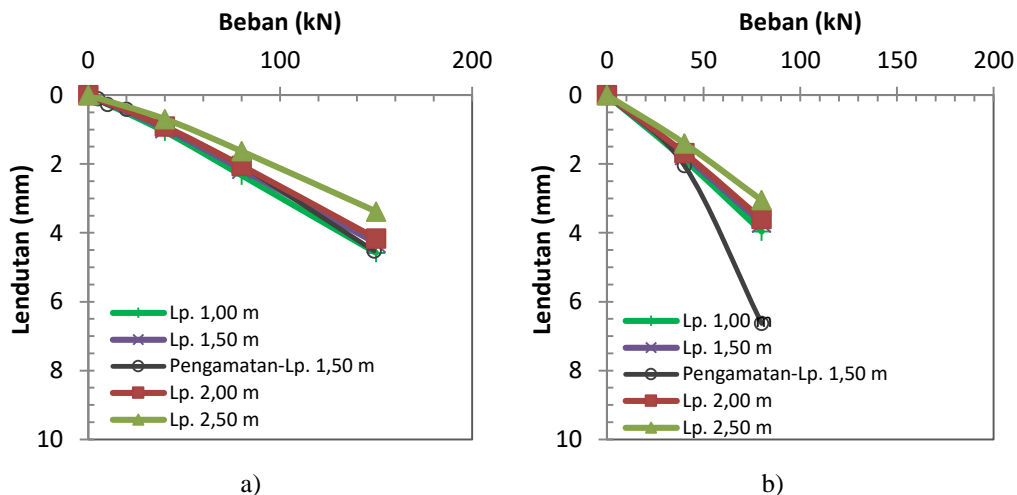
Gambar 3 memperlihatkan pengaruh diameter tiang terhadap lendutan masing-masing akibat beban sentris dan beban di tepi. Terlihat bahwa semakin besar diameter tiang maka lendutan semakin berkurang, baik untuk beban sentris maupun beban di tepi. Peningkatan diameter tiang meningkatkan kuat dukung tiang sehingga menaikkan kemampuan sistem dalam memikul beban, sehingga lendutan pelat menjadi berkurang.

3.1.2 Pengaruh variasi panjang tiang

Gambar 4 memperlihatkan pengaruh panjang tiang terhadap lendutan. Terlihat bahwa semakin besar panjang tiang maka lendutan semakin berkurang, baik untuk beban sentris maupun beban di tepi. Hal ini bersesuaian dengan hasil uji model (Puri, 2015a). Peningkatan panjang tiang juga meningkatkan kuat dukungnya, sehingga kemampuan sistem dalam memikul beban menjadi bertambah, sebagaimana terlihat lendutan pelat menjadi berkurang.



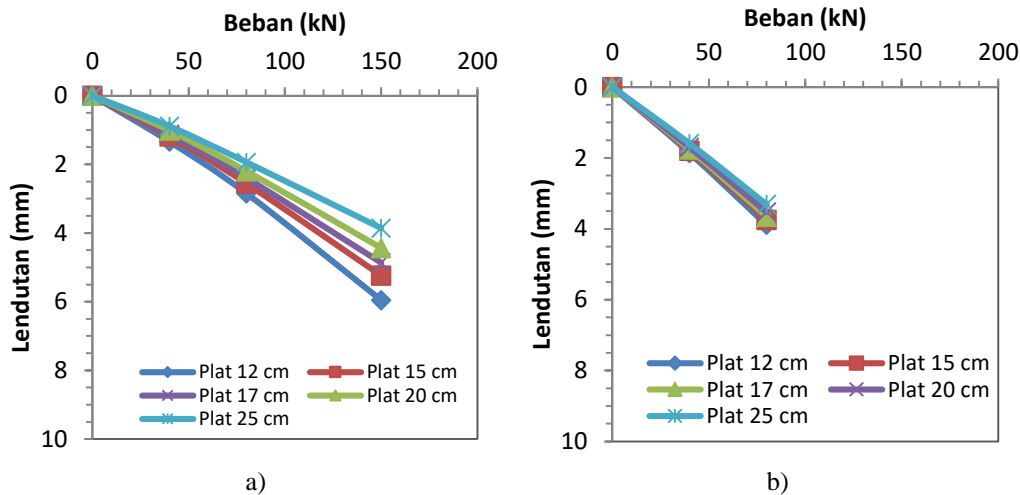
Gambar 3. Pengaruh diameter tiang terhadap lendutan; a) Akibat beban sentris, b) Akibat beban di tepi.



Gambar 4. Pengaruh panjang tiang terhadap lendutan; a) Akibat beban sentris, b) Akibat beban di tepi.

3.2 Pengaruh Variasi Tebal Pelat

Gambar 5 memperlihatkan pengaruh tebal pelat terhadap lendutan masing-masing akibat beban sentris dan beban di tepi. Terlihat bahwa 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 (Gambar 5b). 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.



Gambar 5. Pengaruh tebal pelat terhadap lendutan; a) akibat beban sentris, b) akibat beban di tepi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin besar diameter dan panjang tiang maka lendutan semakin berkurang. Peningkatan diameter dan panjang tiang meningkatkan kuat dukung sistem dalam memikul beban, sehingga lendutan pelat menjadi berkurang. Hal yang sama juga berlaku terhadap peningkatan tebal pelat. Peningkatan tebal pelat perkerasan mereduksi lendutan. Oleh karena kekakuan pelat meningkat dengan peningkatan tebal pelat, walaupun terjadi sedikit kenaikan berat sendiri pelat.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih atas dukungan finansial dari Direktorat Jenderal Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi (RISTEK-DIKTI) Republik Indonesia nomor SP DIPA-042.06.401516/2016 dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Islam Riau.

REFERENSI

- Dewi, D.A., 2009. Kajian Pengaruh Tiang Terhadap Nilai Koefisien Reaksi Subgrade Ekuivalen pada Uji Beban Skala Penuh, *Tesis*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- 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., 2011. Method to Analyze the Deflection of the Nailed Slab System, *IJCEE-IJENS*, Vol 11. No. 4, pp. 22-28. <http://ijens.org/IJCEE%20Vol%2011%20Issue%2004.html>
- Nasibu, R., 2009, Study on Modulus of Subgrade Reaction Due to Effect of Pile Attached Under Plate (Loading Test on the Full-scale) (Indonesian language), *Master Theses*, Graduate Program Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia.
- Puri, A., 2015a, Perilaku Perkerasan Sistem Pelat Terpaku pada Lempung Lunak, *Disertasi*, Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Puri, A., 2015b, Studi Parametrik Perkerasan Sistem Pelat Terpaku pada Tanah Dasar Lunak, *Proc. 1st Annual Civil Engineering Seminar (ACES)*, Pekanbaru, 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 Subgrade Reaction on Nailed-Slab Pavement System, *International Journal of Technology (IJTech)*, Vol. 1, pp. 122-131. <http://ijtech.eng.ui.ac.id/article/view/232>.
- Puri, A., Hardiyatmo, C. H., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2011a, Studi Eksperimental Lendutan Pelat yang Diperkuat Tiang-tiang Friksi Pendek pada Lempung Lunak, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XIV*, 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, *Prodising Konferensi Geoteknik Indonesia (KOGEI) IX dan Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XV*, HATTI, Jakarta, 7-8 Desember 2011, pp. 299-306.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2012a, Determining Additional Modulus of Subgrade Reaction Based on Tolerable Settlement for the Nailed-slab System Resting on Soft Clay, *IJCEE-IJENS*, Vol. 12 No. 3, pp. 32-40. <http://ijens.org/IJCEE%20Vol%2012%20Issue%2003.html>
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan 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, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan ke-16 (PIT) HATTI*, Jakarta, 4 December, pp. 217-222.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan 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 2013, pp. 1032-1310.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2013b, Deflection Analysis of Nailed-slab System which Reinforced by Vertical Wall Barrier under Repetitive Loadings, *Proc. the 6th Civil Engineering Conference in Asian Region (CECAR6)*, Jakarta, 20-22 August 2013, pp. TS6-10—TS6-11.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2013c, Penerapan Metode Analisis Lendutan Pelat Terpaku pada Model Skala Penuh dan Komparasi dengan Uji Pembebanan, *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-7 (KoNTekS7)*, Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta, 24-26 Oktober 2013, pp. G201-G211,
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2013d, Behavior of Fullscale nailed-slab System with Variation on Load Positions, *1st International Conference on Development Infrastructure (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. http://ijens.org/Vol_14_I_06/147506-2323-IJCEE-IJENS.pdf.
- 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. of the 14th Intrntl. Conf. on QiR (Quality in Research)*, Faculty of Eng. Universitas Indonesia, Lombok, Indonesia, 10-13 August 2015.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., Khatib, A., 2015b, Validasi Metode Analisis Lendutan Perkerasan Sistem Pelat Terpaku pada Model Skala Penuh Dengan Satu Baris Tiang, *Prosiding PIT XIX dan KOGEI X*, HATTI, pp. 453-464, (ISBN 978-602-17221-3-8).
- 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.