

ISBN 978-602-17221-6-9



20th SOUTHEAST ASIAN GEOTECHNICAL CONFERENCE
3rd AGSSEA CONFERENCE
In conjunction with
22nd HATTI ANNUAL SCIENTIFIC MEETING

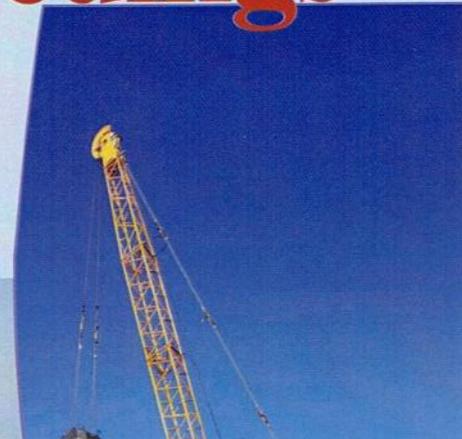
“Geotechnical Challenge for Mega Infrastructures”

Proceedings

Organized by :



AGSSEA
ASSOCIATION OF GEOTECHNICAL
SOCIETIES IN SOUTHEAST ASIA




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

“Geotechnical Challenge for Mega Infrastructures”

Editor :
Masyhur Irsyam
Ikuo Towhata
Ramli Nazir
Benson Hsiung
Paulus P. Rahardjo
Pintor Tua Simatupang
Didiek Djarwadi
Hendra Jitno
Widjojo A. Prakoso
Agus Setyo Muntohar
Nurly Gofar
Farid Ma'ruf
Endra Susila
Teuku Faisal Fathani
Gouw Tjie Liong

TABLE OF CONTENTS

Preface Committee Chairman	i
Message from President of Indonesian Society for Geotechnical Engineering (ISGE)	ii
Organizing Committee	iii
Table of Contents	v

Keynote Speakers :

1. Wastes Cover Wastes: A Novel, Scientific and Environmentally Friendly Approach for Landfilling (C.W. Ng ¹ , J.L. Coo ¹ , H.W. Guo ¹ and B.W. Lu ¹⁻⁴ ¹ Department of Civil and Environmental Engineering, Hong Kong University of Science and Technology, HKSAR)	1-4
2. Damages Associated with Geotechnical Problems in 2018 Palu Earthquake, Indonesia (Masyhur Irsyami ^{1,2,3,9} , Nuraini Rahma Hanifa ^{1,3} , Andhika Sahadewa ^{1,2} , Agus Setyo Muntohar ^{2,4} , Widjojo Adi Prakoso ^{2,5} , Dandung Sri Harninto ² , Didiek Djarwadi ^{2,3} , M. Ridwan ³ , Danny Hilman Natawidjaja ^{3,6} , Mudrikkh Daryono ^{3,6} , Endra Gunawan ^{1,3} , Irwan Meilano ^{1,3} , Astyka Pamumpuni ^{1,3} , Ariska Rudyanto ^{3,7} , Sigit Pramono ^{3,7} , Ramli Nazir ⁸ ¹ Institut Teknologi Bandung (ITB) ² Indonesia Society for Geotechnical Engineering (IATGI) ³ National Center for Earthquake Studies (PuSGeN), Ministry of Public Work and Housing ⁴ Universitas Muhammadiyah Yogyakarta (UMY) ⁵ Universitas Indonesia (UI) ⁶ Indonesian Institute of Sciences (LIPI) ⁷ Indonesian Agency for Meteorology, Climatology and Geophysics (BMKG) ⁸ Universiti Teknologi Malaysia (UTM) ⁹ Indonesian Academy of Sciences (IAP)	5-14
3. Piling Construction and Testing of Megastructures on Problematical Soil Ground of Kazakhstan (A.Zhussupbekov ¹ and A.Omarov ¹ ¹ Department of Civil Engineering, I.N. Giumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan (Prof. Askar Zhussupbekov)	15-18
4. Serious Lessons Learnt from Big Project (Ikuo Towhata Professor Emeritus, University of Tokyo, Visiting Professor, Kanto Gakuin University)	19-24

- | | | |
|----|--|-------|
| 8. | Behavior of Single Pile and Pile Group Foundation for High Rise Buildings on Expansive Soils (<i>Prof. Paulus P. Rahardjo-Universitas Katolik Parahyangan, Indonesia</i>)..... | 39-45 |
| 9. | Challenges in Design and Construction of Deep Excavation and Case Histories (<i>Dato' Dr. Ir. Gue See Sew, CEO of G & P Professionals, Malaysia</i>)..... | 46-54 |

Session I.A1 – Pile. (TC 212)

- | | | |
|----|--|-------|
| 1. | Design and Construction of Foundation System for Malaysia First Drawbridge at Kuala Terengganu (<i>Shaw-Shong Liew, Kuan-Seng Koo and Fong-Wah Chee</i>)..... | 55-60 |
| 2. | Advancement of Bearing Capacity and Settlement Analyses of Piled-Raft Foundation (<i>Sugeng Krisnanto, Iwayan Sengara and Fithrie Nur Adelina</i>) | 61-64 |
| 3. | Effect of Intermediary Weak Layer on The Behaviour of Piled Raft (<i>Venkatraman Balakumar, Huang Min, Erwin Oh and Arumugam Balasubramaniam</i>)..... | 65-71 |
| 4. | Analysis of In Situ Laterally Loaded Tests on Caisson Foundations (<i>Jiunn-Shyang Chiou and Cheng-Chang Tsai</i>)..... | 72-75 |
| 5. | Study of Bored Pile Capacity in Klang Valley Residual Soil Based on Field-Performance Data (<i>Allan Chwee Yew Lun, Balakrishnan Ety Gaunder and Nazri Ali</i>)..... | 76-81 |
| 6. | Foundation Value Engineering & Underpinning Using Micropile for Building Upgrading Works (<i>Kai Ming Lee and Elly Norissya Mohd Said</i>)..... | 82-86 |
| 7. | Interpretation on Performance of Two Drilled Shafts Subjected to Tensile Loading Considering Concrete Cracking Effect (<i>San-Shyan Lin, Tai-Hong Chen and Chia-Hong Lai</i>)..... | 87-90 |
| 8. | Pile Settlement Uncertainty in Jakarta, Indonesia (<i>Bondan Satria and Widjojo Adi Prakoso</i>)..... | 91-94 |
| 9. | Re-Evaluation of Pile Capacity due to Shallow Gas – A Malaysia Case Study (<i>Christian Hariady Girsang, Noorizal Nasri Huang, M Syazwan Kamil Abdullah, M Razi</i>)..... | |

11.	ERT-Based Leakage Tracing for Dam Safety and its Potential Sliding Surface (<i>Hsien Wang, Chih-Hsin Hu, Sheng-Hsiung Hsieh and Yao-Chu Tsai</i>).....	105-115
12.	Dynamic p-y Curves for a Single Pile by 1g Shaking Table Tests (<i>Sangseom Jeong</i>) ..	116-120
13.	Design Method for Bottom Single Blade Steel Rotation Pile Foundation : Case study in Vietnam (<i>Duy Lam Dao and Thi Tuyet Trinh Nguyen</i>).....	121-126
14.	Active Shaking Tests of Pile Foundation Models in Dry Sand Ground (<i>Kohei Kenda, Anh Tuan Yu and Tatsunori Matsumoto</i>).....	127-137
15.	Estimating Pile Axial Bearing Capacity by c-phi' Derived from Pressuremeter Test (<i>Tjie Liong Gouw</i>).....	138-147
16.	Volume Measurement for Heavy Punding Induced Craters and Ground Heave (<i>Amalia Ula Hazhyah, Hung-Jiun Liao and Chih-Jung Chien</i>)	148-158
17.	Potentiality of Boehmeria Nivea as Alternative Material in the Production of Geotextile (<i>Oliver Celis, Catalino Mendoza, Ernesto Villarica, Ederick Songahid and Ann Krischel Hipolito</i>)	159-163
18.	A Multidisciplinary Ground Model Approach to Geotechnical and Geohazard Site Appraisal for Large Infrastructure Developments (<i>D. Rushton</i>)	164-167
19.	Prediction of the Geological Condition for Pipe jacking Base on the Data Collected in the Shafts (<i>Jian Shou Keh and Kan Tang Fu</i>)	168-172

Session III.B1- FEM. (TC 103)

20.	A Case Study On Monitoring and Numerical Analysis of Groundwater Variation and Inclinometer Displacement in Taiwan (<i>Ching-Jiang Jeng and Chia-Yu Yang</i>)	173-177
21.	Numerical Simulations of an Excavation Case in Jakarta by Hypoplasticity Model for Clays (<i>Melisa Kosasi, Fuchen Teng and Benson Hsiung</i>)	178-183

50.	Numerical Simulation of Some Debris Flow Events in Central Java for Predicting Run-out Distributions (Imam Achmad Sadisun, Rendy Dwi Kartiko and Indra Indra Dhanu)	337-340
51.	Channeled landslide Protection Using Flexible Barriers (Thomas Hangartner, Prossida Rhapsody and Christophe Balg)	341-347
52.	Research on Failure of Aeolian Sand Roadbed Slope Through Laboratory Static Load Test (Xiukun Dong and Liying Liu)	348-351
53.	Stability Analysis of an Overall Failure Excavation Case in Hang Zhou (Tuan Nghia Do)	352-354
54.	Effect of the Initial Suction Boundary on the Slope Failure of Volcanic Residual Soil (Agus Setyo Muntohar)	355-358

Session VII.D1 - Soil Improvement. (TC 211)

55.	Applying In Situ Debris-cement Mixtures to the Ground Improvement of Bank in Wild Creeks (Junyang Chen, Thui Chen, Yushu Lin, Sheichen Ho and Miaubin Su)..	359-362
56.	Dynamic Compaction of Lateritic Fill for Property Development (Richard Ong and Marini Mardi).....	363-367
57.	Settlement Ratio Determination of Vacuum Preloading Soil Improvement Technique (Case Study at Palindra Toll Project Section 1) (Herwan Dermawan, Masyhur Irsyam, Bigman M Hutapea, Endra Susila, Rizal Sutjipto and Idwan Suhendra).....	368-371
58.	The Settlement Evaluation of Improved Soft Clay Using LECA Replacement Technique (Azhani Zukri, Ramli Nazir and Ng Kok Shien)	372-377
* 59.	Performance of Helix Piled Raft in Tropical Fibrous Peat Soil under Traffic Loads (Ardy Arsyad, Ahmad Bakri Muhiddin and Lawalenna Samang)	378-381
60.	Effect of Compaction on Liquefaction of River Sand and Sea Sand in Hai Phong City, Vietnam (Chau Lan Nguyen, Quang Phuc Nguyen, Hai Ha Nguyen and Duc Manh Nguyen)	382-385

Session VIII.D2 – Soft Soil. (TC 204)

64.	The use of the Observational Method in the Deep Excavations for the Realization of a Residential Compound (<i>Marco Carassini, Filippo Bucci and Andrea Antiga</i>)	405-412
65.	Reliability Assessment on Deep Braced Excavations Adjacent to High Slopes in Mountain Cities (<i>Runhong Zhang, Wengang Zhang, Zhongjie Hou and Wei Wang</i>)	413-418
66.	Numerical Investigation of Wall Deflections Induced by Braced Excavations in Sands (<i>Hou Zhongjie, Zhang Wengang, Zhang Runhong and Wang Wei</i>)	419-424
67.	Singapore Downtown Line 3 - Tunnelling Challenges in Soft Soil and Under Conserved Structures (<i>Michael McGowan, Sofren Leo Suhaendi and Gordon Lee</i>). ..	425-430
68.	Seasonal Variation of Water Content and Pore-water Pressure Distribution in Vegetated Soil Slope (<i>Nurly Gofar, Harianto Rahardjo and Alfrendo Satyanaga</i>)	431-436
69.	Strength Characteristics of Cement-treated Peat in Sumatera Island, Indonesia (<i>Hirochika Hayashi, Takahiro Yamanashi, Hijiri Hashimoto, Eddie Suraryo, Fahmi Aldiamar, Maulana Iqbal and Dea Pertivi</i>)	437-440
70.	Basement Excavation in Soft Marine Clay in Bukit Tinggi, Klang (<i>Sharmeelee S.</i>)	441-444
71.	Effect of Rapid Impact Compaction Energy on Unconfined Compressive Strength Properties of Fill Clay Soil (<i>Arifin Beddu, Lawalenna Samang, Tri Harianto and Achmad Bakri Muhiddin</i>)	445-448
72.	A Study on Soft Soil Stabilization by Mass Stabilization Methods for Construction of Dike and Rural Roads (<i>Vinh An Phung, Van Tuan Le and The Quynh Do</i>)	449-454

Session IX.E1 – Deep Excavation & Tunnel. (TC 204)

76.	Effects of Cross Wall to the System Stiffness of Deep Excavations in Clay (Zih-Yun Wang, Bin-Chen Benson Hsiung, Hsui-Sheng Hsieh and Louis Ge).....	474-479
77.	Ground Surface Settlement Induced by Diaphragm and Buttress Walls Installation: Numerical Study (Aswin Lim and Pio Go Hsieh)	480-483
78.	Evaluation of Surface Settlement and Lateral Displacement During Tunnel Construction Using 3D Numerical Modelling (Fahmi Aldiamar, Desyanti Desyanti, Masyhur Irsyam, Bigman M. Hutapea, Endra Susila, Riska Muslimah and Weni Maulina).....	484-488

Session X.RE2 - Other Sessions & Indonesian Class

79.	Aplikasi Metode Elemen Hingga dan Kriteria Runtuh Papaliangas Batuan Berkekar : Problem-Problem Analisa Terowongan, Kestabilan Lereng dan Wellbore Stability dalam Mekanika Batuan (Wilham George Louhenapessy)	489-494
80.	The Application of Active Lime & Cement as Soil Stabilization Material (Renggo Ginanjar, Wilham G. Louhenapessy, Asrul Ahdar)	495-498
81.	Perbandingan Analisa Perkuatan Lereng dengan Jangkar : Program dan Manual (Wawan Kuswaya and Wilham G. Louhenapessy)	499-502
82.	On the Weak Limestone Rock Slope Stability Analysis (Wilham George Louhenapessy)	503-510
83.	Slope Stability Anayses using Probabilistic Approach (A Case study in Grobogan, Central Java) (Febryansyah Dwi Riyadinata, Yusep Muslih Purwana, Niken Silmi Surjandari and Noegroho Djarwanti)	511-514
84.	Perancangan Proteksi Galian Dalam Dengan Soldier Pile. Studi Kasus : Underpass Pada Pusat Perbelanjaan di Kawasan Jakarta Selatan (Siska Rustiani and Ryan Alexander Lyman)	515-518
85.	Study of Slope Failure and Reinforcement Analysis to Restore and Increase the Slope Stability in Flores, East Nusa Tenggara Using Plaxis 2D and 3D (Rendra Priatno1, Ali Iskandar2, and Jo Lian Huat3)	519-523

88. Application of Distributed Fibre Optic Sensor (DFOS) in Bi-directional Static Pile Load Tests (*Lee Siew Cheng¹, Tee Bun Pin¹, Chong Mun Fai¹, Hisham Mohamad² and Ang Koh An³, Paulus P. Rahardjo⁴*) 534-540
89. Design of Simple Drapery Systems for Rock Cuts and Natural Slopes (*Matteo Lelli¹, Alberto Grimod², Riccardo Laneri¹, Denny¹, Vincent Setiawan², Dinda Mutiara Savitri¹*) 541-548
90. Emergency Works and Landslide Remediation using Geosynthetics Reinforced Soil Structures – Recent Indonesian Case Studies (*Denny¹, Matteo Lelli², Dinda Mutiara Savitri³*) 549-553
91. Geotechnical Properties of Cement-Stabilized Mine Tailings from Brgy. Gango, Libona, Bukidnon, Philippines (*Eistine M. Opiso, Reinerio P. Supremo, Reynmar T. Rejas and Jemima R. Perodes*)..... 554-561
92. A New Breakthrough – Application of Control Modulus Column for Settlement and Stability Control under Soft Soil and High Embankment Load at Pemalang-Batang Toll Road (*Ryan Rahmat Setiaji¹, Panji Utomo², KM. Abuhuroyroh³*)..... 562-571
93. Estimasi Modulus Resilien dari uji CBR pada Tanah Lempung distabilisasi Abu Vulkanis dan Kapur (*Devi Oktaviana Latif- Dr.,ST.,M.Eng, Ahmad Rifa'i- Dr., Ir.,MT., Latif Budi Suparma –Ir.,M.Sc., Ph.D*) 572-576
94. Seasonal Variation of Water Content and Pore-water Pressure Distribution in Vegetated Soil Slope (*N. Gofar¹, H. Rahardjo¹, A. Satyanaga¹ - ¹School of Civil and Environmental Engineering, Nanyang Technological University, 50 Nanyang Avenue, Singapore. 639798*) 577-582
95. Efek EPS Geofom sebagai Material Pengisi terhadap Nilai CBR Laboratorium pada Tanah Kohesif Darah Bandung (*Lestari, A. S¹ and Julian Clementio² - ¹Dosen Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia, ² Mahasiswa Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia*) 583-586
96. Prediction of Excess Pore Pressure Due to Pile Driving Based on CPTu (*A. Arafianto¹ and P.P. Rahardjo² -¹Engineering Faculty, Universitas Katolik Parahyangan Bandung, Indonesia ²Engineering Faculty, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia*)..... 587-590
97. Increasing geotechnical challenges in the design and construction planning of the Third Phase Bangkok MRT Underground (*N. Phienwej¹, A. Asanprakit², P.*

Pengaruh Tahanan Ujung Tiang Dan Faktor Aman Terhadap Lendutan Pelat Terpaku Tiang Tunggal Pada Lempung Lunak

Anas Puri¹, Ferly Oktavia², Roza Mildawati³

¹Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Indonesia

²Mahasiswa Program Sarjana Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Indonesia

Email: anaspuri@eng.uir.ac.id¹, ferlyoktavia@student.uir.ac.id²; rozamildawati@eng.uir.ac.id³

ABSTRAK: Perkerasan Sistem Pelat Terpaku merupakan salah satu alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan konstruksi jalan yang melalui tanah lunak. Kenaikan kapasitas dukung tanah dasar akibat pengaruh dukungan tiang-tiang pada pelat akan mengurangi kebutuhan tebal perkerasan beton dan memperkaku sistem perkerasan. Kapasitas dukung tiang tersebut kontribusi dari tahanan ujung dan tahanan gesek. Lazimnya tahanan ujung diabaikan untuk tiang berada pada tanah lunak. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh tahanan ujung tiang dan faktor aman (SF) terhadap lendutan pelat terpaku tiang tunggal. Dimensi struktur pelat terpaku dan data material mengacu pada Puri (2017). Pelat terpaku tiang tunggal mempunyai ukuran pelat 120 cm x 120 cm, tebal 15 cm, diperkuat dengan tiang bulat beton masif tunggal diameter 20 cm, dan panjang tiang 150 cm. Sistem ini dibebani dengan pembebanan tekan sentris. Perhitungan lendutan dan gaya dalam pelat menggunakan metode BoEF (*Beam on Elastic Foundation*), berdasarkan tambahan modulus reaksi tanah dasar ekuivalen yang dibandingkan dengan lendutan hasil pengamatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa besaran faktor aman mempengaruhi nilai lendutan hitungan. Peningkatan SF cenderung meningkatkan lendutan hitungan. Penggunaan $SF = 1,0$ sudah memadai. Perhitungan lendutan dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b > 0$) lebih baik dibanding tanpa memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b = 0$). Momen pelat memberikan perbedaan tidak signifikan untuk hitungan tanpa atau dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang.

Kata kunci : perkerasan kaku, pelat terpaku, diameter tiang, reaksi *subgrade*, lendutan pelat.

1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan di atas tanah lunak sering dibangun menggunakan perkerasan kaku. Lapis perkerasan tersebut langsung menumpu pada tanah dasar lunak atau di atas lapis fondasi jalan. Perkerasan jalan terletak pada tanah dasar yang tidak stabil seperti lempung lunak atau tanah ekspansif, banyak menimbulkan masalah pada kinerja jangka panjang perkerasan (Hardiyatmo, 2014). Perkerasan jalan yang terletak pada tanah dasar lunak atau ekspansif, sering mengalami deformasi yang berlebihan oleh beban kendaraan berat, sedangkan menurut Hardiyatmo (2012), metode perancangan perkerasan jalan yang telah ada, umumnya diasumsikan bahwa tanah-dasar dalam kondisi stabil, sehingga tebal komponen struktur perkerasan hanya didasarkan pada daya dukung tanah-dasar yang dinyatakan oleh nilai CBR atau modulus reaksi *subgrade* vertikal. Perkerasan jalan tidak hanya menerima beban siklik oleh kendaraan, namun juga menerima beban akibat temperatur yang membuat perkerasan jalan mengalami momen lentur bolak-balik (Puri, 2015).

Sistem Pelat Terpaku (*Nailed Slab System*) yang ditemukan oleh Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M. Eng., DEA. (2008) adalah suatu perkerasan beton bertulang (tebal antara 12 - 20 cm) yang didukung oleh tiang-tiang mini (panjang 150 - 200 cm dan diameter 15 - 20 cm). Tiang-tiang dan pelat beton dihubungkan secara monolit dengan bantuan tulangan-tulangan. Interaksi antara pelat beton-tiang-tanah disekitarnya menciptakan suatu perkerasan yang lebih kaku, yang lebih tahan terhadap deformasi tanah-dasar. Sistem ini merupakan salah satu alternatif solusi untuk mengatasi permasalahan konstruksi jalan yang melalui tanah lunak. Sistem Pelat Terpaku cocok digunakan untuk perkerasan yang tanah dasarnya dipengaruhi oleh penurunan tidak seragam, karena interaksi tanah-tiang-pelat membuat pelat lebih kaku, sehingga mengurangi terjadinya beda penurunan permukaan perkerasan (menciptakan permukaan perkerasan beton yang selalu rata) (Hardiyatmo, (2016). Pelat berfungsi ganda yaitu sebagai struktur perkerasan sekaligus sebagai *pile cap*, sedangkan tiang-tiang selain berguna untuk menaikkan daya dukung tanah-dasar, juga menjaga agar pelat beton tetap kontak dengan baik pada lapis pondasi bawah.

Perancangan Pelat Terpaku dapat menggunakan Metode Hardiyatmo Modifikasi (Puri, dkk., 2012). Metode ini merupakan salah satu metode dalam menentukan nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen, dan merupakan modifikasi dari metode Hardiyatmo (2011). Oleh karena tiang berada pada tanah lunak dan dimensi tiang kecil maka tahanan ujung diabaikan (Hardiyatmo, 2011; Puri, dkk. 2012, Puri, 2015). Menurut Hardiyatmo (2011), penurunan pelat beban lebih besar

dari pada penurunan atau perpindahan relatif tanah dan tiang, karena penurunan relatif tanah dan tiang kecil maka tahanan gesek tiang belum sepenuhnya optimum, sehingga digunakan pendekatan faktor perpindahan tiang (α) dalam menentukan modulus reaksi *subgrade* (Δk). Menurut Puri, dkk (2012), sulit untuk menentukan faktor perpindahan tiang (α), serta mengusulkan sebuah pendekatan dengan mempertimbangkan penurunan toleransi perkerasan kaku. Dalam menentukan kapasitas dukung tiang diizinkan biasanya diambil 1/2,5 kapasitas ultimit. Nilai 2,5 adalah faktor aman, dengan mengambil $\alpha = 1/SF = 1/2,5$ dengan asumsi perpindahan kepala tiang sama dengan penurunan toleransi perkerasan pelat kaku ($\delta_p = \delta_s$; maka $\beta = 1 / \delta_s$).

Analisis variasi faktor aman pada modulus reaksi *subgrade* ekuivalen untuk model skala penuh Pelat Terpaku satu baris tiang dengan pembebanan tekan sentris telah dilakukan Puri (2017). Sistem tersebut berada pada media tanah lempung lunak. Belum dilakukan analisis penerapan variasi faktor aman pada Pelat Terpaku tiang tunggal dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang. Penelitian ini akan menerapkan nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') dengan pendekatan variasi faktor aman pada nilai tambahan modulus reaksi *subgrade* (Δk) dan pengaruh tahanan ujung tiang.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Modulus Reaksi *Subgrade* Ekuivalen (k')

Modulus reaksi *subgrade* ekuivalen merupakan salah satu cara analisis yang digunakan pada perkerasan sistem pelat terpaku. Modulus reaksi *subgrade* ekuivalen adalah modulus reaksi akibat adanya tiang-tiang beserta pelat. Nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') diperoleh dengan menjumlahkan nilai modulus reaksi *subgrade* tanah (k) dan nilai tambahan dari modulus reaksi dari tiang tunggal (Δk). Hardiyatmo (2011) mengusulkan metode penentuan tambahan modulus Δk . Puri, dkk, (2012b) menyederhanakan metode yang diusulkan oleh Hardiyatmo tersebut dengan mempertimbangkan penurunan izin dari perkerasan. Istilah modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') digunakan untuk membedakan modulus reaksi *subgrade* klasik (yaitu dari uji beban pelat standar) dan modulus *subgrade* pelat yang sudah dipengaruhi oleh dimensi pelat yang lebih lebar dan perlawanan kelompok tiang yang mendukung pelat.

Pada sistem pelat terpaku, pendekatan penentuan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') didefinisikan sebagai modulus reaksi *subgrade* yang memperhatikan kontribusi tiang dalam menahan gesekan

perpindahan vertikal pelat ditentukan sebagai berikut (Hardiyatmo, 2011; Dewi, 2009; Puri, et.al., 2011b, 2012a dalam Puri, dkk, 2013):

$$k' = k + \Delta k \quad (1)$$

dengan :

k' = modulus reaksi *subgrade* ekuivalen pelat terpaku (kN/m^3)

k = modulus reaksi *subgrade* dari tanah (kN/m^3)

Δk = tambahan modulus reaksi *subgrade* karena adanya tiang (kN/m^3)

2.2 Reaksi Subgrade

Koefisien reaksi *subgrade* adalah hubungan konseptual antara tekanan tanah dengan defleksi (Bowles, 1982 dalam Muhu, 2007). Salah satu besaran yang dapat digunakan dalam analisis lendutan pelat adalah koefisien reaksi tanah dasar. Rumus dasar perhitungan nilai koefisien *subgrade* (k_v) untuk pelat kaku adalah:

$$k_v = \frac{q}{\delta} \quad (2)$$

dengan:

q = tekanan tanah (kN/m^2)

δ = lendutan yang terjadi (m)

Menurut Puri, dkk (2013), koefisien reaksi tanah dasar arah vertikal (k_v) dapat digunakan dalam hitungan lendutan. Koefisien ini ditentukan sebagai tekanan fondasi (q) yang dibagi dengan penurunan yang bersesuaian (δ) dari tanah di bawahnya. Dengan kata lain, reaksi tanah dasar tidak lain adalah distribusi reaksi tanah (q) di bawah struktur fondasi rakit guna melawan beban fondasi. Reaksi *subgrade* terdistribusi tidak linier akibat beban merata fondasi. Pada lempung, distribusi reaksi tanah berbentuk cembung dengan reaksi maksimum di sekitar pinggir fondasi dan reaksi yang lebih kecil pada tengah-tengah fondasi.

Modulus reaksi *subgrade* dari uji beban pelat (k) biasanya menggunakan pelat lingkaran dan harus dikoreksi terhadap ukuran dan bentuk pelat dari pelat terpaku (Puri, dkk, 2012). Koreksi ukuran dan bentuk pelat mengacu pada metode Das (2011) seperti pada persamaan berikut:

Koreksi terhadap ukuran pelat dinyatakan sebagai :

$$k_v = k_{0,3} \left| \frac{0,3}{B} \right| \quad (3)$$

Koreksi terhadap bentuk pelat dinyatakan sebagai :

$$k_v = \frac{k_{(B \times B)} \left(1 + \frac{0,5B}{L} \right)}{1,5} \quad (4)$$

Dengan:

k = modulus reaksi tanah dasar dengan lebar B (kN/m^3),

$k_{0,3}$ = modulus reaksi tanah dasar pelat beban 0,3 m x 0,3 m (kN/m^3),

B = lebar pelat (m),

$k_{(B \times B)}$ = modulus reaksi tanah dasar pelat beban $B \times B$ (kN/m^3),

L = panjang pelat (m).

2.3 Modulus Reaksi Subgrade Ekuivalen Metode Hardiyatmo Modifikasi

Metode Hardiyatmo (2011) menggunakan pendekatan reduksi tahanan tiang dalam penentuan Δk . Perpindahan relatif antara tanah dan tiang, dan reduksi tahanan tiang telah diperhitungkan. Untuk keperluan desain praktis, penentuan reduksi tahanan tiang sulit diperhitungkan. Puri, dkk, (2012a) mengusulkan suatu pendekatan dalam penentuan tambahan modulus reaksi *subgrade* dengan menggunakan penurunan izin/toleransi pelat perkerasan. Tambahan modulus reaksi *subgrade*

karena memperhitungkan tahanan ujung tiang (Q_b) dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$\Delta k = \frac{0,4(Q_s + Q_b)}{\delta_a A_{PS}} \quad (5)$$

atau,

$$\Delta k = \frac{0,4(f_s A_s + f_b A_b)}{\delta_a A_{PS}} \quad (6)$$

Sehingga modulus reaksi *subgrade* ekuivalen dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang dapat dihitung dengan

$$k' = k + \frac{0,4(f_s A_s + f_b A_b)}{\delta_a A_{PS}} \quad (7)$$

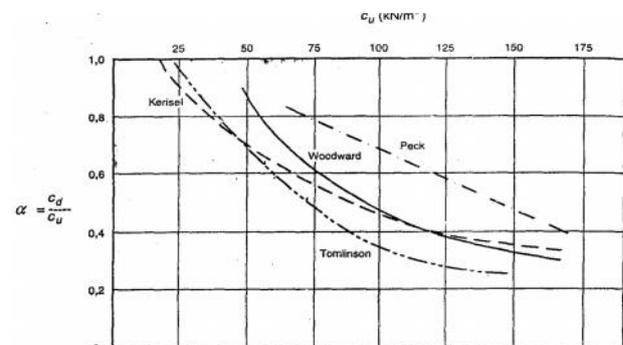
Untuk pelat terpaku yang berada di atas tanah lunak, maka tahanan ujung tiang diabaikan. Dalam hal ini tambahan modulus reaksi *subgrade* karena adanya tiang di bawah pelat ditentukan (Puri, dkk, 2012a; Puri, 2015) sebagai berikut:

$$\Delta k = \frac{0,4a_d c_u A_s}{\delta_a A_{PS}} \quad (8)$$

Sehingga modulus reaksi *subgrade* ekuivalen dapat dihitung dengan :

$$k' = k + \frac{0,4a_d c_u A_s}{\delta_a A_{PS}} \quad (9)$$

Faktor adhesi a_d dapat ditentukan berdasarkan kurva Tomlinson pada Grafik McClelland (1974) dengan menggunakan nilai c_u (Gambar 1).



Gambar 1. Faktor adhesi untuk tiang pancang pada tanah lempung (McClelland, 1974)

Mobilisasi perlawanan gesek tiang masih dalam zona elastis (Puri, dkk (2012). Menurut aturan praktis dalam menentukan kapasitas dukung tiang diizinkan biasanya diambil pada 1/2,5 kapasitas ultimit. Dimana 2,5 adalah faktor aman (SF). Dengan mengambil $\alpha = 1/SF = 1/2,5$ dengan asumsi perpindahan kepala tiang sama dengan penurunan toleransi perkerasan pelat kaku ($\delta_p = \delta_i$; maka $\beta = 1 / \delta_i$). Oleh karena itu, tambahan modulus reaksi *subgrade* karena adanya tiang dibawah pelat dimodifikasi dengan (Puri, dkk. 2012) :

$$\Delta k = \frac{f_s A_s}{2,5 \delta_a A_{PS}} \quad (10)$$

Dan persamaan (3.10) tersebut ditulis menjadi (Puri, 2015) :

$$\Delta k = \frac{f_s A_s}{SF \delta_a A_{PS}} \quad (11)$$

Sehingga modulus reaksi *subgrade* ekuivalen dapat dihitung dengan :

$$k' = k + \frac{f_s A_s}{SF \delta_a A_{ps}} \quad (12)$$

Dengan f_s : tahanan gesek satuan tiang (kN/m²), $f_s = \alpha_d \cdot c_u$; α_d : faktor adhesi, c : kohesi (kN/m²), δ_a : toleransi penurunan pelat perkerasan kaku sebesar 5 (mm), A_s : luas selimut tiang (m²), A_{ps} : luasan zona pelat yang didukung oleh satu tiang (m²), $A_{ps} = s^2$, s : jarak antar tiang (m), dan 2,5 : nilai faktor aman (SF).

Di lapangan sistem ini diaplikasikan untuk perkerasan kaku bertulang menerus (CRCP). Untuk menjaga agar pelat beton tidak mengalami regangan tarik berlebihan maka lendutan toleransi (δ_a) maksimum 5 mm atau 1/256 bentangnya (Puri, 2015). Balok lantai biasanya dibatasi hingga lendutan maksimum 1/360 bentangnya agar menghindari keretakan pada beton menurut Singer (1985).

3. METODE PENELITIAN

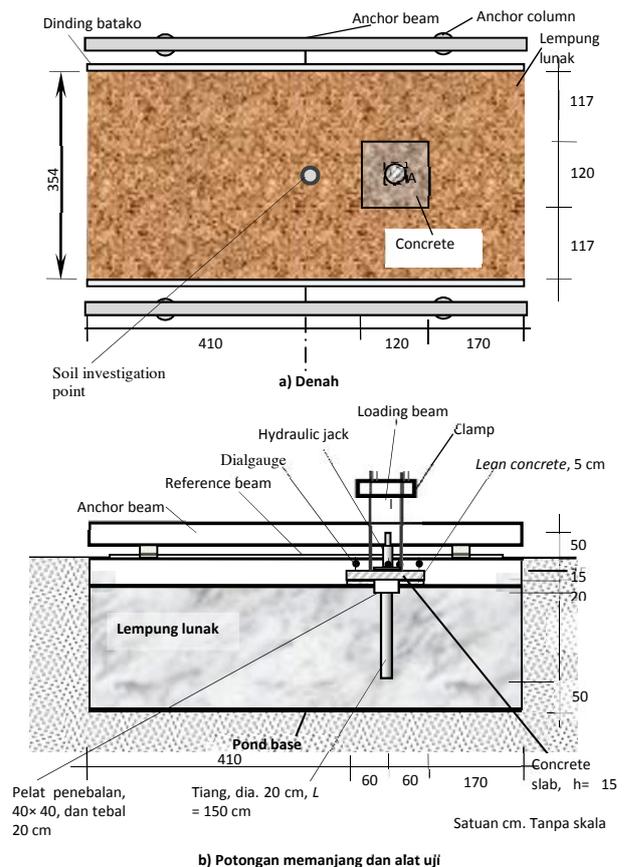
3.1 Metode Pengumpulan Data

Penelitian dilakukan menggunakan data sekunder hasil uji skala penuh Sistem Pelat Terpaku tiang tunggal pada lempung lunak (Puri, 2017). Gambar 2 adalah skema uji dengan sifat-sifat tanah dan beton ditunjukkan pada Tabel 1. Kolam uji berukuran 7 m x 3,54 m x 2,5 m yang diisi lempung lunak setebal 2,15 m. Pelat terpaku tiang tunggal terdiri atas satu buah tiang masif beton bertulang berdiameter 0,20 m dan panjang 1,5 m. Tiang ini terhubung secara monolit pada pelat beton bertulang di atasnya. Pelat berukuran 1,2 m x 1,2 m dengan tebal 0,15 m dimana di bawah pelat juga diberi lantai kerja setebal 0,05 m. Penjelasan konstruksi dan metode pelaksanaan uji Pelat Terpaku dapat merujuk pada Puri (2017).

3.2 Tahapan pelaksanaan penelitian

Penelitian dimulai dengan pengumpulan data sekunder hasil uji skala penuh Sistem Pelat Terpaku tiang tunggal pada lempung lunak (Puri, 2017), kemudian perhitungan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') menggunakan Metode Hardiyatmo Modifikasi dengan variasi faktor aman. Selanjutnya, perhitungan berdasarkan lendutan pengamatan (Puri, 2015) sebagai lendutan izin ($\delta_a = \delta_s$).

Perhitungan lendutan dan gaya dalam menggunakan metode BoEF (*Beam on Elastic Foundation*) dengan bantuan program “BoEF.xls” Program Version 1.4 dengan meng-*input* nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k'). Hasil analisis berupa lendutan pelat dan gaya dalam berupa momen. Dari pembahasan dapat disimpulkan pola lendutan akibat penerapan nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') Metode Hardiyatmo Modifikasi dengan pendekatan variasi faktor aman, serta membandingkan pola lendutan perhitungan saat $Q_b = 0$ dan $Q_b > 0$ berdasarkan lendutan pengamatan (Puri, 2017) sebagai lendutan izin ($\delta_a = \delta_s$) dan lendutan izin maksimum ($\delta_a = 5$ mm). Lebih jelasnya tahapan-tahapan penelitian dirangkum ke dalam sebuah bagan alir sebagaimana Gambar 3.



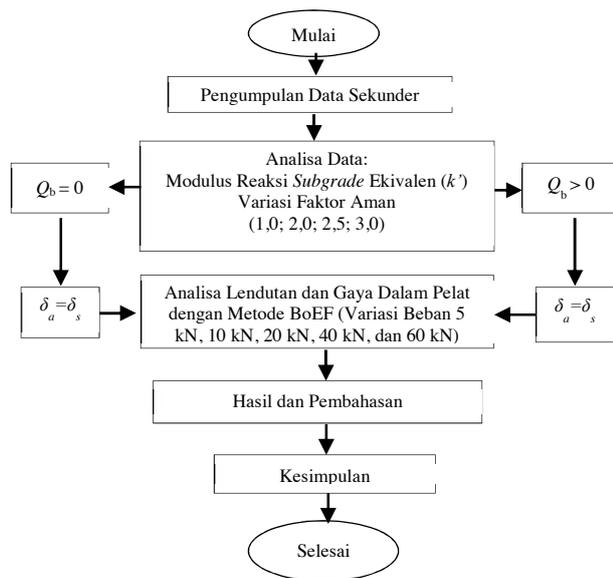
Gambar 2. Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Tiang Tunggal (Puri, 2017).

3.3 Cara analisis

Analisis dilakukan semi-manual yang didasari pada perkerasan pelat terpaku tiang tunggal, perhitungan nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') dengan tambahan modulus reaksi *subgrade* (Δk) Metode Hardiyatmo Modifikasi sebagaimana Persamaan (1) dan (8), dan perhitungan lendutan dan gaya dalam dilakukan dengan bantuan program “BoEF.xls” Program Versi 1.4.

Tabel 1. Sifat-sifat Lempung dan Beton (Puri, 2017)

No.	Parameter	Unit	Rerata
A. Lempung Lunak			
1.	Berat Spesifikasi, 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
	- Indeks Cair, LI	%	0,36
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
7.	Berat Volume Kering, γ_d	kN/m ³	10,90
8.	Kuat Geser <i>Undrained</i> , S_u		
	- Tak Terganggu	kN/m ²	20,14
	- <i>Remolded</i>	kN/m ²	11,74
9.	CBR	%	0,83
10.	Klasifikasi Tanah :		
	- AASHTO	-	A-7-6
	- USCS	-	CH
B. Beton			
11.	Pelat beton bertulang:		
	- Kuat tekan	MPa	29,21
	- Kuat tarik	kPa	3,13
12.	Kuat tekan beton tiang	MPa	17,4
13.	Kuat tekan lantai kerja	MPa	14,5

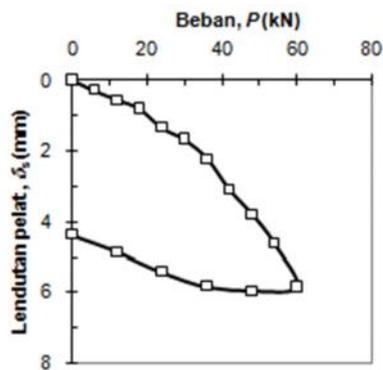


Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembebanan

Beban yang digunakan sebesar 5 kN, 10 kN, 20 kN, 40 kN dan 60 kN mengacu pada Puri (2017). Hubungan beban dan lendutan pelat diberikan pada Gambar 4. Perhitungan berdasarkan lendutan pengamatan sebagai lendutan izin ($\delta_a = \delta_s$) ditinjau pada pembebanan tengah pelat.



Gambar 4. Hubungan $P-\delta$ Pelat Terpacki tiang tunggal (Puri, 2017).

4.2 Nilai k' dan Δk

Penyederhanaan hitungan untuk BoEF dilakukan sebagai berikut: (a) lantai kerja diabaikan, guna desain pada zona lebih aman, (b) pelat penebalan/pelat konektor juga diabaikan. Perhitungan Δk menggunakan lendutan pengamatan sebagai lendutan izin ($\delta_a = \delta_s$). Berdasarkan data yang diketahui, dilakukan perhitungan nilai Δk untuk $Q_b = 0$ (Persamaan (11)) dan untuk $Q_b > 0$ (Persamaan (6)), kemudian perhitungan nilai k' dengan Persamaan (1). Hasil dari perhitungan disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Nilai Δk dan k' tanpa memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b = 0$)

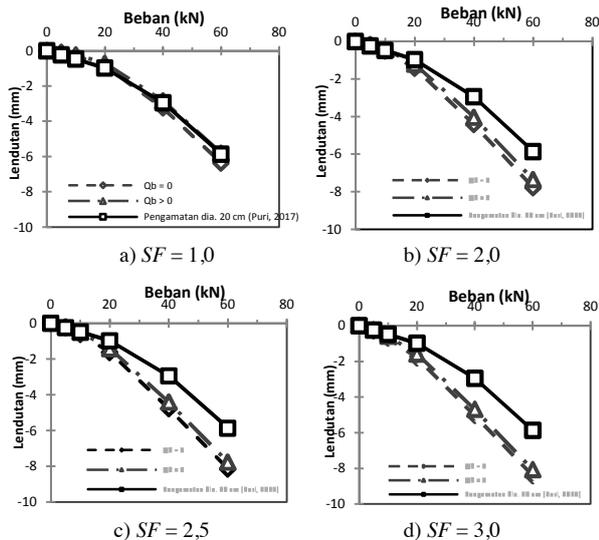
Beban (kN)	Modulus Reaksi Subgrade (kN/m^3)	SF			
		1,0	2,0	2,5	3,0
5	Δk	54441,80	27220,90	21776,72	18147,27
	k'	58941,80	31720,90	26276,72	22647,27
10	Δk	27620,37	13810,19	11048,15	9206,79
	k'	32120,37	18310,19	15548,15	13706,79
20	Δk	13402,76	6701,38	5361,11	4467,59
	k'	17902,76	11201,38	9861,11	8967,59
40	Δk	4470,62	2235,31	1788,25	1490,21
	k'	8970,62	6735,31	6288,25	5990,21
60	Δk	2248,28	1124,14	899,31	749,43
	k'	6748,28	5624,14	5399,31	5249,43
	k'	9870,67	7185,33	6648,27	6290,22

Tabel 3. Nilai Δk dan k' dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b > 0$)

Beban (kN)	Modulus Reaksi Subgrade (kN/m^3)	SF			
		1,0	2,0	2,5	3,0
5	Δk	70774,35	35387,17	28309,74	23591,45
	k'	75274,35	39887,17	32809,74	28091,45
10	Δk	35906,48	17953,24	14362,59	11968,83
	k'	40406,48	22453,24	18862,59	16468,83
20	Δk	17423,59	8711,80	6969,44	5807,86
	k'	21923,59	13211,80	11469,44	10307,86
40	Δk	5811,81	2905,90	1169,11	974,25
	k'	10311,81	7405,90	5669,11	5474,25
60	Δk	2922,76	1461,38	1169,11	974,25
	k'	7422,76	5961,38	5669,11	5474,25
	k'	11173,05	7836,53	7169,22	6724,35

4.3 Hubungan Beban dan Lendutan

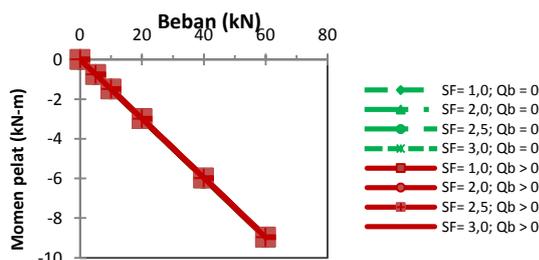
Hasil perhitungan berdasarkan lendutan pengamatan sebagai lendutan izin ($\delta_a = \delta_s$) ditinjau pada pembebanan di tengah pelat diberikan pada Gambar 5. Gambar ini memberikan hasil hitungan dengan variasi SF dan Q_b . Terlihat bahwa lendutan tanpa memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b = 0$) lebih besar dibanding lendutan dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b > 0$), dan semua lendutan hitungan lebih besar daripada lendutan pengamatan sebagaimana Puri (2017). Terhadap SF , tampak bahwa hasil hitungan cenderung *over-estimated* dengan bertambahnya nilai SF baik untuk $Q_b = 0$ maupun $Q_b > 0$. Hasil lendutan hitungan untuk $SF = 1,0$ sudah sangat mendekati pengamatan.



Gambar 5. Hubungan $P-\delta$ untuk variasi SF dan pengaruh Q_b untuk $\delta_a = \delta_s$.

4.4 Momen Pelat

Pengaruh SF dan Q_b terhadap momen pelat diberikan pada Gambar 6. Terlihat bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara momen tanpa memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b = 0$) dengan momen saat memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b > 0$).



Gambar 6. Pengaruh SF dan tahanan ujung tiang terhadap momen pelat untuk $\delta_a = \delta_s$.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Hasil analisis menunjukkan bahwa besaran faktor aman mempengaruhi nilai lendutan hitungan. Peningkatan SF cenderung meningkatkan lendutan hitungan. Penggunaan faktor aman $SF = 1,0$ sudah memadai.
2. Perhitungan lendutan dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b > 0$) lebih baik dibanding tanpa memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b = 0$).
3. Momen pelat memberikan perbedaan tidak signifikan untuk hitungan tanpa memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b = 0$)

dibanding dengan hitungan yang memperhitungkan tahanan ujung tiang ($Q_b > 0$).

UCAPAN TERIMA KASIH

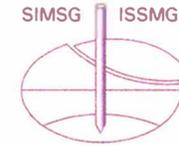
Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Islam Riau atas pendanaan dengan nomor kontrak 367/KONTRAK/LPPM-UIR/4-2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanti, N., Puri, A., Ardiansyah, R. (2017). "Penerapan Modulus Reaksi Subgrade Ekuivalen Metode Puri, dkk (2012) dalam Perhitungan Lendutan Pelat pada Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi". Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP) 2017, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Pekanbaru, 9 Februari 2017, pp. 29-35.
- Agustin, D.R., Puri, A., Ardiansyah, R. Perhitungan Lendutan Perkerasan Jalan Sistem Cakar Ayam Modifikasi dengan Variasi Faktor Aman pada Tambahan Modulus Reaksi Subgrade. *J. Saintis*, Vol 17 No. 1, 2017, pp. 15-23. <http://journal.uir.ac.id/index.php/saintis/article/view/1761>.
- Das, B.M. (2011). *Principle of Foundation Engineering*, 7ed., Stamford: Cengage Learning
- 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 Peningkatan Sarana-prasarana, JTSL FT UGM., pp. M-1—M-7.
- Hardiyatmo, H.C. (2009). Metoda Hitungan Pelat dengan Menggunakan Modulus Reaksi Tanah Dasar Ekuivalen untuk Struktur Pelat Fleksibel, sub mitted in *Dinamika Teknik*.
- Hardiyatmo, H.C. (2011). "Method to Analyze the Deflection of the Nailed-Slab System". *International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCEE-IJENS*. Volume 11 Number 4, pp.22-28.
- Muhu, H.L.Y., 2007, "Kajian Lendutan Pada Sistem Cakar Ayam Akibat Variasi Lebar Pelat (Model Sistem Cakar Ayam dari Pelat Baja)", *Tugas Akhir*, Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan, UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Puri, A., 2015, "Perilaku Sistem Pelat Terpaku Pada Tanah Lunak", *Disertasi*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM Yogyakarta, Indonesia
- 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. 8 No. 1 (2017)124-133. ISSN2086-9614. <http://ijtech.eng.ui.ac.id/article/view/232>.
- Puri, A., 2017, "Effect of Safety Factors on The Calculated Deflection of 1-Pile Row Full Scale Nailed-Slab Pavement System Resting on Soft Clay Due to Concentric Loadings, *ICoSET & ICoSEEH UIR 2017*, Pekanbaru.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2013, "Penerapan Metode Analisis Lendutan Pelat Terpaku Pada Model Skala Penuh dan Komprasi dengan Uji Pembebanan", *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTeKS7)*, Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta, 24-26 October 2013, pp. G201-G211.
- 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", *International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, Vol. 12 No. 03, pp 32-40. <http://ijens.org/IJCEE%20Vol%2012%20Issue%2003.html>.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., Rifa'i, A., 2015, "Perilaku Perkerasan Sitem Pelat Terpaku Pada Tanah Dasar Lempung Lunak", *Prosiding Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) 2015*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 12 Nopember 2015, ISSN 2477-0086, pp. 7-17.
- Young, W.C., Budynas, R.G. *Roark's Formula for Stress and Strain*. 7th ed., McGraw-Hill, New York, (2002).



AGSSEA
ASSOCIATION OF GEOTECHNICAL
SOCIETIES IN SOUTHEAST ASIA



20th SOUTHEAST ASIAN GEOTECHNICAL CONFERENCE - 3rd AGSSEA CONFERENCE

In conjunction with
22nd HATTI ANNUAL SCIENTIFIC MEETING

CERTIFICATE OF APPRECIATION

This certificate is awarded to

Ir. Anas Puri, MSc

as

Speaker

theme of the conference

“GEOTECHNICAL CHALLENGE FOR MEGA INFRASTRUCTURES”

Pullman Hotel - Jakarta, 6 - 7 November 2018

INDONESIAN SOCIETY
FOR GEOTECHNICAL ENGINEERING

Prof. Ir. Masyhur Irsyam, MSE, Ph.D
President

SOUTHEAST ASIAN
GEOTECHNICAL SOCIETY

Dr. Noppadol Phienwej
President

ASSOCIATION
OF GEOTECHNICAL SOCIETIES
IN SOUTHEAST ASIA

Ir. Kenny Yee
Hon. Secretary General

JAKARTA, 7 NOVEMBER 2018
ORGANIZING COMMITTEE

Dr. Ir. Pintor Tua Simatupang, MT
Chairman