

LAPORAN AKHIR

**PERILAKU PERKERASAN SISTEM PELAT TERPAKU
DENGAN TIGA BARIS TIANG PIPA BETON
PADA LEMPUNG LUNAK**



Tim Pengusul:

Ketua: Dr. Anas Puri, S.T., M.T.
NIDN. 1005057003

Anggota: 1. Roza Mildawati, S.T., M.T.
NIDN 1019088203

2. Muhammad Solihin (mahasiswa S1)
NIM. 143110669

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2018**

**Dibiayai oleh:
Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat
Universitas Islam Riau
Sesuai dengan Kontrak Penelitian
Nomor: 369/KONTRAK/LPPM-UIR/4-2018**

HALAMAN PENGESAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

1. Judul Penelitian : PERILAKU PERKERASAN SISTEM PELAT TERPAKU DENGAN TIGA BARIS TIANG PIPA BETON PADA LEMPUNG LUNAK
2. Bidang Penelitian : Rekayasa Teknik Sipil
3. Ketua Peneliti
 - a. Nama Lengkap : Dr. Anas Puri, S.T., M.T.
 - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
 - c. NIK./NIDN : 96 09 02 239/ 1005057003
 - d. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
 - e. Fakultas/ Jurusan : Teknik/ Teknik Sipil
 - f. Telepon : 085329582788
 - g. E-mail : anaspuri@eng.uir.ac.id
4. Anggota Peneliti I (Mahasiswa S1): Muhammad Solihin
NIM : 143110669
5. Jangka Waktu Penelitian : 8 bulan
6. Pembiayaan : Rp 16.000.000,-

Pekanbaru, 22 Desember 2018

Ketua Peneliti,

Mengetahui:
Direktur Pascasarjana,

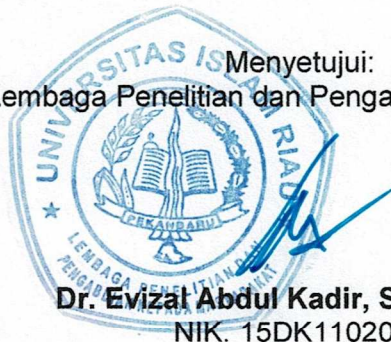


Dr. Ir. Saipul Bahri, M.Ec.
NIK. 92 11 02 199



Dr. Anas Puri, S.T., M.T.
NIK. 96 09 02 239

Menyetujui:
Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UIR.,



Dr. Evizat Abdul Kadir, S.T., M.Eng.
NIK. 15DK1102013

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	2
C. Faedah Penelitian	2
D. Luaran Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Kemajuan Penelitian yang Telah Dilakukan Peneliti Sendiri	4
B. Kemajuan Penelitian yang Telah Dilakukan Peneliti Lainnya	9
C. Tinjauan Penelitian Terdahulu	10
D. Kerangka Berfikir	10
BAB III. METODE PENELITIAN	12
A. Tempat dan Waktu Penelitian	12
B. Metode Pengumpulan Data	12
C. Cara Analisis	14
D. Konsep Operasional	14
E. Prosedur Analisis	19

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
A. Parameter Material	27
B. Pengaruh Diameter Tiang	30
C. Pengaruh Panjang Tiang	38
D. Pengaruh Perbedaan Panjang Tiang	55
E. Pengaruh Tebal Pelat	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	75
A. Kesimpulan	75
B. Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN I : HASIL ANALISIS	82
LAMPIRAN II : KONTRAK PENELITIAN	89
LAMPIRAN III : SURAT PERNYATAAN ORIGINALITAS	93
LAMPIRAN IV: SURAT KETERANGAN PERSETUJUAN REVISI	94
LAMPIRAN V : PERSONALIA PENELITIAN	95
LAMPIRAN VI : BIODATA KETUA DAN ANGGOTA PENELITI	96

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Rangkuman <i>Roadmap</i> Riset Sistem Pelat Terpaku	9
Tabel 3.1 Sifat-sifat Lempung Ngawi-2	13
Tabel 3.2 Variabel Analisis	17
Tabel 4.1 Model dan parameter tanah	27
Tabel 4.2 Model dan parameter tiang	28
Tabel 4.3 Model dan parameter pelat	29
Tabel 4.4 Lendutan arah vertikal pelat beban di tepi	32
Tabel 4.5 Lendutan arah vertikal pelat beban di tengah	33
Tabel 4.6 Tegangan geser τ_{xy} tanah di bawah pelat akibat beban di tepi	35
Tabel 4.7 Tegangan geser τ_{xy} tanah di bawah pelat akibat beban di tengah	35
Tabel 4.8 Tegangan geser τ_{xy} tanah di bawah tiang akibat beban di tepi	36
Tabel 4.9 Tegangan geser τ_{xy} tanah di bawah tiang akibat beban di tengah	37
Tabel 4.10 Lendutan arah vertikal pelat beban di tepi dan di tengah	40
Tabel 4.11 Hasil tegangan geser dalam tanah di bawah beban	45
Tabel 4.12 Hasil tegangan geser dalam tanah di bawah ujung tiang	47
Tabel 4.13 Hasil tegangan geser dalam tanah terhadap kuat geser tanah	50
Tabel 4.14 Momen pelat akibat pembebanan	51
Tabel 4.15 Gaya dalam pada tiang akibat pembebanan di tepi dan di tengah	52
Tabel 4.16 Gaya dalam pada pelat dan tiang akibat beban sentris	56
Tabel 4.17 Gaya dalam pada pelat dan tiang akibat beban di tepi	57
Tabel 4.18 Lendutan pelat untuk berbagai tebal pelat	59
Tabel 4.19 Tegangan geser dalam tanah di bawah beban berbagai tebal pelat	62
Tabel 4.20 Tegangan geser dalam tanah di bawah ujung tiang	65
Tabel 4.21 Tegangan geser dalam tanah terhadap kuat geser tanah	68
Tabel 4.22 Gaya dalam pada pelat akibat pembebanan untuk variasi tebal pelat	69
Tabel 4.23 Gaya dalam pada tiang akibat pembebanan untuk variasi tebal pelat	69

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Hubungan faktor perpindahan terhadap rasio δ_s/D untuk penentuan 5 tambahan modulus reaksi tanah dasar Pelat Terpaku	5
Gambar 2.2 Hasil analisis lendutan rencana vs. lendutan pengamatan beban sentris	7
Gambar 2.3 Hasil analisis lendutan rencana vs. lendutan pengamatan beban di tepi	7
Gambar 2.4 Peta jalan penelitian Sistem Pelat Terpaku sampai dengan tahun 2016	8
Gambar 2.5 Kerangka konseptual dan rekam jejak penelitian	11
Gambar 3.1 Bagan alir penelitian	15
Gambar 3.2 Pemodelan tiang pada sistem pelat terpaku dengan panjang tiang seragam (Model 1)	16
Gambar 3.3 Variasi model 1 analisis untuk panjang tiang seragam	17
Gambar 3.4 Variasi model 2 dan 3 analisis untuk beda panjang tiang	18
Gambar 3.5 Tampilan <i>general setting</i>	20
Gambar 3.6 Pemodelan sistem pelat terpaku	20
Gambar 3.7 Jendela material set tanah	21
Gambar 3.8 Jendela material set tiang dan pelat	22
Gambar 3.9 Jendela material set lantai kerja	22
Gambar 3.10 Tampilan <i>initial conditions</i>	24
Gambar 3.11 Tampilan <i>calculation phase</i>	24
Gambar 3.12 Tampilan <i>output</i> perpindahan total	26
Gambar 4.1 Pemodelan Sistem Pelat Terpaku	30
Gambar 4.2 Model Sistem Pelat Terpaku	31
Gambar 4.3 Hasil perpindahan dengan pengujian beban tekan di tepi	31
Gambar 4.4 Hasil perpindahan dengan pengujian beban tekan di tengah	32
Gambar 4.5 Lendutan pelat akibat beban di tepi	32
Gambar 4.6 Lendutan pelat akibat beban di tengah	33
Gambar 4.7 Tegangan geser dalam tanah akibat beban di tepi pelat	34
Gambar 4.8 Tegangan geser dalam tanah akibat beban di tengah	34
Gambar 4.9 Tegangan geser tanah di bawah pelat akibat beban di tepi	35

Gambar 4.10	Tegangan geser tanah di bawah pelat akibat beban di tengah	36
Gambar 4.11	Tegangan geser tanah di bawah tiang 1	37
Gambar 4.12	Tegangan geser tanah di bawah tiang 3 akibat beban di tengah	37
Gambar 4.13	Hasil deformasi dengan analisis beban di tepi pelat	39
Gambar 4.14	Hasil deformasi dengan analisis beban di tengah pelat	39
Gambar 4.15	Hubungan $P-\delta$ akibat beban di tepi	41
Gambar 4.16	Hubungan $P-\delta$ akibat beban di tengah	42
Gambar 4.17	Model pelat terpaku dengan titik tinjauan tegangan geser	43
Gambar 4.18	Tegangan geser dalam tanah akibat beban di tepi pelat	44
Gambar 4.19	Tegangan geser dalam tanah akibat beban di tengah pelat	44
Gambar 4.20	Tegangan geser di bawah pelat akibat beban di tepi	46
Gambar 4.21	Tegangan geser di bawah pelat akibat beban di tengah	47
Gambar 4.22	Tegangan geser di bawah ujung tiang akibat beban di tepi	48
Gambar 4.23	Tegangan geser di bawah ujung tiang akibat beban di tengah	49
Gambar 4.24	Momen lentur pada tiang	53
Gambar 4.25	Gaya aksial pada tiang	54
Gambar 4.26	Gaya geser pada tiang	54
Gambar 4.27	Hubungan $P-\delta$ untuk beda panjang tiang	56
Gambar 4.28	Model pelat terpaku	57
Gambar 4.29	Hasil deformasi dengan analisis beban di tepi pelat	58
Gambar 4.30	Hasil deformasi dengan analisis beban di tengah pelat	59
Gambar 4.31	Lendutan pelat akibat beban di tepi	60
Gambar 4.32	Lendutan pelat akibat beban di tengah	61
Gambar 4.33	Model pelat terpaku dengan titik tinjauan tegangan geser	62
Gambar 4.34	Tegangan geser dalam tanah akibat beban di tepi	63
Gambar 4.35	Tegangan geser dalam tanah akibat beban di tengah	64
Gambar 4.36	Tegangan geser di ujung tiang akibat beban di tepi	66
Gambar 4.37	Tegangan geser di ujung tiang akibat beban di tengah	67
Gambar 4.38	Pengaruh tebal pelat pada momen lentur pelat	70
Gambar 4.39	Pengaruh tebal pelat pada momen lentur tiang	71
Gambar 4.40	Pengaruh tebal pelat pada gaya aksial pelat	72

Gambar 4.41 Pengaruh tebal pelat pada gaya aksial tiang	73
Gambar 4.42 Grafik gaya geser pada pelat	73
Gambar 4.43 Grafik gaya geser pada tiang	74

RINGKASAN

Perkerasan jalan Sistem Pelat Terpaku merupakan usulan aplikasi perkuatan perkerasan kaku pada tanah lunak. Uji model skala kecil pada lempung lunak telah dilakukan oleh Puri, dkk. (2012a) dan Puri (2015a) dan pada lempung ekspansif oleh Taa (2010) dan Diana, dkk. (2017), serta pada gambut oleh Waruwu, dkk. (2017). Adapun uji model skala penuh Pelat Terpaku tiang tunggal telah dilakukan oleh Dewi (2009) dan Nasibu (2009) pada lempung kaku, sedangkan Puri (2015a) pada lempung lunak. Puri (2015a) telah melakukan uji model skala penuh/ purwarupa Pelat Terpaku tiga baris tiang dengan pembebanan tekan dan satu baris tiang dengan pembebanan tekan dan cabut. Tiang yang digunakan berupa beton bertulang. Hasil uji tersebut sangat menjanjikan untuk aplikasi lapangan dan selanjutnya dikembangkan dengan mengganti tiang beton masif dengan tiang pipa beton. Penelitian ditujukan untuk mempelajari perilaku Sistem Pelat Terpaku yang menggunakan tiang pipa beton pada lempung lunak.

Penelitian dilakukan menggunakan data hasil penelitian Puri (2015a) pada Sistem Pelat Terpaku dengan tiga baris pada lempung lunak. Analisis numerik menggunakan perangkat lunak aplikasi Plaxis 2D. Variabel penelitian adalah variasi diameter dan panjang tiang serta tebal pelat. Untuk tanah menggunakan model Mohr-Coulomb perilaku *undrained*. Pelat dan tiang dimodelkan sebagai *plate*. Untuk tiang dengan parameter input material ekuivalen dari bahan beton dan tanah di dalam tiang, dimana model material elastik. Lantai kerja dimodelkan sebagai elemen *soil & interface* dengan parameter input material beton dimana model material elastik dengan perilaku non porous.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tiang pipa beton dapat digunakan pada perkerasan Sistem Pelat Terpaku namun tetap memperhatikan diameter tiang yang cukup. Peningkatan diameter tiang cenderung meningkatkan besarnya lendutan pelat oleh karena meningkatnya berat sendiri tiang, namun tidak berpengaruh signifikan terhadap kenaikan tegangan geser tanah. Peningkatan panjang tiang tidak berpengaruh pada pola umum perilaku deformasi. Penambahan panjang tiang mempengaruhi lendutan yang terjadi pada pelat akibat beban namun tegangan geser tanah cenderung menurun. Peningkatan panjang tiang dapat mereduksi momen pelat namun cenderung meningkatkan gaya-gaya dalam tiang hingga 16%. Perbedaan panjang tiang pada bagian tengah dan pinggir pelat tidak berpengaruh signifikan terhadap lendutan pelat dan gaya dalam, kecuali terhadap momen lentur tiang paling kecil untuk Pelat Terpaku dengan tiang-tiang terluar lebih panjang. Namun demikian, tiang tersebut mempunyai gaya geser maksimum. Beda panjang tiang tengah dan pinggir sebesar 0,50 m. Peningkatan tebal pelat cenderung mereduksi lendutan namun tidak signifikan dan gaya-gaya dalam pelat dan tiang cenderung menurun.

Kata-kata kunci: perkerasan kaku, Sistem Pelat Terpaku, tanah lunak, tiang pipa beton

SUMMARY

Rigid pavement of Nailed-slab System is a proposed application in reinforcing a rigid pavement on soft soils. Small-scale model tests were conducted on the softclay by Puri, et.al. (2012a), Puri (2015a) and on expansive clay by Taa (2010) and Diana, et.al. (2017), also on peaty soil by Waruwu, et.al. (2017). Full-scale model tests for single pile Nailed-slab were done on stiff clay by Dewi (2009) and Nasibu (2009) and on softclay by Puri (2015a). Puri (2015a) was conducted and tested a prototype of Nailed-slab System with 3 pile rows by compression loadings and by compression loadings and tension loadings for single pile row. It was used reinforced concrete pile. Results show that the Nailed-slab System is promising for field application. Further more, this system is developed by changing the masive concrete piles by hollow concrete piles. This research is aimed to learn the behavior of Nailed-slab System by using hollow concrete piles in softclay.

This research will be done by using data from Puri (2015a) in case a 3 pile rows Nailed-slab System on softclay. The analysis will be conducted by using Plaxis 2D software application. Research variables are the diameter and length of pile and the thickness of slab. Soil is modelled by Mohr-Coulomb with undrained behavior. Slab and piles were modelled by plate. Material input for pile was an equivalen of concrete cell and soil insite the pile. Pile is modelled by elastic. Lean concrete was modelled by soil & interface with input parameters of concrete as an elastic and non porous material.

Results show that the hollow concrete piles can be utilised in Nailed-slab Pavement System, but in considering the suppecient pile diameter. Increasing of pile diameters tend to increase the slab deflections. It is caused by increasing of weight of piles as considering of increasing in pile diameter. While this condition was not effect significantly the soil shear stresses. Increasing in pile length was not effect the deflcteted bowle. The deflections of slab was not affected but the soil stresses tend to decrease. Increasing in pile length can reduce slab moments while the inner forces of piles increase up to 16%. Defferntiation of pile length on central area and edge area under the slab was not significantly effected to deflections, inner forces except for pile bending moments was lower for longer pile length in the edge area. Longer pile length of edge area under the slab have maximum shear stress. Defferntiation of pile length between the central area and edge area was 0.50 m. Increasing in slab thickness tends to reduce insignifantly the deflections and inner forces of slab and pile.

Keywords: Rigid pavement, Nailed-slab System, softclay, hollow concrete piles

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sistem Pelat Terpaku dikembangkan dengan mengganti cakar berbentuk silinder Sistem Cakar Ayam (Hardiyatmo, 2008). Tiang pancang yang digunakan merupakan tiang friksi dimana kapasitas dukung tiang hanya mengandalkan tahanan gesek. Studi tentang Sistem Pelat Terpaku masih terbatas pada eksperimental model di laboratorium dan uji skala penuh. Beberapa pengujian skala penuh (skala 1:1) telah dilakukan seperti oleh Nasibu (2009) dan Dewi (2009) untuk Pelat Terpaku tiang tunggal pada lempung kaku, sedang Puri (2015a, 2015b) pada lempung lunak. Puri (2015a, 2015b) juga melakukan uji Pelat Terpaku skala penuh dengan 3 baris dan 1 baris tiang pada lempung lunak dengan pembebanan tekan. Puri, dkk (2015a, 2015b) juga melakukan uji Pelat Terpaku skala penuh 1 baris tiang pada lempung lunak dengan pembebanan cabut, serta Puri (2016) melakukan analisis numerik untuk kasus tersebut. Uji model pada lempung ekspansif telah dilakukan oleh Taa (2010) dan Diana, dkk. (2016, 2017), serta pada gambut oleh Waruwu, dkk. (2017). Selain itu, juga telah dilakukan studi analitis (Hardiyatmo, 2008, 2009, dan 2011), dan analisis numerik menggunakan pendekatan *Beam on Elastic Foundation* (Hardiyatmo, 2011; Puri, 2011b, 2012a, 2012b, 2013a, 2013b, 2013c, 2015a, 2017; Puri, dkk. 2015b) serta analisis metode elemen hingga Sistem Pelat Terpaku tiang tunggal (Dewi, 2009), dan model skala kecil Pelat Terpaku dengan 3 dan 1 baris tiang (Puri, dkk. 2013a; Somantri, 2013), serta model skala penuh Pelat Terpaku dengan 3 baris tiang

(Puri, 2015a; Puri, dkk. 2013d, 2014) dan 1 baris tiang (Puri, 2015a, 2015b; Puri, dkk. 2017). Seluruh uji skala penuh dan analisis numerik Sistem Pelat Terpaku tersebut menggunakan tiang masif beton bertulang. Puri (2018) telah melakukan studi parametrik Pelat Terpaku tiang pipa baja tunggal pada lempung lunak. Studi tersebut menunjukkan hasil yang baik dimana tiang pipa baja berpotensi untuk menggantikan tiang beton masif. Namun mengingat harga baja yang mahal, maka selanjutnya melalui penelitian ini akan dikaji untuk tiang pipa beton pada Sistem Pelat Terpaku dengan satu dan tiga baris tiang. Hal ini mempertimbangkan kemungkinan penggunaan tiang pipa beton sebagai pengganti tiang beton bertulang masif di lapangan.

B. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perilaku Sistem Pelat Terpaku yang menggunakan tiang pipa beton. Pada penelitian ini ditinjau Sistem Pelat Terpaku dengan tiga baris tiang pada lempung lunak. Selain itu, ditinjau pula pengaruh dimensi tiang pipa beton, dan tebal pelat beton terhadap perilaku lendutan dan gaya dalam.

C. Faedah Penelitian

Faedah yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat memberikan suatu informasi tentang perilaku Perkerasan Sistem Pelat Terpaku tiang pipa beton pada tanah lunak dan potensi tiang pipa tersebut sebagai alternatif pengganti tiang beton masif bertulang.

D. Luaran Penelitian

Luaran dari penelitian ini adalah satu publikasi pada

1. Satu poster publikasi pada the 3rd International Malaysia Indonesia Thailand Symposium on Innovation and Creativity (3rd iMIT SIC) pada 17 Juni 2019 di Narathiwat, Thailand, dengan judul Effects of Different Pile Length due to Slab Deflection of the Nailed-slab Pavement System under Concentric Load.
2. Penghargaan Silver Medal atas poster pada poin 1 di atas.
3. Satu naskah publikasi prosiding the 2nd International Conference on Science, Engineering and Technology (2nd ICoSET) pada 5-7 September 2019 di Pekanbaru, dengan judul Soil Stress And Inner Forces of The Nailed-Slab Pavement System under Concentric Load By Considering Different Pile Length.
4. Satu *draft* publikasi pada jurnal nasional.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Kemajuan Penelitian yang Telah Dilakukan Peneliti Sendiri

Metode analisis lendutan pelat fleksibel menggunakan modulus reaksi tanah dasar ekivalen direkomendasikan oleh Hardiyatmo (2009), dan metode penentuan modulus reaksi tanah dasar ekivalen yang didasarkan pada uji tiang tunggal oleh Hardiyatmo (2011a). Pengaruh instalasi tiang terhadap tekanan dukung tanah di bawah pelat dijelaskan Hardiyatmo (2011a) dan nilai k' diberikan sebagai

$$k' = k + \Delta k \quad (2.1)$$

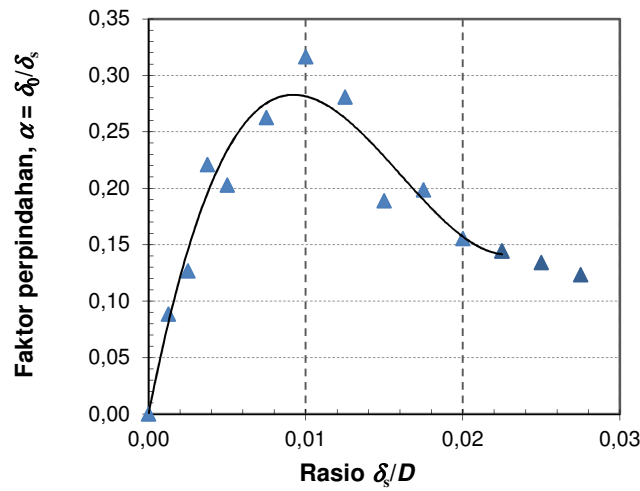
dengan: k' : modulus reaksi tanah-dasar ekivalen (kN/m^3), k : modulus reaksi dari uji pelat beban (kN/m^3), dan Δk : kenaikan modulus reaksi tanah-dasar akibat perlawanan tiang (kN/m^3). Nilai Δk ditentukan dengan Persamaan (2.2).

$$\Delta k' = \frac{\delta_0 A_s}{\delta^2 s^2} (a_d c_u + p_0 K_d \tan \phi_d) \quad (2.2)$$

Dimana δ_0 : perpindahan relative antara tiang dan tanah, δ : defleksi pelat, A_s : luas selimut tiang, s : jarak as ke as tiang (m), a_d : faktor adhesi, c_u : kohesi *undrained* (kN/m^2), p_0' : tekanan *overburden* efektif rerata sepanjang tiang (kN/m^2), K_d : koefisien tekanan tanah lateral tanah di sekitar tiang, dan ϕ_d : sudut gesek antara tanah-tiang ($^\circ$).

Pada pengujian tersebut digunakan tiang berdiameter 20 cm dimana hubungan pelat dan tiang menggunakan mur-baut. Untuk keperluan secara umum, Puri (2015, 2017) memberikan grafik hubungan rasio δ_s/δ_0 terhadap rasio δ_s/D (Gbr. 2), dimana D adalah diameter tiang. Rasio δ_s/δ_0 mempunyai nilai maksimum

pada lendutan 2 mm (rasio $\delta_s/D = 0,10$). Rasio δ_s/δ_0 adalah faktor perpindahan (*displacement factor*, α) sebagaimana telah diuraikan pada Pers. (2.2). Gambar 2.1 didasarkan pada uji Pelat Terpaku tiang tunggal skala penuh pada lempung lunak dimana hubungan pelat dan tiang adalah monolit.



Gambar 2.1:

Hubungan faktor perpindahan ($\alpha = \delta_0/\delta_s$) terhadap rasio δ_s/D untuk penentuan tambahan modulus reaksi tanah dasar Pelat Terpaku (Puri, 2015, 2017).

Untuk keperluan desain praktis, penentuan reduksi tahanan tiang sulit dilakukan. Puri, et.al. (2012a) mengusulkan suatu pendekatan dalam penentuan tambahan modulus reaksi *subgrade* dengan menggunakan penurunan izin/toleransi pelat perkerasan. 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 sebagai (Puri, et.al., 2012a; Puri, 2015)

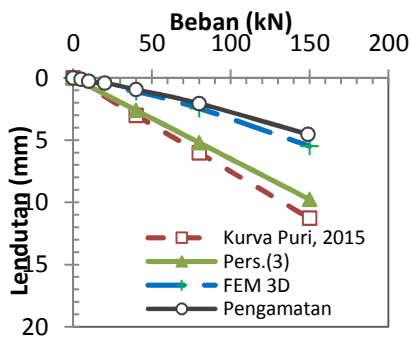
$$\Delta k = \frac{0.4a_d c_u A_s}{\delta_a A_{ps}} \quad (2.3)$$

Dimana k' : modulus reaksi *subgrade* ekivalen pelat terpaku (kN/m^3), k : modulus reaksi *subgrade* tanah (kN/m^3), a_d : faktor adhesi (non-dimensional), c_u : kohesi *undrained* (kN/m^2) , δ_a : penurunan toleransi (*tolerable settlement*) pelat perkerasan kaku (m), A_s : luas selimut tiang (m^2), A_{ps} : luasan zona pelat yang didukung oleh satu tiang (m^2), $A_{ps} = s^2$ (Hardiyatmo, 2011), dan s : jarak antar tiang (m).

Puri, dkk. (2013d) menyimpulkan bahwa Pelat Terpaku skala penuh menunjukkan kuat dukung maksimum yang besar terhadap beban, diperkirakan mencapai 427 kN pada beban sentris, dan hingga beban 160 kN memberikan respon lendutan yang masih elastik-linier. Kekakuan sistem ini juga besar sebagaimana terlihat pada lendutan yang kecil sekitar 4,35 mm untuk beban ujung $P= 80$ kN (*2x single wheel load*). Posisi beban tidak berpengaruh signifikan terhadap lendutan maksimum pelat dan kuat dukungnya. Desain didasarkan atas tinjauan terhadap satu baris tiang menghasilkan perencanaan lebih aman (Puri, dkk., 2013c). Untuk lebih efisien, dapat pula ditinjau terhadap beberapa baris tiang.

Gambar 2.2 dan 2.3 memperlihatkan hasil analisis menggunakan metode-metode yang telah diuraikan di atas. Semua metode memadai untuk digunakan dalam perancangan. Berdasarkan hasil penelitian Puri (2015a), sistem ini menjanjikan untuk aplikasi lapangan pada lempung lunak. Oleh karena itu, sistem ini dicoba dikembangkan untuk mengkaji potensi aplikasinya pada tanah gambut yang lebih jelek dibanding lempung lunak. Adapun tipikal konstruksi Sistem Pelat Terpaku oleh Puri (2015a) adalah lantai kerja beton K100 tebal 0,10 m. Tiang

pancang beton $f'_c = 17$ MPa (K200) diameter 0,20 m dan panjang 1,50 m. Pelat perkerasan beton bertulang $f'_c = 29$ MPa (K350) tebal 0,15 m. Jarak antar tiang 1,20 m.

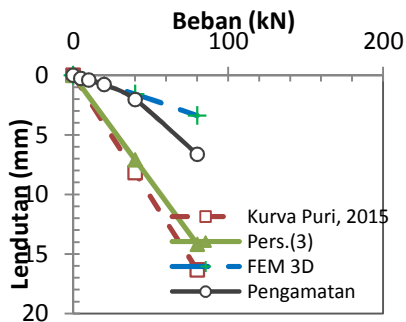


a) Hubungan $P-\delta$

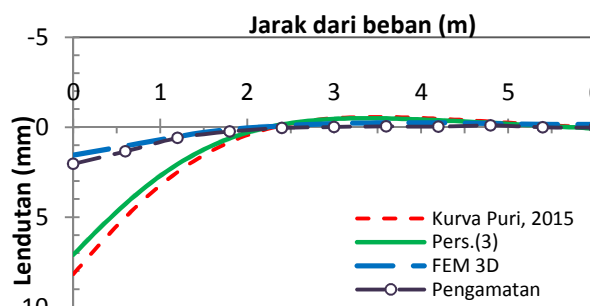
b) Lendutan sepanjang pelat, $P= 40$ kN

Gambar 2.2:

Hasil analisis lendutan rencana vs. lendutan pengamatan beban sentris.



a) Hubungan $P-\delta$



b) Lendutan sepanjang pelat, $P= 40$ kN

Gambar 2.3:

Hasil analisis lendutan rencana vs. lendutan pengamatan beban di tepi.

Gambar 2.4 memperlihatkan garis besar peta jalan penelitian Sistem Pelat Terpaku sampai dengan tahun 2016. Di tahun 2017 telah mulai dilakukan studi parametrik sistem ini dengan mengganti tiang beton bertulang menjadi tiang pipa baja. Analisis dilakukan pada Sistem Pelat Terpaku tiang tunggal. Diperoleh beberapa kesimpulan bahwa tiang pipa baja dapat digunakan sebagai paku pada perkerasan Sistem Pelat Terpaku, dimana peningkatan diameter dan panjang tiang dapat mereduksi penurunan pelat perkerasan (penurunan pelat pada beban roda

tunggal 40 kN masih di bawah penurunan maksimum izin 5 mm). Tegangan geser efektif maksimum bekerja pada tanah tidak melampaui kuat geser *undrained* tanah. Secara umum tanah tidak mengalami keruntuhan. Peningkatan diameter dan panjang tiang dapat mereduksi tegangan geser efektif dan tekanan air pori tanah dan bidang kontak tanah-tiang. Mengacu ke perubahan tekanan air pori ini, penggunaan diameter tiang pipa antara 30 cm sampai dengan 60 cm sudah memadai dengan panjang tiang 1,20 m.

Gambar 2.4:
Peta jalan penelitian Sistem Pelat Terpaku sampai dengan tahun 2016.

B. Kemajuan Penelitian yang Telah Dilakukan Peneliti Lainnya

Perkerasan Sistem Pelat Terpaku telah dikembangkan yang berkaitan dengan perkerasan kaku pada tanah lunak, lempung ekspansif, dan tanah gambut sebagaimana dirangkum pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1:
Rangkuman *Roadmap* Riset Sistem Pelat Terpaku

No.	Topik	Sub Topik	Referensi
1	Sistem tiang matras beton pada tanah lunak	Fondasi konvensional dengan pendekatan <i>closed to end bearing</i> . Hubungan matras dan tiang mikro yang langsing berupa pen-lubang. Matras beton 1 m × 1 m.	Simanjuntak dkk., 2003
2	Sistem Pelat Terpaku untuk Perkuatan Pelat Beton Pada Perkerasan Kaku	a. Uji model di laboratorium, skala model 1:10 dan 1:2, beban dinamik, analisis tebal pelat menggunakan koefisien reaksi <i>subgrade</i> dinamik. b. Modulus reaksi <i>subgrade</i> ekuivalen	Hardiyatmo, 2008 Hardiyatmo, 2011
3	Sistem Pelat Terpaku pada Lempung Lunak	Tiang tunggal pada lempung kaku. Skala penuh (1:1). Panjang tiang 50 cm, 150 cm, dan 200 cm dengan diameter 20 cm. Tebal <i>pile cap</i> 15 cm. Beban vertikal. Hubungan pelat-tiang menggunakan baut. 1. Penentuan nilai koefisien reaksi <i>subgrade</i> statis ekuivalen berdasarkan metode Road Research Laboartory; pelat 0,76 m × 0,76 m dan 1 m × 1 m. 2. Penentuan nilai koefisien reaksi <i>subgrade</i> statis ekuivalen untuk pelat dia. 1,0 m dan analisis numerik. 3. Formulasi kenaikan modulus reaksi tanah dasar akibat tiang tunggal	Nasibu (2009) Dewi (2009) Hardiyatmo (2009)
4	Sistem Pelat Terpaku pada Lempung Ekspansif	1) Satu baris kelompok tiang model, diameter 2 cm, dan panjang 10 cm, 15 cm, dan 20 cm. Spasi tiang 5 <i>d</i> dan 6 <i>d</i> . Ukuran pelat 75 × cm 9 cm × 1,5 cm. Tekanan akibat	Taa (2010)

		<p>pengembangan tanah.</p> <p>2) Model pelat terpaku dengan banyak baris tiang</p> <p>3) Pengaruh hubungan pelat dan tiang</p>	<p>Diana, dkk. (2016)</p> <p>Diana, dkk. (2017)</p>
5	Sistem Pelat Terpaku pada gambut	Perilaku pelat terpaku pada gambut (beban merata dan konsolidasi)	Waruwu, dkk. (2017)

C. Tinjauan Penelitian Terdahulu

Puri (2015a) telah melakukan uji model skala penuh/ purwarupa Pelat Terpaku tiga baris tiang dengan pembebanan tekan dan satu baris tiang dengan pembebanan tekan dan cabut. Tiang yang digunakan berupa beton bertulang. Hasil uji tersebut sangat menjanjikan untuk aplikasi lapangan dan selanjutnya perlu dikembangkan dengan mengganti tiang beton dengan tiang pipa baja. Diharapkan diperoleh informasi bagaimana perilaku Sistem Pelat Terpaku yang menggunakan tiang pipa baja pada lempung lunak.

D. Kerangka Berfikir

Kerangka berfikir penelitian ini adalah menerapkan tiang pipa sebagai pengganti tiang beton bertulang masif pada Sistem Pelat Terpaku dengan satu dan tiga baris tiang pada lempung lunak. Penelitian ini bagian dari kerangka konseptual mencapai teknologi aplikatif perkerasan jalan Sistem Pelat Terpaku pada tanah lunak sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.5.

Gambar 2.5:
Kerangka konseptual dan rekam jejak penelitian.

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Riau dan Laboratorium Komputasi Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada di Yogyakarta.

B. Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data sekunder yaitu hasil uji skala penuh Sistem Pelat Terpaku pada lempung lunak (Puri, 2015a) khusus untuk Pelat Terpaku dengan tiga baris tiang. Gambaran parameter bahan pada Sistem Pelat Terpaku yang menggunakan tiang beton bertulang masif oleh Puri (2015a) diuraikan berikut ini.

B.1 Sifat-sifat lempung lunak

Bahan penelitian yang digunakan Puri (2015a) adalah tanah lempung lunak Ngawi-2 yang berasal dari Ngawi, Jawa Timur dengan sifat-sifat seperti diberikan pada Tabel 3.1. Lempung ini mempunyai kadar air tanah yang cukup tinggi rerata 54,87% dan mendekati kadar air asli 50,49%. Berdasarkan kuat geser *undrained* (S_u) kondisi tidak terganggu rerata sebesar 20,14 kN/m², maka termasuk kategori lunak. Kondisi lunak tersebut juga dibuktikan dengan nilai CBR lapangan rerata 0,83%. Nilai *PI* sebesar 59,98% membuat lempung ini termasuk klasifikasi CH (lempung plastisitas tinggi) menurut klasifikasi USCS, atau setara dengan

klasifikasi A-7-6 menurut AASHTO. Distribusi ukuran butiran tanah didominasi gradasi butir halus yang mencapai rerata 92,93% dan sisanya berupa pasir halus.

Tabel 3.1:
Sifat-sifat Lempung Ngawi-2 (Puri, 2015a)

No.	Sifat-sifat	Satuan	Rerata
1	Berat spesifik, 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
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	Kuat tekan bebas, q_u	kN/m ²	37,20
10	CBR lapangan	%	0,83
11	Klasifikasi tanah:		
	- AASHTO	-	A-7-6
	- USCS	-	CH

B.3 Sifat-sifat beton

Berdasarkan uji kelecakan beton pelat diperoleh slump sebesar rerata 12,5 cm dan masih dapat diterima untuk beton K350. Mengacu pada uji kuat tekan beton diperoleh kuat tekan rerata pada umur 28 hari sebesar 29,21 MPa. Jadi target mutu beton K350 yang setara dengan 29 MPa tercapai. Berdasarkan uji kuat tarik belah (*splitting test*) diperoleh kuat tarik belah rerata sebesar 3.128 kPa. Adapun beton tiang diperoleh mutu K210 ($f'_c = 17,4$ MPa). Berdasarkan pengamatan, keruntuhan beton terjadi pada pecahnya agregat kasar. Untuk lantai

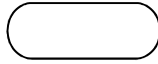
kerja dengan campuran 1PC : 3PS : 5KR diasumsikan mempunyai mutu K175 ($f_c' = 14,5$ MPa). Selanjutnya modulus elastisitas beton ditentukan dengan pendekatan umum sebesar $4.700\sqrt{f_c'}$.

C. Cara Analisis

Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga aksisimetri dengan bantuan *software* aplikasi Plaxis 2D v.8.2. Pelat dimodelkan sebagai pelat berperilaku linier elastik. Lantai kerja dimodelkan sebagai elemen *soil & interface* dengan parameter input material beton dimana model material elastik dengan perilaku non porous. Adapun tiang juga dimodelkan sebagai elemen *plate* dimana model material elastik dengan perilaku non porous. Untuk tanah menggunakan model Mohr-Coulomb perilaku *undrained*. Analisis menggunakan *plain strain*.

D. Konsep Operasional

Bagan alir studi parametrik perkerasan Sistem Pelat Terpaku menggunakan tiang pipa beton, secara keseluruhan diberikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1:
Bagan alir penelitian.

Adapun tahapan pelaksanaan penelitian dirunut sebagaimana uraian berikut.

1. Persiapan, meliputi perizinan penelitian dll.
2. Pengumpulan data sekunder. Indikator capaiannya adalah terpenuhi data yang memadai.
3. Analisis data. Simulasi analisis lendutan pelat terpaku menggunakan metode elemen hingga. Analisis dilakukan terhadap Pelat Terpaku dengan tiga baris

tiang. Dalam hal ini, tiang beton masif diganti dengan tiang pipa beton. Konfigurasi tiang dan penampang dapat dilihat pada Gambar 3.2.

a) Denah

b) Potongan melintang

Gambar 3.2 Pemodelan tiang pada sistem pelat terpaku dengan panjang tiang seragam (Model 1)

Variabel analisis diberikan pada Tabel 3.2. Indikator berupa hasil analisis secara numerik atas perilaku Sistem Pelat Terpaku yang menggunakan tiang pipa beton.

Tabel 3.2:
Variabel analisis

No.	Variabel	Besaran (cm)
1	Variasi diameter tiang pipa beton	30; 40; 50
2	Variasi panjang tiang pipa beton	150; 180; 200
3	Variasi beda panjang tiang pipa beton	150 (3 tiang tengah); 200 (2 tiang terluar di kiri dan kanan)
4	Variasi mutu beton	200; 400; 600
5	Variasi posisi beban	di pinggir pelat, di tengah pelat

Gambar 3.3 dan 3.4 memperlihatkan skema model Pelat Terpaku dengan variasi beda panjang tiang. Terdapat 3 model yaitu panjang tiang seragam atau sama (Model 1) pada Gambar 3.3, tiga tiang di tengah lebih panjang dari tiang-tiang pinggir (Model 2), dan tiang-tiang terluar lebih panjang dibanding tiang di tengah (Model 3) pada Gambar 3.4.

Gambar 3.3 Variasi model 1 analisis untuk panjang tiang seragam.

Gambar 3.4 Variasi model 2 dan 3 analisis untuk beda panjang tiang.

4. Pembahasan dan kesimpulan. Indikator: teori tentang perilaku Sistem Pelat Terpaku yang menggunakan tiang pipa beton.
5. Laporan hasil dan publikasi ilmiah. Indikator: dokumentasi *hardcopy* dan *softcopy* sebagai sarana distribusi ilmu pengetahuan untuk kemaslahatan manusia.

E. Prosedur Analisis

Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga *plain strain* dengan bantuan *software* aplikasi Plaxis 2D v.8.2. Pelat dan lantai kerja dimodelkan sebagai elemen *soil & interface* dengan parameter input material beton dimana model material elastik dengan perilaku *non porous*. Adapun tiang juga di modelkan sebagai elemen *soil & interface* namun dengan parameter input material ekuivalen dari bahan pipa beton, dimana model material elastik dengan perilaku non porous. Untuk tanah menggunakan model *Mohr-Coulomb* perilaku *undrained*.

Berikut tahapan analisa menggunakan analisis plaxis versi 2D versi 8.6:

1. Pengaturan *general setting*

Menu untuk input penamaan proyek yang akan digunakan dan metode analisa yang dipakai. Merujuk pada permasalahan yang ada pada penelitian ini maka pada menu *drop down* pada *general option*, pilih model *plain strain* dan *15 nodes*. Tampilan menu *general setting* seperti Gambar 3.2. Hal pertama yang harus dilakukan mengatur tampilan *general setting* adalah pengaturan proyek dan pengaturan dimensi. Pada pengaturan proyek, pengaturan yang berkaitan dengan penamaan proyek dan penentuan model yang dipakai yaitu regangan bidang (*Plain strain*). Pengaturan dimensi adalah berkaitan dengan penggunaan satuan yang akan dipakai untuk analisa proyek dan pengaturan lembar kerja proyek.

Gambar 3.2 Tampilan *general setting*

2. Pemodelan pelat terpaku

Setelah pengaturan *general setting*, pembuatan model di layar kerja Plaxis dapat dibuat dengan menggunakan fungsi *line* sebagai geometri garis untuk menggambarkan profil 2D dari penggambaran model, *plate* sebagai penggambaran tiang dan pelat, *standard fixities* untuk memberikan batasan bidang analisis pada plaxis. Model pelat terpaku yang dihasilkan seperti Gambar 3.3. Pemodelan pelat terpaku menggunakan line untuk *boundaries* yang akan dipakai. Tiang-tiang dan pelat digambarkan dengan menggunakan model *plate*. Jarak antar tiang memiliki jarak yang sama yaitu 1,2 m.

Gambar 3.3 Pemodelan sistem pelat terpaku

3. Pengaturan *material set* tanah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah material lempung lunak. Tanah dimodelkan setelah geometri tanah dibuat dengan menggunakan *geometri line*, kemudian *properties* tanah diinput pada menu *tab* seperti Gambar 3.4.

Gambar 3.4 Jendela material set tanah

Gambar 3.4 merupakan tampilan set tanah yang terdiri beberapa menu utama yaitu umum, parameter, dan antarmuka. Pada menu umum merupakan menu-menu yang terdiri dari kumpulan material, sifat-sifat tanah dan *permeabilitas*. Menu parameter terdiri dari nilai kekakuan tanah dan nilai kekuatan tanah tersebut, sedangkan menu antaramuka adalah menu untuk pengisian nilai *R-interface*.

4. Pengaturan material set tiang dan pelat

Tiang dan pelat dimodelkan dengan menggunakan *plate* dengan perilaku elastis. Tiang-tiang dibuat satu baris dan dilengkapi dengan *interface* tiap tiang, seperti Gambar 3.5. Nilai *EA*, *EI*, berat (*w*), dan angka Poisson (*v*) diisi sesuai dengan data-data yang sudah dihitung pada lampiran A.1-A.6. Nilai *EA* dan *EI* yang diisi maka nilai diameter akan terisi sesuai dengan diameter yang digunakan.

Gambar 3.5 Jendela material set tiang dan pelat

5. Pengaturan material set rantai kerja

Pengaturan sebagai model tanah yang dianggap *elastis linier*, jenis material yang digunakan adalah tidak *porous*. Tanah dimodelkan setelah geometri tanah dibuat dengan menggunakan *geometri line*. Tab menu input material rantai kerja seperti Gambar 3.6. Untuk *General* indentifikasi ditulis nama rantai kerja. Model material *Elastis Linier*. Jenis material tidak *porous*. Untuk γ_{unsat} dan γ_{sat} diisi sesuai dengan data parameter pada Tabel 5.1.

Gambar 3.6 Jendela material set rantai kerja

6. Pengaturan *Meshing*

Setelah material sudah terinput dalam geometri model, maka material sudah siap untuk dilakukan analisis. Sebelum itu, langkah harus dilakukan adalah *generate mesh* yang artinya mengatur titik-titik analisa. Analisa plaxis berdasarkan suatu proses yang disebut *iterasi*. Jadi semakin halus tingkatan *mesh* yang dipilih, maka semakin banyak proses *iterasi* sehingga tindakan analisis hampir mendekati kesalahan terkecil.

7. Tahapan *initial condition*

Bilamana *mesh* telah di-*generate*, maka model sudah siap untuk dianalisa. Langkah analisa pertama adalah menentukan keadaan awal suatu lapisan tanah sebelum semua beban dan perkuatan bekerja. Langkah ini yang disebut *initial condition*. Didalam fase inilah, pengaturan muka air tanah, batas analisa konsolidasi dan prosedur tekanan tanah diam (KO) atau *gravity loading* dapat dilakukan. Semua struktur luar seperti pembebanan dan *Plate Bearing* haruslah dalam keadaan *off* (tampilan abu-abu pada layar) bilamana untuk memberikan isyarat bahwa tahapan ini merupakan tahapan asli dari tanah (Gambar 3.7). Di tampilan ini juga diatur penentuan garis freatik atau garis permukaan air tanah. Proses ini untuk menghitung tekanan air pori tanah lempung lunak.

8. Tahapan kalkulasi

Pada tahapan ini, semua aktifitas yang akan dilakukan kepada tanah diandaikan disini. Selayaknya suatu pekerjaan proyek yang mengenal divisi-divisi pekerjaan, pada program plaxis ini, tahapan analisa bisa diatur sesuai dengan tahapan pekerjaan, dikarenakan penelitian ini berguna sebagai alternatif

solusi untuk mengatasi permasalahan konstruksi jalan melalui tanah lunak. Pada tahap perhitungan ini jenis analisis yang dipilih adalah analisis plastis sehingga hasil deformasi yang diperoleh pada akhir perhitungan merupakan deformasi kumulatif dari semua tahap perhitungan. Langkah-langkah yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.8.

Gambar 3.7 Tampilan *initial conditions*

Gambar 3.8 Tampilan *calculation phase*

Pada Gambar 3.8 *calculation type* yang digunakan hendaknya menggunakan *plastic analysis*. Di dalam tahapan analisis plastis, bisa ditentukan pembebanan yang dapat diterima oleh tanah sebelum terjadi keruntuhan tanah dan mendapatkan nilai deformasi atau penurunan yang terjadi. Kurva yang terbentuk berdasarkan titik referensi yang telah ditentukan pada tahap *calculation*. Kurva deformasi menggambarkan laju penurunan tanah terhadap waktu. Deformasi dan distribusi tegangan untuk setiap tahapan konstruksi dapat digambarkan dalam bentuk diagram vektor, gradasi warna, atau garis kontur. Diagram vektor menjelaskan arah pergerakan embankment dan tanah dasar, sedangkan gradasi warna dan garis kontur menjelaskan pola dan besar deformasi dan distribusi tegangan setiap lapisan tanah.

9. *Output*

Setelah tahapan kalkulasi maka akan diperoleh hasil perhitungan yang dilakukan. *Output* yang akan dicari adalah *displacements*, tegangan geser, momen lentur, tegangan total, perpindahan total, seperti pada Gambar 3.9. Gambar 3.9 merupakan tampilan hasil analisis yang dilakukan. Gambar 3.9a hasil analisis perpindahan total akibat beban di pinggir pelat yang menghasilkan nilai sebesar 0,04433 mm dan Gambar 3.9b hasil analisis perpindahan total akibat beban di tengah pelat yang menghasilkan nilai penurunan sebesar 0,01760 mm.

a. beban di pinggir pelat

b. beban di tengah pelat

Gambar 3.9 Tampilan *output* perpindahan total

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Parameter Material

A.1 Tanah

Tanah lempung lunak diambil dari Ngawi yang berasal dari Ngawi, Jawa Timur. Lempung ini menggunakan analisa *Undrained* B (Metoda B) pada elemen hingga perangkat lunak Plaxis 2D, dimana kuat geser tanah tegangan total: $c = c_u$, $\phi = 0$, $\psi = 0$, kekuatan tanah efektif E_{50}' , dan rasio Poisson v' . Model dan parameter input untuk tanah disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1
Model dan parameter tanah

Parameter	Simbol	Lempung Lunak	Pasir	Satuan
Model material	Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	-
Jenis Material	Tipe	<i>Undrained</i>	<i>Drained</i>	-
Berat volume jenuh	γ_{sat}	16,30	18,00	kN/m ²
Berat volume kering	γ_d	10,90	20,00	kN/m ²
Modulus Young	E_{50}	1.790,00	42.750,00	kPa
Rasio poisson	v'	0,35	0,35	-
Kohesi <i>undrained</i>	c_u	20,00	1,00	kPa
Sudut gesek internal	ϕ	1,00	47,80	°
Sudut dilatansi	ψ	0,00	2,00	°
Kekosongan nilai awal	e_o	1,19	0,50	-
Rasio antar muka	R_{inter}	0,8	0,70	-

A.2 Parameter struktur

A.2.1 Tiang

Pelat terpacu dibuat pada tanah lempung dengan ukuran 354 cm x 600 cm, terdapat 5 tiang dengan jarak 120 cm. Tiang yang digunakan adalah tiang pipa beton dengan mutu beton $f_c' = 17$ MPa (K-200). Tiang pipa beton menggunakan diameter dan panjang tiang bervariasi dengan tebal pelat yang sama. Diameter yang digunakan adalah $D_1=30$ cm, $D_2=40$ cm, dan $D_3=50$ cm. Panjang tiang yang digunakan adalah $L_1= 150$ cm, $L_2=180$ cm, $L_3=200$ cm dan $L_4= 250$ cm. Properties tiang disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2
Model dan parameter tiang

Parameter	Nama/ Notasi	Lantai Kerja (LC)	Elemen Struktur			Satuan
			Diameter Tiang (cm)			
			30	40	50	
Model Material	Model	Volume Element	plate	plate	plate	-
Perilaku Material	tipe	Elastik	Elastik	Elastik	Elastik	-
Kekakuan normal	EA	-	738.528	1.250.112	1.893.438	kN/m
Kekakuan lentur	EI	-	5.649,74	17.384,38	41.703	kNm ² /m
Diameter/ke-tebalan	d	-	0,3	0,4	0,5	m
Berat	w	-	0,9	1,53	2,317	kNm/m
Rasio Poisson	ν	0,2	0,2	0,2	0,2	-
Berat isi	γ	22	24	24	24	kN/m ³
Modulus Young	E	17.900.000	19.600.000	19.600.000	19.600.000	kN/m ²
Rasio kekuatan antar muka	R_{inter}	0,8	0,8	0,8	0,8	-
Mutu Beton	f_c'	14,5	17	17	17	MPa

A.2.2 Pelat

Pelat yang digunakan adalah pelat beton dengan mutu $f_c' = 29$ MPa (K-350). Ukuran tebal bervariasi dengan menggunakan panjang dan diameter yang sama. Tebal pelat yang digunakan adalah $t_1 = 15$ cm, $t_2 = 17$ cm, $t_3 = 20$ cm. Panjang tiang $L = 150$ cm dan diameter tiang $D = 40$ cm. Properties pelat disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3
Model dan parameter pelat

Parameter	Nama/ Notasi	Lantai Kerja (LC)	Elemen Struktur			Satuan
			Tebal Pelat, t (cm)			
			15	17	20	
Model Material	Model	Volume Element	plate	plate	plate	-
Perilaku Material	tipe	Elastik	Elastik	Elastik	Elastik	-
Kekakuan normal	EA	-	4.554.000	5.161.200	6.072.000	kN/m
Kekakuan lentur	EI	-	8.539	12.430	20.240	kNm ² /m
Diameter/ketebalan	d	-	0,15	0,17	0,2	m
Berat	w	-	3,6	4,08	4,8	kNm/m
Rasio Poisson	ν	0,2	0,15	0,2	0,15	-
Berat isi	γ	22	24	22	24	kN/m ³
Modulus Young	E	17.900.000	25.300.000	25.300.000	25.300.000	kN/m ²
Rasio kekuatan antar muka	R_{inter}	0,8	0,8	0,8	0,8	-
Mutu Beton	f_c'	14,5	29	29	29	MPa

A.3 Pemodelan

Model skala penuh perkerasan Sistem Pelat Terpaku yang dibangun berukuran $6 \text{ m} \times 3,54 \text{ m}$. Pelat diperkaku dengan memasang tiang-tiang mikro di bawahnya. Ukuran diameter tiang, panjang tiang dan tebal pelat bervariasi. Tiang-

tiang micro pendek dimodelkan di bawah pelat dengan 3 baris tiang tiap 1 baris terdapat sebanyak 5 tiang. Jarak antar tiang tersebut yaitu 1,20 m. Contoh detail pemodelan dapat dilihat pada Gambar 4.1. Tanah lempung lunak setebal 6,00 m dan di bawahnya terdapat lapisan pasir kepadatan sedang yang ditinjau setebal 3,00 m. Boundary analysis adalah berukuran 40 m x 40 m. Beban maksimum yang diberikan adalah 50 kN pada dua variasi titik beban yaitu di pinggir kiri pelat dan di tengah pelat. Beban tersebut adalah beban roda dalam bentuk beban terpusat yang kemudian dikonversi menjadi tekanan roda sebesar 707 kN/m².

Gambar 4.1 Pemodelan Sistem Pelat Terpaku

B. Pengaruh Diameter Tiang

B.1 Lendutan pelat

Model skala penuh sistem pelat terpaku dengan menggunakan 5 tiang diuji beban tekan di pinggir dan di tengah pelat sebesar 50 kN dengan uraian beban terpusat dikonversi menjadi tekanan roda sebesar 710 kN/m². Pelat terpaku dibuat pada tanah lempung dengan ukuran 354 cm x 600 cm, tebal pelat 20 cm dan

terdapat 5 tiang dalam satu baris dengan jarak 120 cm, panjang 150 cm. Selanjutnya dianalisis dengan variasi diameter tiang yang berbeda-beda yaitu $D1=30$ cm, $D2=40$ cm, $D3=50$ cm. Berikut adalah hasil analisis akibat pengaruh diameter tiang. Gambar 4.2 merupakan ilustrasi Pelat Terpaku yang dianalisis. Gambar 4.3 dan 4.4 bentuk deformasi berturut-turut untuk beban di pinggir dan di tengah. Hasil lendutan pelat pengujian beban tekan di titik pinggir dan tengah dapat dilihat dalam Tabel 4.4 dan 4.5 yang disajikan sebagai berikut.

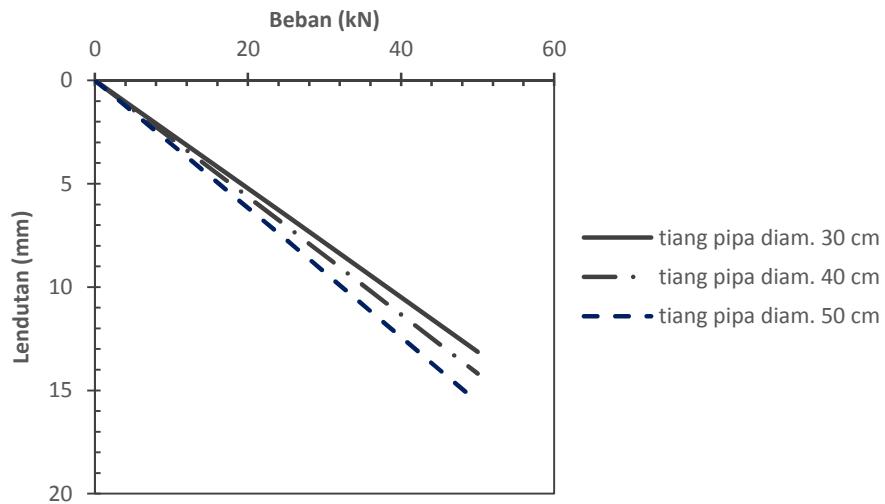
Gambar 4.2 Model pelat terpaku

Gambar 4.3 Hasil perpindahan dengan pengujian beban tekan di tepi

Gambar 4.4 Hasil perpindahan dengan pengujian beban tekan di tengah

Tabel 4.4
Lendutan arah vertikal (mm) pelat beban di tepi

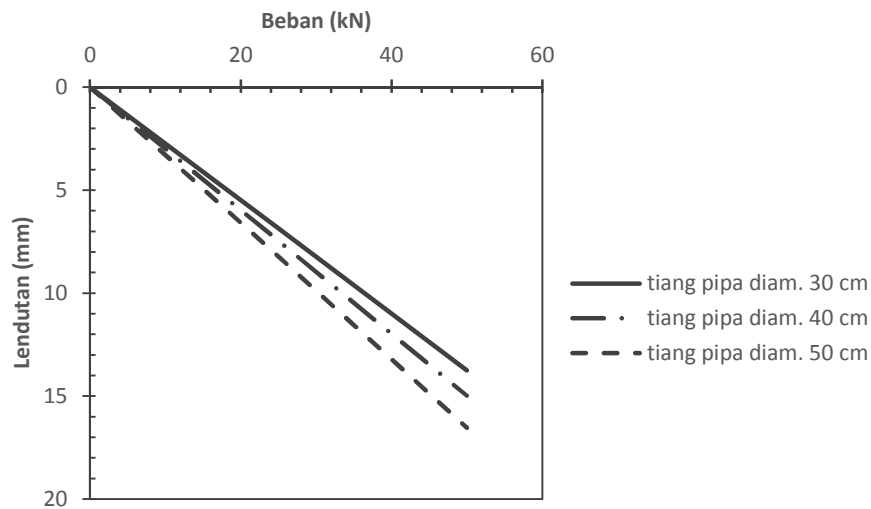
Beban (kN)	Diameter (cm)		
	30	40	50
0	0	0	0
25	6,53	7,04	7,71
50	13,14	14,19	15,56



Gambar 4.5 Lendutan pelat akibat beban di tepi

Tabel 4.5
Lendutan arah vertikal (mm) pelat beban di tengah

Beban (kN)	Diameter (cm)		
	30	40	50
0	0	0	0
25	6,85	7,46	8,22
50	13,75	14,98	16,54



Gambar 4.6 Lendutan pelat akibat beban di tengah

Dari Tabel 4.4 dapat dijelaskan bahwa penambahan diameter tiang akan menambah lendutan yang terjadi. Hal ini disebabkan bertambahnya beban berat sendiri tiang yang harus dipikul tanah. Penambahan diameter tiang dari 30 cm ke 40 cm mengakibatkan kenaikan lendutan 1,05 mm. Dan penambahan diameter tiang dari 40 cm ke 50 cm mengakibatkan kenaikan lendutan 1,37 mm. Pada Tabel 4.5 juga menggambarkan hal yang sama yaitu penambahan diameter tiang mengakibatkan kenaikan lendutan dari diameter 30 cm ke 40 cm kenaikan lendutan 1,23 mm dan diameter 40 ke 50 cm kenaikan lendutan 1,56 mm.

B.2 Tegangan dalam tanah

Tegangan geser di dalam tanah akibat beban di tepi dan di tengah pelat ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan 4.8. Besaran tegangan geser diberikan pada Tabel 4.6 sampai dengan Tabel 4.9.

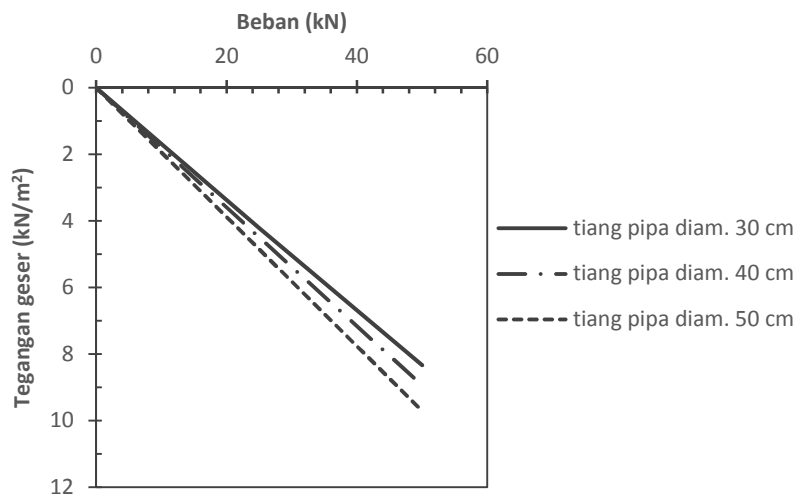
Gambar 4.7 Tegangan geser dalam tanah akibat beban di tepi pelat

Gambar 4.8 Tegangan geser dalam tanah akibat beban di tengah

Hasil tegangan geser dalam tanah pengujian beban tekan di titik tepi dan tengah dapat dilihat dalam tabel 4.6, 4.7, 4.8 dan 4.9 yang disajikan sebagai berikut.

Tabel 4.6
Tegangan geser τ_{xy} (kN/m^2) tanah di bawah pelat akibat beban di tepi

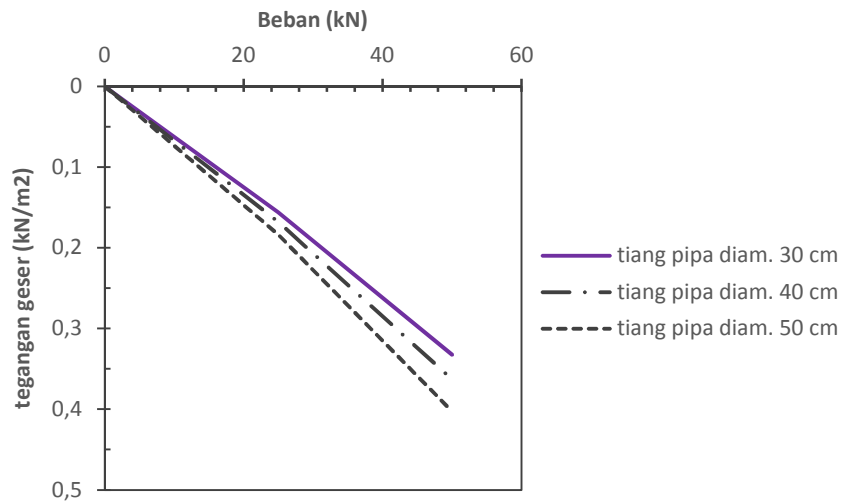
Beban (kN)	Diameter (cm)		
	30	40	50
0	0	0	0
25	4,21	4,49	4,85
50	8,34	8,94	9,71



Gambar 4.9 Tegangan geser τ_{xy} (kN/m^2) tanah di bawah pelat akibat beban di tepi

Tabel 4.7
Tegangan geser τ_{xy} (kN/m^2) tanah di bawah pelat akibat beban di tengah

Beban (kN)	Diameter (cm)		
	30	40	50
0	0	0	0
25	0,16	0,17	0,18
50	0,33	0,36	0,40

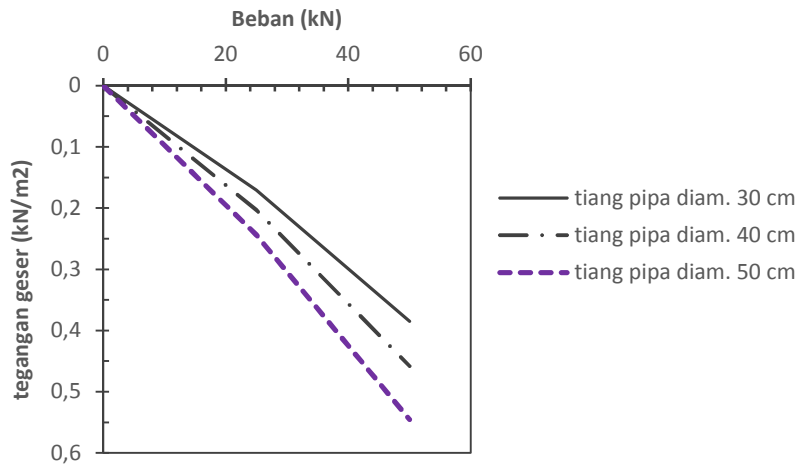


Gambar 4.10 Tegangan geser τ_{xy} (kN/m^2) tanah di bawah pelat akibat beban di tengah

Dari Tabel 4.6 penambahan diameter tiang tidak signifikan terhadap kenaikan tegangan geser tanah. Dari diameter 30 ke 40 kenaikan tegangan geser tanah sebesar $0,6 \text{ kN/m}^2$ dan diameter 40 ke 50 kenaikan tegangan geser tanah sebesar $0,77 \text{ kN/m}^2$. Pada Tabel 4.7 tegangan geser tanah akibat penambahan diameter tiang dari diameter 30 ke 40 mengalami kenaikan sebesar $0,03 \text{ kN/m}^2$ dan diameter 40 ke 50 kenaikan $0,04 \text{ kN/m}^2$.

Tabel 4.8
Tegangan geser τ_{xy} (kN/m^2) tanah di bawah tiang 1 akibat beban di tepi

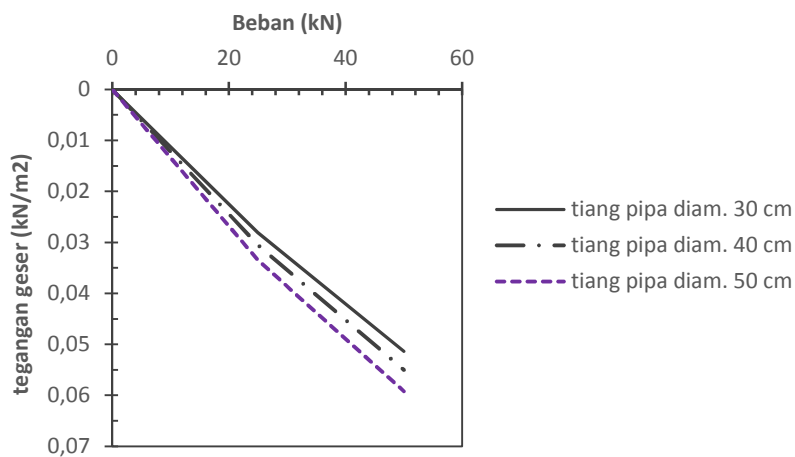
Beban (kN)	Diameter (cm)		
	30	40	50
0	0	0	0
25	0,17	0,20	0,24
50	0,39	0,46	0,55



Gambar 4.11 Tegangan geser τ_{xy} (kN/m^2) tanah di bawah tiang 1

Tabel 4.9
Tegangan geser τ_{xy} (kN/m^2) tanah di bawah tiang 3 akibat beban di tengah

Beban (kN)	Diameter (cm)		
	30	40	50
0	0	0	0
25	0,03	0,03	0,03
50	0,05	0,06	0,06



Gambar 4.12 Tegangan geser τ_{xy} (kN/m^2) tanah di bawah tiang 3 akibat beban di tengah

Dari Tabel 4.8 penambahan diameter tiang mengalami kenaikan terhadap tegangan geser tanah, dari diameter 30 ke 40 kenaikan tegangan geser tanah sebesar $0,07 \text{ kN/m}^2$ dan diameter 40 ke 50 kenaikan tegangan geser tanah sebesar $0,09 \text{ kN/m}^2$. Pada tabel 4.9 tegangan geser tanah akibat penambahan diameter tiang dari diameter 30 ke 40 mengalami kenaikan sebesar $0,01 \text{ kN/m}^2$ dan diameter 40 ke 50 tegangan geser dalam tanah tetap.

C. Pengaruh Panjang Tiang

C.1 Deformed shape

Tiang pipa beton yang digunakan sesuai yang disajikan pada Tabel 4.2 dengan menggunakan pelat beton tebal 20 cm dan diameter tiang 40 cm, sedangkan panjang tiang (L_p) bervariasi. Berikut adalah hasil analisa pengaruh panjang tiang. Bentuk terdeformasi (*deformed shape*) diberikan pada Gambar 4.13 dan 4.14 masing-masing untuk beban di tepi dan di tengah pelat.

Gambar 4.13 memperlihatkan perilaku deformasi maksimum akibat beban di tepi pelat. Variasi panjang tiang tidak berpengaruh pada pola umum perilaku deformasi. Tiang-tiang di bawah pelat mengalami deformasi yang berbeda-beda tergantung letak pada kelompok tiang terhadap beban. Tiang tepi dekat pembebanan mengalami deformasi tekan dan tiang-tiang lainnya yang jauh dari beban mengalami deformasi tarik (ke atas). Secara keseluruhan besar nilai deformasi yang terjadi pada pelat terpaku dengan menggunakan panjang tiang 150 cm sebesar 43,8 mm, panjang tiang 180 cm deformasi sebesar 40,86, dan panjang tiang 200 cm deformasi sebesar 39,82 mm. Penambahan panjang tiang pada sistem pelat terpaku mengurangi nilai deformasi, semakin panjang tiang maka

semakin berkurang nilai deformasi, begitu sebaliknya.

Gambar 4.13 Hasil deformasi dengan analisis beban di tepi pelat

Gambar 4.14 Hasil deformasi dengan analisis beban di tengah pelat

Pada analisis beban di tengah pelat, bentuk deformasi sistem pelat terpaku

menghasilkan bentuk yang berbeda dengan analisis beban di tepi pelat seperti terlihat pada Gambar 4.14. Dapat dijelaskan bahwa bentuk deformasi yang terjadi pada sistem pelat terpaku mengalami deformasi yang simetris. Beban yang diletakkan di tengah pelat mengakibatkan tiang-tiang di bawah pelat memberi respon terhadap pelat sehingga lendutan pelat tidak terlalu besar. Variasi panjang tiang tidak berpengaruh pada pola umum perilaku deformasi. Secara keseluruhan besar nilai deformasi yang terjadi pada pelat terpaku dengan menggunakan panjang tiang 150 cm sebesar 17,60 m, panjang tiang 180 cm deformasi sebesar 16,63 m, dan panjang tiang 200 cm deformasi sebesar 16,02 m. Penambahan panjang tiang memberi respon terhadap lendutan pelat. Semakin panjang tiang maka semakin berkurang nilai deformasi, begitu sebaliknya.

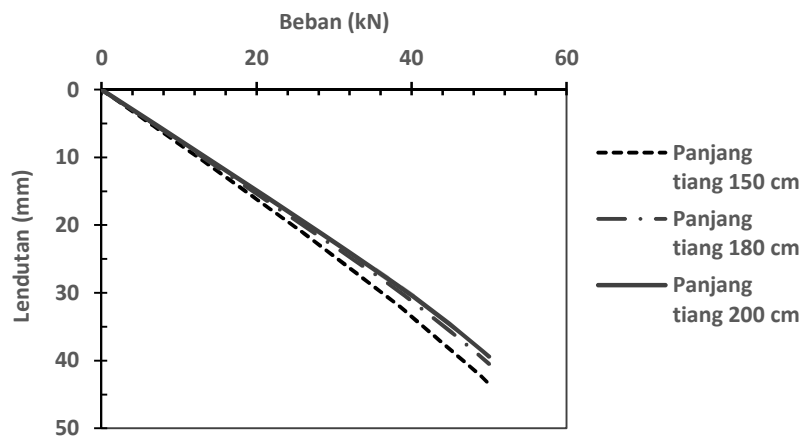
C.2 Lendutan pelat

Pembebanan pada tepi dan tengah pelat menghasilkan lendutan yang berbeda pada pelat. Hasil hitungan lendutan pelat pada sistem pelat terpaku dengan menggunakan variasi panjang tiang disajikan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10
Lendutan arah vertikal (mm) pelat akibat beban di tepi dan tengah pelat

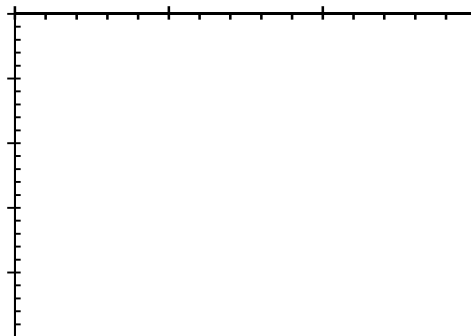
Beban (kN)	Beban di tepi			Beban (kN)	Beban di tengah		
	150 cm	180 cm	200 cm		150 cm	180 cm	200 cm
0	0	0	0	0	0	0	0
10	8,02	7,61	7,38	10	3,50	3,32	3,19
20	16,25	15,39	14,91	20	7,01	6,64	6,39
30	24,37	23,15	22,48	30	10,53	9,98	9,59
40	33,26	31,12	30,41	40	14,07	13,31	12,80
50	43,44	40,47	39,40	50	17,59	16,63	16,02

Berdasarkan Tabel 4.10 menunjukkan perbedaan lendutan pelat akibat beban di tepi dan di tengah pelat. Perhitungan beban di tepi pelat menghasilkan lendutan yang besar dibandingkan dengan beban di tengah pelat. Penambahan panjang tiang meningkatkan kuat dukung tiang dalam memikul beban, sehingga lendutan elat menjadi berkurang. Untuk beban di tepi peningkatan panjang tiang sudah memadai mereduksi lendutan. Panjang tiang 150 cm ke 180 cm dapat mereduksi lendutan sebesar 6,83% dan panjang tiang 180 cm ke 200 cm dapat mereduksi lendutan sebesar 2,64 %. Untuk beban di tengah peningkatan panjang tiang sudah memadai mereduksi lendutan. Panjang tiang 150 cm ke 180 cm dapat mereduksi lendutan sebesar 5,45 % dan panjang tiang 180 cm ke 200 cm dapat mereduksi lendutan sebesar 3,67 %. Penambahan panjang tiang mempengaruhi lendutan yang terjadi pada pelat akibat beban di tepi dan di tengah. Lendutan yang terjadi pada pelat akibat beban di tepi dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Hubungan P - δ akibat beban di tepi

Pada Gambar 4.15 menjelaskan bahwa perubahan lendutan setelah penambahan panjang tiang. Lendutan terkecil terjadi pada panjang tiang 200 cm dan lendutan terbesar terjadi pada panjang tiang 150 cm. Tampak pada grafik bahwa akibat penambahan panjang pada tiang menambah kuat dukung tiang sehingga nilai lendutannya berkurang. Lendutan yang terjadi pada pelat akibat beban di tengah pelat dapat dilihat pada Gambar 4.15. Gambar 4.16 menunjukkan bahwa peningkatan panjang tiang dapat mereduksi lendutan yang terjadi. Untuk beban di tengah lendutan terbesar terjadi pada tiang 150 cm dan lendutan terkecil terjadi pada panjang tiang 200 cm. Tampak pada grafik penambahan panjang tiang menambah kuat dukung tiang dan beban yang berada di tengah pelat mengurangi lendutan yang terjadi.



Gambar 4.16 Hubungan $P-\delta$ akibat beban di tengah

C.3 Tegangan geser tanah

Tegangan yang terjadi akibat perhitungan beban tekan sebesar $707,5 \text{ kN/m}^2$ pada titik A, titik C, tiang 1 (titik B) dan tiang 3 (titik D). Dan tegangan geser tanah di bawah pelat yang terdekat dengan beban diambil jarak 30 cm dari lantai

kerja dan di bawah tiang sejauh 30 cm dari ujung bawah tiang. Gambar 4.17 menunjukkan titik tinjauan tegangan dalam tanah.

Gambar 4.17 Model pelat terpaku dengan titik tinjauan tegangan geser

Tinjauan titik tegangan dalam tanah ditinjau pada 2 titik yaitu titik tegangan dalam tanah di bawah beban dan titik tegangan dalam tanah di bawah tiang. Titik tegangan dalam tanah di bawah beban yaitu titik A merupakan perhitungan tegangan akibat beban di tepi dan titik C merupakan perhitungan tegangan akibat beban di tengah pelat. Titik tegangan dalam tanah di bawah tiang yaitu titik B di bawah tiang 1 dan titik D di bawah tiang 3.

Masing-masing perhitungan tegangan akibat beban di tepi dan di tengah pelat di hitung dengan beban tekan sebesar $707,5 \text{ kN/m}^2$. Hasil perhitungan beban tekan dapat dilihat pada Gambar 4.18 dan 4.19. Gambar 4.18 menunjukkan kondisi tegangan geser pada tahap final. Kondisi tegangan geser dalam tanah terlihat dengan jelas. Dapat dilihat juga bahwa terjadi konsentrasi tegangan sekitar tiang 1 atau daerah beban di tepi pelat. Gambar 4.18 merupakan hasil perhitungan pada panjang tiang 150 cm dengan tebal pelat 20 cm pada analisis beban di tepi pelat yang menghasilkan tegangan geser dalam sebesar $24,87 \text{ kN/m}^2$.

Gambar 4.18 Tegangan geser dalam tanah akibat beban di tepi pelat

Gambar 4.19 Tegangan geser dalam tanah akibat beban di tengah pelat

Hasil perhitungan tegangan akibat beban tekan di tengah pelat dapat dilihat pada Gambar 4.19. Gambar 4.19 menunjukkan hasil tegangan geser dalam tanah akibat perhitungan beban tekan sebesar $707,5 \text{ kN/m}^2$ dengan menggunakan tiang 150 cm dengan tebal pelat 20 cm pada tengah pelat yang menghasilkan nilai *ekstrim* tegangan geser dalam tanah sebesar $11,08 \text{ kN/m}^2$. Tegangan geser akibat beban tekan di tepi pelat menghasilkan tegangan geser lebih besar dibandingkan

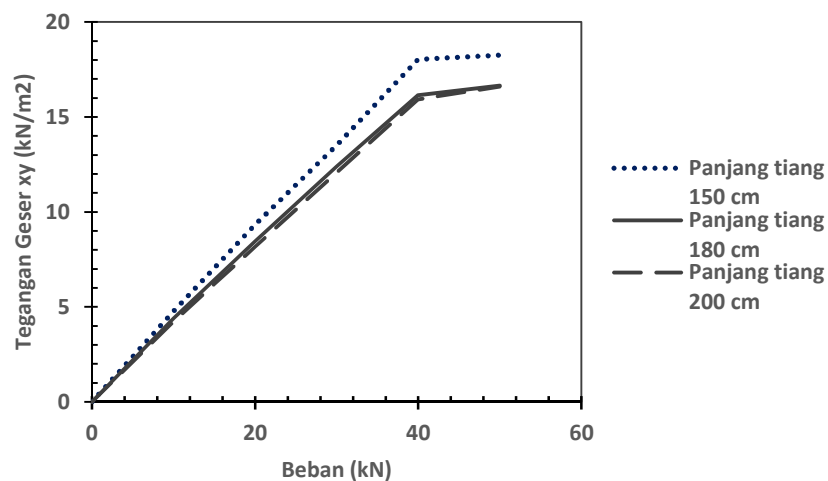
akibat beban di tengah pelat. Tabel 4.11 adalah nilai tegangan geser dalam tanah pada perhitungan beban tekan di tepi dan di tengah pelat pada titik A dan titik C.

Tabel 4.11
Hasil tegangan geser dalam tanah (kN/m^2) di bawah beban

Beban di tepi				Beban di tengah			
Beban (kN)	Tegangan Geser untuk $L_p =$			Beban (kN)	Tegangan Geser untuk $L_p =$		
	150 cm	180 cm	200 cm		150 cm	180 cm	200 cm
0	0	0	0	0	0	0	0
10	4,77	4,40	4,24	10	0,17	0,12	0,12
20	9,33	8,47	8,17	20	0,34	0,25	0,23
30	13,52	12,40	12,08	30	0,52	0,37	0,35
40	18,03	16,14	15,93	40	0,69	0,50	0,47
50	18,25	16,65	16,60	50	0,88	0,70	0,59

Berdasarkan Tabel 4.11 menunjukkan perbedaan tegangan geser yang diakibatkan beban di tepi dan di tengah pelat. Tegangan geser pada beban di tepi lebih menghasilkan tegangan geser yang lebih besar dari beban di tengah pelat. Dari hasil perhitungan berdasarkan metode elemen hingga, untuk beban di tepi pada panjang 150 cm ke 180 cm mengalami penurunan tegangan sebesar 8,7 % dan dari panjang 180 cm ke 200 cm mengalami penurunan tegangan sebesar 0,3 %. Untuk beban di tengah pada panjang 150 cm ke 180 cm mengalami penurunan tegangan sebesar 20,45 % dan dari panjang 180 cm ke 200 cm mengalami penurunan tegangan sebesar 15,71 %. Penambahan panjang tiang menghasilkan lendutan semakin kecil sehingga tegangan geser didalam tanah berkurang.

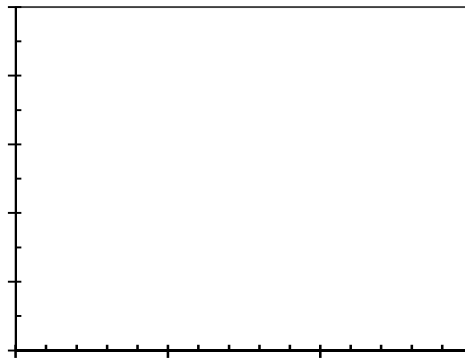
Tegangan geser yang terjadi di bawah beban akibat beban di tepi dan di tengah pelat mengalami perubahan tidak signifikan karena penambahan panjang tiang kecil. Perubahan tegangan geser dapat dilihat pada Gambar 4.20. Gambar 4.20 menunjukkan perubahan tegangan geser akibat pengaruh panjang tiang. Penambahan panjang tiang dapat mengurangi tegangan geser yang terjadi pada tanah. Tegangan geser terbesar terjadi pada panjang tiang 150 cm dan tegangan terkecil terjadi pada panjang tiang 200 cm. Jadi semakin panjang tiang maka semakin kecil tegangan geser yang dihasilkan, begitu sebaliknya.



Gambar 4.20 Tegangan geser di bawah pelat akibat beban di tepi

Untuk grafik hasil perhitungan tegangan geser akibat beban di tengah pelat dapat dilihat pada Gambar 4.21. Dapat dilihat pada Gambar 4.21 menunjukkan grafik perubahan tegangan geser akibat penambahan panjang tiang. Tanah yang mengalami tegangan geser yang lebih besar terjadi pada panjang tiang 150 cm dan tegangan geser terkecil terjadi pada panjang tiang 200 cm. Jadi semakin panjang tiang maka semakin kecil tegangan geser dalam tanah, begitu sebaliknya.

Perhitungan tegangan geser akibat beban tekan di tepi pelat menghasilkan tegangan geser lebih besar dibandingkan dengan analisis beban tekan di tengah pelat. Tabel 4.12 adalah nilai tegangan geser dalam tanah pada perhitungan beban tekan di tepi dan di tengah pelat pada titik B dan titik D.

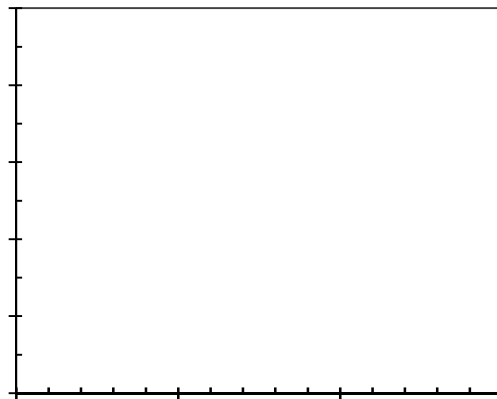


Gambar 4.21 Tegangan geser di bawah pelat akibat beban di tengah

Tabel 4.12
Hasil tegangan geser dalam tanah di bawah ujung tiang

Beban di tepi				Beban di Tengah			
Beban (kN)	Tegangan Geser untuk $L_p =$			Beban (kN)	Tegangan Geser untuk $L_p =$		
	150 cm	180 cm	200 cm		150 cm	180 cm	200 cm
0	0	0	0	0	0	0	0
10	1,66	1,67	1,88	10	0,40	0,57	0,67
20	3,30	3,48	3,85	20	0,80	1,13	1,34
30	5,13	5,65	6,13	30	1,19	1,70	2,02
40	6,84	7,52	8,39	40	1,57	2,26	2,69
50	7,46	7,66	8,90	50	1,96	2,91	3,41

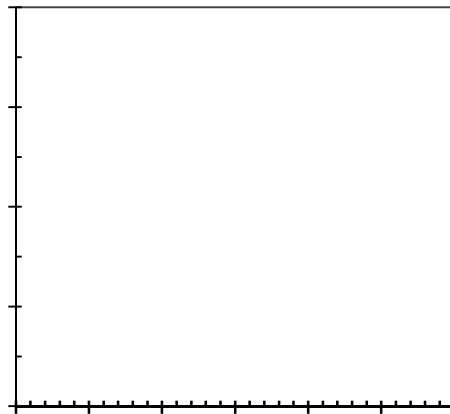
Berdasarkan Tabel 4.12 menunjukkan perbedaan tegangan geser yang diakibatkan beban di tepi dan di tengah pelat. Tegangan geser pada beban di tepi menghasilkan tegangan geser yang lebih besar dari beban di tengah pelat. Dari hasil perhitungan berdasarkan metode elemen hingga, Penambahan panjang tiang tidak signifikan perubahan tegangan gesernya karena penambahan panjang tiang terlalu kecil. Untuk beban di tepi pada panjang 150 cm ke 180 cm mengalami kenaikan tegangan sebesar 2,7% dan panjang tiang 180 cm ke 200 cm mengalami kenaikan tegangan sebesar 16,2%%. Untuk beban di tengah pada panjang tiang 150 cm ke 180 cm mengalami kenaikan tegangan geser sebesar 48,47% dan panjang tiang 180 cm ke 200 cm mengalami kenaikan tegangan sebesar 17,18%. Tegangan geser yang terjadi di ujung tiang akibat beban di tepi dan tengah pelat mengalami perubahan tidak signifikan. Perubahan tegangan geser dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Tegangan geser di bawah ujung tiang akibat beban di tepi

Pada Gambar 4.22 menunjukkan perubahan tegangan geser akibat pengaruh panjang tiang. Penambahan panjang tiang dapat mempengaruhi tegangan geser yang terjadi pada tanah. Tegangan geser terbesar terjadi pada panjang tiang 200 cm dan Tegangan geser terkecil terjadi pada panjang tiang 150 cm. Jadi semakin panjang tiang maka semakin besar tegangan geser yang dihasilkan, begitu sebaliknya.

Untuk grafik hasil perhitungan tegangan geser akibat beban di tengah pelat dapat dilihat pada Gambar 4.23. Dapat dilihat pada Gambar 5.16 menunjukkan grafik perubahan tegangan geser akibat penambahan panjang tiang. Tanah yang mengalami tegangan geser yang lebih besar terjadi pada panjang tiang 200 cm dan tegangan geser terkecil terjadi pada panjang tiang 150 cm. Jadi semakin panjang tiang maka semakin besar tegangan geser dalam tanah, begitu sebaliknya.



Gambar 4.23 Grafik hasil Tegangan geser di ujung tiang akibat beban di tengah

Kuat geser tanah pada penelitian ini adalah 20 kN/m^2 . Tegangan geser dalam tanah terhadap kuat geser tanah sudah memenuhi syarat dimana tegangan

geser dalam tanah lebih kecil atau sama dengan nilai kuat geser tanah. Hasil analisis tegangan geser terhadap kuat geser tanah dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13
Hasil tegangan geser dalam tanah terhadap kuat geser tanah

Keterangan	Tegangan geser (kN/m ²)			Kuat geser tanah (kPa)
	150 cm	180 cm	200 cm	
Titik A	18,25	16,65	16,60	20
Titik C	0,88	0,70	0,59	
Tiang 1 (titik B)	7,46	7,66	8,90	
Tiang 3 (titik D)	1,96	2,91	3,41	

Dapat dilihat pada Tabel 4.13 nilai tegangan geser di titik A lebih besar daripada nilai tegangan di titik C dan nilai tegangan geser di bawah tiang 1 lebih besar daripada nilai tegangan geser di tiang 3. Nilai tegangan geser tanah terhadap kuat geser tanah lebih kecil dari nilai kuat geser tanah sehingga keruntuhan tanah akibat geser tidak akan terjadi. Keruntuhan geser terjadi jika tegangan geser lebih besar dari kuat geser tanah yang ditentukan.

C.4 Pengaruh panjang tiang terhadap gaya dalam pelat

Pembebanan yang dilakukan di tepi dan tengah pelat menghasilkan gaya dalam yang terjadi pada pelat. Berikut adalah hasil output gaya dalam yang terjadi pada pelat yaitu momen lentur pelat. Untuk hasil momen pelat akibat pembebanan di tepi dan tengah pelat adalah untuk variasi panjang tiang yaitu $L_1 = 150$ cm, $L_2 = 180$ cm, dan $L_3 = 200$ cm, serta untuk tebal pelat yang sama yaitu 20 cm dan diameter tiang $D = 40$ cm. Hasil momen yang terjadi pada pelat akibat

pembebanan di tepi dan tengah pelat disajikan pada Tabel 4.14. Terlihat untuk pembebanan di tepi dan tengah pelat menghasilkan nilai gaya dalam yang berbeda. Penambahan panjang tiang mempengaruhi gaya dalam pada pelat. Gaya dalam akibat pembebanan di tepi pelat lebih kecil dari gaya dalam akibat pembebanan di tengah pelat. Akan tetapi pada beban di tepi pelat mengakibatkan sisi atas pelat mengalami tarik, sedangkan akibat beban di tengah pelat, menyebabkan sisi bawah pelat yang tertarik. Oleh karena itu dalam rangka keperluan praktis maka tulangan dibuat tulangan rangkap (dua lapis).

Tabel 4.14
Momen pelat (kNm/m) akibat pembebanan

Panjang tiang (cm)	Beban di Tepi	Beban di Tengah
150	103,01	141,18
180	99,75	139,37
200	100,79	138,05

C.5 Pengaruh panjang tiang terhadap gaya dalam tiang

Hasil gaya-gaya dalam yang terjadi pada tiang akibat pembebanan di tepi dan tengah pelat disajikan pada Tabel 4.15. Untuk mendapat gaya aksial dan geser tiang untuk lebar Pelat Terpaku 1,20 m maka nilai pada tabel dikalikan dengan lebar pelat tersebut. Hasil gaya-gaya dalam pada tiang akibat pembebanan di tepi dan tengah pelat dengan variasi panjang tiang yaitu $L_1 = 150$ cm, $L_2 = 180$ cm, dan $L_3 = 200$ cm, serta untuk tebal pelat yang sama yaitu 20 cm dan diameter tiang $D = 40$ cm. Berdasarkan Tabel 4.15, pembebanan di tepi dan tengah pelat menghasilkan nilai gaya dalam yang berbeda. Penambahan panjang tiang

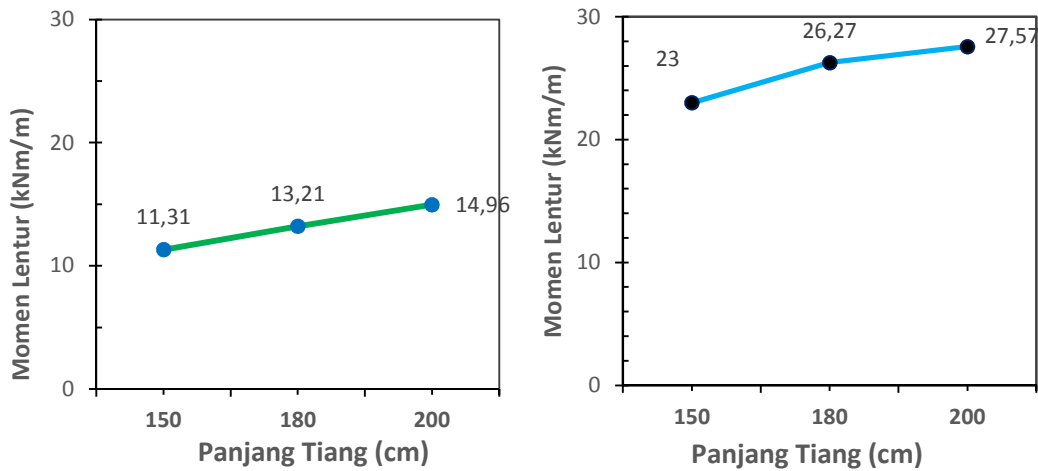
mempengaruhi gaya dalam pada tiang. Gaya dalam akibat pembebanan di tepi pelat lebih besar dari gaya dalam akibat pembebanan di tengah pelat. Momen lentur sepanjang tiang dengan nilai ekstrim sebesar 3,92 kNm/m.

Tabel 4.15
Gaya dalam pada tiang akibat pembebanan di tepi dan tengah pelat

Panjang Tiang (cm)	Gaya Dalam					
	Beban di Tepi			Beban di Tengah ^{*)}		
	Gaya aksial (kN/m)	Momen Lentur (kNm/m)	Gaya Geser (kN/m)	Gaya aksial (kN/m)	Momen Lentur (kNm/m)	Gaya Geser (kN/m)
150	3,92	23,00	66,48	0,008	11,31	0,586
180	4,86	26,27	74,62	0,009	13,21	0,221
200	5,04	27,57	78,47	0,007	14,96	0,216

^{*)} Untuk tiang di bawah beban.

Untuk perbandingan perubahan gaya dalam pada tiang dapat disajikan pada Gambar 4.24 samapai 4.26. Gambar 4.24a menunjukkan perubahan momen lentur yang terjadi tiap penambahan panjang tiang. Panjang tiang 150 cm menghasilkan momen lentur sebesar 23 kN/m, Perubahan nilai moemen lentur pada tiang mengalami kenaikan dengan beraturan. Kemudian penambahan panjang tiang mengalami kenaikan yaitu panjang tiang 180 cm sebesar 14% dan panjang tiang 200 cm sebesar 4,95%. Untuk Gambar 5.24b menunjukkan bahwa penambahan panjang tiang dari 150 cm menjadi 180 cm mengalami kenaikan sebesar 16,80% kemudian pada panjang tiang 200 cm sebesar 13,25%.



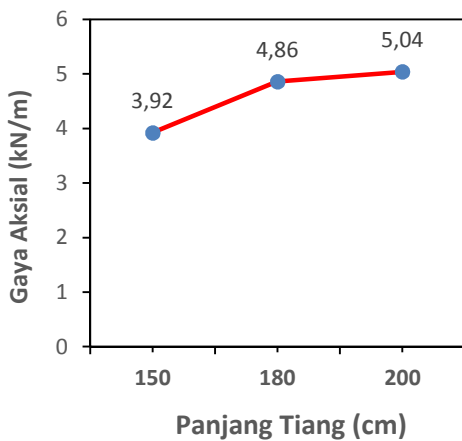
a. Beban di pinggir pelat

b. Beban di tengah pelat

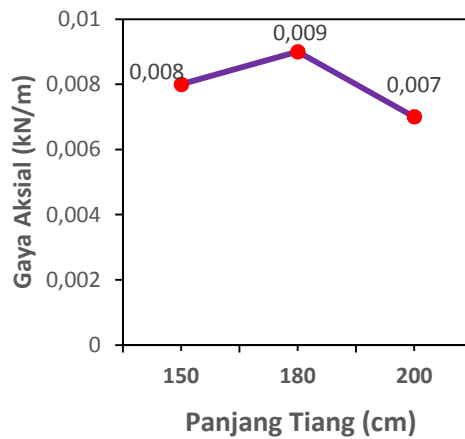
Gambar 4.24 Momen lentur pada tiang

Untuk perbandingan perubahan gaya aksial pada tiang dapat disajikan pada Gambar 4.25. Pada Gambar 4.25a menunjukkan grafik perubahan gaya aksial yang terjadi tiap penambahan panjang tiang. Gaya aksial yang terjadi pada pelat mengalami kenaikan yang beraturan. Panjang tiang 150 cm menghasilkan gaya aksial sebesar 3,92 kN/m, kemudian penambahan panjang tiang mengalami kenaikan yaitu panjang tiang 180 cm sebesar 23,98% dan panjang tiang 200 cm sebesar 3,7%. Untuk Gambar 4.25b menunjukkan bahwa pembebanan di tengah pelat mengalami perubahan gaya aksial yang tidak beraturan. Penambahan panjang tiang dari 150 cm menjadi 180 cm mengalami kenaikan sebesar 12,50% kemudian pada panjang tiang 200 cm mengalami penurunan sebesar 28,57%.

Untuk perbandingan perubahan gaya geser akibat pembebanan di tepi pelat dan di tengah pelat dengan menggunakan variasi panjang tiang yaitu $L_1= 150$ cm, $L_2= 180$ cm, dan $L_3=200$. Untuk tebal pelat yang sama yaitu $t_1= 20$ cm dan diameter menggunakan ukuran 40 cm. Hasilnya disajikan pada Gambar 4.26.

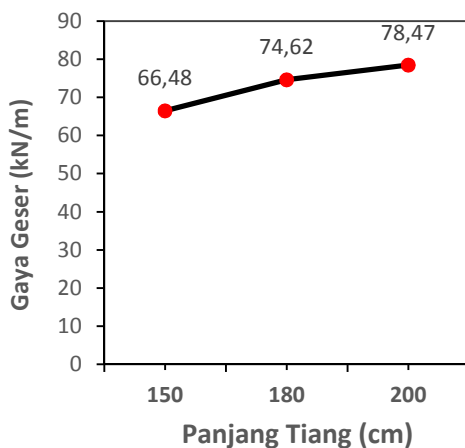


a. Beban di pinggir pelat

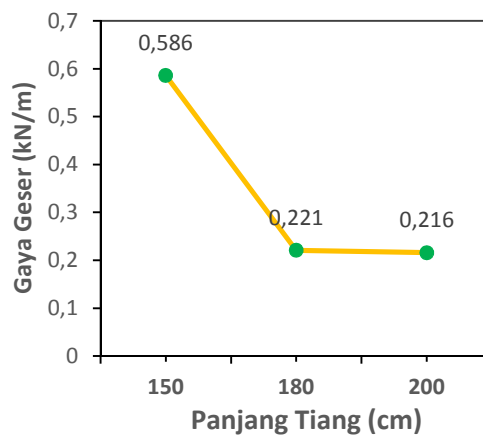


b. Beban di tengah pelat

Gambar 4.25 Gaya aksial pada tiang



a. Beban di pinggir pelat



b. Beban di tengah pelat

Gambar 4.26 Gaya geser pada tiang

Gambar 4.26a menunjukkan grafik perubahan gaya geser yang terjadi tiap penambahan panjang tiang. Panjang tiang 150 cm menghasilkan gaya geser sebesar 66,48 kN/m, kemudian penambahan panjang tiang mengalami kenaikan yaitu panjang tiang 180 cm sebesar 12,24% dan panjang tiang 200 cm sebesar 5,16%. Untuk Gambar 4.26b menunjukkan bahwa penambahan panjang tiang dari

150 cm menjadi 180 cm mengalami kenaikan sebesar 16,52% kemudian pada panjang tiang 200 cm sebesar 2,34%.

D. Pengaruh Perbedaan Panjang Tiang

Skema model Pelat Terpaku dengan variasi beda panjang tiang diperlihatkan pada Gambar 3.3 dan 3.4. Terdiri atas 3 model yaitu panjang tiang seragam atau sama (Model 1), tiga tiang di tengah lebih panjang dari tiang-tiang pinggir (Model 2), dan tiang-tiang terluar lebih panjang dibanding tiang di tengah (Model 3).

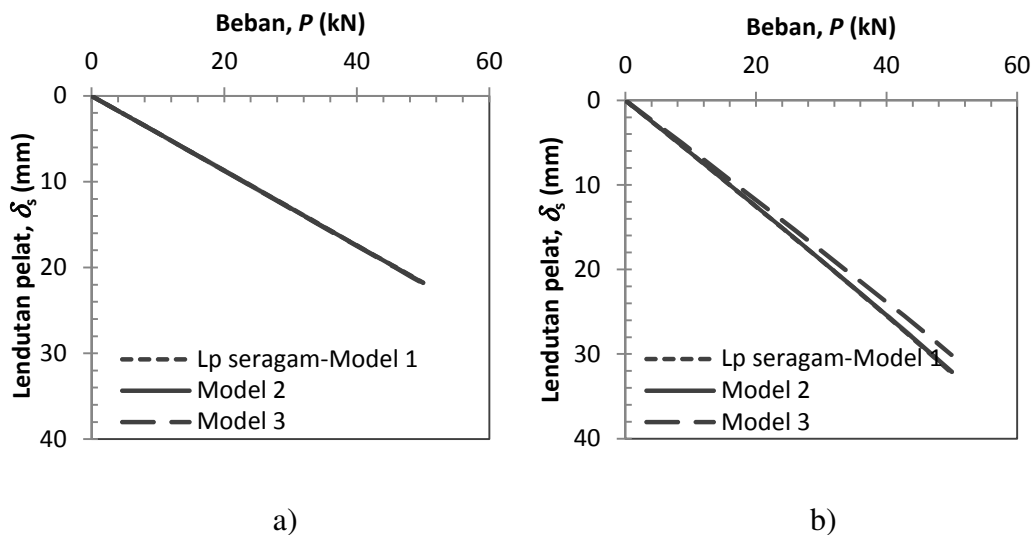
D.2 Pengaruh beda panjang tiang terhadap lendutan

Pengaruh beda panjang tiang terhadap lendutan pelat ditunjukkan pada Gambar 4.27. Untuk beban sentris (Gambar 4.27a), beda panjang tidak berpengaruh pada lendutan pelat. Beda panjang tiang tengah dan tepi sebesar 0,50 m. Untuk model 2, tiang-tiang tengah lebih panjang 0,50 m dan untuk model 3 dengan tiang-tiang pinggir lebih panjang 0,5 m dibanding tiang tengah. Untuk beban di tepi (Gambar 4.27b), beda panjang berpengaruh tidak signifikan terhadap lendutan pelat. Hal ini disebabkan perbedaan panjang tiang pinggir hanya 0,50 m lebih panjang dibanding tiang tengah.

D.3 Pengaruh beda panjang tiang terhadap gaya dalam

Gaya dalam pada struktur pelat dan tiang diberikan pada Tabel 4.16 dan 4.17. Momen lentur pelat, gaya aksial dan geser tiang, serta displacement horizontal tiang tidak mengalami pengaruh berarti karena perbedaan panjang

tiang. Pengaruh signifikan terjadi pada momen lentur kepala tiang, dimana model 3 menghasilkan momen di kepala tiang yang minimum. Terhadap model 1, perubahan momen tersebut mencapai 168% lebih rendah daripada model 1 (panjang tiang seragam). Perbedaan panjang tiang juga tidak memberikan pengaruh signifikan untuk beban di tepi, kecuali pada momen di kepala tiang dan gaya geser tiang pinggir pada Model 3 terjadi peningkatan masing-masing 40% dan 47%.



Gambar 4.27 Hubungan $P-\delta$ untuk beda panjang tiang; a) beban sentris, b) beban di tepi

Tabel 4.16 Gaya dalam pelat dan tiang akibat beban sentris

Deskripsi	Satuan	Model 1	Model 2	Model 3
Momen lentur pelat, M_s	kNm/m	-39,90	-38,54	-39,91
Momen lentur kepala tiang, M_p	kNm/m	2,55	-4,83	-1,75
Gaya aksial tiang, P	kN/m	12,27	11,47	12,27
Gaya geser tiang, H	kN/m	11,39	11,34	11,41
Displacement horizontal tiang, U_x	mm	-7,38	-7,13	-9,49

Catatan: Gaya pada tiang tunggal adalah nilai pada tabel dikalikan dengan lebar pelat yang dianalisis yaitu 1,20 m.

Tabel 4.17 Gaya dalam pelat dan tiang akibat beban di tepi

Deskripsi	Satuan	Model 1	Model 2	Model 3
Momen lentur pelat, M_s	kNm/m	12,94	12,96	13,61
Momen lentur kepala tiang, M_p	kNm/m	19,33	17,59	27,23
Gaya aksial tiang, P	kN/m	-1,20	-1,22	-1,96
Gaya geser tiang, H	kN/m	37,75	34,04	55,45
Displacement horizontal tiang, U_x	mm	8,63	9,59	7,13

Catatan: Gaya pada tiang tunggal adalah nilai pada tabel dikalikan dengan lebar pelat yang dianalisis yaitu 1,20 m.

E. Pengaruh Tebal Pelat

Tebal pelat yang digunakan berdasarkan Tabel 4.3 dengan menggunakan panjang tiang yang sama yaitu 150 cm dan diameter tiang 40 cm. Sistem pelat terpaku dimodelkan seperti pada Gambar 4.28. Analisis beban di tepi dan di tengah pelat menggunakan metode elemen hingga dengan menggunakan tebal pelat yang berbeda yaitu $t_1=15$ cm, $t_2=17$ cm, dan $t_3=20$. Untuk panjang tiang dan diameter tiang menggunakan ukuran yang sama yaitu 150 cm dan 40 cm. Perilaku deformasi yang terjadi pada sistem pelat terpaku dapat dilihat pada Gambar 4.29 dan 4.30.

Gambar 4.28 Model pelat terpaku

Gambar 4.29 Hasil deformasi dengan analisis beban di tepi pelat

Gambar 4.30 Hasil deformasi dengan analisis beban di tengah pelat

D.1 Lendutan pelat

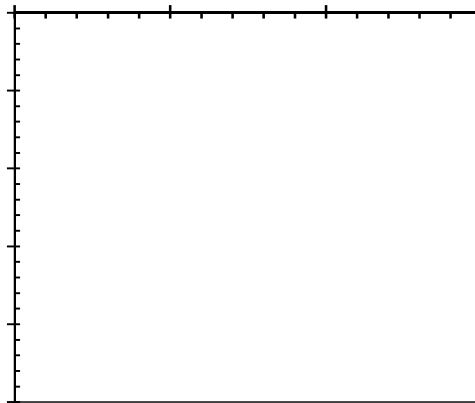
Pembebanan pada tepi dan tengah pelat menghasilkan lendutan yang berbeda pada pelat. Hasil hitungan lendutan pelat pada sistem pelat terpaku dengan menggunakan variasi tebal pelat disajikan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18
Lendutan pelat untuk berbagai tebal pelat

Beban di tepi				Beban di Tengah Pelat			
Beban (kN)	Lendutan (mm)			Beban (kN)	Lendutan (mm)		
	15 cm	17 cm	20 cm		15 cm	17 cm	20 cm
0	0	0	0	0	0	0	0
10	8,16	8,09	8,02	10	3,69	3,60	3,50
20	16,53	16,39	16,25	20	7,39	7,20	7,01
30	24,80	24,58	24,37	30	11,09	10,81	10,53
40	35,35	33,56	33,27	40	14,80	14,43	14,07
50	44,69	44,06	43,49	50	18,51	18,06	17,59

Berdasarkan Tabel 4.18 menunjukkan perbedaan lendutan pelat akibat beban di tepi dan di tengah pelat. Perhitungan beban di tepi pelat menghasilkan lendutan yang besar dibandingkan dengan beban di tengah pelat. Penambahan tebal pelat meningkatkan kekakuan pelat dalam memikul beban, sehingga lendutan elat menjadi berkurang. Untuk beban di tepi peningkatan panjang tiang sudah memadai mereduksi lendutan. Tebal pelat 15 cm ke 17 cm dapat mereduksi lendutan sebesar 1,43% dan tebal pelat 17 cm ke 20 cm dapat mereduksi lendutan sebesar 1,31%. Untuk beban di tengah peningkatan tebal pelat sudah memadai mereduksi lendutan. Tebal pelat 15 cm ke 17 cm dapat mereduksi lendutan sebesar 2,5% dan tebal pelat 17 cm ke 20 cm dapat mereduksi lendutan sebesar 2,67 %.

Penambahan tebal pelat mempengaruhi lendutan yang terjadi pada pelat akibat beban di tepi dan di tengah. Lendutan yang terjadi pada pelat akibat beban di tepi dapat dilihat pada Gambar 4.32.

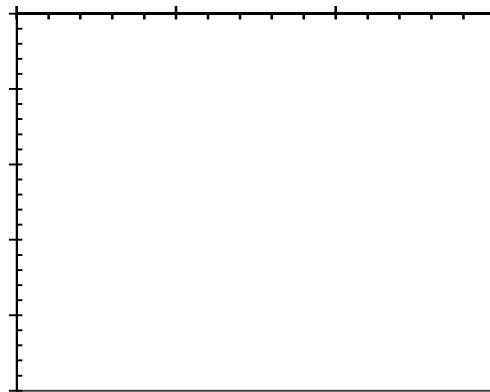


Gambar 4.31 Lendutan pelat akibat beban di tepi

Gambar 4.31 menjelaskan bahwa grafik menunjukkan perubahan lendutan setelah tebal pelat. Penambahan panjang tiang menambah kuat dukung terhadap tiang sehingga lendutan berkurang. Lendutan terkecil terjadi pada tebal pelat 20 cm dan lendutan terbesar terjadi pada tebal pelat 15 cm. Tampak pada grafik bahwa penambahan tebal pelat dapat mereduksi lendutan untuk beban di tepi dan di tengah pelat.

Lendutan yang terjadi pada pelat akibat beban di tengah pelat dapat dilihat pada Gambar 4.32. Pada Gambar 4.32 menunjukkan bahwa peningkatan tebal pelat dapat mereduksi lendutan yang terjadi. Untuk beban di tengah lendutan terbesar terjadi pada tebal pelat 15 cm dan lendutan terkecil terjadi pada tebal

pelat 20 cm. Tampak pada grafik perubahan lendutan akibat beban di tepi dan di tengah tidak terlalu signifikan karena penambahan panjang tiang tidak terlalu panjang.



Gambar 4.32 Lendutan pelat akibat beban di tengah

D.2 Tegangan geser dalam tanah

Tegangan yang terjadi akibat perhitungan beban tekan sebesar $707,5 \text{ kN/m}^2$ pada titik A, titik C, tiang 1 (titik B) dan tiang 3 (titik D). Dan tegangan geser tanah di bawah tiang dan beban diambil jarak 30 cm dari ujung tiang. Gambar 4.33 merupakan pemodelan perhitungan beban untuk melihat tegangan dalam tanah. Tinjauan titik tegangan dalam tanah di tinjau pada 2 titik yaitu titik tegangan dalam tanah di bawah beban dan titik tegangan dalam tanah di bawah tiang. Titik tegangan dalam tanah di bawah beban yaitu titik A merupakan perhitungan tegangan akibat beban di tepi dan titik C merupakan perhitungan tegangan akibat beban di tengah pelat. Titik tegangan dalam tanah di bawah tiang yaitu titik B di bawah tiang 1 dan titik D di bawah tiang 3.

Gambar 4.33 Model pelat terpaku dengan titik tinjauan tegangan geser

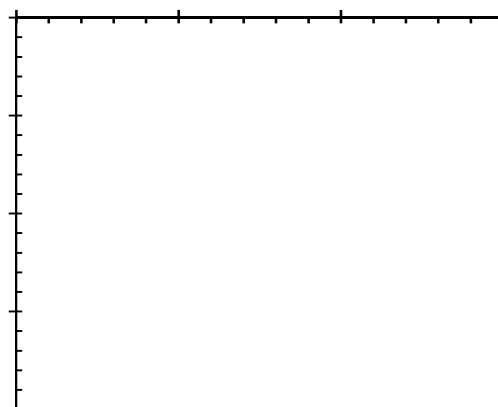
Perhitungan tegangan geser akibat beban tekan di tepi pelat menghasilkan tegangan geser lebih besar dibandingkan dengan analisis beban tekan di tengah pelat. Tabel 4.19 adalah nilai tegangan geser dalam tanah pada perhitungan beban tekan di tepi dan di tengah pelat pada titik A dan titik C.

Tabel 4.19
Tegangan geser dalam tanah di bawah beban

Beban	Beban di tepi			Beban (kN)	Beban di Tengah		
	Tegangan Geser (kN/m ²)				Tegangan Geser (kN/m ²)		
	15 cm	17 cm	20 cm		15 cm	17 cm	20 cm
0	0	0	0	0	0	0	0
10	5,03	4,94	4,84	10	0,18	0,17	0,17
20	9,89	9,70	9,50	20	0,35	0,35	0,34
30	14,83	14,55	14,25	30	0,53	0,52	0,52
40	17,98	17,85	17,72	40	0,71	0,70	0,69
50	18,67	18,64	18,56	50	0,90	0,88	0,87

Berdasarkan Tabel 4.19 menunjukkan perbedaan tegangan geser yang diakibatkan beban di tepi dan di tengah pelat. Tegangan geser pada beban di tepi lebih menghasilkan tegangan geser yang lebih besar dari beban di tengah pelat. Dari hasil perhitungan berdasarkan metode elemen hingga, untuk beban di tepi pada tebal pelat 15 cm ke 17 cm mengalami penurunan tegangan sebesar 0,16% dan dari tebal pelat 17 cm ke 20 cm mengalami penurunan tegangan sebesar 0,43%. Untuk beban di tengah pada tebal pelat 15 cm ke 17 cm mengalami penurunan tegangan sebesar 2,27% dan tebal pelat 17 cm ke 20 cm mengalami penurunan tegangan sebesar 1,15%. Penambahan tebal pelat menghasilkan lendutan semakin kecil sehingga tegangan geser didalam tanah berkurang.

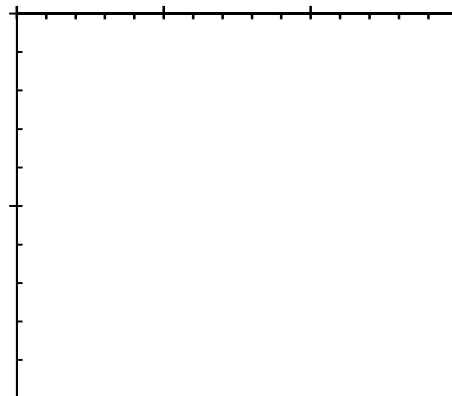
Tegangan geser yang terjadi di bawah beban akibat beban di tepi dan di tengah pelat mengalami perubahan tidak signifikan, perubahan tegangan geser dapat dilihat pada Gambar 4.34.



Gambar 4.34 Tegangan geser dalam tanah akibat beban di tepi

Gambar 4.34 menunjukkan perubahan tegangan geser akibat pengaruh tebal pelat. Penambahan tebal pelat dapat mengurangi tegangan geser yang terjadi pada tanah. Tegangan geser terjadi pada tebal pelat 15 cm dan lendutan terkecil terjadi pada tebal pelat 20 cm. jadi semakin tebal pelat maka semakin kecil tegangan geser yang dihasilkan, begitu sebaliknya.

Untuk grafik hasil perhitungan tegangan geser akibat beban di tengah pelat dapat dilihat pada Gambar 4.35. Gambar 4.35 menunjukkan grafik perubahan tegangan geser akibat penambahan tebal pelat. Tanah yang mengalami tegangan geser yang lebih besar terjadi pada tebal pelat 15 cm dan tegangan geser terkecil terjadi pada tebal pelat 20 cm. Jadi semakin tebal pelat maka semakin kecil tegangan geser dalam tanah, begitu sebaliknya.



Gambar 4.35 Tegangan geser dalam tanah akibat beban di tengah

Perhitungan tegangan geser akibat beban tekan di tepi pelat menghasilkan tegangan geser lebih besar dibandingkan dengan analisis beban tekan di tengah pelat. Tabel 4.20 adalah nilai tegangan geser dalam tanah pada perhitungan beban tekan di tepi dan di tengah pelat pada titik B dan titik D.

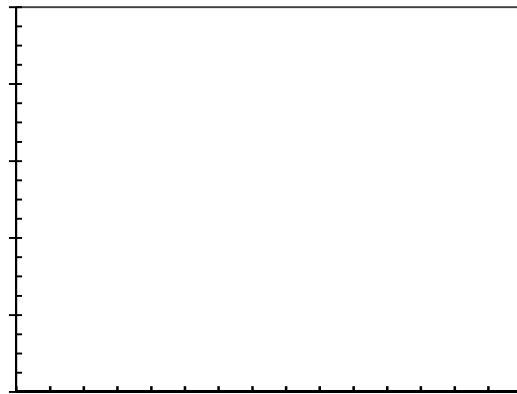
Tabel 4. 20
Tegangan geser dalam tanah di ujung tiang

Beban	Beban di tepi			Beban (kN)	Beban di Tengah		
	Tegangan Geser (kN/m ²)				Tegangan Geser (kN/m ²)		
	15 cm	17 cm	20 cm		15 cm	17 cm	20 cm
0	0	0	0	0	0	0	0
10	1,79	1,75	1,71	10	0,45	0,43	0,40
20	3,58	3,49	3,39	20	0,90	0,85	0,80
30	5,38	5,24	5,09	30	1,34	1,28	1,19
40	7,91	7,65	7,05	40	1,78	1,69	1,58
50	8,22	8,00	7,73	50	2,22	2,10	1,96

Berdasarkan Tabel 4.20 menunjukkan perbedaan tegangan geser yang diakibatkan beban di tepi dan di tengah pelat. Tegangan geser pada beban di tepi lebih menghasilkan tegangan geser yang lebih besar dari beban di tengah pelat. Dari hasil perhitungan berdasarkan metode elemen hingga, untuk beban di tepi pada tebal pelat 15 cm ke 17 cm mengalami penurunan tegangan sebesar 2,75% dan tebal pelat 17 cm ke 20 cm mengalami penurunan tegangan sebesar 3,49%. Untuk beban di tengah pada tebal pelat 15 cm ke 17 cm mengalami penurunan tegangan geser sebesar 5,71% dan tebal pelat 17 cm ke 20 cm mengalami

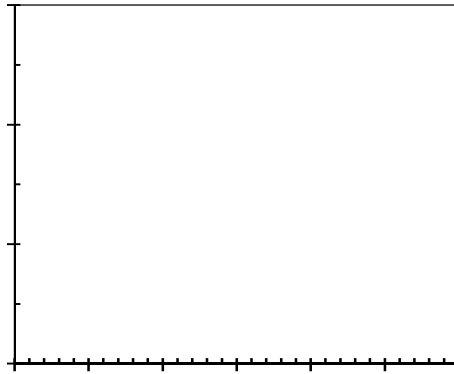
penurunan tegangan sebesar 7,14%. Penambahan panjang tiang menghasilkan tegangan geser di ujung tiang semakin kecil.

Tegangan geser tanah yang terjadi di ujung tiang akibat beban di 66epid an tengah pelat mengalami perubahan tidak signifikan, perubahan tegangan geser dapat dilihat pada Gambar 5.36.



Gambar 5.36 Tegangan geser di ujung tiang akibat beban di tepi

Pada Gambar 5.36 menunjukkan perubahan tegangan geser akibat pengaruh tebal pelat. Penambahan tebal pelat dapat mempengaruhi tegangan geser yang terjadi pada tanah. Tegangan geser terbesar terjadi pada tebal pelat 15 cm dan Tegangan geser terkecil terjadi pada tebal pelat 20 cm. jadi semakin tebal pelat maka semakin kecil tegangan geser yang dihasilkan, begitu sebaliknya. Untuk grafik hasil perhitungan tegangan geser akibat beban di tengah pelat dapat dilihat pada Gambar 5.37.



Dapat dilihat pada Gambar 5.37 menunjukkan grafik perubahan tegangan geser akibat penambahan tebal pelat. Tanah yang mengalami tegangan geser yang lebih besar terjadi pada tebal pelat 15 cm dan tegangan geser terkecil terjadi pada tebal pelat 20 cm. Jadi semakin tebal pelat maka semakin kecil tegangan geser dalam tanah, begitu sebaliknya.

Tegangan geser dalam tanah terhadap kuat geser tanah

Kuat geser tanah pada penelitian ini adalah 20 kN/m^2 . Tegangan geser dalam tanah terhadap kuat geser tanah sudah memenuhi syarat sesuai dengan sub bab 3.3.4. Dimana tegangan geser dalam tanah lebih kecil atau sama dengan nilai kuat geser tanah. Hasil analisis tegangan geser terhadap kuat geser tanah dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21
Tegangan geser dalam tanah terhadap kuat geser tanah

Keterangan	Tegangan Geser (kPa)			Kuat Geser (kPa)
	15 cm	17 cm	20 cm	
Titik A	18,67	18,64	18,56	20
Titik C	0,90	0,88	0,87	
Tiang 1 (titik B)	8,22	8,00	7,73	
Tiang 3 (titik D)	2,22	2,10	1,96	

Dapat dilihat pada Tabel 4.21 nilai tegangan geser di titik A lebih besar daripada nilai tegangan di titik C dan nilai tegangan geser di bawah tiang 1 lebih besar daripada nilai tegangan geser di tiang 3. Nilai tegangan geser tanah terhadap kuat geser tanah lebih kecil dari nilai kuat geser tanah sehingga keruntuhan tanah akibat geser tidak akan terjadi. Keruntuhan geser terjadi jika tegangan geser lebih besar dari kuat geser tanah yang ditentukan.

D.3 Gaya dalam pelat dan tiang akibat pengaruh tebal pelat

Pembebanan yang dilakukan di tepi dan tengah pelat menghasilkan gaya dalam yang terjadi pada pelat dan tiang. *Output* yang dihasilkan akibat pengaruh tebal pelat menghasilkan *output* yang sama dengan nilai yang berbeda. Hasil gaya-gaya dalam yang terjadi pada pelat dan tiang akibat pembebanan di tepi dan tengah pelat disajikan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22
Gaya dalam pada pelat akibat pembebanan untuk variasi tebal pelat

Tebal Pelat (cm)	Gaya Dalam					
	Beban di Tepi			Beban di Tengah		
	Gaya aksial (kN/m)	Momen Lentur (kNm/m)	Gaya Geser (kN/m)	Gaya aksial (kN/m)	Momen Lentur (kNm/m)	Gaya Geser (kN/m)
15	21,73	161,19	35,37	35,40	216,13	58,42
17	25,25	134,63	38,75	40,92	183,21	55,15
20	29,49	103,20	42,50	47,89	141,18	49,89

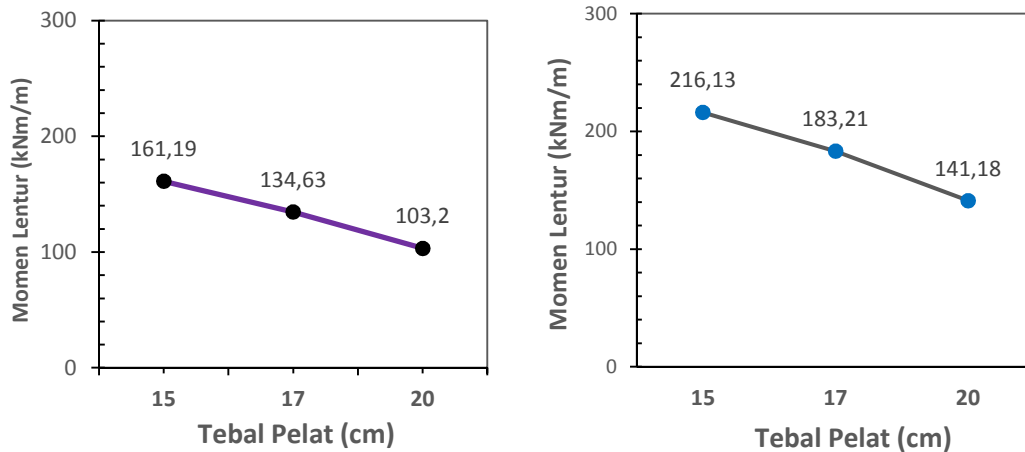
Berdasarkan Tabel 4.22 pembebanan di tepi dan tengah pelat menghasilkan nilai gaya dalam yang berbeda. Gaya dalam akibat pembebanan di tepi pelat lebih kecil dari gaya dalam akibat pembebanan di tengah pelat. Untuk hasil gaya-gaya dalam pada tiang akibat pembebanan di tepi dan tengah pelat disajikan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23
Gaya dalam pada tiang akibat pembebanan untuk variasi tebal pelat

Tebal Pelat (cm)	Gaya Dalam					
	Beban di Tepi			Beban di Tengah		
	Gaya aksial (kN/m)	Momen Lentur (kNm/m)	Gaya Geser (kN/m)	Gaya aksial (kN/m)	Momen Lentur (kNm/m)	Gaya Geser (kN/m)
15	4,47	22,82	81,39	0,008	12,51	0,611
17	4,21	22,90	74,29	0,008	11,95	0,597
20	3,92	23,03	66,54	0,007	11,31	0,586

Berdasarkan Tabel 4.23 pembebanan di tepi dan tengah pelat menghasilkan nilai gaya dalam yang berbeda. Gaya dalam akibat pembebanan di tepi pelat lebih

besar dari gaya dalam akibat pembebanan di tengah pelat. Gambar 5.38 dapat dilihat perbandingan kenaikan maupun penurunan gaya dalam yang terjadi pada pelat akibat pengaruh panjang tiang yang disajikan pada Gambar 5.38.



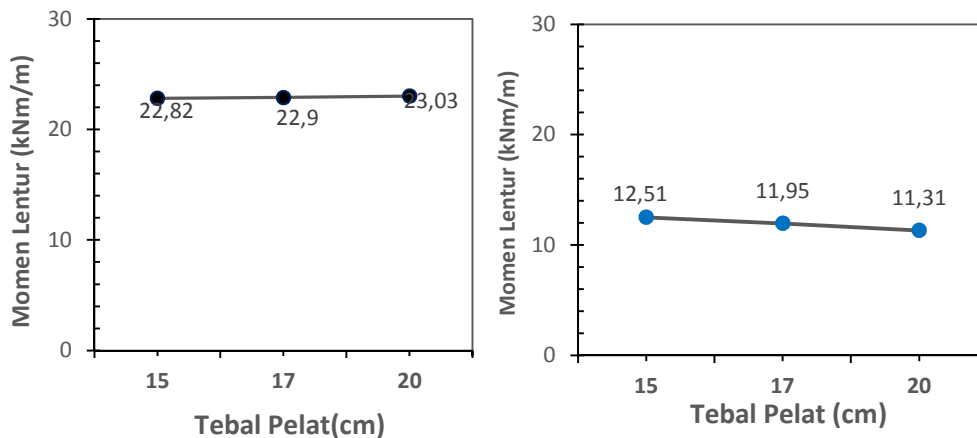
a. Beban di pinggir pelat

b. Beban di tengah pelat

Gambar 5.38 Pengaruh tebal pelat pada momen lentur pelat

Gambar 5.38a memperlihatkan momen lentur yang terjadi pada pelat akibat pembebanan di tepi pelat dengan menggunakan tebal pelat yang berbeda. Perubahan momen lentur pada pelat mengalami penurunan yang beraturan. Momen lentur terbesar terjadi pada tebal pelat 15 cm dan momen lentur terkecil pada tebal pelat 17 cm. Untuk Gambar 5.38b menunjukkan momen lentur yang terjadi pada pelat akibat pembebanan di tengah pelat. Perubahan momen lentur pada pelat mengalami penurunan yang beraturan. Momen lentur terbesar terjadi pada tebal pelat 15 cm dan momen lentur terkecil pada tebal pelat 20 cm.

Untuk perbandingan perubahan gaya dalam pada tiang akibat pembebanan di tepi dan tengah pelat dapat disajikan pada Gambar 5.39.



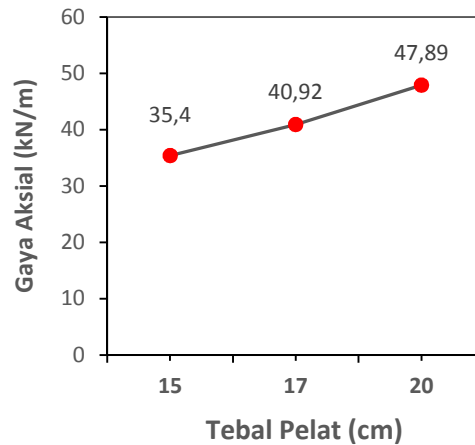
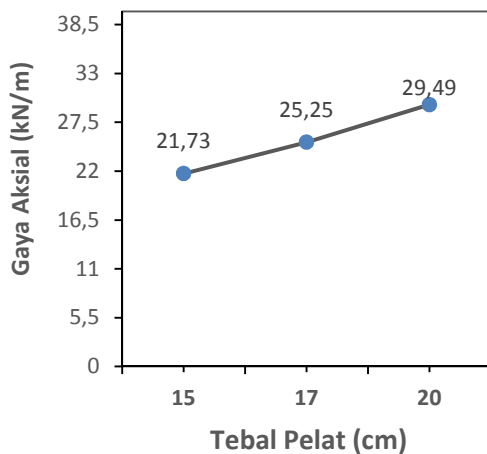
a. Beban di pinggir pelat

b. Beban di tengah pelat

Gambar 5.39 Pengaruh tebal pelat pada momen lentur tiang

Gambar 5.39a menunjukkan grafik perubahan momen lentur yang terjadi tiap penambahan tebal pelat. tebal pelat 15 cm menghasilkan momen lentur sebesar 22,82 kN/m, kemudian penambahan tebal pelat mengalami kenaikan yaitu tebal pelat 17 cm sebesar 0,35% dan tebal pelat 20 cm sebesar 0,57%. Untuk Gambar 5.39b menunjukkan bahwa penambahan tebal pelat dari 15 cm menjadi 17 cm mengalami penurunan sebesar 4,69% kemudian pada tebal pelat 20 cm sebesar 5,66%. Untuk perbandingan perubahan gaya aksial pada pelat dapat disajikan pada Gambar 5.40.

Gambar 5.40a memperlihatkan perubahan gaya aksial akibat penambahan tebal pelat. Dari tebal pelat 15 cm ke tebal pelat 17 cm mengalami kenaikan gaya aksial sebesar 16,19% dan tebal pelat 17 cm ke tebal pelat 20 cm mengalami kenaikan sebesar 16,79%. Gambar 5.37b menunjukkan perubahan gaya aksial pada pelat akibat beban di tengah pelat, dari tebal pelat 15 cm ke 17 cm sebesar 15,59% dan tebal pelat 17 cm ke tebal pelat 20 cm sebesar 17,03%.

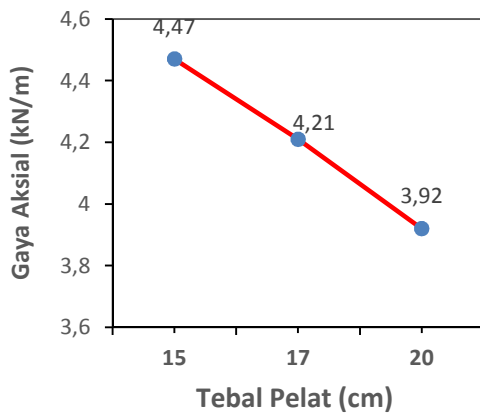


a. Beban di pinggir pelat

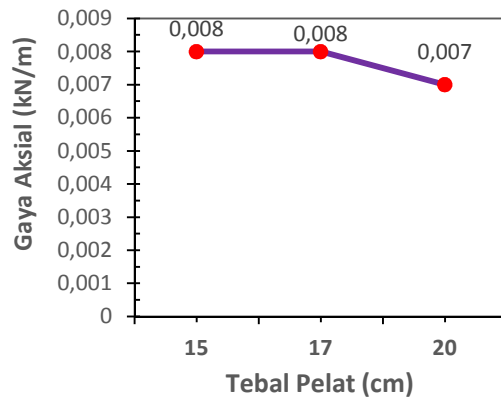
b. Beban di tengah pelat

Gambar 5.40 Pengaruh tebal pelat pada gaya aksial pelat

Untuk perbandingan perubahan gaya aksial pada tiang akibat pengaruh tebal pelat yang berbeda yaitu $t_1 = 15$ cm, $t_2 = 17$ cm, dan $t_3 = 20$ cm. Untuk tiang menggunakan panjang tiang 150 cm dan diameter tiang 40 cm. Hasil perhitungan yang disajikan pada Gambar 5.41. Gambar 5.41a menunjukkan grafik perubahan gaya aksial yang terjadi tiap penambahan tebal pelat. Untuk mendapat gaya aksial tiang untuk lebar Pelat Terpaku 1,20 m maka nilai pada Gambar 5.41 dikalikan dengan lebar pelat tersebut. Tebal pelat 15 cm menghasilkan gaya aksial sebesar $4,47 \text{ kN/m} \times 1,20 \text{ m} = 5,36 \text{ kN}$. Selanjutnya gaya aksial mengalami penurunan sebesar 6,17% dengan penambahan tebal pelat yaitu tebal pelat 17 cm dan sebesar 7,39% untuk tebal pelat 20 cm. Untuk Gambar 5.41b menunjukkan bahwa penambahan tebal pelat dari 15 cm menjadi 17 cm tidak terjadi penurunan yang signifikan kemudian pada tebal pelat 20 cm mengalami penurunan gaya aksial sebesar 14,29%.

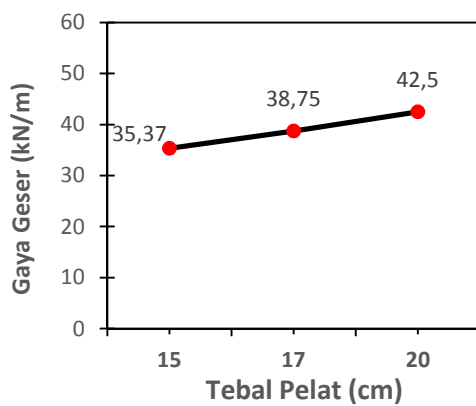


a. Beban di pinggir pelat

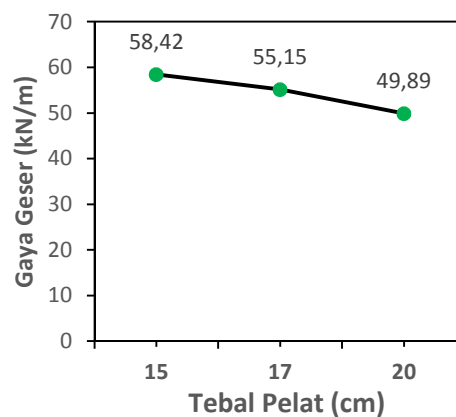


b. Beban di tengah pelat

Gambar 5.41 Pengaruh tebal pelat pada gaya aksial tiang



a. Beban di pinggir pelat

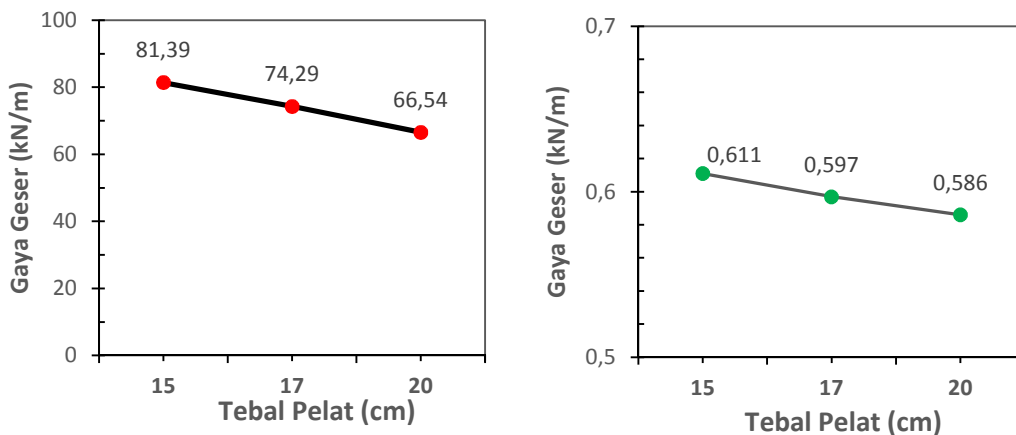


b. Beban di tengah pelat

Gambar 5.42 Grafik gaya geser pada pelat

Untuk perbandingan perubahan gaya geser pada pelat dapat disajikan pada Gambar 5.42. Gambar 5.42a memperlihatkan perubahan gaya geser akibat penambahan tebal pelat. Untuk mendapat gaya geser tiang untuk lebar Pelat Terpaku 1,20 m maka nilai pada Gambar 5.42 dikalikan dengan lebar pelat tersebut. Dari tebal pelat 15 cm ke tebal pelat 17 cm mengalami kenaikan gaya geser sebesar 9,56% dan tebal pelat 17 cm ke tebal pelat 20 cm mengalami

kenaikan sebesar 9,68%. Gambar 5.40b menunjukkan perubahan gaya geser pada pelat, dari tebal pelat 15 cm ke 17 cm mengalami penurunan sebesar 5,93% dan tebal pelat 17 cm ke tebal pelat 20 cm sebesar 10,54%. Untuk perbandingan perubahan gaya geser pada pelat dapat disajikan pada Gambar 5.43.



b. Beban di pinggir pelat

b. Beban di tengah pelat

Gambar 5.43 Gaya geser pada tiang

Gambar 5.43a menunjukkan grafik perubahan gaya geser tiang yang terjadi tiap penambahan tebal pelat. Tebal pelat 15 cm menghasilkan gaya geser sebesar 81,39 kN/m, kemudian penambahan tebal pelat mengalami penurunan yaitu tebal pelat 17 cm sebesar 9,56% dan tebal pelat 20 cm sebesar 11,65%. Untuk Gambar 5.43b menunjukkan bahwa penambahan tebal pelat dari 15 cm menjadi 17 cm mengalami kenaikan sebesar 2,35% kemudian pada tebal pelat 20 cm sebesar 1,88%.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat diambil beberapa kesimpulan

1. Tiang pipa beton dapat digunakan pada perkerasan Sistem Pelat Terpaku namun tetap memperhatikan diameter tiang yang cukup.
2. Peningkatan diameter tiang cenderung meningkatkan besarnya lendutan pelat oleh karena meningkatnya berat sendiri tiang, namun tidak berpengaruh signifikan terhadap kenaikan tegangan geser tanah.
3. Peningkatan panjang tiang tidak berpengaruh pada pola umum perilaku deformasi. Penambahan panjang tiang mempengaruhi lendutan yang terjadi pada pelat akibat beban di tepi dan di tengah, tetapi tegangan geser tanah cenderung menurun.
4. Peningkatan panjang tiang dapat mereduksi momen pelat namun cenderung meningkatkan gaya-gaya dalam tiang hingga 16%.
5. Perbedaan panjang tiang pada bagian tengah dan pinggir pelat tidak berpengaruh signifikan terhadap lendutan pelat dan gaya dalam, kecuali terhadap momen lentur tiang paling kecil untuk Pelat Terpaku dengan tiang-tiang terluar lebih panjang. Namun demikian, tiang tersebut mempunyai gaya geser maksimum. Beda panjang tiang tengah dan pinggir sebesar 0,50 m.
6. Peningkatan tebal pelat cenderung mereduksi lendutan namun tidak signifikan dan gaya-gaya dalam pelat dan tiang cenderung menurun.

B. Saran

Tiang pipa beton dapat dipertimbangkan penggunaannya pada Sistem Pelat Terpaku dengan memperhatikan kebutuhan dimensi dan aspek ekonominya. Penggunaan tiang-tiang terluar lebih panjang perlu dipertimbangkan karena dapat mereduksi lendutan dan gaya dalam elemen struktur. Studi terkait seberapa besar beda panjang tiang terluar yang optimal terhadap tiang sisi dalam perlu dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga, 1998, Pembuatan Jalan di Atas Tanah Lembek, *Training Course Material Rencana Induk Pelatihan Jalan Nasional dan Propinsi*, No. SC/02/1998, Indonesia.
- Bowles, J. E., 1997, *Foundation Analysis and Design*, 5th ed., The McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
- Carter, M. dan Bentley, S.P., 1991, *Correlation of Soil Properties*, Pentech Press, London, UK.
- Clancy, P., dan Randolph, M.F., 1996, Simple Design Tools for Piled Raft Foundation, *Geotechnique* 46, No. 2., pp. 313-328.
- Das, B.M., 1995, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 1, Endah, N dan Mochtar, I.B. (penerjemah), Penerbit Erlangga, Jakarta, Indonesia.
- Delatte, N., 2008, *Concrete Pavement Design, Construction, and Performance*, Taylor & Francis, London. Pp. 62-71.
- 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.
- Diana, W., Hardiyatmo, H.C. dan Suhendro, B., 2016, Small-scale Experimental Investigation on the Behaviour of Nailed Slab System in Expansive Soil, *AIP Conference Proceedings* 1755, 060002 (2016). <https://doi.org/10.1063/1.4958493>. Akses tanggal 24 Februari 2018.
- Diana, W., Hardiyatmo, H.C. dan Suhendro, B., 2017, Effect of Pile Connections on The Performance of The Nailed Slab System on The Expansive Soil, *International Journal of GEOMATE*, April, 2017, Vol. 12, Issue 32, pp. 134-141.
- El-Mossallamy, Y., 2008, Modelling the Behaviour of Piled Raft Applying Plaxis 3D Foundation Version 2, *Plaxis Bulletin*, issue 23 / March 2008, pp. 10-13.
- Fwa, T.F., dan Wei, L., 2006, Design of Rigid Pavement, Chapter 9, *Handbook of Highway Engineering*, T.F. Fwa (ed), Taylor & Francis Group, London.
- Hardiyatmo, H.C., 2008, Sistem "Pelat Terpaku" (*Nailed Slab*) Untuk Perkuatan Pelat Beton Pada Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*), *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Tepat Guna dalam Penanganan Sarana-prasarana*, MPSP JTSL FT UGM., pp. M-1—M-7.
- Hardiyatmo, H.C., 2009, Metoda Hitungan Pelat dengan Menggunakan Modulus Reaksi Tanah Dasar Ekuivalen untuk Struktur Pelat Fleksibel, sub mitted in *Dinamika Teknik*.
- Hardiyatmo, H.C., 2010, *Perancangan Sistem Cakar Ayam Modifikasi untuk Perkerasan Jalan Raya*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

- Hardiyatmo, H.C., 2011, Method to Analyze the Deflection of the Nailed-slab System, *International Journal of Civil and Environmental Engineering IJJCE-IJENS*, Vol. 11 No. 4, pp. 22-28.
- Hardiyatmo, H.C. dan Suhendro, B., 2003, Fondasi Tiang dengan *Pile Cap* Tipis sebagai Alternatif untuk Mengatasi Problem Penurunan Bangunan di Atas Tanah Lunak, *Laporan Komprehensif Penelitian Hibah Bersaing IX Perguruan Tinggi*, Lembaga Penelitian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia.
- idpipe.com, 2014, <http://www.idpipe.com/2014/10/tabel-nominal-pipe-size-dan-pipe-schedule.html?m=1>, tanggal akses November 2017.
- Kempfert, H-G, dan Gebreselassie, B., 2006, *Excavation and Foundation in Soft Soils*, Springer, Netherland.
- Lancellotta, R., 2009, *Geotechnical Engineering*, 2nd ed., Taylor & Francis, London, UK.
- Madhav, M., 2007, Structure-Foundation-Ground Interaction, *Short Course on Soil-Structure Interaction*, HATTI, Jakarta, Indonesia.
- Mitchell, J.K., dan Soga, K., 2005, *Fundamentals of Soil Behavior*, 3th ed., John Wiley & Sons, New Jersey.
- Nasibu, R., 2009, Kajian Modulus Reaksi Tanah Dasar Akibat Pengaruh Tiang (Uji Beban pada Skala Penuh, *Tesis*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Panduan Geoteknik Indonesia, 2001, *Panduan Geoteknik 1: Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak*, Pusat Litbang Prasarana Transportasi, WSP International, Jakarta, Indonesia.
- Pichumani, R., Crawford, J.E., dan Triandafilidas, G.E., 1974, Finite Element Analysis of Pile-Supported Pavement System, (abstract) *Journal of Transportation Engineering Division*, Vol. 100. No. 2, ASCE, <http://cedb.asce.org/cgi/WWWdisplay.cgi?7400508>, tanggal akses: 13 November 2009.
- Plaxis 3D Foundation, *Material Models Manual version 1.5*.
- Plaxis 3D Foundation, *Scientific Manual version 1.5*.
- Poulos, H.G., 2001, Piled Raft Foundations: Design and Applications, *Geotechnique*, 51 No. 2, pp. 93-113.
- Poulos, H.G., dan Davis, E.H., 1980, *Pile Foundation Analysis and Design*, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Puri, A., 2015a, Perilaku Perkerasan Sistem Pelat Terpaku pada Lempung Lunak, *Disertasi*, Program Doktor Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

- Puri, A., 2015b, Validasi Metode Analisis Lendutan Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Pada Model Skala Penuh Dengan Satu Baris Tiang, *Prosiding PIT XIX dan KOGEI X*, HATTI, pp. 453-464, (ISBN 978-602-17221-3-8).
- Puri, A., 2015c, Studi Paramterik Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Pada Tanah Dasar Lunak, *Proc. 1st Annual Civil Engineering Seminar (ACES)*, pp. 305-313, (ISBN 978-979-792-636-6).
- Puri, A., 2016, Behavior of Uplift Resistance of Single Pile Row Nailed-slab Pavement System on Soft Clay Sub Grade, *Proc. The 3rd Asia Future Conference (AFC)*, Kitakyushu, Japan, 29 Sept-3 Oct. 2016.
- Puri, A., 2017, Developing The Curve of Displacement Factor for Determination The Additional Modulus of Subgrade Reaction on Nailed-Slab Pavement System, *International Journal of Technology (IJTech)*, Vol. 8 No. 1 (2017), pp. 124-133. ISSN 2086-9614. DOI : <https://doi.org/10.14716/ijtech.v8i1.1688>
- Puri, A., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2017, Effects of Vertical Wall Barrier on The Rigid Pavement Deflection of Full Scale 1-Pile Row Nailed-Slab System on Soft Sub Grade, *International Journal of GEOMATE*, April, 2017, Vol. 12, Issue 32, pp. 25-29, DOI: <http://dx.doi.org/10.21660/2017.32.6577>.
- Puri, A., Hardiyatmo, C. H., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2011a, Studi Eksperimental Lendutan Pelat yang Diperkuat Tiang-tiang Friksi Pendek pada Lempung Lunak, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan XIV HATTI*, HATTI, Yogyakarta.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2011b, Kontribusi Koperan dalam Mereduksi Lendutan Sistem Pelat Terpaku pada Lempung Lunak, *Prodising Konferensi Geoteknik Indonesia (KOGEI) IX dan Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XV*, HATTI, Jakarta, 7-8 Desember 2011, pp. 299-306.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2012a, Determining Additional Modulus of Subgrade Reaction Based on Tolerable Settlement for the Nailed-slab System Resting on Soft Clay, *IJCEE-IJENS*, Vol. 12 No. 3, pp. 32-40.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., and Rifa'i, A., 2012b, Application of The Additional Modulus of Subgrade Reaction to Predict The Deflection of Nailed-slab System Resting on Soft Clay Due to Repetitive Loadings, *Proc. of 16th Annual Scientific Meeting (PIT) HATTI*, Jakarta, 4 December, pp. 217-222.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., and Rifa'i, A., 2013a, Pile Spacing and Length Effects Due To the Additional Modulus of Subgrade Reaction of the Nailed-Slab System on the Soft Clay, *Proc. of 13th International Symposium on Quality in Research (QiR)*, Yogyakarta, 25-28 June 2013, pp. 1032-1310.

- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., and Rifa'i, A., 2013b, Deflection Analysis of Nailed-slab System which Reinforced by Vertical Wall Barrier under Repetitive Loading, *Proc. the 6th Civil Engineering Conference in Asian Region (CECAR6)*, Jakarta, 20-22 August 2013, pp. TS6-10—TS6-11.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2013c, Application of Method of Nailed-slab Deflection Analysis on Full Scale Model and Comparison to Loading Test, *Proc. the 7th National Conference of Civil Engineering (KoNTekS7)*, Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta, 24-26 October 2013, pp. G201-G211,
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2013d, Behavior of Fullscale nailed-slab System with Variation on Load Positions, *1st International Conference on Development Infrastucture (ICID)*, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Solo, 1-3 November 2013, pp. 26-36.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2014, Behavior of Nailed-slab System on Soft Clay Due to Repetitive Loadings by Conducting Full Scale Test, *Proc. 17th Intrntl. Symp. FSTPT*, University of Jember, pp. 739-750.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2015a, Pull out Test of Single Pile Row Nailed-slab System on Soft Clay, *Proc. of the 14th Intrntl. Conf. on QiR (Quality in Research)*, Faculty of Eng. Univeristas Indonesia, Lombok, Indonesia, 10-13 August 2015.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., Khatib, A., 2015b, Validasi Metode Analisis Lendutan Perkerasan Sistem Pelat Terpaku pada Model Skala Penuh Dengan Satu Baris Tiang, *Prosiding PIT XIX dan KOGEI X*, HATTI, pp. 453-464, (ISBN 978-602-17221-3-8).
- Rahardjo, P.P., dan Handoko, S.G., 2003, Bearing Capacity Evaluation of Drilled Shaft in Breccia and Tuffaceous Sand as the Basis of Redesign of Bridge Foundation at Cimeta River, *Prosiding KOGEI VI & PIT VII HATTI*, Hotel Horizon-Ancol, Jakarta, 11-13 Agustus, pp. 105-112.
- Somantri, A.K., 2013, Kajian Lendutan Pelat Terpaku pada Tanah Pasir Dengan Menggunakan Metode Beam on Elastic Foundation (BoEF) dan Metode Elemen Hingga, *Tesis*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Taa, P.D.S., 2010, Pengaruh Pemasangan Kelompok Tiang Terhadap Kenaikan Pelat dalam Sistem Nailed-Slab yang Terletak di Atas Tanah Dasar Ekspansif, *Tesis*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Waruwu, A., Hardiyatmo, H.C., dan Rifa'i, A., 2017, Behaviour of Nailed-slab Syatem on Peat Soil Under Loading, *The 1st Warmadewa International*

Conference on Architecture and Civil Engineering, Bali, 23th October 2017,
pp. 91-97.

Wikipedia, 2009, *Ground-Structure Interaction*, [http://en.wikipedia.org/wiki/
Ground-structure_interaction](http://en.wikipedia.org/wiki/Ground-structure_interaction), tanggal akses: 7 November 2009.

LAMPIRAN I: HASIL ANALISIS

I-1. Contoh Output beban di tengah (tiang panjang seragam):

Gambar I-1a. Deformed mesh beban di tengah (tiang panjang seragam)

Gambar I-1b. Tegangan geser beban di tengah (tiang panjang seragam)

I-2. Contoh Output beban di tengah (tiang tengah lebih panjang):

Gambar I-2a. Deformed mesh beban di tengah (tiang tengah lebih panjang)

Gambar I-2b. Tegangan geser beban di tengah (tiang tengah lebih panjang)

I-3. Contoh Output beban di tepi (tiang panjang seragam):

Gambar I-2a. Deformed mesh beban di tepi (tiang panjang seragam)

Gambar I-2b. Tegangan geser beban di tepi (tiang panjang seragam)

Beban sentris

MODEL 1

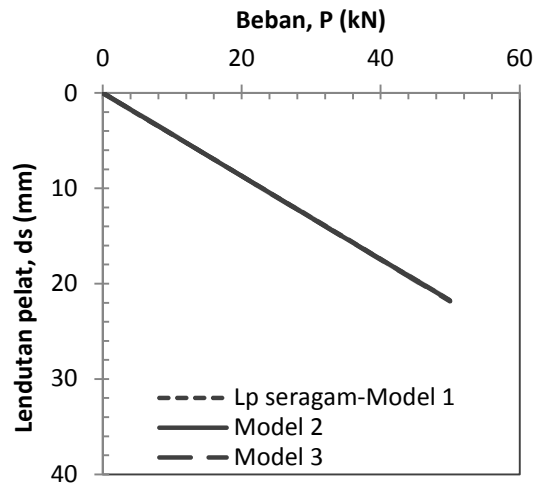
pgj tiang sama, L = 1,50 m P= 50 kN

Model 1: Panjang tiang seragam

Model 2: 3 tiang tengah lebih panjang (2,00 m

Model 3: tiang terluar lebih panjang (2,00 m)

Point	Step	Sum-Mstag Uy [m]		P (kN)	Uy (mm)
0	0	0,00E+00	0,00E+00		
1	1	0,00E+00	0,00E+00	0	0
2	1	1,07E-01	-2,32E-03	5,3	2,3
3	2	2,14E-01	-4,64E-03	10,7	4,6
4	3	3,21E-01	-6,97E-03	16,0	7,0
5	4	4,27E-01	-9,29E-03	21,4	9,3
6	5	5,34E-01	-1,16E-02	26,7	11,6
7	6	6,40E-01	-1,39E-02	32,0	13,9
8	7	7,46E-01	-1,63E-02	37,3	16,3
9	8	8,00E-01	-1,74E-02	40,0	17,4
10	9	8,53E-01	-1,86E-02	42,7	18,6
11	10	9,07E-01	-1,97E-02	45,4	19,7
12	11	9,55E-01	-2,08E-02	47,8	20,8
13	12	1,00E+00	-2,17E-02	50,0	21,7



MODEL 2

Point	Step	Sum-Mstag Uy [m]		P (kN)	Uy (mm)
0	0	0,00E+00	0,00E+00		
1	1	0,00E+00	0,00E+00	0	0
2	1	1,10E-01	-2,38E-03	5,5	2,4
3	2	2,19E-01	-4,76E-03	10,9	4,8
4	3	3,28E-01	-7,14E-03	16,4	7,1
5	4	4,37E-01	-9,52E-03	21,9	9,5
6	5	5,46E-01	-1,19E-02	27,3	11,9
7	6	6,55E-01	-1,43E-02	32,8	14,3
8	7	7,64E-01	-1,67E-02	38,2	16,7
9	8	8,73E-01	-1,90E-02	43,7	19,0
10	9	9,83E-01	-2,14E-02	49,1	21,4
11	10	1,00E+00	-2,18E-02	50,0	21,8

MODEL 3

Point	Step	Sum-Mstag Uy [m]		P (kN)	Uy (mm)
0	0	0,00E+00	0,00E+00		
1	1	0,00E+00	0,00E+00	0	0
2	1	2,22E-01	-4,83E-03	11,1	4,8
3	2	4,43E-01	-9,67E-03	22,1	9,7
4	3	6,63E-01	-1,45E-02	33,2	14,5
5	4	7,74E-01	-1,69E-02	38,7	16,9
6	5	8,29E-01	-1,81E-02	41,4	18,1
7	6	8,84E-01	-1,93E-02	44,2	19,3
8	7	9,12E-01	-1,99E-02	45,6	19,9
9	8	9,67E-01	-2,11E-02	48,4	21,1
10	9	1,00E+00	-2,19E-02	50,0	21,9

TEGANGAN DALAM TANAH DAN GAYA DALAM ELEMEN STRUKTUR

BEBAN SENTRIS:

Stress in the soil

Description	Unit	Model 1	Model 2	Model 3	Diff. (%) 2 thd 1	Diff. (%) 3 thd 1
Maximum shear stress, τ_{xy}	kN/m ²	-12,49	-13,18	-13,11	5,52	4,96
Effective stress, σ'	kN/m ²	-75,83	-75,85	-75,88	0,03	0,07
Max. excess pore pressure, U	kN/m ²	52,47	54,18	53,71	3,26	2,36
Max. excess pore pressure under the ce	kN/m ²	-28	-24	-24,00	-14,29	-14,29

Inner forces of structures

Description	Unit	Model 1	Model 2	Model 3	Diff. (%) 2 thd 1	Diff. (%) 3 thd 1
Bending moment of slab, M_s	kNm/m	-39,90	-38,54	-39,91	-3,41	0,03
Bending moment of pile head, M_p	kNm/m	2,55	-4,83	-1,75	-289,41	-168,63
Axial force of pile, P	kN/m	12,27	11,47	12,27	-6,52	0,00
Shear force of pile, H	kN/m	11,39	11,34	11,41	-0,44	0,18
Horizontal displacement of pile, U_x	mm	-7,38	-7,13	-9,49	-3,39	28,59

Deskripsi	Satuan	Model 1	Model 2	Model 3
Momen lentur pelat, M_s	kNm/m	-39,90	-38,54	-39,91
Momen lentur kepala tiang, M_p	kNm/m	2,55	-4,83	-1,75
Gaya aksial tiang, P	kN/m	12,27	11,47	12,27
Gaya geser tiang, H	kN/m	11,39	11,34	11,41
Displacement horizontal tiang, U_x	mm	-7,38	-7,13	-9,49

Beban DI TEPI

MODEL 1

pgj tiang sama, L = 1,50 m P= 50 kN

Model 1: Panjang tiang seragam

Model 2: 3 tiang tengah lebih panjang (2,00 m

Model 3: tiang terluar lebih panjang (2,00 m)

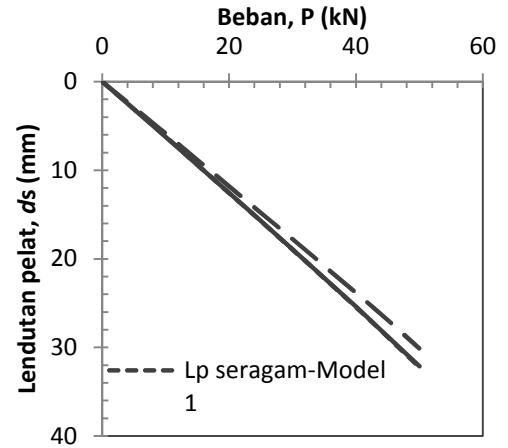
Point	Step	Sum-Mstag Uy [m]		P (kN)	Uy (mm)
0	0	0,00E+00	0,00E+00	0	0
1	1	0,00E+00	0,00E+00	0	0
2	1	1,64E-01	-5,07E-03	8,2	5,1
3	2	4,84E-01	-1,52E-02	24,2	15,2
4	3	6,41E-01	-2,03E-02	32,1	20,3
5	4	7,96E-01	-2,53E-02	39,8	25,3
6	5	8,72E-01	-2,79E-02	43,6	27,9
7	6	9,46E-01	-3,04E-02	47,3	30,4
8	7	1,00E+00	-3,23E-02	50,0	32,3

MODEL 2

Point	Step	Sum-Mstag Uy [m]		P (kN)	Uy (mm)
0	0	0,00E+00	0,00E+00	0	0
1	1	0,00E+00	0,00E+00	0	0
2	1	1,64E-01	-5,08E-03	8,2	5,1
3	2	4,86E-01	-1,52E-02	24,3	15,2
4	3	6,43E-01	-2,03E-02	32,2	20,3
5	4	7,21E-01	-2,28E-02	36,1	22,8
6	5	7,99E-01	-2,54E-02	40,0	25,4
7	6	8,75E-01	-2,79E-02	43,8	27,9
8	7	1,00E+00	-3,21E-02	50,0	32,1

MODEL 3

Point	Step	Sum-Mstag Uy [m]		P (kN)	Uy (mm)
0	0	0,00E+00	0,00E+00	0	0
1	1	0,00E+00	0,00E+00	0	0
2	1	1,74E-01	-5,10E-03	8,7	5,1
3	2	5,17E-01	-1,53E-02	25,9	15,3
4	3	6,86E-01	-2,04E-02	34,3	20,4
5	4	8,54E-01	-2,55E-02	42,7	25,5
6	5	9,27E-01	-2,78E-02	46,4	27,8
7	6	9,99E-01	-3,01E-02	50,0	30,1



TEGANGAN DALAM TANAH DAN GAYA DALAM ELEMEN STRUKTUR

BEBAN DI TEPI:

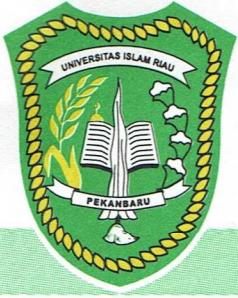
Stress in the soil

Description	Unit	Model 1	Model 2	Model 3	Diff. (%) 2 thd 1
Maximum shear stress, τ_{xy}	kN/m ²	-24,53	-24,54	-24,71	0,04
Effective stress, σ'	kN/m ²	-74,88	-74,90	-74,95	0,03
Max. excess pore pressure, U	kN/m ²	-200,3	-197,96	-185,27	-1,17
Max. excess pore pressure under the central pile tip, U	kN/m ²	-14,92	-12,93	-15,61	-13,34

Inner forces of structures

Description	Unit	Model 1	Model 2	Model 3	Diff. (%) 2 thd 1
Bending moment of slab, M_s	kNm/m	12,94	12,96	13,61	0,15
Bending moment of pile head, M_p	kNm/m	19,33	17,59	27,23	-9,00
Axial force of pile, P	kN/m	-1,20	-1,22	-1,96	1,67
Shear force of pile, H	kN/m	37,75	34,04	55,45	-9,83
Horizontal displacement of pile, U_x	mm	8,63	9,59	7,13	11,12

Deskripsi	Satuan	Model 1	Model 2	Model 3
Momen lentur pelat, M_s	kNm/m	12,94	12,96	13,61
Momen lentur kepala tiang, M_p	kNm/m	19,33	17,59	27,23
Gaya aksial tiang, P	kN/m	-1,20	-1,22	-1,96
Gaya geser tiang, H	kN/m	37,75	34,04	55,45
Displacement horizontal tiang, U_x	mm	8,63	9,59	7,13



UNIVERSITAS ISLAM RIAU

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

Alamat : Jalan Kaharuddin Nasution No. 113, Marpoyan, Pekanbaru, Riau, Indonesia - 28284
Telp. +62 761 72126 Fax. +62761 674834 Email : lppm@uir.ac.id Website: www.lppm.uir.ac.id

KONTRAK PENELITIAN TAHUN ANGGARAN 2018 NOMOR: 369 /KONTRAK/LPPM-UIR/4-2018

Pada hari ini Senin tanggal 16 bulan April tahun Dua Ribu Delapan Belas, kami yang bertandatangan dibawah ini :

1. **Dr. Evizal Abdul Kadir, S.T., M.Eng** : Ketua Lembaga Penelitian, Universitas Islam Riau, dalam hal ini bertindak untuk dan atas nama Universitas Islam Riau, yang berkedudukan di Jl. Kaharuddin Nasution No. 113 P. Marpoyan, Pekanbaru, untuk selanjutnya disebut **PIHAK PERTAMA**;
2. **Dr. Anas Puri, S.T., M.T.** : Dosen Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, dalam hal ini bertindak sebagai pengusul dan Ketua Pelaksana Penelitian Tahun Anggaran 2018 untuk selanjutnya disebut **PIHAK KEDUA**.

PIHAK PERTAMA dan **PIHAK KEDUA**, secara bersama-sama sepakat mengikatkan diri dalam suatu Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2018 dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagai berikut:

Pasal 1 Ruang Lingkup Kontrak

PIHAK PERTAMA memberi pekerjaan kepada **PIHAK KEDUA** dan **PIHAK KEDUA** menerima pekerjaan tersebut dari **PIHAK PERTAMA**, untuk melaksanakan dan menyelesaikan Penelitian Tahun Anggaran 2018 dengan judul **“Perilaku Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Dengan Satu dan Tiga Baris Tiang Pipa Pada Lempung L”**

Pasal 2 Dana Penelitian

- (1) Besarnya dana untuk melaksanakan penelitian dengan judul sebagaimana dimaksud pada Pasal 1 adalah sebesar **Rp 16.000.000,- (Enam Belas Juta Rupiah)** sudah termasuk pajak.
- (2) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dibebankan pada Anggaran Pendapatan dan Belanja Universitas Islam Riau (APBUIR) tahun 2018.

Pasal 3 Tata Cara Pembayaran Dana Penelitian

- (1) **PIHAK PERTAMA** akan membayarkan Dana Penelitian kepada **PIHAK KEDUA** secara bertahap dengan ketentuan sebagai berikut:
 - a. Pembayaran Tahap Pertama sebesar 70% dari total dana penelitian yaitu 70% x **Rp. 16.000.000,- = Rp. 11.200.000,- (Sebelas Juta Dua Ratus Ribu Rupiah)** yang akan dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** setelah **PARA PIHAK** membuat dan melengkapi usulan pelaksanaan penelitian yang memuat judul penelitian, halaman pengesahan, ringkasan, pendekatan dan metode penelitian yang digunakan, data yang akan diperoleh, anggaran yang akan digunakan, dan tujuan penelitian berupa luaran yang akan dicapai (sesuai pedoman sistematika dan muatan proposal penelitian). Selanjutnya **PIHAK KEDUA** mengunggah usulan penelitian yang telah diseminarkan ke web: riset.lppm.uir.ac.id
 - b. Pembayaran Tahap Kedua sebesar 30% dari total dana penelitian yaitu 30% x **Rp 16.000.000,- = Rp. 4.800.000,- (Empat Juta Delapan Ratus Ribu Rupiah)**, dibayarkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** setelah **PIHAK KEDUA** mengunggah ke web: riset.lppm.uir.ac.id Laporan Akhir Pelaksanaan Penelitian dan menyerahkan hard copy sebanyak dua rangkap untuk arsip Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Islam Riau.



UNIVERSITAS ISLAM RIAU

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

Alamat : Jalan Kaharuddin Nasution No. 113, Marpoyan, Pekanbaru, Riau, Indonesia - 28284
Telp. +62 761 72126 Fax. +62761 674834 Email : lppm@uir.ac.id Website: www.lppm.uir.ac.id

- (2) Dana Penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1) akan disalurkan oleh **PIHAK PERTAMA** kepada **PIHAK KEDUA** ke rekening sebagai berikut:

Nama : **Dr. Anas Puri, S.T., M.T.**
Nomor Rekening :
Nama Bank : Syariah Mandiri

- (2) **PIHAK PERTAMA** tidak bertanggung jawab atas keterlambatan dan/atau tidak terbayarnya sejumlah dana sebagaimana dimaksud pada ayat (1) yang disebabkan karena kesalahan **PIHAK KEDUA** dalam menyampaikan data peneliti, dan persyaratan lainnya yang tidak sesuai dengan ketentuan.

Pasal 4 Jangka Waktu

Jangka waktu pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 sampai selesai 100%, adalah terhitung sejak **Tanggal 16 April 2018** dan berakhir pada **Tanggal 30 Oktober 2018**.

Pasal 5 Target Luaran

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk mencapai target luaran wajib penelitian berupa artikel dimuat di jurnal Nasional terakreditasi sebanyak satu artikel, selanjutnya **PIHAK KEDUA** mengunggah ke web: riset.lppm.uir.ac.id.
- (2) **PIHAK KEDUA** diharapkan dapat mencapai target luaran tambahan penelitian berupa jurnal Ilmiah Nasional terakreditasi dan atau prosiding.
- (3) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk melaporkan perkembangan pencapaian target luaran sebagaimana dimaksud pada ayat (1) kepada **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 6 Hak dan Kewajiban Para Pihak

- (1) Hak dan Kewajiban **PIHAK PERTAMA**:
 - a. **PIHAK PERTAMA** berhak untuk mendapatkan dari **PIHAK KEDUA** luaran penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7;
 - b. **PIHAK PERTAMA** berkewajiban untuk memberikan dana penelitian kepada **PIHAK KEDUA** dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) dan dengan tata cara pembayaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3.
- (2) Hak dan Kewajiban **PIHAK KEDUA**:
 - a. **PIHAK KEDUA** berhak menerima dana penelitian dari **PIHAK PERTAMA** dengan jumlah sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1);
 - b. **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyerahkan kepada **PIHAK PERTAMA** luaran Penelitian dengan judul "**Perilaku Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Dengan Satu dan Tiga Baris Tiang Pipa Pada Lempung L**" **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk bertanggungjawab dalam penggunaan dana penelitian yang diterimanya sesuai dengan proposal kegiatan yang telah disetujui;

Pasal 7 Laporan Pelaksanaan Penelitian

- (1) **PIHAK KEDUA** berkewajiban untuk menyampaikan kepada **PIHAK PERTAMA** berupa laporan akhir mengenai luaran penelitian dan rekapitulasi penggunaan anggaran sesuai dengan jumlah dana yang diberikan oleh **PIHAK PERTAMA** yang tersusun secara sistematis sesuai pedoman yang ditentukan oleh **PIHAK PERTAMA**.
- (2) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengunggah Laporan hasil penelitian yang telah dilaksanakan untuk diseminarkan ke web: riset.lppm.uir.ac.id paling lambat **30 Oktober 2018**.



UNIVERSITAS ISLAM RIAU

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

Alamat : Jalan Kaharuddin Nasution No. 113, Marpoayan, Pekanbaru, Riau, Indonesia - 28284
Telp. +62 761 72126 Fax. +62761 674834 Email : lppm@uir.ac.id Website: www.lppm.uir.ac.id

- (3) **PIHAK KEDUA** berkewajiban mengunggah capaian hasil artikel ilmiah dan atau prosiding pada web: riset.lppm.uir.ac.id paling lambat **30 Oktober 2018** (bagi penelitian tahun terakhir).
- (4) **PIHAK KEDUA** berkewajiban menyerahkan *Hardcopy* Laporan akhir capaian hasil, /Poster/ artikel ilmiah **PIHAK PERTAMA**, paling lambat **30 Oktober 2018**.
- (5) Laporan hasil Penelitian sebagaimana tersebut pada ayat (4) harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:
 - a. Bentuk/ukuran kertas A4;
 - b. Di bawah bagian cover ditulis:

Dibiayai oleh:
Lembaga Penelitian
Universitas Islam Riau
Sesuai dengan Kontrak Penelitian
Nomor: 369/KONTRAK/LPPM-UIR/4-2018

Pasal 8 **Monitoring dan Evaluasi**

PIHAK PERTAMA dalam rangka pengawasan akan melakukan Monitoring dan Evaluasi internal terhadap kemajuan pelaksanaan Penelitian Tahun Anggaran 2018 ini dilaksanakan pada bulan Agustus- September tahun 2018.

Pasal 9 **Sanksi**

- (1) Apabila sampai dengan batas waktu yang telah ditetapkan untuk melaksanakan Penelitian ini telah berakhir, namun **PIHAK KEDUA** belum menyelesaikan tugasnya, terlambat mengirim laporan akhir, maka **PIHAK KEDUA** dikenakan sanksi administratif berupa penghentian pembayaran dan tidak dapat mengajukan proposal penelitian dalam kurun waktu satu tahun berturut-turut.
- (2) Apabila **PIHAK KEDUA** tidak dapat mencapai target luaran sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5, maka kekurangan capaian target luaran tersebut akan dicatat sebagai hutang **PIHAK KEDUA** kepada **PIHAK PERTAMA** yang apabila tidak dapat dilunasi oleh **PIHAK KEDUA**, akan berdampak pada kesempatan **PIHAK KEDUA** untuk mendapatkan pendanaan penelitian atau hibah lainnya yang dikelola oleh **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 10 **Pembatalan Perjanjian**

- (1) Apabila dikemudian hari terhadap judul Penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 1 ditemukan adanya duplikasi dengan Penelitian lain dan/atau ditemukan adanya ketidakjujuran, itikad tidak baik, dan/atau perbuatan yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah dari atau dilakukan oleh **PIHAK KEDUA**, maka perjanjian Penelitian ini dinyatakan batal dan **PIHAK KEDUA** wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterima kepada **PIHAK PERTAMA** yang selanjutnya akan disetor ke Kas Universitas Islam Riau.
- (2) Bukti setor sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disimpan oleh **PIHAK PERTAMA**.

Pasal 11 **Penyelesaian Sengketa**

Apabila terjadi perselisihan antara **PIHAK PERTAMA** dan **PIHAK KEDUA** dalam pelaksanaan perjanjian ini akan dilakukan penyelesaian secara musyawarah dan mufakat, dan apabila tidak tercapai penyelesaian secara musyawarah dan mufakat maka penyelesaian dilakukan melalui proses hukum.



UNIVERSITAS ISLAM RIAU

LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

Alamat : Jalan Kaharuddin Nasution No. 113, Marpoyan, Pekanbaru, Riau, Indonesia - 28284
Telp. +62 761 72126 Fax. +62761 674834 Email : lppm@uir.ac.id Website: www.lppm.uir.ac.id

Pasal 12

Lain-lain

- (1) **PIHAK KEDUA** menjamin bahwa penelitian dengan judul tersebut di atas belum pernah dibiayai dan/atau diikutsertakan pada Pendanaan Penelitian lainnya, baik yang diselenggarakan oleh instansi, lembaga, perusahaan atau yayasan, baik di dalam maupun di luar negeri.
- (2) Segala sesuatu yang belum cukup diatur dalam Perjanjian ini dan dipandang perlu diatur lebih lanjut dan dilakukan perubahan oleh **PARA PIHAK**, maka perubahan-perubahannya akan diatur dalam perjanjian tambahan atau perubahan yang merupakan satu kesatuan dan bagian yang tidak terpisahkan dari Perjanjian ini.


Demikianlah surat perjanjian ini dibuat pada hari ini, tanggal, bulan dan tahun seperti tersebut diatas dan dibuat dalam rangkap 2 (dua) rangkap sebagai kekuatan dan untuk dipergunakan sebagaimana semestinya.



PIHAK PERTAMA


Dr. Evizal Abdul Kadir, S.T., M.Eng
NIDN: 1029027601

PIHAK KEDUA


Dr. Anas Puri, S.T., M.T.
NIDN: 1005057003

**LAMPIRAN III: SURAT PERNYATAAN ORIGINALITAS KETUA
PENELITI**

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dr. Anas Puri, S.T., M.T.
NIK/NIDN : 960902239/ 1005057003
Pangkat/ Golongan : Pembina Tk. I /Iv.A
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Alamat : Perum Yepupa Utama Blok A7, Jl. As-Salam Utama
Kel. Air Dingin, Pekanbaru.

Dengan ini menyatakan bahwa proposal penelitian saya dengan judul **Perilaku Perkerasan Sistem Pelat Terpaku dengan Tiga Baris Tiang Pipa Beton pada Lempung Lunak** yang dibiayai melalui Skim Penelitian Internal UIR untuk Tahun Anggaran 2017/2018 Nomor Kontrak 369/KONTRAK/LPPM-UIR/4-2018 bersifat original dan belum pernah dibiaya oleh lembaga/ sumber dana lain.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidak-sesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses dengan ketentuan yang berlaku dan mengembalikan seluruh biaya penelitian yang sudah diterima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Pekanbaru, 4 Desember 2018
Yang Menyatakan,



Dr. Anas Puri, S.T., M.T.
NIK. 96 02 239

**LAMPIRAN IV: SURAT KETERANGAN PERSETUJUAN REVISI
LAPORAN PENELITIAN INTERNAL UIR TAHUN 2018**




Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : DR. ANAS PURI, S.T., M.T.
NIDN : 1005057003
Fakultas : Teknik
Judul Riset : **Perilaku Perkerasan Sistem Pelat Terpaku dengan
Tiga Baris Tiang Pipa Beton pada Lempung Lunak**

Dengan ini menyatakan bahwa sudah melakukan perbaikan (laporan hasil) penelitian setelah diseminarkan sesuai dengan hasil *reviewer* pelaksanaan seminar (hasil penelitian) Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat Universitas Islam Riau pada (4 Desember 2018) di Ruang Sidang Faperta UIR.

Demikianlah keterangan ini dibuat dengan sebenarnya agar dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Pekanbaru, 4 Desember 2018

<p>Ketua Peneliti,</p>  <p><u>Dr. Anas Puri, S.T., M.T.</u> <u>NIK 960902239</u></p>	
<p>Mengetahui,</p>	
<p>Reviewer 1</p>  <p>Prof. Dr. Ir. H. Sugeng Wiyono, MMT.</p>	<p>Reviewer 2</p>  <p>Dr. Elizar, S.T., M.T.</p>