

**SKRIPSI**

**ANALISIS PONDASI TIANG AKIBAT GAYA *LATERAL*  
*SPREADING* PADA SAAT GEMPA**



**Maverick Subarjan**

**NPM : 2016410185**

**PEMBIMBING : Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D.**

**KO-PEMBIMBING : Aflizal Arafianto**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**(Terakreditasi SK BAN - PT No.:1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)**

**BANDUNG**

**AGUSTUS 2020**

**SKRIPSI**

**ANALISIS PONDASI TIANG AKIBAT GAYA *LATERAL*  
*SPREADING* PADA SAAT GEMPA**



**Maverick Subarjan**

**NPM : 2016410185**

**PEMBIMBING : Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D.**

**KO-PEMBIMBING : Aflizal Arafianto**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**(Terakreditasi SK BAN - PT No.:1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)**

**BANDUNG**

**AGUSTUS 2020**

**SKRIPSI**  
**ANALISIS PONDASI TIANG AKIBAT GAYA *LATERAL***  
***SPREADING* PADA SAAT GEMPA**



**Maverick Subarjan**  
**NPM : 2016410185**

**BANDUNG, 29 JULI 2020**

**PEMBIMBING:**



**Prof. Paulus Pramono**  
**Rahardjo, Ph. D.**

**KO-PEMBIMBING:**



**Afizal Arafianto**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**(Terakreditasi SK BAN - PT No.:1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)**

**BANDUNG**  
**AGUSTUS 2020**

## PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut:

Nama : Maverick Subarjan

NPM : 2016410185

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa skripsi / ~~tesis / disertasi~~<sup>1</sup> dengan judul:

"Analisis Pondasi Tiang Akibat Gaya Lateral Spreading Pada Saat Gempa"

adalah benar-benar karya saya sendiri di bawah bimbingan dosen pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan: di Bandung

Tanggal: 26 Juli 2020

  
64354ADF078572630  
6000  
Maverick Subarjan

<sup>1</sup> coret yang tidak perlu

# **ANALISIS PONDASI TIANG AKIBAT GAYA *LATERAL SPREADING* PADA SAAT GEMPA**

**Maverick Subarjan**  
**NPM: 2016410185**

**Pembimbing: Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph. D.**

**Ko-Pembimbing: Aflizal Arafianto**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**  
**(Terakreditasi SK BAN - PT No.:1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)**

**BANDUNG**  
**AGUSTUS 2020**

## **ABSTRAK**

*Lateral spreading* merupakan peristiwa mengalirnya tanah yang terlikuifaksi pada daerah dengan kemiringan tertentu. Aliran tanah tersebut dapat memberikan gaya lateral tambahan terhadap pondasi terutama pondasi dalam. Gaya tambahan lateral ini perlu dipertimbangkan ketika mendesain suatu pondasi tiang dalam untuk mencegah kerusakan pada pondasi yang dapat membahayakan struktur bangunan diatas pondasi. Studi ini bertujuan untuk menganalisis dampak dari *lateral spreading* terhadap pondasi tiang dengan menganalisis lokasi dimana *lateral spreading* terjadi.

Kata Kunci: Likuifaksi, *Lateral Spreading*, Pondasi Tiang

# **ANALYSIS ON PILE FOUNDATION DUE TO LATERAL SPREADING FORCE AT THE TIME OF EARTHQUAKE**

**Maverick Subarjan**  
**NPM: 2016410185**

**Advisor: Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph. D.**  
**Co-Advisor: Aflizal Arafianto**

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY**  
**FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**  
(Accredited by SK BAN-PT Number: 1788/SK/BAN-PT/Akred/S/VII/2018)

**BANDUNG**  
**AUGUST 2020**

## **ABSTRACT**

Lateral spreading is a flow of liquefied soil due to the sloping on the field. The lateral movement of the soil could added an extra weight perpendicular to pile foundation, which needs to be considered especially on deep foundation. These addition on the lateral force to the pile needs to be considered in the planning design stage to prevent any accident from happening due to foundation failure which usually ends with the collapse of building on top of the foundation. This study is made to analyze the effect of lateral spreading to pile foundation by examining the area where lateral spreading starts to occur.

Keywords: Liquefaction, Lateral Spreading, Pile Foundation

# PRAKATA

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Salam juga saya sampaikan kepada para sahabat dan keluarga yang telah memberikan bantuan baik secara rohani maupun jasmani.

Penyusunan skripsi ini tidak akan terselesaikan atau setidaknya termudahkan berkat bantuan dan perhatian dari berbagai pihak. Oleh karena itu, disamping rasa syukur yang telah saya ucapkan berkat Tuhan Yang Maha Esa, saya juga akan menyampaikan rasa terima kasih kepada Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph. D selaku pembimbing skripsi, kepada Bapak Aflizal Arafianto sebagai ko-pembimbing skripsi saya, dan kepada tim dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan pada saat proses pengerjaan skripsi. Saya juga mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua yang telah memberikan banyak dukungan pada masa-masa sulit;
2. Alex yang telah menghibur diri saya ditengah kejenuhan pada saat mengerjakan skripsi, dan;
3. Teman-teman seangkatan 2016 dan seluruh angkatan teknik sipil Unpar yang telah memberikan banyak bantuan semasa kuliah maupun pada saat mengerjakan skripsi ini.

Saya juga menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dan sebenarnya masih banyak hal yang ingin saya selidiki untuk lebih dapat menyempurnakan skripsi ini. Juga dengan pengetahuan saya yang terbatas, saya juga menyadari bahwa dengan kemampuan saya sendiri skripsi ini juga tidak dapat mencapai hasil yang saya kehendaki. Oleh karena itu kiranya kepada para pembaca, saya mohon dimaklumi kesalahan maupun asumsi yang saya buat.

Akhirnya saya juga berharap semoga skripsi ini tetap dapat memberikan ide-ide baru yang dapat membuka wawasan untuk kita semua. Amin.

Bandung, 31 Juli 2020



Maverick Subarjan

2016410185

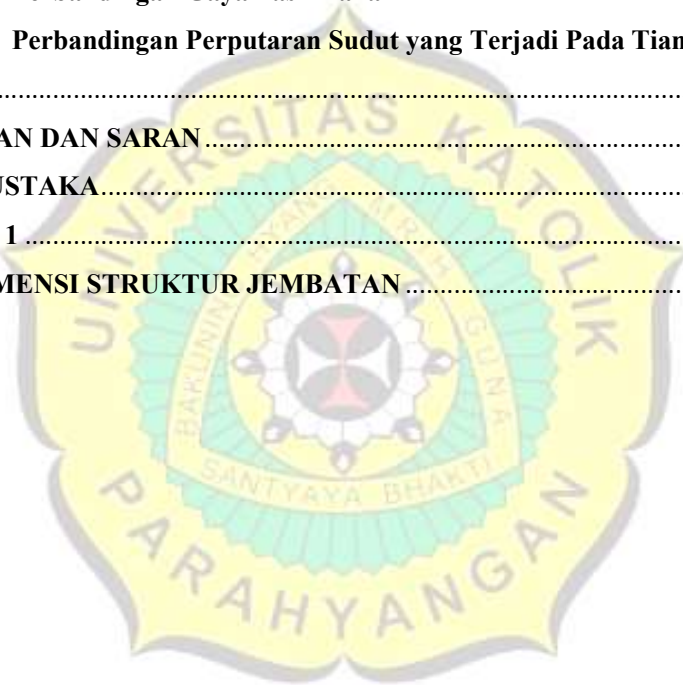
# DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	ii
PRAKATA .....	iii
DAFTAR NOTASI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1.    Latar Belakang .....	1
1.2.    Inti Permasalahan .....	2
1.3.    Tujuan Penelitian .....	2
1.4.    Lingkup Penelitian .....	2
1.5.    Metode Penelitian .....	2
1.6.    Sistematika Penulisan .....	3
1.7.    Diagram Alir .....	5
BAB II .....	7
TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1.    Pondasi Tiang .....	7
2.2.    Gempa .....	8
2.2.2.    Magnitudo Gelombang Permukaan ( $M_s$ ) .....	9
2.2.3.    Magnitudo Gelombang Badan ( $m_b$ ) .....	10
2.2.4.    Momen Magnitude .....	10
2.3.    Likuifaksi .....	11
2.4.    Bentuk-Bentuk Peristiwa Likuifaksi .....	12
2.5.    Perilaku Pondasi Tiang saat Terjadi Lateral Spreading .....	15
2.6.    Macam-Macam Mode Kegagalan Pondasi Tiang pada Tanah Terlikuifaksi .....	16
2.6.1.    Kegagalan untuk Pondasi Tiang Tunggal .....	16
2.6.2.    Kegagalan untuk Pondasi Tiang Berkelompok .....	18
2.7.    Menganalisis Deformasi pada Tanah akibat <i>Lateral Spreading</i> .....	20
2.7.1. <i>Finite-Element Analysis</i> .....	20
2.7.2. <i>Elastic Beam Analysis</i> .....	20



2.7.3.	<i>Sliding-Block Analysis</i> .....	21
2.7.4.	Metode Regresi Youd dan Bartlett (2002) .....	22
BAB III	.....	23
METODOLOGI PENELITIAN	.....	23
3.1.	Pengumpulan Data .....	23
3.2.	Input Data.....	23
3.2.1.	Pemodelan Geometri .....	23
3.2.2.	Penentuan Potensi terjadinya Likuifaksi pada Tanah .....	24
3.2.3.	Penentuan Parameter Tanah .....	24
3.3.	Penentuan Deformasi pada Tanah Menggunakan Metode Regresi Youd dan Bartlett (2002).....	29
3.4.	Flow-Chart Perhitungan Deformasi pada Tanah .....	37
3.5.	Menganalisis Deformasi dan Gaya Dalam pada Pondasi.....	39
3.5.1.	<i>Simplified Analysis Procedures for Piles Under Static Loading</i> .....	39
3.5.2.	Analisis Limit Ekuilibrium untuk Pondasi Tiang Tunggal Saat Gempa .....	40
3.5.3.	Analisis limit ekuilibrium pada pondasi tiang berkelompok (dengan beban aksial) .....	46
BAB IV	.....	51
DATA DAN ANALISA	.....	51
4.1.	Deskripsi Kasus .....	51
4.2.	Data Tahanan Ujung Tanah ( $q_c$ ) dan <i>Friction Ratio</i> ( $R_f$ ).....	54
4.3.	Data $N_{SPT}$ Tanah didekat Pier C Jembatan Serta Jenis Pelapisannya 55	
4.4.	Penentuan Potensi Likuifaksi.....	56
4.5.	Penentuan Parameter Tanah .....	57
4.6.	Penentuan Besar Deformasi Tanah .....	59
4.6.1.	Perhitungan Nilai $CN$ .....	60
4.6.2.	Perhitungan Deformasi Tanah .....	61
4.7.	Pemodelan <i>Lateral Spreading</i> pada Program.....	63
4.8.	Hasil Gaya Dalam dan Deformasi pada Tiang akibat <i>Lateral Spreading</i> 68	
4.8.1.	Pengaruh terhadap Deformasi Tiang.....	73
4.8.2.	Pengaruh terhadap Gaya Dalam Geser Tiang per Satuan Jarak .....	75
4.8.3.	Pengaruh terhadap Gaya Dalam Momen pada Tiang per Satuan Jarak.....	77

4.8.4.	Pengaruh terhadap Gaya Pasif Coulomb .....	78
4.9.	Perhitungan Gaya Dalam Maupun Deformasi Tiang Secara Manual 81	
4.9.1.	<i>Simplified Analytic Procedures for Piles Under Static Lateral Loading</i>	81
4.9.2.	<i>Limit Equilibrium for Single Pile</i> .....	84
4.9.3.	<i>Limit Equilibrium for Pile Group</i> .....	90
4.10.	Perbandingan Hasil Analisis dengan Penelitian Berrill, J.B. (2001)	101
4.10.1.	Perbandingan Hasil Deformasi Tanah yang Diperoleh.....	103
4.10.2.	Perbandingan Gaya Dalam Momen.....	104
4.10.3.	Perbandingan Gaya Dalam Geser .....	108
4.10.4.	Perbandingan Gaya Pasif Tanah.....	111
4.10.5.	Perbandingan Perputaran Sudut yang Terjadi Pada Tiang.....	112
<b>BAB V</b>	.....	113
<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	.....	113
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	115
<b>LAMPIRAN 1</b>	.....	118
<b>DETAIL DIMENSI STRUKTUR JEMBATAN</b>	.....	118



## DAFTAR NOTASI

$\gamma$	= Berat isi tanah ( $\text{kN/m}^3$ )
$\gamma_w$	= Berat isi air ( $\text{kN/m}^3$ )
$\gamma_{unsat}$	= Berat isi tanah pada kondisi <i>unsaturated</i> ( $\text{kN/m}^3$ )
$\gamma_{sat}$	= Berat isi tanah pada kondisi <i>saturated</i> ( $\text{kN/m}^3$ )
$\sigma'_v$	= Tekanan vertikal tanah efektif ( $\text{kg/cm}^2$ )
$q_c$	= Kekuatan ujung tiang ( $\text{kN/m}^2$ )
$f_s$	= Kekuatan gesek selimut tiang ( $\text{kN/m}^2$ )
$\phi'$	= Sudut geser tanah efektif ( $^\circ$ )
$\nu$	= Angka Poisson's
$c'$	= Kohesi tanah efektif ( $\text{kN/m}^2$ )
$N_k$	= Faktor konus
$\psi$	= Sudut dilatasi ( $^\circ$ )
$E$	= Modulus Elastisitas Young's ( $\text{kN/m}^2$ )
$p_l$	= Gaya tahan tanah per unit luas oleh lapisan tanah yang terlikuifaksi ( $\text{kPa}$ )
$S_u$	= Kekuatan geser tanah kondisi undrained ( $\text{kN/m}^2$ )
$z_{ps}$	= Kedalaman dimana beban pasif pada lapisan <i>crust</i> bekerja (m)
$F_{crust}$	= Beban lateral pada pondasi dari lapisan <i>crust</i> (kN)
$D_H$	= Deformasi tanah yang diperkirakan akibat lateral spreading (m)
$M_L$	= Besar magnitude gempa lokal
$R$	= Jarak horizontal dari pusat gempa (km)
$R_o$	= Faktor jarak dalam bentuk fungsi terhadap magnitudo gempa (M) dan R (km)
$R^*$	= Jarak terhadap pusat gempa yang telah dimodifikasi (km)

- $R_{eq}$  = Jarak horizontal dari pusat gempa untuk lokasi selain bagian barat Amerika Serikat (km)
- $N_{I(60)}$  = Nilai  $N_{60}$  yang dikoreksi terhadap tekanan *overburden*
- $N_{60}$  = Nilai standar penetrasi yang dikoreksi terhadap keadaan lapangan
- $CN$  = Faktor koreksi.
- $N_{SPT}$  = Nilai standar penetrasi yang diperoleh dari uji lapangan;
- $\eta$  = Nilai efisiensi energi tergantung jenis kepala bor (45%-80%).
- $T_{15}$  = Tebal kumulatif lapisan tanah dalam kondisi jenuh dengan jumlah tumbukan  $(N_1)_{60}$  kurang dari 15(m)
- $F_{15}$  = Kadar material berbutir halus rata-rata yang melewati ayakan No. 200 yang termasuk dalam lapisan tanah  $T_{15}$  (%)
- $D_{50/15}$  = Ukuran butiran tanah rata-rata untuk material granular yang termasuk dalam  $T_{15}$  (mm)
- $S$  = Kemiringan lahan (%)
- $\Delta$  = Deformasi pada ujung kepala tiang (m)
- $\delta_{top}$  = Deformasi pada ujung kepala tiang (m)
- $\theta$  = Rotasi pada ujung kepala tiang ( $^{\circ}$ )
- $H$  = Beban horizontal pada ujung kepala tiang (kN)
- $M$  = Momen pada ujung kepala tiang (kNm)
- $f_{uH}$  = Koefisien fleksibilitas
- $f_{uM}$  = Koefisien fleksibilitas
- $f_{\theta H}$  = Koefisien fleksibilitas
- $f_{\theta M}$  = Koefisien fleksibilitas
- $E_p$  = Modulus Young pondasi tiang ( $\text{kN/m}^2$ )
- $E_s, E_{sD}$  = Modulus Young tanah pada kedalaman  $D_0$  ( $\text{kN/m}^2$ )

$D_0$  = Diameter tiang (m)

$L_{ad}$  = Panjang efektif tiang yang aktif menerima beban inersia (m)

$L$  = Panjang bagian tidak yang berada pada lapisan terlikuifaksi (m)

$E_p$  = Modulus Elastisitas Tiang (kN/m<sup>2</sup>)

$I_p$  = Momen inersia tiang adalah kekakuan lentur tiang (m<sup>4</sup>)

$T$  = panjang elastik dari tiang (m)

$A_c$  = Luas dari *pile cap* yang menahan beban lateral (m<sup>2</sup>)

$K_r$  = Koefisien rotasional pegas



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Klasifikasi jenis pondasi tiang .....	8
Gambar 2.2 <i>Saturation</i> pada berbagai skala magnitudo .....	11
Gambar 2.3 Dampak likuifaksi pada gempa bumi Niigata tahun 1964 .....	12
Gambar 2.4 Ilustrasi <i>flow failure</i> akibat likuifaksi (Youd, 1993).....	13
Gambar 2.5 Ilustrasi peristiwa <i>ground oscillation</i> yang disebabkan oleh likuifaksi akibat getaran gempa (Youd, 1993).....	14
Gambar 2.6 Ilustrasi peristiwa <i>sandboiling</i> .....	14
Gambar 2.7 Ilustrasi peristiwa <i>lateral spreading</i> (Youd, 1984).....	15
Gambar 2.8 Mode kegagalan untuk pondasi tiang tunggal pada tanah terlikuifaksi .....	16
Gambar 2.9 Kegagalan pada pilar akibat gaya vertikal tiang pada saat <i>lateral spreading</i> .....	17
Gambar 2.10 Pembengkokan dan penurunan yang terjadi pada pondasi tiang saat <i>lateral spreading</i> .....	18
Gambar 2.11 Mekanisme pondasi tiang berkelompok .....	19
Gambar 2.12 Pondasi tiang berkelompok saat <i>lateral spreading</i> dengan lapisan tanah tak terlikuifaksi.....	19
Gambar 2.13 Kegagalan ujung tiang pada pondasi tiang berkelompok saat <i>lateral spreading</i> .....	20
Gambar 3.1 Batas-batas dari distribusi partikel tanah untuk tanah terlikuifaksi (Tsuchida, 1970) .....	24
Gambar 3.2 Hubungan berat isi dengan rasio gesekan (Robertson dan Cabal, 2010) .....	25
Gambar 3.3 Korelasi tahanan ujung sondir terhadap $\phi'$ pada pasir kwarsa (Robertson dan Campanella, 1983).....	26
Gambar 3.4 Korelasi sudut geser dalam $\phi'$ terhadap tahanan konus yang dinormalisasi (Kulhawy dan Mayne, 1990).....	26
Gambar 3.5 Deformasi pada tanah yang diprediksi vs deformasi pada tanah yang terukur (Bartlett dan Youd, 1992).....	30
Gambar 3.6 Tipe-tipe sesar .....	31
Gambar 3.7 Grafik untuk menentukan $R_{eq}$ dari magnitudo gempa (M) dan percepatan maksimum gempa, $a_{max}$ (Bartlett dan Youd, 1992, 1995) .....	33



Gambar 3.8 Ilustrasi <i>rotational slump</i> .....	34
Gambar 3.9 Diagram untuk menentukan kemiringan tanah S dan <i>free-face ratio</i> W (sesudah Bartlett dan Youd, 1992).....	34
Gambar 3.10 Bentuk ideal dari kekakuan tanah terhadap kedalaman (textbook <i>Design of Pile Foundations in Liquefiable Soil</i> hal 46).....	40
Gambar 3.11 Pondasi tiang tunggal pada tanah yang mengalami <i>lateral spreading</i> .....	41
Gambar 3.12 Pondasi tiang tunggal yang melewati lapisan tanah yang mengalami <i>lateral spreading</i> dan lapisan <i>crust</i> yang tidak terlikuifaksi (textbook <i>Design of Pile Foundations in Liquefiable Soils</i> oleh Madabhushi, G.) .....	43
Gambar 3.13 Kondisi batas untuk pondasi tiang tunggal yang melewati lapisan tanah <i>stiff clay</i> dan lapisan tanah yang mengalami <i>lateral spreading</i> (textbook <i>Design of Pile Foundations in Liquefiable Soils</i> oleh Madabhushi, G.) .....	45
Gambar 3.14 Pondasi tiang berkelompok pada tanah yang mengalami <i>lateral spreading</i> dengan lapisan <i>crust</i> yang tidak terlikuifaksi di atasnya (textbook <i>Design of Pile Foundations in Liquefiable Soils</i> oleh Madabhushi, G.) .....	46
Gambar 3.15 Model limit ekuilibrium sederhana untuk mengestimasi respons pondasi tiang berkelompok pada tanah yang mengalami <i>lateral spreading</i> dan mempertimbangkan beban aksial.....	47
Gambar 3.16 Faktor $f_{\Delta}$ dan $f_{pl}$ untuk analisis pondasi tiang berkelompok dengan mempertimbangkan beban aksial.....	48
Gambar 4.1 Peta Rangitalki Plains yang menunjukkan kegagalan tanah akibat gempa tahun 1987, $M_L$ 6.3 gempa Edgcombe .....	52
Gambar 4.2 Detil struktur dan nilai SPT yang diambil pada saat konstruksi jembatan pada Landing Road Bridge (Berrill, J.B., 2001) .....	52
Gambar 4.3 Peta tampak atas dari Landing Road Bridge lengkap beserta lokasi jembatan dan dataran banjir, serta lokasi bor dan CPT probe (Berrill, J.B., 2001) .....	53
Gambar 4.4 Potongan memanjang Landing Road Bridge (Berrill, J.B., 2001) .....	54
Gambar 4.5 Log bor pada hulu jembatan, didekat Pier C.....	55
Gambar 4.6 Distribusi sampel butiran tanah dari lubang bor R1 untuk analisis potensi likuifaksi (Berrill, J.B., 2001).....	56
Gambar 4.7 Data bor yang diambil pada bagian hilir jembatan (Berrill, J.B., 2001) .....	57

Gambar 4.8 Berat isi tanah menurut elevasi kedalaman tanah pada lubang bor 10, jembatan Landing Road Bridge, Whakatane, New Zealand.....	58
Gambar 4.9 Modulus elastisitas, angka Poisson's, dan sudut dilatansi tanah pada lubang bor 10, jembatan Landing Road Bridge, Whakatane, New Zealand..	58
Gambar 4.10 Kohesi dan sudut geser dalam tanah efektif pada lubang bor 10, jembatan Landing Road Bridge, Whakatane, New Zealand.....	59
Gambar 4.11 Denah jembatan yang diperbesar .....	61
Gambar 4.12 Hasil perhitungan deformasi tanah akibat lateral spreading dengan metode Bartlett dan Youd, 2002 .....	63
Gambar 4.13 Model awal tiang dengan deformasi pada tanah yang terjadi ..	64
Gambar 4.14 Penentuan parameter $R_{inter}$ pada model untuk daerah terjadinya deformasi tanah .....	65
Gambar 4.15 Penentuan parameter $R_{inter}$ pada model untuk daerah dekat pondasi tiang.....	66
Gambar 4.16 Kondisi awal model.....	67
Gambar 4.17 Tahap-tahap analisis model lateral spreading dan jenis kalkulasi .....	68
Gambar 4.18 Tahap akhir pemodelan .....	68
Gambar 4.19 Bentuk gaya dalam geser pada tubuh pondasi jembatan pada jarak deformasi tanah 5m dari pondasi jembatan .....	69
Gambar 4.20 Bentuk gaya dalam momen pada tubuh pondasi jembatan pada jarak deformasi tanah 5m dari pondasi jembatan .....	70
Gambar 4.21 Penjelasan bagian tiang.....	72
Gambar 4.22 Grafik perbandingan hubungan jarak deformasi terhadap tiang dengan deformasi pada keseluruhan tiang.....	73
Gambar 4.23 Grafik perbandingan hubungan jarak deformasi terhadap tiang dengan deformasi maksimum pada kaki tiang bagian kiri .....	73
Gambar 4.24 Grafik perbandingan hubungan jarak deformasi terhadap tiang dengan deformasi maksimum pada kaki tiang sebelah kanan.....	74
Gambar 4.25 Grafik perbandingan hubungan jarak deformasi terhadap tiang dengan gaya dalam geser yang telah dimutlakan pada kaki tiang sebelah kiri .....	75
Gambar 4.26 Grafik perbandingan hubungan jarak deformasi terhadap tiang dengan gaya dalam geser pada kaki tiang sebelah kanan .....	75



Gambar 4.27 Grafik perbandingan hubungan jarak deformasi terhadap tiang dengan gaya dalam geser pada perbatasan antara pier jembatan dengan <i>pile cap</i> .....	76
Gambar 4.28 Grafik jarak deformasi pada tanah dengan tiang terhadap gaya dalam momen pada pondasi tiang sebelah kiri .....	77
Gambar 4.29 Grafik jarak deformasi pada tanah dengan tiang terhadap gaya dalam momen pada pondasi tiang sebelah kanan .....	77
Gambar 4.30 Grafik jarak deformasi pada tanah dengan tiang terhadap gaya dalam momen di perbatasan antara pier jembatan dengan <i>pile cap</i> .....	78
Gambar 4.31 Ilustrasi letak peninjauan gaya pasif Coulomb .....	79
Gambar 4.32 Contoh bentuk gaya pasif Coulomb pada tanah disekitar pier jembatan yang diambil pada jarak antara deformasi tanah dengan tiang setara dengan 5m .....	79
Gambar 4.33 Grafik jarak deformasi pada tanah dengan tiang terhadap gaya pasif Coulomb pada pier jembatan .....	80
Gambar 4.34 Grafik jarak deformasi pada tanah dengan tiang terhadap gaya pasif Coulomb pada tiang sebelah kiri.....	80
Gambar 4.35 Grafik jarak deformasi pada tanah dengan tiang terhadap gaya pasif Coulomb pada tiang sebelah kanan.....	81
Gambar 4.36 Perbandingan jarak antara deformasi tanah dengan tiang dengan deformasi yang terjadi pada tiang sebelah kiri menggunakan <i>simplified method analysis</i> .....	82
Gambar 4.37 Perbandingan jarak antara deformasi tanah dengan tiang dengan deformasi yang terjadi pada tiang sebelah kanan menggunakan <i>simplified method analysis</i> .....	83
Gambar 4.38 Perbandingan jarak antara deformasi tanah dengan tiang dengan perputaran sudut yang terjadi pada tiang kiri menggunakan <i>simplified method analysis</i> .....	83
Gambar 4.39 Perbandingan jarak antara deformasi tanah dengan tiang dengan perputaran sudut yang terjadi pada tiang kanan menggunakan <i>simplified method analysis</i> .....	84
Gambar 4.40 Pembagian elemen pada struktur pondasi .....	85
Gambar 4.41 <i>Free-body</i> elemen A-C.....	86
Gambar 4.42 <i>Free-body</i> elemen D-E dan F-G.....	87
Gambar 4.43 Perbandingan deformasi hasil perhitungan program dengan metode limit ekuilibrium untuk pondasi tiang jembatan .....	89

Gambar 4.44 Kondisi jalan pada Landing Road Bridge saat ini.....	91
Gambar 4.45 Sketsa jalan pada jembatan (Bridge Manual SP/M/022) .....	91
Gambar 4.46 Sketsa beban lalu lintas pada jembatan kondisi <i>overload</i> (Brisge Manual SP/M/022, Appendix A2) .....	92
Gambar 4.47 Model pondasi tiang yang tertanam sebagian (Davisson, M.T., 1970) .....	94
Gambar 4.48 Desain spektrum menurut Eurocode 8 .....	95
Gambar 4.49 Sketsa arah gaya pada tiang berdasarkan metode limit ekuilibrium untuk tiang berkelompok .....	97
Gambar 4.50 Grafik hubungan antara gaya dalam momen dan gaya dalam geser pada ujung kepala tiang kiri terhadap jarak deformasi tanah dari tiang .....	98
Gambar 4.51 Grafik hubungan antara gaya dalam momen dan gaya dalam geser pada ujung kepala tiang kanan terhadap jarak deformasi tanah dari tiang ....	98
Gambar 4.52 Grafik hubungan antara gaya dalam momen dan gaya dalam geser pada batas antara tanah terlikuifaksi dengan tanah tidak terlikuifaksi pada tiang kiri terhadap jarak deformasi tanah dari tiang .....	99
Gambar 4.53 Grafik hubungan antara gaya dalam momen dan gaya dalam geser pada batas antara tanah terlikuifaksi dengan tanah tidak terlikuifaksi pada tiang kanan terhadap jarak deformasi tanah dari tiang .....	99
Gambar 4.54 Foto udara yang mengarah pada bagia Barat Laut Landing Road Bridge.....	102
Gambar 4.55 Tumpukan tanah pada sebelah kanan pier C jembatan .....	103
Gambar 4.56 Retakan yang tepat terjadi dibawah <i>pile cap</i> pada salah satu pondasi tiang pada pier C (Berrill, J.B., 2001).....	103
Gambar 4.57 Hasil asumsi momen lentur pada tiang (Berrill, J.B., 2001)..	104
Gambar 4.58 Perbandingan gaya dalam momen pada ujung kepala tiang kiri dengan berbagai cara .....	105
Gambar 4.59 Perbandingan gaya dalam momen pada kaki tiang kiri dengan berbagai cara .....	105
Gambar 4.60 Perbandingan gaya dalam momen pada ujung kepala tiang kanan dengan berbagai cara.....	106
Gambar 4.61 Perbandingan gaya dalam momen pada kaki tiang kanan dengan berbagai cara .....	106

Gambar 4.62 Perbandingan hasil analisis gaya dalam geser pada ujung kepala tiang kiri dengan berbagai cara ..... 108

Gambar 4.63 Perbandingan hasil analisis gaya dalam geser pada kaki tiang kiri dengan berbagai cara..... 109

Gambar 4.64 Perbandingan hasil analisis gaya dalam geser pada ujung kepala tiang kanan dengan berbagai cara ..... 109

Gambar 4.65 Perbandingan hasil analisis gaya dalam geser pada kaki tiang kanan dengan berbagai cara..... 110



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Nilai tipikal Poisson's ratio (Kulhawy dan Maybe, 1990; Lambe dan Whitman, 1979) .....	27
Tabel 3.2 Parameter tanah lempung dari data CPT (textbook <i>Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables</i> oleh Look, 2007).....	27
Tabel 3.3 Nilai tipikal $c'$ dan $\phi'$ (AS 4678, 2002) .....	28
Tabel 3.4 Parameter deformasi dari hasil CPT (Fugro, 1996; Meigh, 1987)	29
Tabel 3.5 Koefisien fleksibilitas untuk ujung kepala tiang saat menerima beban statis (textbook <i>Design of Pile Foundations in Liquefiable Soil</i> hal 47) .....	40
Tabel 4.1 Hasil perhitungan deformasi tanah akibat <i>lateral spreading</i> .....	62
Tabel 4.2 Pengaruh jarak deformasi akibat <i>lateral spreading</i> terhadap gaya dalam tiang.....	71
Tabel 4.3 Nilai $K_r$ , momen maksimum, dan deformasi tanah yang dihitung dengan metode <i>limit equilibrium</i> .....	88
Tabel 4.4 Hasil perhitungan nilai gaya dalam pada ujung kepala tiang dan bagian tiang pada batas antara tanah terlikuifaksi dan tidak terlikuifaksi .....	97

# DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Detail dimensi struktur pilar jembatan ..... 122



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Gempa merupakan salah satu faktor yang harus dipertimbangkan pada proses mendesain suatu pondasi gedung. Ketika terjadi gempa, pondasi bangunan akan menerima beban tambahan berupa gaya horizontal maupun gaya puntir yang berasal dari getaran dari dalam tanah dan akibat guncangan yang terjadi pada bangunan. Pondasi pada suatu bangunan biasanya akan dirancang agar mampu menahan seluruh beban yang mungkin terjadi pada bangunan tersebut. Akan tetapi, gempa tidak saja menyebabkan getaran maupun guncangan pada suatu bangunan tetapi gempa juga berpotensi menyebabkan likuifaksi yang dapat mengancam keamanan gedung jika tidak diperhatikan.

Salah satu peristiwa yang diakibatkan karena gempa adalah likuifaksi. Likuifaksi dapat terjadi saat tanah dalam kondisi jenuh air. Getaran dari gelombang gempa akan menyebabkan meningkatnya tekanan air pori eksese sehingga butir-butir tanah kehilangan kekuatan geser geser. Bangunan yang berada pada tanah yang terlikuifaksi dapat mengalami kegagalan oleh karena tanah kehilangan kemampuannya untuk menahan beban struktur. Salah satu bentuk likuifaksi sendiri adalah *lateral spreading*.

Secara umum, telah banyak dilakukan penelitian terhadap peristiwa *lateral spreading* termasuk pengaruhnya terhadap pondasi tiang contohnya penelitian yang dilakukan oleh Miura, F., dkk. (1991); Abdoun, T.H. , Dobry, R. (2002); Wang, S. dan Orense, R. (2013); Kavand, A., dkk. (2014); Rajabigol, M., dkk. (2019);. Dari berbagai penelitian tersebut, belum ada penelitian yang mampu memodelkan pengaruh *lateral spreading* terhadap pondasi tiang secara tepat dan akurat. Melalui skripsi ini, penulis mencoba untuk memakai pendekatan lain untuk dapat memodelkan pengaruh *lateral spreading* terhadap pondasi tiang.



## 1.2. Inti Permasalahan

Pokok permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini adalah bagaimana respon pondasi tiang saat menerima gaya horizontal yang diakibatkan dari perpindahan tanah akibat *lateral spreading*.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada skripsi ini diantaranya adalah:

1. Mendapatkan profil deformasi dan gaya-gaya dalam sepanjang tiang akibat *lateral spreading*,
2. Mengetahui dampak dari *lateral spreading* terhadap pondasi tiang.

## 1.4. Lingkup Penelitian

Berikut adalah lingkup penelitian pada skripsi ini yang dibagi menjadi lingkup wilayah dan lingkup kajian, diantaranya:

- Lingkup Wilayah

Yang menjadi lingkup wilayah pada penelitian ini adalah jembatan jalan pada Whakatane, New Zealand saat gempa Edgecumbe pada tahun 1987

- Lingkup Kajian

Yang menjadi fokus kajian pada penelitian ini adalah penelitian terhadap dampak yang ditimbulkan oleh *lateral spreading* terhadap pondasi tiang melalui hubungan antara perpindahan (*displacement*) dengan gaya horizontal dibagian tanah yang terlikuifaksi pada pondasi tiang.

## 1.5. Metode Penelitian

Dalam melakukan analisa untuk skripsi ini, berikut adalah metode penelitian yang akan dilakukan:

- Studi Pustaka

Pada tahapan ini akan dilakukan studi pustaka berupa pengumpulan materi-materi dan bacaan melalui artikel, buku, literatur, jurnal, dan informasi yang berkaitan pada internet.

- Pengumpulan Data

Pada tahapan ini akan dilakukan pengumpulan data sekunder dari jurnal “Case study of lateral spreading forces on a piled foundation” oleh J.B. Berrill, dkk. (2001) yang diperlukan untuk penelitian ini, diantaranya sebagai berikut:

1. data SPT (*Standard Penetration Test*);
2. data pondasi tiang;
3. data bor;
4. data gempa ( $M_L$ , jarak terhadap episentrum, dan percepatan gempa);
5. distribusi ukuran butiran tanah; dan
6. detail dimensi struktur pilar jembatan.

- Pemodelan

Pada tahap ini, *lateral spreading* akan dimodelkan sebagai perpindahan tanah (*displacement*) terhadap pondasi tiang menggunakan program PLAXIS 2D.

- Analisis Data

Pada tahap ini akan dilakukan analisis terhadap model yang telah dibuat dan dicari perpindahan dan gaya-gaya dalam yang terjadi pada pondasi tiang.

## 1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari 5 bab yang disusun sebagai berikut:

- BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan mengenai latar belakang masalah, inti permasalahan, tujuan penelitian, lingkup penelitian, metode penelitian, sistematika penulisan, dan diagram alir sesuai dengan penelitian yang dilakukan.

- BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan tentang landasan-landasan teori yang menjadi acuan dalam proses perhitungan dan analisis untuk penelitian yang dilakukan.

- BAB III : METODE PENELITIAN

Pada bab ini diuraikan tahapan-tahapan penelitian yang akan dilakukan untuk memperoleh hasil penelitian.

- BAB IV : DATA DAN ANALISA



Pada bab ini dibahas mengenai wilayah proyek yang diambil, penentuan parameter dasar yang diperlukan, tampilan dari hasil analisis metode elemen hingga menggunakan program PLAXIS 2D, dan hasil analisis dari hasil perhitungan manual maupun hasil melalui program PLAXIS 2D.

- **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini akan diberi kesimpulan dan saran atas penelitian yang telah dilakukan secara subjektif dan objektif menurut penulis.



### 1.7. Diagram Alir



