

**PENGARUH NILAI *LOAD RATIO* TERHADAP STABILITAS
DAN DEFORMASI LATERAL PADA SISTEM *VACUUM*
*PRELOADING***

(Studi Kasus : Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Sipil



Oleh :

ISAH BELA MULYAWATI

NIM. 1702970

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

2021

**PENGARUH NILAI *LOAD RATIO* TERHADAP STABILITAS
DAN DEFORMASI LATERAL PADA SISTEM *VACUUM
PRELOADING***

(Studi Kasus : Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung)

Oleh
Isah Bela Mulyawati

Sebuah Tugas Akhir yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil

© Isah Bela Mulyawati 2021
Universitas Pendidikan Indonesia
Agustus 2021

Hak Cipta dilindungi undang-undang
Tugas Akhir ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
dengan dicetak ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PENGARUH NILAI *LOAD RATIO* TERHADAP STABILITAS DAN DEFORMASI LATERAL PADA SISTEM *VACUUM PRELOADING*

(Studi Kasus : Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung)

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I

Dr. Herwan Dermawan, S.T., M.T.

NIP. 19800128 200812 1 001

Pembimbing II

Dr. Ir. Nanang Dalil Herman, S.T., M.Pd.

NIP. 19620202 198803 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen
Pendidikan Teknik Sipil

Ketua Program Studi
Teknik Sipil

Dr. Rina Marina Masri, M.P.
NIP. 19650530 199101 2 001

Dr. Ir. Nanang Dalil Herman, S.T., M.Pd.
NIP. 19620202 198803 1 002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan lembar pernyataan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini dengan judul “**PENGARUH NILAI *LOAD RATIO* TERHADAP STABILITAS DAN DEFORMASI LATERAL PADA SISTEM *VACUUM PRELOADING*” beserta seluruh isinya adalah karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau tindakan plagiat dari sumber lain. Pengutipan materi maupun sumber kajian pendukung lainnya telah sesuai dengan cara-cara dan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko atau sanksi apabila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap tugas akhir ini.**

Bandung, Agustus 2021

Pembuat pernyataan

Isah Bela Mulyawati

NIM. 1702970

PENGARUH NILAI *LOAD RATIO* TERHADAP STABILITAS DAN DEFORMASI LATERAL PADA SISTEM *VACUUM PRELOADING*

(Studi Kasus : Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung)

Isah Bela Mulyawati, Herwan Dermawan¹, Muhammad Riza H²

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan,
Universitas Pendidikan Indonesia
E-mail: isahbelamulyawati@upi.edu

ABSTRAK

Salah satu jalur penghubung dalam pembangunan jalan tol di Pulau Sumatera yaitu ruas Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung Seksi 2. Pembangunan jalan tol tersebut harus memenuhi persyaratan teknis salah satunya dibangun pada kondisi tanah dengan konsistensi padat yang dapat menahan beban jalan dan kendaraan sesuai spesifikasi yang telah ditentukan. Fakta di lapangan berdasarkan analisis penyelidikan tanah (*soil investigation*) dan uji laboratorium, proyek pembangunan jalan tol ini terletak di daerah yang memiliki kondisi tanah lempung lunak, dimana tanah ini memiliki sifat daya dukung rendah, kompresibilitas tinggi, dan permeabilitas yang rendah. Dalam hal ini masalah yang terjadi meliputi ketidakstabilan tanah, penurunan, dan deformasi lateral. *Vacuum preloading* merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat tanah lunak tersebut. Dalam penelitian ini simulasi numerik GeoStudio (SIGMA/W dan SLOPE/W) digunakan untuk memprediksi perilaku tanah akibat *vacuum preloading* yang dibandingkan dengan data instrumentasi lapangan. Simulasi numerik dengan model *multi drain 2D plane strain* memberikan hasil prediksi pola penurunan, tekanan air pori, dan deformasi lateral yang berkorelasi cukup baik dengan pemantauan lapangan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2021 hingga Agustus 2021. Metode dalam penelitian ini yaitu metode penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Hasil simulasi pengaruh *load ratio* terhadap stabilitas menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai faktor keamanan rata-rata sebesar 2.78% akibat penambahan *load ratio*. Untuk memenuhi persyaratan penurunan jalan tol yaitu 10 cm/10 tahun dengan rate 2 cm/tahun, digunakan nilai *load ratio* sebesar 1.5 dengan masa pendiaman *vacuum* minimal 2.5 bulan. Berdasarkan analisis terhadap deformasi lateral akibat *vacuum* diketahui efek deformasi lateral dapat terjadi hingga jarak 12.15 m dari area perbaikan tanah.

Kata kunci : *load ratio, vacuum preloading, prefabricated vertical drain, stabilitas, deformasi lateral, simulasi numerik, GeoStudio*

¹Dosen Penanggung Jawab Kesatu

²Dosen Penanggung Jawab Kedua

EFFECT OF LOAD RATIO VALUE ON STABILITY AND LATERAL DEFORMATION IN VACUUM PRELOADING SYSTEM

(Case Study : Pematang Panggang – Kayu Agung Toll Road)

Isah Bela Mulyawati, Herwan Dermawan¹, Muhammad Riza H²

Major of Civil Engineering Bachelor, Faculty of Technology and Vocational Education, Indonesia University of Education

E-mail: isahbelamulyawati@upi.edu

ABSTRACT

The Pematang Panggang – Kayu Agung Toll Road Section 2 is one of the connecting lanes in the construction of toll roads on the island of Sumatra. Toll road construction must meet technical requirements, one of which is built on soil conditions with solid consistency that can withstand road and vehicle loads according to the specifications specified. has been determined. Facts in the field based on soil investigation analysis and laboratory tests, this toll road construction project is located in an area that has soft clay soil conditions, where this soil has a low bearing capacity, high compressibility, and low permeability. In this case, the problems that occur include soil instability, settlement, and lateral deformation. Vacuum preloading is a method that can be used to improve soft soil properties. In this study, numerical simulations of GeoStudio (SIGMA/W and SLOPE/W) were used to predict soil behavior due to vacuum preloading compared with field instrumentation data. Numerical simulations using the multi-drain 2D plane strain model provide predictions of settlement patterns, pore water pressures, and lateral deformations which correlate quite well with field monitoring. This research was conducted from February 2021 to August 2021. The method in this study is a descriptive research method with a quantitative approach. The simulation results of the effect of load ratio on stability show that there is a decrease in the average value of the safety factor of 2.78% due to the addition of the load ratio. To meet the requirements for reducing the toll road, which is 10 cm/10 years at a rate of 2 cm/year, a load ratio value of 1.5 is used with a minimum vacuum period of 2.5 months. Based on the analysis of lateral deformation due to vacuum, it is known that the effect of lateral deformation can occur up to a distance of 12.15 m from the soil improvement area.

Keywords: load ratio, vacuum preloading, prefabricated vertical drain, stability, lateral deformation, numerical simulation, GeoStudio

¹First responsible lecturer

²Second responsible lecturer

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur, kehadiran Allah SWT karena atas berkat rahmat, karunia, dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan proposal tugas akhir yang berjudul “PENGARUH NILAI *LOAD RATIO* TERHADAP STABILITAS DAN DEFORMASI LATERAL PADA SISTEM *VACUUM PRELOADING*” ini tepat pada waktunya.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi dan melengkapi sebagian syarat dalam mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini, terutama kepada :

1. Bapak Dr. Herwan Dermawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak masukan dan arahan kepada penulis.
2. Bapak Muhammad Riza H, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan waktu yang telah diluangkan kepada penulis untuk berdiskusi.
3. Ibu Dr. Rina Marina Masri, M.P. selaku Ketua Departemen Program Studi Teknik Sipil Universitas Pendidikan Indonesia.
4. Bapak Dr. H. Nanang Dalil Herman, S.T., M.Pd. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Pendidikan Indonesia.
5. Semua Civitas Akademika FPTK UPI atas dukungan dan bantuannya.
6. Akang dan TeteH yang telah membantu, Kang Zakwan, Kang Wira, Kang Ziyah, Teh Asri, Kang Aziz, Kang Cepi atas dukungan dan inspirasinya.
7. Kedua orang tua penulis, bapak Sahid dan ibu Sutinah yang telah memberikan dukungan baik secara moril, materil, dan do'a sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Rekan-rekan di Departemen Pendidikan Teknik Sipil angkatan 2017, FPTK, Universitas Pendidikan Indonesia, atas semua do'a dan dukungannya.

9. Semua pihak yang telah banyak membantu dan tidak bisa penulis sebutkan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini memiliki banyak kekurangan. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kebermanfaatan tugas akhir ini.

Akhir kata, penulis ucapkan terimakasih dan berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya.

Bandung, Agustus 2021

Isah Bela Mulyawati

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Rumusan Masalah.....	3
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Tanah Lunak	6
2.1.1 Lempung Lunak	7
2.1.2 Parameter Tanah.....	8
2.1.3 Model Konstitutif Tanah, Modified Cam Clay (MCC).....	19
2.1.4 Konsolidasi Tanah Lempung Lunak	23
2.2 Perbaikan Tanah Metode Vacuum Preloading	46
2.3 Load Ratio	71
2.4 Stabilitas Lereng Timbunan.....	73
2.5 Deformasi Lateral akibat Vacuum Preloading.....	74
2.6 Software GeoStudio.....	74

2.7 Studi-studi Terdahulu	75
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	94
3.1 Lokasi Penelitian.....	94
3.2 Waktu Penelitian.....	95
3.3 Metode Penelitian	95
3.4 Instrumen Penelitian	96
3.5 Populasi dan Sampling Technique.....	96
3.6 Data dan Sumber Data	96
3.7 Teknik Analisis	97
3.8 Kerangka Berpikir.....	98
3.9 Diagram Alir	99
3.10 Pemodelan dengan SIGMA/W	100
3.10.1 Pendahuluan.....	100
3.10.2 Pemodelan dan Sifat Material pada SIGMA/W.....	100
3.10.3 Kondisi Batas (Boundary Condition) pada SIGMA/W	101
3.10.4 Tipe Analisis pada SIGMA/W.....	102
3.10.5 Langkah-langkah Pemodelan Menggunakan SIGMA/W	104
3.11 Program SLOPE/W.....	119
3.11.1 Pendahuluan.....	119
3.11.2 Metode dan Sifat Material pada SLOPE/W	119
3.11.3 Langkah-langkah Pemodelan Menggunakan SLOPE/W	120
BAB 4 TEMUAN DAN PEMBAHASAN.....	129
4.1 Interpretasi Kondisi Tanah dan Simulasi Numerik.....	129
4.2 Analisis Stabilitas Akibat Pengaruh Load Ratio Di Jalan Tol Pematang-Panggung Kayu Agung Seksi 2 (STA. 153+950)	153
4.3 Pengaruh Antara Load Ratio dan Deformasi Lateral Di Jalan Tol Pematang-Panggung Kayu Agung Seksi 2 (STA. 153+950).....	180
BAB 5 SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI	184

5.1	Simpulan	184
5.2	Implikasi	184
5.3	Rekomendasi.....	185
	DAFTAR PUSTAKA.....	187
	LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Sebaran Tanah Lunak Indonesia	6
Gambar 2. 2 Zona Tipe Tanah qt-Fr (Sumber : Robertson et al., 1986)	10
Gambar 2. 3 Zona Tipe Tanah qc/Pa-Fr (Sumber : Robertson, 1990)	12
Gambar 2. 4 Korelasi Grafik CPT Robertson dengan nilai γ/γ_w	16
Gambar 2. 5 Tipikal hasil uji konsolidasi (a) 1 dimensi, (b) isotropic	20
Gambar 2. 6 Tipikal bentuk kurva konsolidasi, nilai e versus $\ln p'$	20
Gambar 2. 7 Normal consolidation dan garis critical state	21
Gambar 2. 8 Konsep Vertical drain kombinasi dengan Preloading	24
Gambar 2. 9 Derajat konsolidasi U_z , fungsi kedalaman terhadap faktor waktu sama dengan tekanan eksese air pori	26
Gambar 2. 10 Derajat konsolidasi rata-rata, U_v	26
Gambar 2. 11 Konsolidometer	27
Gambar 2. 12 Grafik waktu-pemampatan selama konsolidasi untuk suatu penambahan beban yang diberikan	28
Gambar 2. 13 Perubahan tinggi contoh tanah pada uji konsolidasi satu dimensi	29
Gambar 2. 14 Grafik e versus $\log p$	30
Gambar 2. 15 Variasi angka pori terhadap tekanan	31
Gambar 2. 16 Grafik e versus $\log p$ yang menunjukkan keadaan akibat pembebanan, pengangkatan beban, dan pembebanan kembali.	32
Gambar 2. 17 Prosedur penentuan tekanan prakonsolidasi, P_c dengan cara grafis	33
Gambar 2. 18 Karakteristik konsolidasi lempung yang terkonsolidasi secara normal dengan sensitifitas rendah sampai sedang	34
Gambar 2. 19 Karakteristik konsolidasi lempung yang terlalu terkonsolidasi dengan sensitifitas rendah sampai sedang	35
Gambar 2. 20 Karakteristik konsolidasi lempung yang sensitif	36
Gambar 2. 21 Pengaruh lama pembebanan pada kurva e versus $\log p$	36
Gambar 2. 22 Pengaruh rasio penambahan beban pada kurva e versus $\log p$	37
Gambar 2. 23 Penurunan yang disebabkan oleh konsolidasi satu dimensi	38

Gambar 2. 24 Macam-macam tipe keadaan aliran air pori: (a) U_v tetap, (b) U_v yang berubah secara linear	42
Gambar 2. 25 Variasi derajat konsolidasi rata-rata terhadap faktor waktu, T_v (U_v tetap untuk seluruh tebal lapisan)	43
Gambar 2. 26 Metode logaritma-waktu untuk menentukan koefisien konsolidasi.....	44
Gambar 2. 27 Metode akar-waktu.....	45
Gambar 2. 28 Metode Perbaikan Tanah dan Kesesuaiannya terhadap Jenis Tanah	47
Gambar 2. 29 Solusi Perbaikan Tanah untuk Timbunan di Atas Tanah Lunak.....	48
Gambar 2. 30 Proses konsolidasi: (a) timbunan konvensional, (b) vacuum preloading	49
Gambar 2. 31 Sistem vacuum preloading: (a) sistem membran, (b) sistem tanpa membran..	50
Gambar 2. 32 konversi axisymmetric unit cell ke kondisi plane strain	51
Gambar 2. 33 Distribusi tekanan vakum pada unit cell (a) Kondisi axisymmetric, (b) Kondisi Plane strain.....	51
Gambar 2. 34 Deformasi elemen tanah yang mengalami tekanan vakum (a) tekanan awal, (b) tidak ada lateral displacements, (c) dengan lateral displacements.	52
Gambar 2. 35 Analogi pegas pada proses konsolidasi: (a) pada penambahan timbunan; (b) pada beban vakum (Sumber : Chu dan Yan, 2015)	53
Gambar 2. 36 Perkembangan tekanan tanah, air pori, dan tekanan udara, sebelum dan selama proses konsolidasi vakum	55
Gambar 2. 37 Bagan Alir Pengambilan Keputusan untuk Metode Drainase Vertikal.....	58
Gambar 2. 38 Lebar dan Ketebalan PVD	60
Gambar 2. 39 Lipatan pada PVD	61
Gambar 2. 40 Variasi discharge capacity dengan tekanan yang berbeda	62
Gambar 2. 41 Smear Effect.....	63
Gambar 2. 42 Smear Zone di sekitar mandrel	64
Gambar 2. 43 Skema overlapping pada zona smear	64
Gambar 2. 44 (a) Permeabilitas horisontal, (b) Permeabilitas vertikal	65
Gambar 2. 45 Variasi dari (a) permeabilitas horisontal, (b) permeabilitas vertikal, (c) ratio permeabilitas, dan (d) normalized lateral permeability dengan radial distance	66
Gambar 2. 46 Variasi dari (a) kadar air, (b) penurunan kadar air normal dengan radial distance pada kedalaman 0.5 m.....	67

Gambar 2. 47 Korelasi antara reduksi permeabilitas dan kadar air dalam smear zone.....	67
Gambar 2. 48 Pola vertical drain: (a) persegi dan (b) segitiga.....	69
Gambar 2. 49 Skema perbaikan dengan PVD.....	71
Gambar 2. 50 Load Ratio.....	71
Gambar 2. 51 Perencanaan Timbunan	72
Gambar 2. 52 Deformasi Lateral Tanah Dasar	74
Gambar 2. 53 Konfigurasi Tanggul Bandara Bangkok.....	76
Gambar 2. 54 Posisi vertical drain dan layer pada timbunan.....	76
Gambar 2. 55 Single Drain dengan boundary condition untuk menggambarkan efek drain ..	78
Gambar 2. 56 Pembebanan yang diterapkan.....	78
Gambar 2. 57 Surface settlement dengan spasi PVD 1.5 m.....	79
Gambar 2. 58 Pore water pressure pada kedalaman 5 m	79
Gambar 2. 59 Tahap pembebanan timbunan TV1, second Bangkok International Airport, Thailand	80
Gambar 2. 60 Nilai suction terhadap kedalaman dan waktu untuk timbunan TV1	81
Gambar 2. 61 Finite elements mesh untuk timbunan.....	82
Gambar 2. 62 Tekanan air pori pada kedalaman 3 m dibawah permukaan tanah (Point A)...	82
Gambar 2. 63 Deformasi lateral di akhir konstruksi (setelah 150 hari) pada kaki timbunan (Point C).....	83
Gambar 2. 64 Surface settlement untuk timbunan (Point B)	83
Gambar 2. 65 Tahapan pembebanan dan hasil tekanan air pori	85
Gambar 2. 66 Hasil analisis simulasi dengan data monitoring	85
Gambar 2. 67 Tekanan air pori hasil simulasi dan data monitoring	86
Gambar 2. 68 Deformasi lateral hasil simulasi dan data monitoring.....	86
Gambar 2. 69 Grafik penurunan terhadap waktu	88
Gambar 2. 70 Grafik tekanan air pori terhadap waktu.....	88
Gambar 2. 71 Grafik deformasi lateral di kaki timbunan	89
Gambar 2. 72 Hubungan antara nilai load ratio, lama pendiaman, dan penurunan sisa	89
Gambar 2. 73 Grafik (a) Penurunan tanah kondisi dengan dan tanpa beban service, (b) Nilai tekanan air pori untuk kondisi dengan dan tanpa beban service	90
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian.....	94

Gambar 3. 2 Diagram Kerangka Berpikir	98
Gambar 3. 3 Diagram Alir	100
Gambar 3. 4 Program GeoStudio 2018 R2	104
Gambar 3. 5 Membuat Data Baru	104
Gambar 3. 6 Pengaturan units pada SIGMA/W	105
Gambar 3. 7 Pengaturan grid pada SIGMA/W	105
Gambar 3. 8 Pengaturan scale pada SIGMA/W	106
Gambar 3. 9 Penentuan Analysis Type pada SIGMA/W	106
Gambar 3. 10 Geometri Model Tanah pada SIGMA/W	106
Gambar 3. 11 Material Properties Timbunan SIGMA/W	107
Gambar 3. 12 Material Properties Sand Platform SIGMA/W	108
Gambar 3. 13 Volumetric Water Content Function Lempung (Sangat Lunak)	109
Gambar 3. 14 Hydraulic Conductivity Lempung (Sangat Lunak)	109
Gambar 3. 15 Material Properties Lempung (Sangat Lunak) SIGMA/W	110
Gambar 3. 16 Material Properties Lempung (Sangat Lunak) Smearred Zone	110
Gambar 3. 17 Volumetric Water Content Function Lempung (Lunak)	111
Gambar 3. 18 Hydraulic Conductivity Lempung (Sangat Lunak)	112
Gambar 3. 19 Material Properties Lempung (Sangat Lunak) SIGMA/W	112
Gambar 3. 20 Material Properties Lempung (Sangat Lunak) Smearred Zone	113
Gambar 3. 21 Volumetric Water Content Function Lempung (Medium)	114
Gambar 3. 22 Hydraulic Conductivity Lempung (Medium)	114
Gambar 3. 23 Material Properties Lempung (Medium) SIGMA/W	115
Gambar 3. 24 Boundary Condition SIGMA/W	115
Gambar 3. 25 Boundary Condition Tekanan Vacuum	116
Gambar 3. 26 Model setelah diinput material	117
Gambar 3. 27 Model setelah diinput boundary conditions	117
Gambar 3. 28 Solve Analysis	118
Gambar 3. 29 Menampilkan output kontur dan grafik	118
Gambar 3. 30 Penentuan Analysis Type pada SLOPE/W	121
Gambar 3. 31 Penentuan Slip Surface pada SLOPE/W	121
Gambar 3. 32 Geometri Model Tanah pada SLOPE/W	122

Gambar 3. 33 Material Properties Timbunan SLOPE/W.....	122
Gambar 3. 34 Material Properties Sand Platform SLOPE/W	123
Gambar 3. 35 Material Properties Lempung (Sangat Lunak) SLOPE/W	123
Gambar 3. 36 Material Properties Lempung (Sangat Lunak) SLOPE/W	124
Gambar 3. 37 Material Properties Lempung (Medium) SLOPE/W.....	124
Gambar 3. 38 Material Properties Sub Base SLOPE/W	125
Gambar 3. 39 Material Properties Rigid Pavement SLOPE/W	125
Gambar 3. 40 Model setelah diinput material pada SLOPE/W	126
Gambar 3. 41 Lokasi Entry and Exit SLOPE/W.....	126
Gambar 3. 42 Menampilkan output kontur dan grafik.....	127
Gambar 3. 43 Hasil Analisis SLOPE/W untuk Faktor Keamanan.....	127
Gambar 3. 44 Free body diagram dan Force Polygon potongan yang ditinjau.....	127
Gambar 3. 45 Profil Slip Surface	128
Gambar 4. 1 Stratifikasi Tanah	130
Gambar 4. 2 Data Instrumentasi Lapangan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung Seksi 2.....	137
Gambar 4. 3 Konversi Permeabilitas STA 153+950.....	139
Gambar 4. 4 Loading History STA 153+950.....	140
Gambar 4. 5 Tekanan Vacuum STA 153+950.....	140
Gambar 4. 6 Input Tekanan Vacuum pada GeoStudio	142
Gambar 4. 7 Simulasi Plane Strain dengan GeoStudio.....	142
Gambar 4. 8 Grafik Penurunan Terhadap Waktu.....	143
Gambar 4. 9 Grafik Hubungan Penurunan Hasil Simulasi dan Aktual.....	145
Gambar 4. 10 Titik Observasi Tekanan Air Pori	146
Gambar 4. 11 Grafik Tekanan Air Pori Terhadap Waktu	146
Gambar 4. 12 Grafik Hubungan Pore Water Pressure Simulasi dan Aktual Pada kedalaman 5.5 meter.....	148
Gambar 4. 13 Grafik Hubungan Pore Water Pressure Simulasi dan Aktual Pada kedalaman 11 meter.....	148
Gambar 4. 14 Grafik Deformasi Lateral di Kaki Timbunan.....	149
Gambar 4. 15 Grafik Hubungan Deformasi Lateral Simulasi dan Aktual	150

Gambar 4. 16 Nilai Rasio Permeabilitas (Iskandar et al., 2018).....	151
Gambar 4. 17 Grafik Penurunan Terhadap Waktu Untuk Setiap Rasio kh/ks	152
Gambar 4. 18 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.05 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	154
Gambar 4. 19 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.1 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	155
Gambar 4. 20 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.15 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	156
Gambar 4. 21 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.2 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	157
Gambar 4. 22 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.25 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	158
Gambar 4. 23 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.3 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	159
Gambar 4. 24 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.35 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	160
Gambar 4. 25 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.4 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	161
Gambar 4. 26 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.45 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	162
Gambar 4. 22 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.5 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	163
Gambar 4. 28 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.55 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	164
Gambar 4. 23 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.6 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	165
Gambar 4. 30 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.65 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	166
Gambar 4. 31 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.7 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	167
Gambar 4. 32 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.75 :	

(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	168
Gambar 4. 33 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.8 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	169
Gambar 4. 34 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.85 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	170
Gambar 4. 35 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.9 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	171
Gambar 4. 36 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 1.95 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	172
Gambar 4. 37 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Load Ratio 2.0 :	
(a) Tanpa vacuum, (b) Dengan vacuum	173
Gambar 4. 38 Grafik Load Ratio terhadap Faktor Keamanan	174
Gambar 4. 39 Pengaruh Load Ratio terhadap Faktor Keamanan.....	177
Gambar 4. 40 Hubungan Antara Nilai Load Ratio, Masa Pendiaman, dan Penurunan Residual.....	179
Gambar 4. 41 Pergerakan Lateral akibat vacuum preloading	180
Gambar 4. 42 Pengaruh Load Ratio terhadap Deformasi Lateral	181
Gambar 4. 43 Hasil Analisis Deformasi Lateral (Saat perbaikan tanah selesai).....	182
Gambar 4. 44 Hubungan Load Ratio terhadap Deformasi Lateral	183

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Definisi Kuat Geser Lempung Lunak	7
Tabel 2. 2 Indikator Kuat Geser Tak Terdrainase Tanah-tanah Lempung Lunak	8
Tabel 2. 3 Klasifikasi Tanah dari Data Sondir	8
Tabel 2. 4 Nilai Tahanan Konus (q_c) terhadap Konsistensi Tanah.....	9
Tabel 2. 5 Zona tipe tanah qt-Fr.....	10
Tabel 2. 6 Revisi zona tipe tanah parameter CPT ternormalisasi dengan integrasi overconsolidated/cemented.....	11
Tabel 2. 7 Zona Tipe Tanah q_c/Pa -Fr	12
Tabel 2. 8 Parameter lempung dan korelasinya	13
Tabel 2. 9 Korelasi nilai tahanan konus (q_c) dan SPT berdasarkan Konsistensi Tanah Lanau dan Lempung.....	14
Tabel 2. 10 Nilai Undrained Cohesion terhadap Tahanan Konus.....	14
Tabel 2. 11 Berat volume tanah kondisi jenuh dan kering.....	15
Tabel 2. 12 Modulus elastisitas berbagai jenis tanah.....	16
Tabel 2. 13 Poisson Ratio Untuk Berbagai Jenis Tanah	17
Tabel 2. 14 Nilai tipikal kohesi efektif (C') dan sudut geser efektif (ϕ').....	18
Tabel 2. 15 Nilai tipikal void ratio (e)	19
Tabel 2. 16 Nilai U_v dan T_v	27
Tabel 2. 17 Hubungan untuk Indeks Pemampatan, C_c	40
Tabel 2. 18 Variasi faktor waktu terhadap Derajat konsolidasi*	41
Tabel 2. 19 Faktor waktu terhadap Derajat konsolidasi.....	41
Tabel 2. 20 Contoh Perhitungan Load Ratio Pada Penelitian Dermawan (2020).....	72
Tabel 2. 21 Aplikasi GeoStudio.....	75
Tabel 2. 22 Koefisien permeabilitas untuk timbunan TS1.....	77
Tabel 2. 23 Parameter tanah yang digunakan dalam analisis.....	81
Tabel 2. 24 Parameter tanah untuk analisis 2D dan 3D	84
Tabel 2. 25 Parameter Tanah Lokasi 1	87
Tabel 2. 26 Parameter Tanah Lokasi 2	87
Tabel 2. 27 Studi-studi terdahulu.....	91

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian.....	95
Tabel 3. 2 Jenis dan sumber data yang digunakan pada penelitian.....	96
Tabel 3. 3 Kondisi batas dan simbol yang digunakan.....	101
Tabel 3. 4 Kondisi batas yang digunakan pada bagian tepi model	102
Tabel 3. 5 Stength Material Model	120
Tabel 4. 1 Rekapitulasi Kelengkapan Data Proyek.....	129
Tabel 4. 2 Parameter berat isi jenuh tanah (γ_{sat})	131
Tabel 4. 3 Parameter Poisson's Ratio (ν).....	131
Tabel 4. 4 Parameter kohesi undrained (C_u) dan kohesi efektif (C')	132
Tabel 4. 5 Parameter sudut geser efektif (ϕ').....	132
Tabel 4. 6 Parameter Over Consolidation Ratio (OCR)	133
Tabel 4. 7 Parameter slope of critical state line (M).....	133
Tabel 4. 8 Parameter Void Ratio.....	133
Tabel 4. 9 Parameter Slope of The Isotropic Normal Consolidation Line (λ)	134
Tabel 4. 10 Parameter Slope of The Isotropic Over-consolidation (swelling) line (κ)	134
Tabel 4. 11 Parameter Permeabilitas (k).....	134
Tabel 4. 12 Parameter Modulus Elastisitas (E).....	135
Tabel 4. 13 Summary Parameter Tanah.....	135
Tabel 4. 14 Parameter Sand Platform	135
Tabel 4. 15 Parameter Timbunan.....	135
Tabel 4. 16 Nilai Permeabilitas Plane Strain	139
Tabel 4. 17 Tahapan Konstruksi Untuk Simulasi STA 153+950.....	141
Tabel 4. 18 Persentase Perbedaan Hasil Simulasi dengan Pemantauan Lapangan.....	152
Tabel 4. 19 Perhitungan Load Ratio 1.05	154
Tabel 4. 20 Perhitungan Load Ratio 1.1	155
Tabel 4. 21 Perhitungan Load Ratio 1.15	156
Tabel 4. 22 Perhitungan Load Ratio 1.2	157
Tabel 4. 23 Perhitungan Load Ratio 1.25	158
Tabel 4. 24 Perhitungan Load Ratio 1.3	159
Tabel 4. 25 Perhitungan Load Ratio 1.35	160
Tabel 4. 26 Perhitungan Load Ratio 1.4	161

Tabel 4. 27 Perhitungan Load Ratio 1.45	162
Tabel 4. 28 Perhitungan Load Ratio 1.5	163
Tabel 4. 29 Perhitungan Load Ratio 1.55	164
Tabel 4. 24 Perhitungan Load Ratio 1.6	165
Tabel 4. 31 Perhitungan Load Ratio 1.65	166
Tabel 4. 32 Perhitungan Load Ratio 1.7	167
Tabel 4. 33 Perhitungan Load Ratio 1.75	168
Tabel 4. 34 Perhitungan Load Ratio 1.8	169
Tabel 4. 35 Perhitungan Load Ratio 1.85	170
Tabel 4. 36 Perhitungan Load Ratio 1.9	171
Tabel 4. 37 Perhitungan Load Ratio 1.95	172
Tabel 4. 38 Perhitungan Load Ratio 2.0	173
Tabel 4. 39 Presentase Penurunan Nilai Faktor Keamanan Berdasarkan Load Ratio	176
Tabel 4. 40 Pengaruh Deformasi Lateral dari Batas Perbaikan Tanah di Kaki Timbunan ...	182

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Tugas Dosen Pembimbing

Lampiran 2. Kartu Asistensi Tugas Akhir

Lampiran 3. Data Penyelidikan Tanah dan Monitoring Instrumentasi

Lampiran 4. Shading Simulasi Geostudio – Displacement

Lampiran 5. Shading Simulasi Geostudio – Pore Water Pressure

DAFTAR PUSTAKA

- Akagi, T. (1979). Consolidation caused by Mandrel-driven sand drainse. *In Proceedings of the 6th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Singapore, Southeast Asian Geotechnical Society, Bangkok, 1*, 125–128.
- Balai Penerapan Teknologi Konstruksi. (2017). *In Build: Penerapan Teknologi Konstruksi yang Lebih Murah, Lebih Cepat, dan Lebih Baik*. Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Barron, R. A. (1948). Consolidation of fine-grained soils by drain wells. *Transactions ASCE, 113*(2346), 718–724.
- Begemann, H. K. (1965). The friction jacket cone as an aid in determining the soil profile. *In Proc. 6th Int. Conf. on SMFE, 1*, 17–20.
- Bergado, D. T., Anderson, L. R., Miura, N., Balasubramaniam, A. S. (1996). Soft ground improvement in lowland and other environments. *In ASCE Press*.
- Bergado, D. T., H. Asakami, M. C. A. and A. S. B. (1991). Smear effects of vertical drains on soft Bangkok clay. *J. Geotech. Eng., ASCE, 117*(10), 1509–1530.
- Bergado, D. T., Chai, J. C., Miura, N., & Balasubramaniam, A. S. (1998). PVD improvement of soft Bangkok clay with combined vacuum and reduced sand embankment preloading. *Geotechnical Engineering, 29*(1), 95–122.
- Casagrande, A. (1936). Determination of the Preconsolidation Load and Its Practical Significance. *Proceedings, 1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cambridge, Mass, 3*, 60–64.
- Chai, J. C., J. P. C. and S. H. (2005). Ground Deformation Induced by Vacuum Consolidation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 131*(12), 1552–1561.
- Chen, H., Bao, X. C. (1983). Analysis of soil consolidation stress under the action of negative pressure. *Proceedings 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Helsinki, 2*, 591–596.
- Choa, V. (1990). Soil improvement works at Tianjin East Pier project. *Proceedings 10th Southeast Asian Geotechnical Conference, Taipei, 1*, 47–52.
- Chu, J., & Yan, S. (2015). Application of the Vacuum Preloading Method in Soil Improvement Projects. *Ground Improvement Case Histories*, 123–150.
- Chu, J., Yan, S.W., Yang, H. (2000). Soil improvement by the vacuum preloading

- method for an oil storage station. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, 50(6), 625–632.
- Chu, J., Yan, S. W. (2005). Application of vacuum preloading method in soil improvement project. *Indraratna, B., Chu, J. (Eds.), In: Case Histories Book, Elsevier, London, 3*, 91–118.
- Chu, J., & Yan, S. (2015). Application of the Vacuum Preloading Method in Soil Improvement Projects. *Embankment with Special Reference to Consolidation and Other Physical Methods*.
- Crawford, C. B. (1964). Interpretation of the Consolidation Tests. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE*, 90(No. SM5), 93–108.
- CUR. (1996). *Building in Soft Soils, AA Balkema*. AA Balkema.
- Darwis. (2017). *Dasar-dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Pustaka AQ.
- Das, B.M., dan Shoban, K. (2014). *Principle of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning.
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1. In *Penerbit Erlangga*.
- Das, B. M. (2002). *Principles of Geotechnical Engineering*. Brooks Cole/Thompson Learning.
- Das, B. M. (2007). *Principle of Foundation Engineering*. Cengage Learning.
- Dermawan, H. (2020). Aspek Geoteknik Pada Timbunan di Atas Tanah Lunak Pekerjaan Perbaikan Tanah Pada Pembangunan Jalan Tol. *Materi Presentasi Di Universitas Teknologi Sumatera*.
- Dermawan, Herwan. (2021). *Studi Mekanisme Transfer Beban Pada Aplikasi Vacuum Preloading Berdasarkan Simulasi Numerik dan Pengamatan Lapangan Instrumentasi Lapangan*. Institut Teknologi Bandung.
- Geng, X., Indraratna, B., & Rujikiatkamjorn, C. (2012). Analytical Solutions for a Single Vertical Drain with Vacuum and Time-Dependent Surcharge Preloading in Membrane and Membraneless Systems. *International Journal of Geomechanics*, 12(1), 27–42. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gm.1943-5622.0000106](https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0000106)
- GEOSLOPE International Ltd. (2020). *Heat and mass transfer modeling with GeoStudio 2020 (First Edition)*. Calgary, Alberta.
- Griffin, H., & O'Kelly, B. C. (2014). Ground improvement by vacuum consolidation-a review. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Ground Improvement*, 167(4), 274–290. <https://doi.org/10.1680/grim.13.00012>

- Hansbo, S. (1979). Consolidation of clay by band-shaped prefabricated drains. *GroundEngineering*, 12(5).
- Hansbo, S. (1981). Consolidation of fine-grained soils by prefabricated drains. *Proceedings, 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 3.
- Hansbo, S. (1987). Design aspects of vertical drains and lime column installations. *Proceedings of the 9th Southeast Asian Geotechnical Conference, Bangkok, Thailand*, 2, 8-1-8-2.
- Hansbo, S. (1994). *Foundation Engineering*. Elsevier Science B. V.
- Hardiyatmo, H. C. (2017). *Metode Vacuum Preloading Sebagai Salah Satu Alternatif Solusi Pembangunan Timbunan Di Atas Tanah Lunak*. 1(02), 47–55.
- Helwany, S. (2007). *Applied Soil Mechanics with ABAQUS Applications*. John Wiley & Sons.
- Holtz, R. D. (1975). Preloading by vacuum: current prospects. *Transport. Res. Rec.*, 548, 26–79.
- Indonesia Ministry for Economic Affairs. (2011). *Acceleration and expansion of Indonesia economic development 2011-2025*.
- Indonesia, P. R. (2014). *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 100 Tahun 2014 Tentang Percepatan Pembangunan Jalan Tol di Sumatera*.
- Indraratna, B., I. Sathananthan, C. B. and A. S. B. (2005). Chapter 2 - Theoretical and numerical perspectives and field observations for the design and performance evaluation of embankments constructed on soft marine clay. *Ground Improvement Case Histories. B. Indraratna and J. Chu, Elsevier Geo-Engineering Book Series*, 3, 51–117.
- Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., Balasubramaniam, A. S., Wijeyakulasuriya, V. (2005). Predictions and observations of soft clay foundations stabilized with geosynthetic drains vacuum surcharge. *In: Indraratna, B., Chu, J. (Eds.), In: Case Histories Book*, 3, 199–230.
- Indraratna, B., Sathananthan, I., Rujikiatkamjorn, C., Balasubramaniam, A. S. (2005). Analytical and numerical modelling of soft soil stabilized by PVD incorporating vacuum preloading. *Int. J. Geomech., ASCE*, 5(2), 114–124.
- Indraratna, B. (2015). Recent advances in soft soil consolidation. *Ground Improvement Case Histories: Embankments with Special Reference to Consolidation and Other Physical Methods*.
- Indraratna, B. B., & Redana, I. W. (1997). Plane strain modelling of smear zone effects

- associated with vertical drains. *J. Geotech. Geoenviron. Eng., ASCE* 123, May, 474–478.
- Indraratna, B., & Redana, I. W. (1998). Laboratory Determination of Smear Zone due to Vertical Drain Installation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 124(2), 180–184. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(1998\)124:2\(180\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(1998)124:2(180))
- Indraratna, B., & Redana, I. W. (2000). Numerical modeling of vertical drains with smear and well resistance installed in soft clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 37(1), 132–145. <https://doi.org/10.1139/t99-115>
- Indraratna, B., & Rujikiatkamjorn, C. (2004). Mathematical modeling and field evaluation of embankment stabilized with vertical drains incorporating vacuum preloading. *Faculty of Engineering-Papers, April*, 13–17. <http://ro.uow.edu.au/engpapers/202/>
- Indraratna, Buddhima, Rujikiatkamjorn, C., & Sathananthan, I. (2005). Analytical and numerical solutions for a single vertical drain including the effects of vacuum preloading. *Canadian Geotechnical Journal*, 42(4), 994–1014. <https://doi.org/10.1139/t05-029>
- Iskandar, R., Tarigan, A. P. M., & Roesyanto, A. P. M. (2018). A Review on the Characteristics of the Smear Zone: Field Data Back Calculation Compared with Laboratory Testing. *The Open Civil Engineering Journal*, 12(1), 340–354. <https://doi.org/10.2174/1874149501812010340>
- Jacob, A., Thevanayagam, S., Kavazanjian, E. (1994). Vacuum assisted consolidation of a hydraulic landfill. *ASCE Geotechnical, Special Pu*, 1249–1261.
- Jamiolkowski, M., Lancellota, R. and Wolski, W. (1983). Precompression and speeding up consolidation. *Proceedings, Eighth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 3.
- Kjellman, W. (1952). Consolidation of clayey soils by atmospheric pressure. *In: Proc. of a Conf. on Soil Stabilization. Massachusetts Institute of Technology, Boston*, 258–263.
- Kumalasari, P. T. (2015). *Sejarah Perkembangan dan Kegunaan Prefabricated Vertikal Drain Sebagai Salah Satu Metode Perbaikan Tanah Lunak*.
- Lambe T. W. & Whitman R. V. (1969). *Soil Mechanics*. McGraw Hill.
- Leonards, G. A. and Altschaeffl, A. G. (1964). Compressibility of Clay. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 90, 133–156.
- Leroueil, S. (1997). *Notes de cours: Comportement des massifs de sols*.

- Look, B. G. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor & Francis Group.
- M. W. Bo, J. Cho, B. K. Low, V. C. (2002). *Soil Improvement Prefabricated Vertical Drain Techniques*. Cengage Learning.
- Mayne PW. (2007). Cone penetration testing State-of-Practice, NCHRP Synthesis. *Transportation Research Board Report Project 20–05*, 118.
- Mesri, G. and R. E. O. (1971). Mechanisms controlling the permeability of clays. *Clays and Clay Minerals*, 19(3), 151–158.
- Mochtar, N. E. (2012). *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*. ITS Press.
- Parluhutan, O. C. (2014). Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland STA. 1000 m). *Jurnal Sipil Statik*, 2(3), 139–147.
- Pasaribu, T. H., & Iskandar, R. (2012). Analisa pada Penurunan Tanah Lunak Akibat Timbunan (Kasus Runway Bandara Medan Baru). *Jurnal Teknik Sipil USU*, 1(2).
- Perera, M. D. A. (2015). *Modelling vertical drains with vacuum preloading considering the soil structure characteristics*. 1–246. <https://ro.uow.edu.au/theses/4503>
- Pranantya, P. A., Sukiyah, E., Utomo, E. P., & Hendarmawan, H. (2018). Korelasi Nilai Sondir Terhadap Parameter Geoteknik Dan Rembesan Pada Pondasi Tanggul Fase E, Kalibaru, Jakarta Utara. *JURNAL SUMBER DAYA AIR*, 14(2), 73–86.
- Puspita, N. (2016). Mekanika Tanah 1. *Enim Innovation Technology, Muara Enim – Palembang*.
- Qian, J. H., Zhao, W. B., Cheung, Y. K., Lee, P. K. K. (1992). The theory and practice of vacuum preloading. *Comput. Geotech*, 13, 103–118.
- Rendon-Herrero, O. (1980). Universal Compression Index of Soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 106, 1179–1200.
- Rixner, J. J., S. R. K. and A. D. S. (1986). Prefabricated Vertical Drains. *I, II and III: Summary of Research Report-Final Report*. Washington D.C, 433.
- Robertson, P. K., R. G. Campanella, D. Gillespie, and J. G. (1986). Use of Piezometer Cone Data. *Proceedings of the ASCE Specialty Conference on In Situ '86: Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering*, 1263–1280.
- Robertson, P. K. (1990). Soil classification using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, 27(1), 151–158.
- Rujikiatkamjorn, C., Indraratna, B., & Chu, J. (2008). 2D and 3D Numerical Modeling of Combined Surcharge and Vacuum Preloading with Vertical Drains.

- International Journal of Geomechanics*, 8(2), 144–156.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)1532-3641\(2008\)8:2\(144\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1532-3641(2008)8:2(144))
- Sathananthan, I., & Indraratna, B. (2006). Laboratory Evaluation of Smear Zone and Correlation between Permeability and Moisture Content. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(7), 942–945.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(2006\)132:7\(942\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(2006)132:7(942))
- Schofield, A., & Wroth, D. (1968). *Critical state soil mechanics*. Cambridge University.
- Sivaram, B., and Swamee, P. (1977). A Computational Method for Consolidation Coefficient. *Soils and Foundations*, 17(2), 48–52.
- Standar dan Paten (BSN) Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan perancangan geoteknik, SNI 8460 : 2017*.
- Standard, A. (2002). *AS 4678-2002 Earth retaining structures*.
- Tavenas, F., P. Jean, P. L. and S. L. (1983). The permeability of natural soft clays. *Canadian Geotechnical Journal*.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., and Mersi, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd ed.* John Wiley & Sons.
- Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice. 2nd.* Wiley.
- Walker, R. and B. I. (2006). Vertical Drain Consolidation with Parabolic Distribution of Permeability in Smear Zone. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(7), 937–941.
- Walker, R. and B. I. (2007). Vertical drain consolidation with overlapping smear zones. *Geotechnique*, 57(5), 463–467.
- Wardoyo. (2019). *Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia*. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- WSP International. (2001a). Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak. *Pusat Litbang Prasarana Transportasi*.
- WSP International. (2001b). Panduan Geoteknik 4 Desain dan Konstruksi. *Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 4*.