

**LAPORAN AKHIR**



JUDUL:

**STUDI PARAMETRIK PERKERASAN SISTEM PELAT  
TERPAKU TIANG TUNGGAL MENGGUNAKAN TIANG  
PIPA BAJA PADA TANAH LUNAK**

Peneliti:

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

**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT  
UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
PEKANBARU  
2018**

Dibiayai oleh:

**Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat  
Universitas Islam Riau  
Sesuai dengan Kontrak Penelitian  
Nomor: 150/KONTRAK/LP-UIR/12-2015**

## HALAMAN PENGESAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

1. Judul Penelitian : STUDI PARAMETRIK PERKERASAN SISTEM PELAT TERPAKU TIANG TUNGGAL MENGGUNAKAN TIANG PIPA BAJA PADA TANAH 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. Jangka Waktu Penelitian : 6 bulan
5. Pembiayaan : Rp 12.000.000,-

Pekanbaru, Mei 2018

Mengetahui:  
Dekan Fakultas Teknik,

  
Ir. H. Abd. Kudus, M.T.  
NIK. 88 03 02 098

Ketua Peneliti,

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

Menyetujui:  
Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UIR.,

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

## KATA PENGANTAR



Segala puji bagi Allah Yang Maha Penentu (*al-Mudabbir*), atas rahmat dan kehendak-Nya, dan dengan rizki serta nikmat '*akal* yang telah diberikan-Nya, *alhamdulillah* laporan penelitian ini dapat diselesaikan. Laporan ini menyajikan hasil studi parametrik perkerasan Sistem Pelat Terpaku yang menggunakan tiang pipa baja dimana data material dan pembebanan dari uji skala penuh oleh Puri (2015). Selanjutnya diperoleh perilaku lendutan pelat dari sistem tersebut. Tiang pipa baja menunjukkan kinerja yang baik sebagai paku pada perkerasan Sistem Pelat Terpaku. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya teknologi perkerasan jalan pada tanah lunak.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Islam Riau (UIR) Pekanbaru beserta Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UIR yang telah memberikan bantuan dana pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih diarturkan pula kepada Dekan Fakultas Teknik UIR dan Muhammad Toyeb, S.T., M.T. atas bantuannya menjalankan *software* aplikasi analisis. Penulis juga mengarturkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini. Semoga Allah SWT membalas mereka dengan kebaikan. Demikianlah, semoga bermanfaat hendaknya, amin.

Pekanbaru, 30 Mei 2018.

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>1</b>
<b>IDENTITAS PENELITIAN</b>	<b>2</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>3</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	
<b>RINGKASAN</b>	
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	<b>8</b>
A. Latar Belakang	8
B. Tujuan Penelitian	9
C. Faedah Penelitian	9
D. Luaran Penelitian	9
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>10</b>
<b>BAB III. LANDASAN TEORI</b>	<b>14</b>
A. Tanah Dasar	14
B. Interaksi Tanah-Struktur Sistem Pelat Terpaku	17
C. Metode Elemen Hingga	22
<b>BAB IV. METODE PENELITIAN</b>	<b>13</b>
A. Objek Penelitian	13
B. Tahapan Pelaksanaan Penelitian	14
C. Cara Analisis	15
<b>BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>16</b>
A. Model dan Properties Material	35
B. Hubungan Beban dan Lendutan	38
C. Perilaku Bidang Kontak Tanah dan Tiang	42
<b>BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>47</b>
A. Kesimpulan	47
B. Saran	47
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>49</b>
LAMPIRAN A. DATA	54
LAMPIRAN B. SALINAN KONTRAK	66
LAMPIRAN C. SINOPSIS PENELITIAN LANJUT	68
LAMPIRAN D. PERNYATAAN ORIGINALITAS	69
LAMPIRAN E. PERSONALIA PENELITIAN	71

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Sifat-sifat lempung lunak (Puri, 2015a)	17
Tabel 3.2 Konsistensi tanah lempung beserta perkiraan nilai $S_u$ , $q_u$ , dan $N_{70}$ (Puri, 2015a)	17
Tabel 4.1 Variabel analisis	32
Tabel 4.2 Sifat-sifat lempung ngawi-2 (Puri, 2015a)	34
Tabel 5.1 Model dan parameter material pada analisis aksisimetri	36
Tabel 5.2 Tebal tiang pipa baja untuk berbagai diameter (idpipe.com, 2014)	37
Tabel 5.3 Modulus tiang-tanah ekuivalen	38

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi pengaruh pemasangan tiang sebagai "paku" pada perkerasan beton	11
Gambar 2.2 Lendutan analisis dan pengamatan Pelat Terpaku tiga baris tiang	12
Gambar 3.1 Geometri dan karakteristik transmisi beban (a) tipikal penampang perkerasan fleksibel	15
Gambar 3.2 Analogi perkerasan kaku yang tebal digantikan oleh perkerasan kaku yang lebih tipis dan diperkuat dengan tiang-tiang	19
Gambar 3.3 Ilustrasi pengaruh pemasangan tiang sebagai "paku" pada perkerasan beton akibat beban repetitif kendaraan	19
Gambar 3.4 Prinsip interaksi fondasi rakit-tiang	21
Gambar 3.5 Model elemen hingga 2D aksisimetri pada analisis Sistem Pelat Terpaku	23
Gambar 3.6 Sistem koordinat 3 dimensi dan perjanjian tanda tegangannya (Plaxis 3D)	24
Gambar 3.7 Ide dasar model elastis plastis sempurna (Plaxis 3D)	28
Gambar 3.8 Permukaan leleh Mohr-Coulomb di dalam tegangan utama (Plaxis 3D)	29
Gambar 4.1 Bagan alir penelitian	31
Gambar 5.1 Hubungan $P-\delta$ pada analisis <i>pacth test</i> Pelat Terpaku tiang beton tunggal	36
Gambar 5.2 Hubungan beban-penurunan $P-\delta$ pelat untuk berbagai variasi diameter tiang	39
Gambar 5.3 Hubungan beban-penurunan $P-\delta$ pelat untuk variasi panjang tiang diameter 20 cm	40
Gambar 5.4 Hubungan beban-penurunan $P-\delta$ pelat untuk variasi panjang tiang diameter 30 cm	41
Gambar 5.5 Hubungan beban-penurunan $P-\delta$ pelat untuk variasi panjang tiang diameter 60 cm	41
Gambar 5.6 Hubungan beban-penurunan $P-\delta$ pelat untuk variasi panjang tiang diameter 80 cm	42
Gambar 5.7 Tegangan geser akibat beban sentris 60 kN untuk tiang pipa diameter 0,20 m	43
Gambar 5.8 Tegangan tanah untuk berbagai panjang tiang pada beban $P = 60$ kN untuk tiang pipa diameter 0,20 m	43
Gambar 5.9 Perilaku bidang kontak tanah dan tiang diameter 20 cm dan panjang 1,50 m akibat beban sentris 60 kN	45
Gambar 5.10 Pengaruh diameter tiang dengan panjang tiang 1,50 m untuk beban 60 kN	46

## 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 dengan tiang pipa baja. Penelitian ditujukan untuk mempelajari perilaku Sistem Pelat Terpaku yang menggunakan tiang pipa baja pada lempung lunak.

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

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tiang pipa baja dapat digunakan sebagai paku pada perkerasan Sistem Pelat Terpaku, dimana peningkatan diameter dan panjang tiang dapat mereduksi penurunan pelat perkerasan, dimana 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.

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

## SUMMARY

The Nailed-slab Pavement System is a new proposed for applying in reinforcing rigid pavement on soft soils. Small scale model tests on soft clay have been conducted by Puri, et.al (2012a) and Puri (2015a) and on expansive clay by Taa (2010), Diana, et.al (2017) and for peat soil by Waruwu, et.al (2017). Full scale model tests on single pile Nailed-slab have been conducted by Dewi (2009) and Nasibu (2009) on stiff clay, and by Puri (2015a) on soft clay. Puri (2015a) have been conducted tests on prototype of three pile rows Nailed-slab on soft clay under compression loads and single pile rows Nailed-slab on soft clay under compression and tension loads. It was used massive reinforced concrete piles. The testing results was promising for field application. Next, the concrete piles were changed by steel pipe piles. This research was study behavior of Nailed-slab System which use steel pipe piles in soft clay.

Data from Puri (2015a) for one and three pile rows Nailed-slab on soft clay were used. Numerical analysis was conducted by using Plaxis 2D software. Pile diameter and length were varied. Slab and lean concrete were modelled as non-porous soil & interface elements but concrete properties as input parameters. Pile was also modelled as non-porous soil & interface elements but by using equivalent parameter of steel pipe and soil inside the pile. Material model behavior was elastic linear and non-porous behavior. Soil was use Mohr-Coulomb model in undrained behavior.

Results show that steel pipe pile can be used as ‘a nail’ in Nailed-slab Pavement System. Increasing in pile diameter and length decrease the slab settlement where the single wheel load 40 kN caused the settlement under maximum allowable settlement 5 mm. Maximum shear stress in soil was not reach undrained shear strength of soil. Generally the soil was not failure. Increasing in pile diameter and length can reduce effective shear stress and pore water pressure in soil and pile-soil interface. According to changing in pore water pressure, utilisation of pile diameter between 30 cm and 60 cm were good enough by pile length about 1,20 m.

**Keywords:** Nailed-slab System, rigid pavement, steel pipe pile, soft clay



## 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. Selanjutnya melalui penelitian ini akan dikaji untuk tiang berbentuk pipa berbahan beton bertulang maupun baja. Hal ini mempertimbangkan kemungkinan penggunaan pipa baja sebagai pengganti tiang beton bertulang masif di lapangan, bilamana tersedia tiang pipa dengan jumlah cukup.

### **B. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perilaku Sistem Pelat Terpaku yang menggunakan tiang pipa baja. Pada penelitian ini ditinjau Sistem Pelat Terpaku Tiang Tunggal pada tanah lunak. Selain itu, ditinjau pula pengaruh dimensi tiang pipa baja terhadap perilaku lendutan dan tegangan dalam tanah.

### **C. Faedah Penelitian**

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

### **D. Luaran Penelitian**

Luaran dari penelitian ini adalah satu publikasi pada jurnal ilmiah nasional ber-ISSN dan Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana Universitas Indonesia.

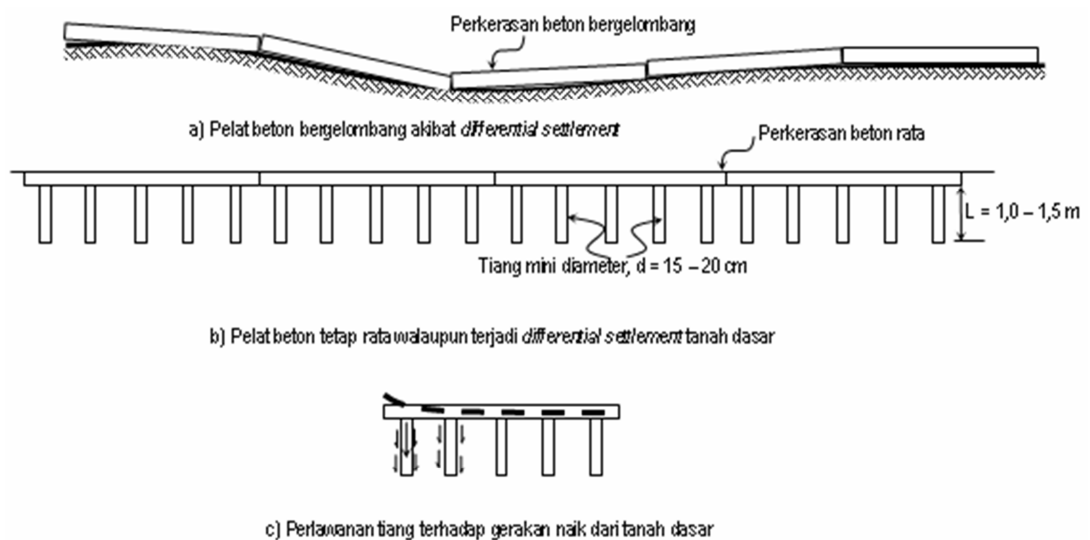
## II. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem perkuatan perkerasan telah dilakukan studi parametrik oleh Pichumani, dkk. (1974) dimana perkerasan didukung oleh tiang-tiang (*pile supporting pavement*), untuk perkerasan lentur maupun perkerasan kaku. Terjadi reduksi pada defleksi permukaan perkerasan dan tegangan di dalam tanah dasar yang besarnya bergantung pada kekakuan tiang. Namun terjadi pula peningkatan tegangan di bawah dasar tiang. Reduksi yang signifikan diperoleh pada tegangan tarik di dalam pelat beton perkerasan seiring dengan peningkatan kekakuan tiang. Sepertinya konsep ini lebih menekankan pada fungsi tiang-tiang sebagai fondasi. Pada Sistem Pelat Terpaku, tiang-tiang lebih dominan berfungsi sebagai pengaku pelat perkerasan kaku, sebagai mana halnya pada Sistem Cakar Ayam. Oleh karena itu, digunakan tiang-tiang yang lebih pendek.

Studi analitis penggunaan tiang-tiang pendek pada perkerasan kaku telah dilakukan Hardiyatmo (2008). Ilustrasi perbandingan perkerasan kaku konvensional dengan perkerasan Sistem Pelat Terpaku dan perlawanan tiang terhadap beban seperti Gambar 2.1. Tiang-tiang tersebut berfungsi laksana paku bagi pelat beton. Pemasangan Tiang-tiang meningkatkan kuat dukung sistem perkerasan dan mengurangi faktor kehilangan dukungan (*loss of support factor, LS*), sehingga meningkatkan modulus reaksi *subgrade* vertikal efektif, dan terjadi efisiensi pada pelat beton. Diharapkan umur layan perkerasan menjadi lebih panjang. Rekomendasi metode analisis lendutan pelat fleksibel menggunakan

modulus reaksi tanah dasar ekuivalen diberikan Hardiyatmo (2009), dan cara penentuan nilai modulus reaksi tanah dasar ekuivalen diusulkan pula oleh Hardiyatmo (2011) yang divalidasi dengan hasil pengujian menggunakan analisis numerik *Beam on Elastic Foundation*.

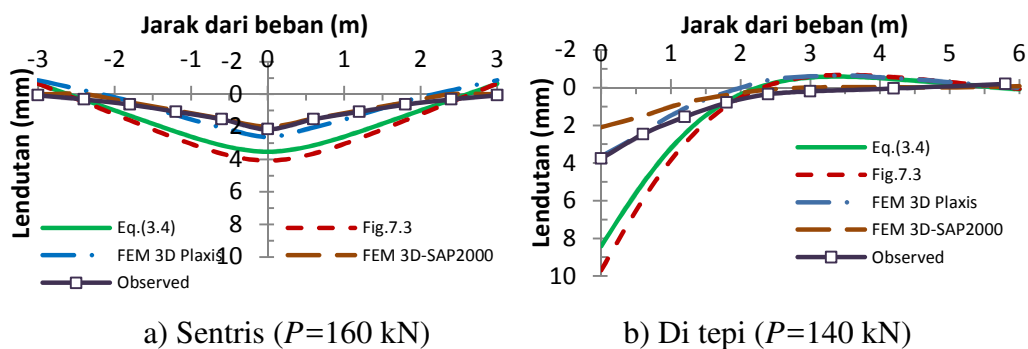
Sistem Pelat Terpaku ini analog dengan Sistem Cakar Ayam, diharapkan berfungsi sebagai angkur pada beban rendah dan sekaligus berfungsi sebagai perlawanan lendutan pada beban berat. Kinerjanya pun diharapkan serupa dengan kinerja Sistem Cakar Ayam, namun konstruksinya lebih kecil, sehingga diperoleh keuntungan berupa pelaksanaan yang lebih praktis dan biaya konstruksi lebih rendah dibanding cakar ayam.



Gambar 2.1:  
Ilustrasi pengaruh pemasangan tiang sebagai "paku" pada perkerasan beton (Hardiyatmo, 2008).

Pelat Terpaku skala model dan skala penuh pada lempung lunak memperlihatkan perilaku lendutan pelat berbentuk mangkok (*deflected bowl*). Hal ini mengindikasikan bahwa semua tiang mampu memberikan respon yang sama

dalam 3-D (Puri, 2015a). Tiang-tiang tidak hanya memobilisasi kapasitas dukung tekannya namun juga kapasitas dukung tarik sehingga menahan pelat untuk tetap kontak dengan tanah. Ini berbeda dengan lendutan pelat saja, dimana bagian ujung-ujung pelat cenderung terjungkit. Pelat Terpaku skala penuh yang telah diuji mempunyai kekakuan yang besar dalam memikul beban. Untuk tebal pelat 15 cm, terbukti hingga beban sentris 160 kN memberikan respon lendutan yang masih elastik-linier. Kekakuan sistem ini sebagaimana terlihat pada lendutan yang kecil sekitar 4,35 mm untuk beban di tepi ( $P = 80 \text{ kN} \approx 2x$  beban roda tunggal). Posisi beban tidak berpengaruh signifikan terhadap lendutan maksimum pelat. Puri (2015a) juga menyimpulkan bahwa Perkerasan Sistem Pelat Terpaku ini dapat menjadi alternatif pengganti Sistem Cakar Ayam, dimana tiang-tiang pendek dapat berfungsi sebagaimana cakar ayam. Gambar 2.2 menunjukkan hasil pengamatan dan analisis numerik untuk Sistem Pelat Terpaku 3 baris tiang.



Gambar 2.2:  
Lendutan analisis dan pengamatan Pelat Terpaku tiga baris tiang (Puri, 2015a).

Lendutan yang terjadi pada Sistem Pelat Terpaku cenderung lebih rendah dibanding Sistem CAM dan terdistribusi pada area yang lebih sempit (terkonsentrasi di

dekat beban). Hal yang sama juga terjadi pada distribusi momen pelat (Puri, 2015b). Pada Sistem Pelat Terpaku, penambahan panjang tiang ataupun pengurangan jarak antar tiang akan meningkatkan kinerja sistem dimana lendutan semakin berkurang (Puri, 2015a, 2015b).

### III. LANDASAN TEORI

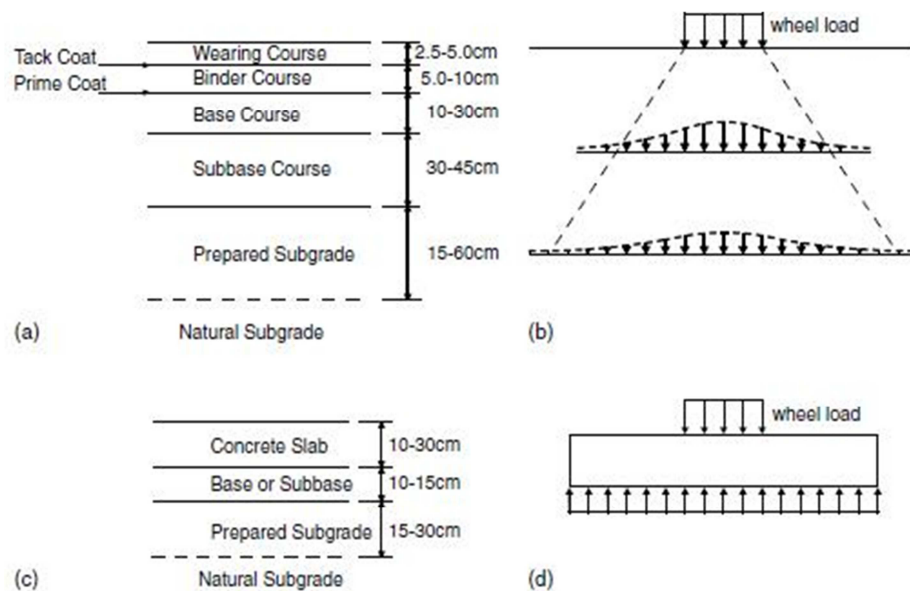
#### A. Tanah Dasar

Tanah dasar merupakan tanah asli sebagai alas jalan pada suatu lokasi, jika diperlukan material yang lebih baik dapat didatangkan atau tanah dasar dapat pula distabilisasi untuk meningkatkan kuat dukungnya. Parameter penting pada teknik perkerasan beton adalah kualitas dukungan tanah dasar yang disediakan untuk perkerasan dengan ditandai koefisien reaksi tanah dasar (*coefficient of subgrade reaction*) ( $k$ ). Koefisien ini menggambarkan konstanta pegas dari pegas khayalan yang mendukung pelat. Reaksi tanah dasar meningkat secara linier dengan lendutan pelat (Delatte, 2008). Koefisien tersebut dapat ditentukan dari uji beban pelat, atau perkiraan berdasarkan klasifikasi tanah maupun nilai CBR.

Kinerja perkerasan terutama pada stabilitas, kuat dukung, konsolidasi, dan kerentanan terhadap kelembaban akan sangat dipengaruhi oleh lapisan tanah dasar. Intensitas tegangan kerja pada tanah dasar dapat dikurangi dengan cara menambahkan satu atau lebih lapisan di antara tanah dasar dan perkerasan. Bila dibandingkan dengan perkerasan aspal, distribusi tekanan pada tanah dasar di bawah perkerasan kaku menjadi lebih kecil yang disebabkan distribusi tekanan yang lebih lebar. Kuat dukung lapisan di bawahnya menjadi kurang kritis, sehingga tidak memerlukan material fondasi yang lebih kaku kecuali untuk perkerasan yang menerima beban sangat berat (Delatte, 2008). Geometri lapis perkerasan menurut tipe perkerasan beserta diagram distribusi beban ditunjukkan pada Gambar 3.1. Untuk perkerasan lentur, tegangan maksimum terjadi tepat di

bawah beban roda dan semakin mengecil seiring semakin jauh dari beban (Gambar 3.1b). Adapun untuk perkerasan kaku, distribusi beban adalah merata dengan intensitas yang relatif sama (Gambar 3.1d).

Tanah lunak (*soft soils*) adalah semua jenis tanah berbutir halus yang mempunyai parameter: kadar air tinggi, derajat kejenuhan tinggi, angka pori dan porositas tinggi, tekanan air pori awal tinggi, sehingga tanah lunak mempunyai sifat: kuat geser rendah, dan daya mampat (potensi penurunan) besar bila terjadi peningkatan tegangan efektif (Bina Marga, 1998). Adapun lempung lunak merupakan salah satu jenis tanah lunak, umumnya pada kondisi terkonsolidasi normal. Sebaran tanah lunak di Indonesia paling luas terdapat di Pulau Irian (Provinsi Papua) dan disusul Provinsi Riau (Panduan Geoteknik Indonesia, 2001).



Gambar 3.1:

Geometri dan karakteristik transmisi beban (a) tipikal penampang perkerasan fleksibel; (b) transmisi beban pada perkerasan fleksibel; (c) tipikal penampang perkerasan kaku; (d) transmisi beban pada perkerasan kaku (Fwa dan Wei, 2006).



Dalam geoteknik terdapat dua istilah lempung lunak yaitu lempung lunak dan lempung sangat lunak. Lempung lunak mempunyai kuat geser *undrained* berkisar  $12,5 - 25 \text{ kN/m}^2$  dan tanah ini dapat dengan mudah dibentuk dengan jari tangan, sedangkan tanah lempung sangat lunak mempunyai kuat geser kurang dari  $12,5 \text{ kN/m}^2$ , bila diremas dalam kepalan tangan akan keluar di antara jari-jari tangan (Panduan Geoteknik Indonesia, 2001). Secara umum tanah lunak mempunyai sifat kompresibilitas yang tinggi dan kuat geser yang rendah. Perbandingan besaran parameter antara lempung sangat lunak dengan lempung lunak dari berbagai sumber dirangkum oleh Puri (2015) pada Tabel 3.1. Menurut Duncan, tekanan pra konsolidasi lempung lunak antara  $50 - 100 \text{ kPa}$  (Mitchel dan Soga, 2005).

Lempung lunak (*soft clay*) merupakan jenis tanah yang mengandung mineral-mineral lempung dan kadar air yang tinggi, yang menyebabkan kuat geser yang rendah (Kempfert dan Gebreselassie, 2006). Lempung lunak mempunyai keseimbangan pada beratnya sendiri, dan tidak mengalami konsolidasi sekunder yang signifikan karena formasinya. Ini ditandai dengan kemampuan lempung dalam menahan berat *overburden*-nya, dan tambahan beban lain akan menghasilkan deformasi yang relatif besar. Umumnya, lempung lebih lunak bilamana kadar air lapangan mendekati batas cairnya (*LL*) dibandingkan bila kadar air lapangan mendekati batas plastis (*PL*). Penggolongan tanah lempung berdasarkan konsistensi tanah dan korelasinya dengan rentang nilai perkiraan kuat geser *undrained*, kuat tekan babas, dan nilai N-SPT dirangkum pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1:  
Sifat-sifat lempung lunak (Puri, 2015a)

Parameter	Lempung Sangat Lunak	Lempung Lunak	Sumber
$N$ -SPT	< 2	3 – 5	Bowles (1997)
Kuat tekan bebas, $q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	< 25	25 – 50	
Modulus elastisitas, $E$ (kN/m <sup>2</sup> )	2.000 – 15.000	5.000 – 25.000	
Berat spesifik, $G_s$		2,68 – 2,75 2,58 – 2,65 <sup>#)</sup>	
Angka pori, $e$		0,9 – 1,4 2,5 – 3,2 <sup>#)</sup>	Das (1995; 2007)
Kadar air jenuh (%)		30 – 50	
Berat volume kering maksimum, $\gamma_{d\text{maks}}$ (kN/m <sup>3</sup> )		11,5 – 14,5 6 – 8 <sup>#)</sup>	
Berat volume <i>bulk</i> , $\gamma_b$ (kN/m <sup>3</sup> )		17 – 19	Carter dan Bently (1991)
Berat volume kering, $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )		11 – 14	
Porositas, $n$		0,55	Lancellotta (2009)
Angka pori, $e$		1,2	
Kadar air jenuh, $w$ (%)		45	
Berat volume <i>bulk</i> , $\gamma_b$ (kN/m <sup>3</sup> )		18	
Berat volume kering, $\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )		12	

Catatan: <sup>#)</sup>lempung organik lunak

Tabel 3.2:  
Konsistensi tanah lempung beserta perkiraan nilai  $S_u$ ,  $q_u$ , dan  $N_{70}$  (Puri, 2015a)

Konsistensi	Bowles (1997)		Day (2010)
	$N_{70}$	$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$S_u$ (kN/m <sup>2</sup> )
Sangat lunak	0 – 2	< 25	< 12
Lunak	3 – 5	25 – 50	12 – 25
Sedang	6 – 9	50 – 100	25 – 50
Kaku	10 – 16	100 – 200	50 – 100
Sangat kaku	17 – 30	200 – 400	100 – 200
Keras	> 30	> 400	>200

## B. Interaksi Tanah-Struktur Sistem Pelat Terpaku

Interaksi antara tanah dan struktur (*Soil-Structure Interaction-SSI*) terdiri dari suatu perubahan tegangan bersama antara struktur itu sendiri dan tanah fondasi. Ini berarti bahwa pergerakan sistem tanah dan struktur seluruhnya

dipengaruhi oleh tipe tanah seperti halnya tipe struktur (Wikipedia, 2009).

Kompleksitas dalam interaksi tanah-fondasi-struktur meliputi (Madhav, 2007)

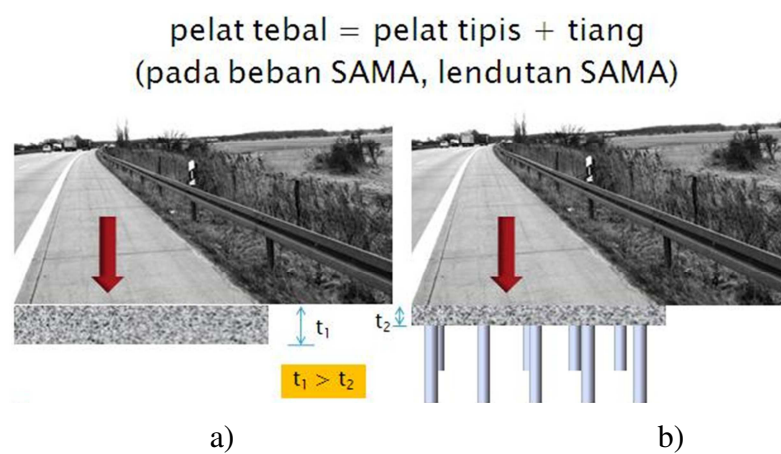
1. ketidak-pastian kondisi tanah *in situ*,
2. eksplorasi yang terbatas,
3. hakekat dari perilaku tanah yang kompleks,
4. kondisi bidang kontak (*interface*) yang sulit diprediksi,
5. sifat dasar dan kondisi dari bangunan,
6. reaksi (*response*) dari bangunan,
7. kurang simetrisnya bangunan—pengaruh 3D,
8. metode konstruksi yang bervariasi.

### **B.1 Mekanisme transfer beban pada Sistem Pelat Terpaku**

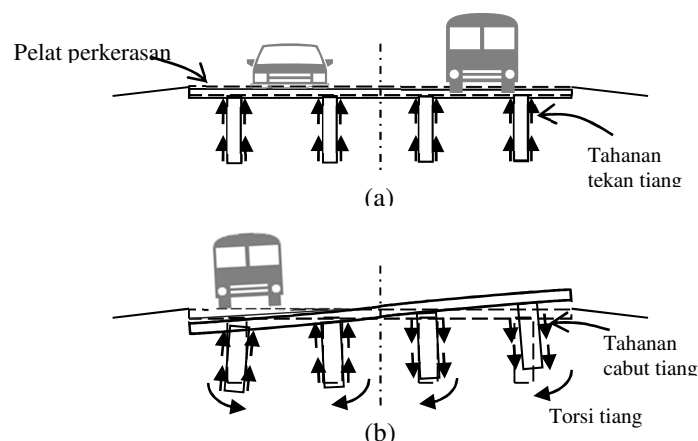
Gambar 3.2 menggambarkan analogi perkerasan kaku yang tebal digantikan oleh perkerasan kaku yang lebih tipis, namun diperkuat dengan tiang-tiang dan menerima beban yang sama dengan lendutan yang sama pula (Puri, 2015). Penggunaan *pile cap* tipis pada tanah lunak menguntungkan, karena beban yang dipikul tanah menjadi lebih ringan, sehingga penurunan dapat tereduksi (Hardiyatmo dan Suhendro, 2003).

Vibrasi besar perkerasan kaku konvensional pada tanah lunak yang mempunyai kekakuan pelat yang cukup masih dapat terjadi, yang dapat mengakibatkan kontak pelat dan tanah menjadi lemah, sehingga terbentuk rongga antara pelat perkerasan dan tanah dasar. Hal ini menyebabkan kekuatan perkerasan akan turun seiring dengan waktu, hingga perkerasan dapat mengalami

kerusakan. Berbeda pada Sistem Pelat Terpaku dimana vibrasi akan rendah. Rendahnya vibrasi disebabkan adanya tahanan angkur yang diberikan tiang seperti diilustrasikan pada Gambar 3.3 (Puri, 2015a). Ketika beban kendaraan bekerja, maka tiang-tiang memberikan perlawanan ke atas guna menghindari lendutan (Gambar 3.3a).



Gambar 3.2:  
Analogi perkerasan kaku yang tebal digantikan oleh perkerasan kaku yang lebih tipis dan diperkuat dengan tiang-tiang; a) Perkerasan kaku konvensional, b) Perkerasan Sistem Pelat Terpaku (Puri, 2015a).



Gambar 3.3:  
Ilustrasi pengaruh pemasangan tiang sebagai "paku" pada perkerasan beton akibat beban repetitif kendaraan. a) Tahanan tekan tiang, b) Tahanan angkur (Puri, 2015a).

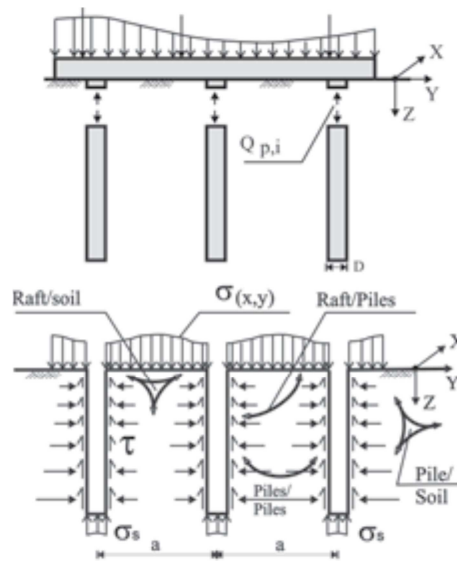
Tahanan angkur tiang dalam menahan beban merupakan kontribusi tahanan gesek tiang-tiang, atau disertai dengan momen torsi (Gambar 3.3b). Oleh karena lebar tiang yang kecil maka tahanan momen torsi tiang juga rendah. Tahanan angkur dikerahkan guna melawan gaya angkat guna menghindari jungkitan pelat. Perlawanan lain yang diberikan tanah adalah tekanan kontak antara tanah dengan sisi bawah pelat. Tekanan kontak ini akan tetap termobilisasi mengingat sistem pelat terpaku ini diharapkan menciptakan kondisi agar tidak terbentuk rongga antara pelat dan tanah.

## **B.2 Interaksi tanah-pelat-tiang**

Interaksi tanah-pelat-tiang dapat didekati dengan interaksi yang terjadi pada sistem fondasi rakit-tiang (*piled-raft foundation*). Sistem ini bertujuan untuk mereduksi penurunan maksimum dan perbedaan penurunan. Berbeda dengan fondasi rakit yang seluruh beban struktur dipikul oleh tegangan kontak rakit, dan fondasi tiang yang beban strukturnya didukung oleh tegangan kontak tiang, maka pada sistem rakit-tiang, beban struktur didukung sebagian oleh tegangan kontak rakit dan sebagian lainnya oleh tegangan kontak tiang. Mekanisme ini juga berlaku pada Sistem Pelat Terpaku.

Gambar 3.4 menggambarkan prinsip interaksi fondasi rakit-tiang (El-Mossallamy, 2008) terdiri empat interaksi umum, yaitu

- a. interaksi tiang-tanah,
- b. interaksi rakit-tanah,
- c. interaksi rakit-tiang, dan
- d. interaksi tiang-tiang.



Gambar 3.4:

Prinsip interaksi fondasi rakit-tiang (El-Mossallamy, 2008).

Distribusi beban antara rakit/ *pile cap* dan tiang terutama bergantung pada kekakuan aksial tiang, kekakuan dan ketebalan lapisan tanah di bawah rakit, dan kekakuan rakit itu sendiri (Rahardjo dan Handoko, 2003). Pada kasus tiang yang mempunyai kekakuan aksial tinggi, maka porsi utama beban aksial yang bekerja pada fondasi akan terdistribusi lebih banyak pada tiang-tiang, sementara pada kasus kekakuan tanah di bawah *pile cap* yang lebih tinggi, maka akan bekerja sebagai lapis pendukung yang signifikan dan akan menyerap lebih banyak beban. Jelaslah bahwa kekuatan menyeluruh lapis pendukung ini akan bergantung pada ketebalan lapisannya dan kedalaman zona gelembung tekanan (Rahardjo dan Handoko, 2003).

Adanya pembagian beban yang dipikul antara pelat dan tiang, maka penurunan yang mungkin terjadi juga terletak antara penurunan pelat dan penurunan fondasi tiang saja. Penurunan fondasi rakit-tiang lebih kecil daripada

penurunan fondasi rakit saja, namun sedikit lebih besar dibanding dengan penurunan fondasi tiang saja (El-Mossallamy, 2008). Tipikal hubungan beban dengan penurunan untuk sistem rakit-tiang telah dijelaskan oleh Poulos dan Davis (1980) dan Poulos (2001a).

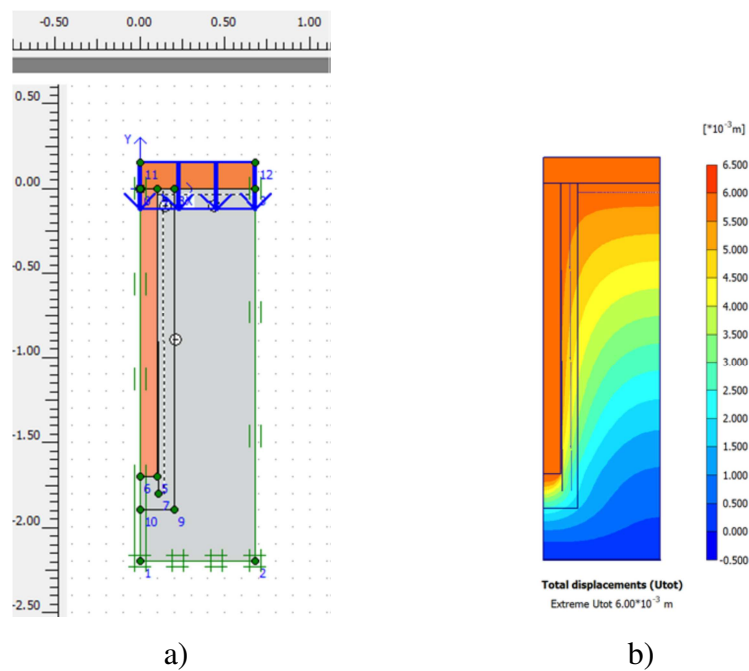
Interaksi sistem rakit tiang yang merepresentasikan analisis numerik lebih lengkap diberikan oleh Clancy dan Randolph (1996), meliputi: elemen tiang satu dimensi, respon tanah pada tiap nodal tiang (pegas beban-transfer), pelat lentur dua dimensi elemen hingga *mesh* rakit, respon tanah pada tiap nodal rakit, pengaruh interaksi tiang-tanah-tiang dihitung antara pasangan nodal, interaksi rakit-tiang-rakit, dan interaksi tiang-tanah-rakit.

Puri (2015a) menggunakan analisis elemen hingga aksisimetri pada Pelat Terpaku tiang tunggal. Pelat dan tiang menggunakan *model soil & interface* dengan input material *properties* beton (modulus elastisitas, rasio Poisson, berat volume) dan tipe perilaku elastik dan non porous. Adapun lantai kerja beton di bawah pelat juga dimodelkan dengan cara yang sama. Antara tanah dengan tiang dan lantai kerja diberi *interface*. Gambar 3.5 memperlihatkan input geometri dan salah satu hasil analisis.

### **C. Metode Elemen Hingga**

Guna memperoleh hasil rinci respons struktur akibat beban kerja maka dapat dilakukan analisis elemen hingga. Hasil-hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur yang telah dirancang terhadap persyaratan kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*), stabilitas, kemampu-layanan (*serviceability*), dan

daya tahan (*durability*). Respons struktur tersebut di antaranya berupa bentuk dan besarnya lendutan struktur, intensitas dan distribusi tegangan-regangan-*displacement* pada struktur maupun tanah, serta intensitas dan penyebaran tekanan tanah di bawah pelat maupun pada kedalaman tertentu yang ditinjau.



Gambar 3.5:

Model elemen hingga 2D aksisimetri pada analisis Sistem Pelat Terpaku: a) input geometri, b) Hasil *total displacement* (Puri, 2015a).

### C.1 Tegangan-regangan

Sistem koordinat 3 dimensi dan perjanjian tanda tegangannya diberikan pada Gambar 3.6. Tensor tegangan dapat dinyatakan dengan matriks pada sistem koordinat Cartesian sebagai

$$\underline{\underline{\sigma}} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

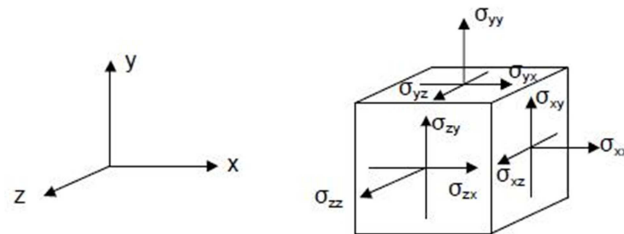


Tensor tegangan tersebut adalah simetris, karena memenuhi teori deformasi standar, yaitu  $\sigma_{xy} = \sigma_{yx}$ ,  $\sigma_{yz} = \sigma_{zy}$ , dan  $\sigma_{xz} = \sigma_{zx}$ . Maka hanya ada 6 komponen yang berbeda, sehingga dapat ditulis dalam bentuk notasi vektor yaitu

$$\underline{\underline{\sigma}} = (\sigma_{xx} \ \sigma_{yy} \ \sigma_{zz} \ \sigma_{xy} \ \sigma_{yz} \ \sigma_{zx})^T \quad (3.2)$$

sesuai prinsip Terzaghi bahwa tegangan-tegangan di dalam tanah dibedakan ke dalam tegangan efektif,  $\underline{\underline{\sigma'}}$  dan tekanan pori,  $\underline{\underline{\sigma_w}}$ , maka

$$\underline{\underline{\sigma}} = \underline{\underline{\sigma'}} + \underline{\underline{\sigma_w}} \quad (3.3)$$



Gambar 3.6 Sistem koordinat 3 dimensi dan peranjian tanda tegangannya (Plaxis 3D).

Tekanan pori disebabkan oleh keberadaan air di dalam pori-pori tanah. Air dianggap tidak mempunyai tegangan geser, sehingga tegangan geser efektif sama dengan tegangan geser total. Air dipertimbangkan sebagai material yang isotropik sempurna, sehingga seluruh komponen tegangannya bernilai sama dan cukup diwakili dengan nilai  $p_w$ . Tegangan normal positif mempunyai makna tarik, sedangkan tegangan normal negatif mempunyai arti tekanan.

Tegangan efektif prinsipal ditentukan dengan cara berikut

$$\det(\underline{\underline{\sigma'}} - \underline{\underline{\sigma'}} \underline{\underline{I}}) = 0 \quad (3.4)$$

dengan  $\underline{I}$  adalah matriks *identity*. Persamaan ini memberikan tiga solusi tegangan efektif prinsipal yaitu  $(\sigma_1', \sigma_2', \sigma_3')$  yang di dalam Program Plaxis disusun dalam bentuk *algebraic order*, yaitu

$$\sigma_1' \geq \sigma_2' \geq \sigma_3' \quad (3.5)$$

Tegangan prinsipal juga sangat baik ditentukan dengan menggunakan invarian tegangan yang tidak bergantung pada orientasi sistem koordinat.

Adapun tensor regangan dapat dinyatakan dengan sebuah matriks yang menggunakan koordinat Cartesian, yaitu

$$\underline{\underline{\varepsilon}} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Regangan tersebut merupakan turunan dari komponen *displacement* seperti  $\varepsilon_{ij} = \partial_{ui}/\partial_i$ , dengan  $i$  adalah salah satu dari  $x$ ,  $y$ , atau  $z$ . Berdasarkan teori deformasi kecil (*small deformation theory*), hanya jumlah kelengkapan komponen regangan geser Cartesian  $\varepsilon_{ij}$  dan  $\varepsilon_{ji}$  menghasilkan tegangan geser. Jumlah tersebut dinamakan regangan geser ( $\gamma$ ). Komponen regangan pada Persamaan (3.70) dapat digantikan dengan komponen regangan geser. Pada kondisi ini, regangan sering dinyatakan dengan notasi vektor yang hanya melibatkan 6 komponen berbeda, yaitu

$$\underline{\underline{\varepsilon}} = (\varepsilon_{xx} \ \varepsilon_{yy} \ \varepsilon_{zz} \ \gamma_{xy} \ \gamma_{yz} \ \gamma_{zx})^T \quad (3.7)$$

$$\text{dengan } \varepsilon_{xx} = \frac{\partial u_x}{\partial x}, \varepsilon_{yy} = \frac{\partial u_y}{\partial y}, \varepsilon_{zz} = \frac{\partial u_z}{\partial z}, \gamma_{xy} = \varepsilon_{xy} + \varepsilon_{yx} = \frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x},$$

$$\gamma_{yz} = \varepsilon_{yz} + \varepsilon_{zy} = \frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y}, \gamma_{zx} = \varepsilon_{zx} + \varepsilon_{xz} = \frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z}$$

Sama halnya dengan tegangan, maka pada regangan juga berlaku ketentuan bahwa regangan normal positif mempunyai makna tarik, sedangkan regangan normal negatif mempunyai arti tekanan.

Analogi dengan invarian tegangan, maka regangan juga dapat ditentukan dengan invarian regangan, yang sering digunakan berupa regangan volumetrik ( $\varepsilon_v$ ) sebagai jumlah seluruh komponen regangan normal

$$\varepsilon_v = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \quad (3.8)$$

Regangan volumetrik dinyatakan sebagai negatif untuk kompresi dan positif untuk dilatasi. Untuk model elastoplastis, regangan dipisah ke dalam komponen elastis dan plastis, yaitu

$$\underline{\varepsilon} = \underline{\varepsilon}^e + \underline{\varepsilon}^p \quad (3.9)$$

*Superscript e* untuk menyatakan regangan elastis dan *p* untuk regangan plastis.

## C.2 Model konstitutif tanah

### C.2.1 Model elastis linier

Umumnya model material tanah dan batuan dinyatakan sebagai hubungan antara peningkatan infinitesimal tegangan efektif (kecepatan tegangan efektif) dan peningkatan infinitesimal regangan efektif (kecepatan regangan efektif), dan dinyatakan dengan

$$\underline{\dot{\sigma}}' = \underline{\underline{M}} \underline{\dot{\varepsilon}} \quad (3.10)$$

dengan  $\underline{\underline{M}}$  : matriks kekakuan material.

Dalam pendekatan ini, tekanan air pori secara eksplisit dikeluarkan dari hubungan tegangan-regangan. Plaxis didasarkan pada Hukum Hooke (Persamaan

3.11) untuk perilaku elastis linier isotropik dan disediakan pada model elastis linier yang sekaligus sebagai dasar untuk model-model lainnya. Notasi matriks kekakuan material elastis sering dinyatakan dengan  $\underline{D}^e$ .  $E'$  adalah modulus elastisitas efektif dan  $\nu'$  adalah rasio Poisson efektif, namun kedua simbol ini pada Plaxis tanpa menggunakan tanda ( $'$ ).

$$\begin{bmatrix} \dot{\sigma}'_{xx} \\ \dot{\sigma}'_{yy} \\ \dot{\sigma}'_{zz} \\ \dot{\sigma}'_{xy} \\ \dot{\sigma}'_{yz} \\ \dot{\sigma}'_{zx} \end{bmatrix} = \frac{E'}{(1-2\nu')(1+\nu')} \begin{bmatrix} 1-\nu' & \nu' & \nu' & 0 & 0 & 0 \\ \nu' & 1-\nu' & \nu' & 0 & 0 & 0 \\ \nu' & \nu' & 1-\nu' & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}-\nu' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}-\nu' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}-\nu' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\epsilon}'_{xx} \\ \dot{\epsilon}'_{yy} \\ \dot{\epsilon}'_{zz} \\ \dot{\epsilon}'_{xy} \\ \dot{\epsilon}'_{yz} \\ \dot{\epsilon}'_{zx} \end{bmatrix}$$

(3.10)

Sesuai dengan Hukum Hooke, maka diperoleh hubungan berikut

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (3.11)$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad (3.12)$$

$$E_{oed} = \frac{(1-\nu)E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \quad (3.13)$$

Dengan  $G$  : modulus geser,  $K$  : modulus *bulk*, dan  $E_{oed}$  : parameter alternatif yang dihitung secara otomatis oleh program Plaxis berdasarkan input  $E$  dan  $\nu$ .

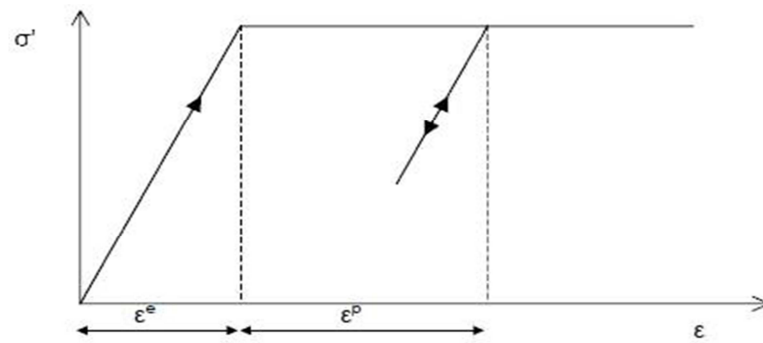
Model elastis linier tidak cocok untuk memodelkan tanah dengan perilaku yang sangat tidak linier, namun berguna untuk simulasi perilaku struktur seperti dinding beton yang tebal ataupun pelat dengan sifat kekuatannya sangat tinggi dibanding tanah. Jika dipakai untuk memodelkan elemen struktur, maka model ini

berpasangan dengan perilaku material dengan tipe *non-porous* yang tidak memperhitungkan sifat *excess pore pressure* dari elemen material.

### C.2.2 Model Mohr-Coulomb

Prinsip dasar elastoplastisitas adalah regangan dipisahkan ke dalam bagian elastis dan plastis (Persamaan 3.9), dan hal yang sama pada kecepatan regangan. Gambar 3.7 merepresentasikan hal tersebut. Substitusi Persamaan (3.9) ke Persamaan (3.11) diperoleh

$$\underline{\dot{\sigma}}' = \underline{\underline{D}}^e \underline{\dot{\epsilon}}^e = \underline{\underline{D}}^e (\underline{\dot{\epsilon}} - \underline{\dot{\epsilon}}^p) \quad (3.14)$$



Gambar 3.7:

Ide dasar model elastis plastis sempurna (Plaxis 3D).

Kondisi leleh Mohr-Coulomb yang termobilisasi penuh terdiri atas enam fungsi leleh, bila diformulasikan dalam bentuk tegangan-tegangan prinsipal, yakni

$$f_{1a} = \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_3)\sin\phi - c\cos\phi \leq 0 \quad (3.15a)$$

$$f_{1b} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_2) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_2)\sin\phi - c\cos\phi \leq 0 \quad (3.15b)$$

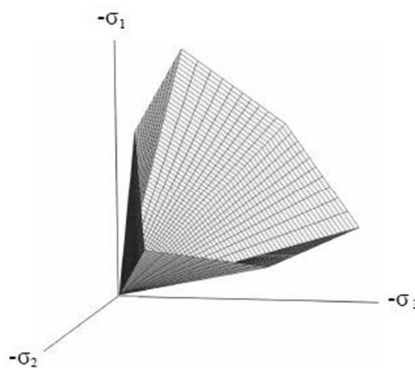
$$f_{2a} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_1) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_1)\sin\phi - c\cos\phi \leq 0 \quad (3.15c)$$

$$f_{2b} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3)\sin\phi - c\cos\phi \leq 0 \quad (3.15d)$$

$$f_{3a} = \frac{1}{2}(\sigma_1' - \sigma_2') + \frac{1}{2}(\sigma_1' + \sigma_2')\sin\phi - c\cos\phi \leq 0 \quad (3.15e)$$

$$f_{3b} = \frac{1}{2}(\sigma_2' - \sigma_1') + \frac{1}{2}(\sigma_2' + \sigma_1')\sin\phi - c\cos\phi \leq 0 \quad (3.15f)$$

Dua parameter model plastis yang muncul pada kondisi leleh adalah sudut gesek ( $\phi$ ) dan kohesi ( $c$ ). Dalam hal fungsi leleh tiap individual persamaan di atas memenuhi kondisi  $f_i = 0$ , maka seluruh fungsi leleh tersebut secara bersama menggambarkan sebuah kerucut heksagonal di dalam ruang tegangan prinsipal, seperti pada Gambar 3.8. Untuk tanah padat, maka peningkatan regangan volumetrik plastis positif digunakan fungsi potensial plastis yang juga terdiri atas 6 komponen.



Gambar 3.8:  
Permukaan leleh Mohr-Coulomb di dalam tegangan utama  
(Plaxis 3D).

Model Mohr-Coulomb memerlukan sebanyak 5 parameter dasar yang dapat ditentukan dengan pengujian dasar pada contoh tanah. Kelima parameter tersebut adalah:  $E$  : modulus Young ( $\text{kN/m}^2$ ),  $\nu$  : rasio Poisson,  $\phi$  : sudut gesek ( $^\circ$ ),  $c$  : kohesi ( $\text{kN/m}^2$ ), dan  $\psi$  : sudut dilatasi ( $^\circ$ ). Modulus tangen ( $E_0$ ) digunakan bilamana material mempunyai rentang elastis linier yang besar, dan untuk

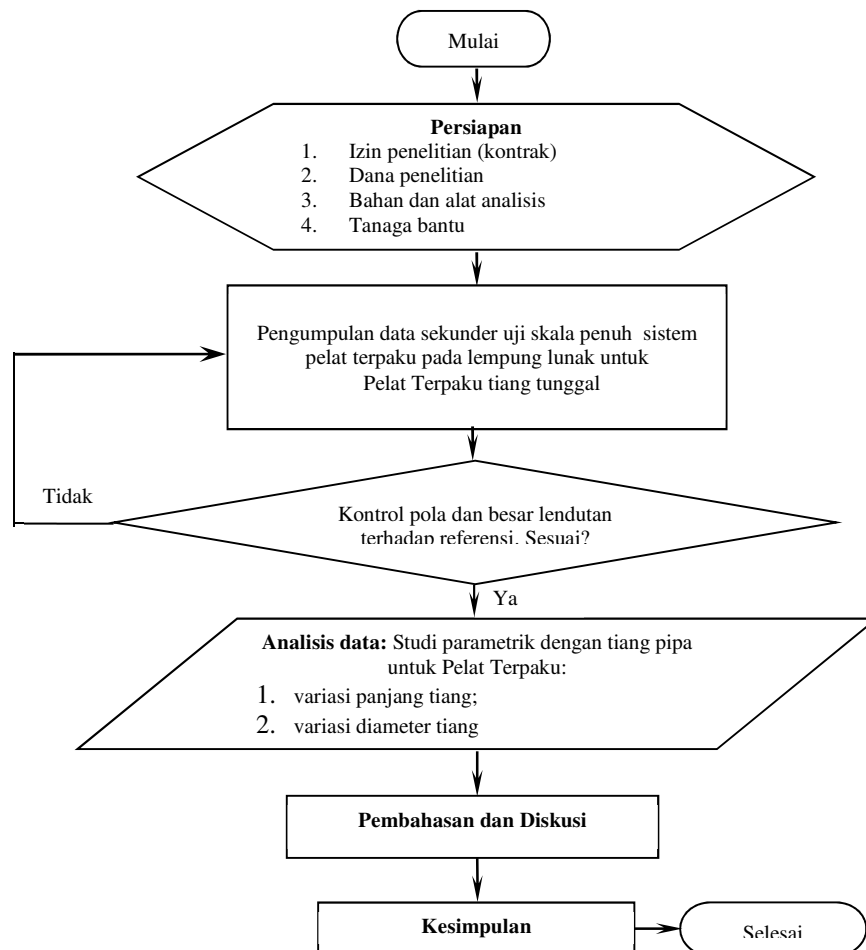
pembebanan tanah umumnya digunakan modulus sekan pada 50% kekuatan material ( $E_{50}$ ). Pada kondisi *unloading* seperti terowongan dan ekskavasi, maka diperlukan  $E_{ur}$ . Adapun parameter keruntuhan model ini adalah  $c$ ,  $\phi$ , dan  $\psi$ .

Nilai rasio Poisson yang lebih rendah digunakan pada kondisi *unloading*, serta tanah lunak atau *loose*. Program Plaxis dapat pula menangani tanah pasir non kohesif ( $c = 0$ ). Guna menghindari kesulitan analisis dianjurkan menggunakan kohesi yang rendah (misalnya  $c = 0,2$  kPa). Untuk sudut gesek internal yang rendah dipakai untuk tanah kohesif jenuh ataupun lunak, dan sudut gesek yang lebih besar untuk pasir padat. Pada tanah yang terkonsolidasi sangat berlebihan, termasuk lempung cenderung mempunyai dilatansi yang kecil ( $\psi \approx 0$ ). Dilatansi pasir bergantung pada kepadatan dan sudut gesek yang besarnya dapat ditentukan sebagai  $\psi = \phi - 30^\circ$ , sedangkan untuk  $\phi < 30^\circ$ , maka sudut dilatansi kebanyakannya adalah nol. Untuk pasir lepas kondisi ekstrim dapat digunakan nilai  $\psi$  yang negatif. Model Mohr-Coulomb ini sudah cukup memadai untuk analisis penurunan elastis pada lempung lunak maupun pasir.

## IV. METODE PENELITIAN

### A. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data hasil uji skala penuh Sistem Pelat Terpaku pada lempung lunak (Puri, 2015a) khusus untuk Pelat Terpaku tiang tunggal. Bagan alir studi parametrik perkerasan Sistem Pelat Terpaku menggunakan tiang pipa, secara keseluruhan diberikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1:  
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 tiang tunggal. Dalam hal ini, tiang beton masif diganti dengan tiang pipa baja. Variabel analisis diberikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1:  
Variabel analisis

No.	Item	Variabel
1	Tiang pipa baja	Variasi diameter tiang
		Variasi panjang tiang

Indikator berupa hasil analisis secara numerik atas perilaku Sistem Pelat Terpaku yang menggunakan tiang pipa.

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

### **B. Data Konstruksi Sistem Pelat Terpaku dengan Tiang Beton Masif**

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 4.2. 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/m<sup>2</sup>, 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.

### **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  $4.700\sqrt{f'_c}$ .

Tabel 4.2:  
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, $\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	16,32
7	Berat volume kering, $\gamma_d$	kN/m <sup>3</sup>	10,90
8	Kuat geser <i>undrained</i> , $S_u$		
	- Tak terganggu	kN/m <sup>2</sup>	20,14
	- <i>Remolded</i>	kN/m <sup>2</sup>	11,74
9	Kuat tekan bebas, $q_u$	kN/m <sup>2</sup>	37,20
10	CBR lapangan	%	0,83
11	Klasifikasi tanah:		
	- AASHTO	-	A-7-6
	- USCS	-	CH

### C. Cara Analisis

Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga aksisimetri 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 dimodelkan sebagai elemen *soil & interface* namun dengan parameter input material ekuivalen dari bahan pelat baja dan tanah di dalam tiang, dimana model material elastik dengan perilaku non porous. Untuk tanah menggunakan model Mohr-Coulomb perilaku *undrained*.

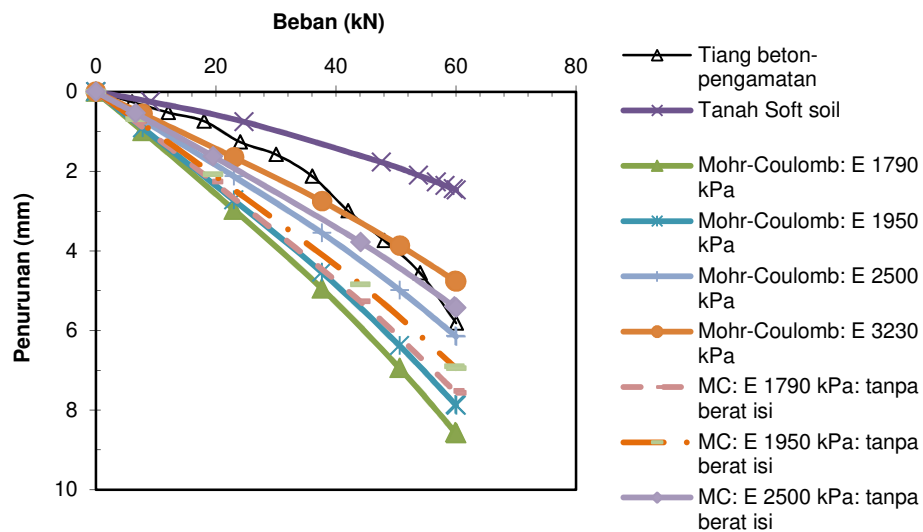
## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Model dan Properties Material

Data dan model material dalam analisis numerik menggunakan metode elemen hingga diberikan pada Tabel 5.1. Analisis *path test* pada material model dilakukan menggunakan data material pada Puri (2015a) dimana tanah adalah lempung lunak dan tiang berbahan beton bertulang. Tanah menggunakan model Mohr-Coulomb dan dibandingkan dengan model Soft-Soil dengan perilaku material *undrained* sedangkan pelat dan rantai kerja menggunakan model elastik dengan perilaku material non porous. Variasi pengaruh berat volume pelat dan tiang juga dilakukan. Oleh karena Pelat Terpaku tiang tunggal, maka tipe analisis adalah aksisimetri. Setelah dilakukan analisis *path test*, diperoleh model tanah yang lebih tepat adalah model Mohr-Coulomb berperilaku *undrained* pada modulus elastisitas tanah  $2.500 \text{ kN/m}^2$  seperti ditunjukkan pada Gambar 5.1. Analisis dengan memperhitungkan berat isi tiang dan pelat lebih mendekati pengamatan. Selanjutnya model dan parameter ini digunakan untuk analisis model Pelat Terpaku yang menggunakan tiang pipa baja. Untuk model dan nilai yang lainnya memberikan hasil lendutan cenderung *over-estimated* dan *under-estimated*.

Tabel 5.1:  
Model dan parameter material pada analisis aksisimetri

Parameter	Nama/ Notasi	Tanah	Lantai kerja	Pelat	Satuan
Model material	Model	Mohr-Coulomb	<i>Elastic</i>	<i>Elastic</i>	-
Perilaku material	Tipe	<i>Undrained</i>	<i>Non porous</i>	<i>Non porous</i>	-
Berat volume terendam	$\gamma_{sat}$	16,30	22	24	kN/m <sup>3</sup>
Berat volume kering	$\gamma_d$	10,90	-	-	kN/m <sup>3</sup>
Modulus Young's	$E$	2.500,00	17.900.000	25.300.000	kPa
Rasio Poisson's	$\nu$	0,45	0,20	0,15	-
Kohesi <i>undrained</i>	$c_u$	20,00	-	-	kPa
Sudut gesek internal	$\phi$	1,00	-	-	°
Sudut dilatasi	$\psi$	0,00	-	-	°
Kadar pori awal	$e_0$	1,19	-	-	-
<i>Interface strength ratio</i>	$R$	0,50	0,80	0,80	-



Gambar 5.1:  
Hubungan  $P$ - $\delta$  pada analisis *patch test* Pelat Terpaku tiang beton tunggal.

Adapun ukuran tiang pipa bervariasi dari ukuran 0,20 m, 0,30 m, 0,60 m, dan 0,80 m. Dimensi penampang tiang pipa diberikan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2:  
Tebal tiang pipa baja untuk berbagai diameter (idpipe.com, 2014)

Diameter (cm)	Tebal	
	(m)	(mm)
d-15	0,00711	7,11
d-20	0,00818	8,18
d-30	0,01031	10,31
d-60	0,01748	17,48
d-80	0,01748	17,48

Dalam pelaksanaan pemancangan tiang pipa baja pada tanah lunak, memungkinkan tanah masuk ke dalam pipa. Maka selanjutnya dianggap tanah tersebut sebagai bagian tiang. Tiang baja mempunyai modulus elastisitas 210.000.000 kN/m<sup>2</sup> sedangkan tanah sebesar 2.500 kN/m<sup>2</sup>. Selanjutnya modulus tiang dan tanah tersebut diambil modulus ekuivalen ( $E_{eki}$ ) yang dihitung menggunakan persamaan berikut

$$E_{eki} = \frac{(E_s A_s) + (E_p A_p)}{A_t} \quad (5.1)$$

Dimana  $E_s$  : modulus elastisitas tanah (kN/m<sup>2</sup>),  $A_s$  : luas penampang tanah (m<sup>2</sup>),  $E_p$  : modulus elastisitas tiang (kN/m<sup>2</sup>),  $A_p$  : luas penampang tiang (m<sup>2</sup>),  $A_t$  : luas penampang total pipa dan tanah (m<sup>2</sup>). Hasil hitungan modulus tiang-tanah ekuivalen diberikan pada Tabel 5.3. Rasio kekuatan bidang kontak  $R_{inter} = 0,50$  antara tanah dan baja.

Tabel 5.3:  
Modulus tiang-tanah ekivalen

Tiang			Luas total tanah dan tiang, $A_t$ ( $m^2$ )	Luas tanah dalam tiang, $A_s$ ( $m^2$ )	Modulus tiang-tanah, $E_{eki}$ ( $kN/m^2$ )	
Dia. Tiang (cm)	Tebal (mm)	Luas penampang tiang, $A_p$ ( $m^2$ )			Hitungan	Dibulatkan
20	8,18	0,0205	0,0314	0,0110	136.651.863	136.650.000
30	10,31	0,0403	0,0707	0,0305	119.538.654	119.538.000
60	17,48	0,1408	0,2829	0,1421	104.537.482	104.537.000
80	17,48	0,1957	0,5029	0,3071	81.745.654	81.745.000

## B. Hubungan Beban dan Lendutan

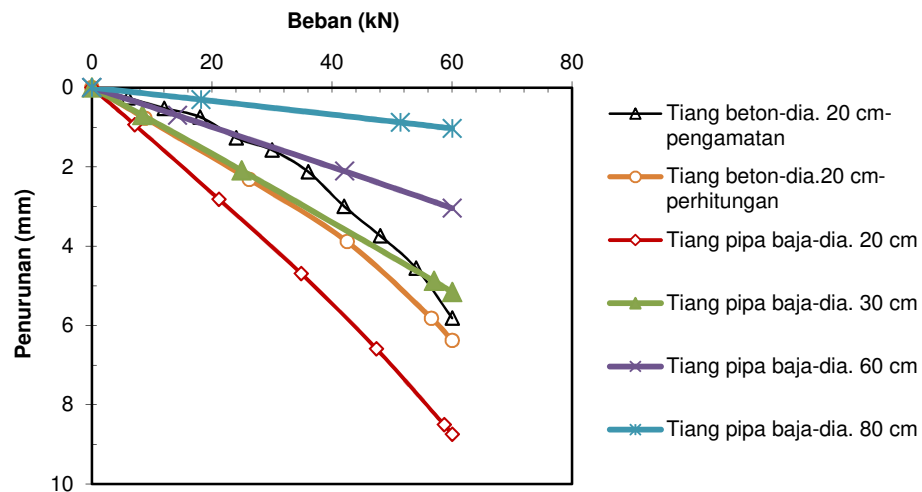
Hasil hitungan lendutan berdasarkan dimensi dan sifat material pada sub bab A terhadap diameter dan panjang tiang diberikan pada bagian berikut.

### B.1 Pengaruh Diameter Tiang Pipa

Telah diuraikan pada bagian A bahwa ukuran Pelat Terpaku tiang tunggal uji lapangan adalah diameter tiang 0,20 m dan panjang 1,50 m serta lebar pelat 1,20 m, sehingga dengan variasi diameter tiang yang semakin membesar maka lebar pelat yang dibutuhkan juga bertambah. Oleh karena diameter tiang bervariasi dari ukuran 0,20 m, 0,30 m, 0,60 m, dan 0,80 m, maka ukuran lebar pelat juga menyesuaikan dengan diameter tiang. Lebar pelat untuk diameter 0,30 m adalah 1,50 m, selanjutnya untuk diameter 0,60 m, dan 0,80 m masing-masing lebar pelat adalah 1,80 m dan 2,40 m. Gambar 5. 2 memperlihatkan hubungan beban-penurunan  $P$ - $\delta$  pelat.

Terlihat pada Gambar 5.2 bahwa peningkatan diameter tiang dapat mereduksi penurunan, dalam hal ini semua tiang mempunyai panjang 1,50 m.

Peningkatan diameter tiang meningkatkan luas bidang kontak tanah dan selimut tiang, sehingga tahanan gesek meningkat. Hal yang sama, peningkatan diameter tiang memperbesar luas penampang ujung tiang, sehingga tahanan ujung meningkat. Namun demikian, untuk tiang yang berdiameter lebih besar dapat pula dikurangi panjangnya, tentu dengan memperhatikan bahwa penurunan masih dalam batas toleransi. Untuk seluruh diameter tiang, pada beban roda tunggal 40 kN terlihat penurunan pelat masih di bawah penurunan maksimum izin 5 mm, kecuali untuk tiang pipa diameter 20 cm sedikit di atas penurunan maksimum izin.



Gambar 5.2:  
Hubungan beban-penurunan  $P-\delta$  pelat untuk berbagai variasi diameter tiang.

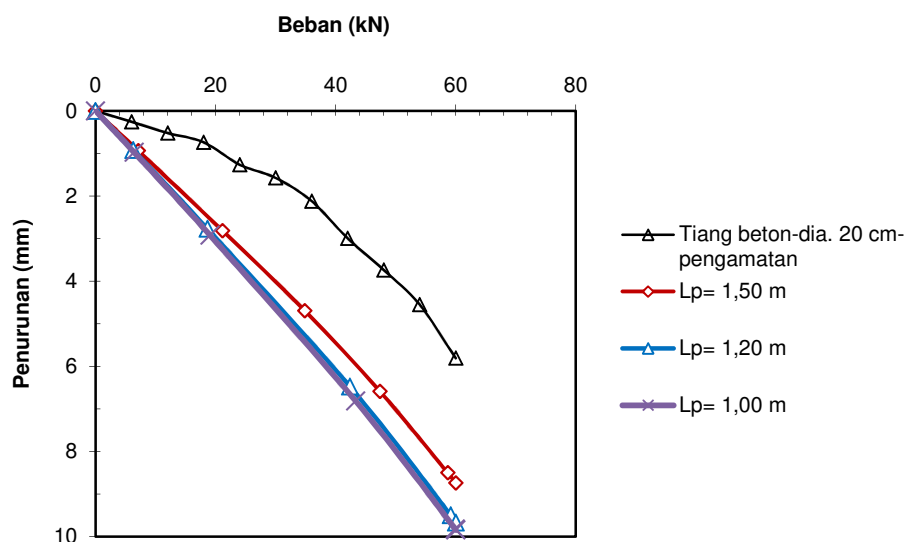
## B.2 Pengaruh Panjang Tiang Pipa

Gambar 5.3 sampai dengan Gambar 5.6 memperlihatkan hubungan beban-penurunan  $P-\delta$  pelat pada berbagai variasi panjang tiang untuk diameter tiang berturut-turut 20 cm, 30 cm, 60 cm, dan 80 cm. Peningkatan panjang tiang untuk

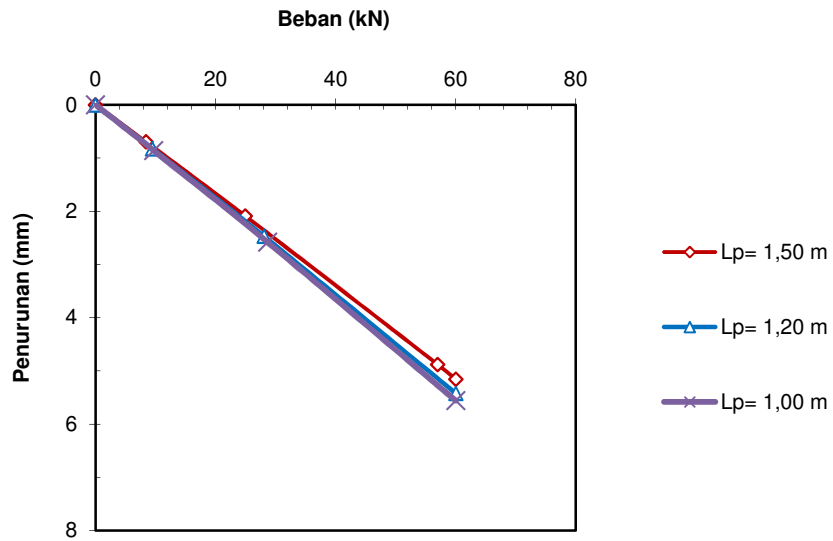


semua diameter tiang dapat mereduksi penurunan. Peningkatan panjang tiang meningkatkan luas bidang kontak tanah dan selimut tiang, sehingga tahanan gesek tiang meningkat. Untuk tiang berdiameter 20 cm (Gambar 5.3), panjang tiang 1,20 m dan 1,00 m memberikan reduksi penurunan yang kurang signifikan dibanding panjang tiang 1,50 m. Perilaku serupa juga berlaku pada diameter lainnya (Gambar 5.4, 5.5, dan 5.6).

Hal yang sama, peningkatan diameter tiang memperbesar luas penampang ujung tiang, sehingga tahanan ujung meningkat. Namun demikian, untuk tiang yang berdiameter lebih besar dapat pula dikurangi panjangnya, tentu dengan memperhatikan bahwa penurunan masih dalam batas toleransi. Untuk seluruh diameter tiang, pada beban roda tunggal 40 kN terlihat penurunan pelat masih di bawah penurunan maksimum izin 5 mm, kecuali tiang dengan diameter 20 cm cenderung melebihi 5 mm dengan semakin pendeknya tiang.

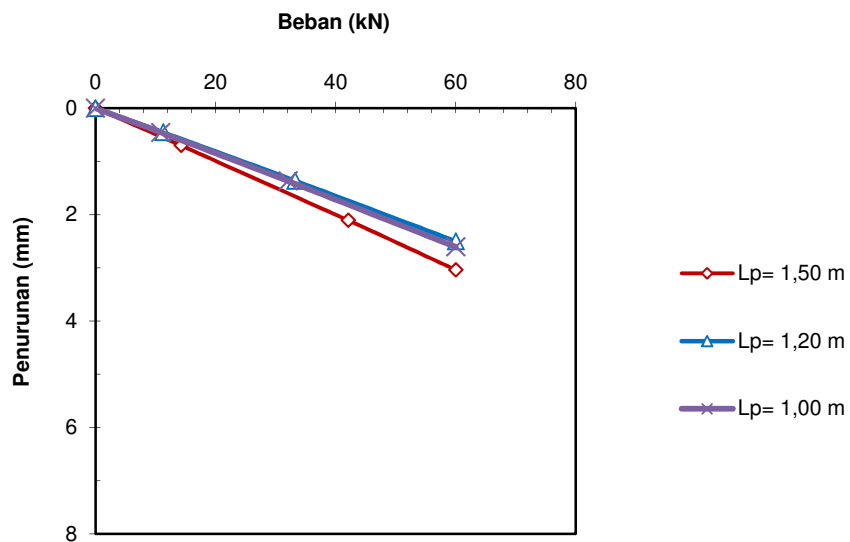


Gambar 5.3:  
Hubungan beban-penurunan  $P-\delta$  pelat untuk variasi panjang tiang diameter 20 cm.



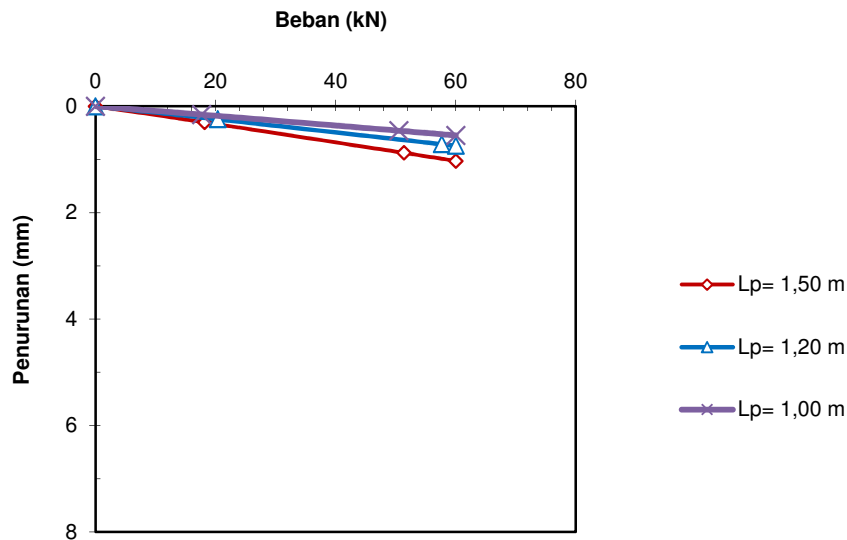
Gambar 5.4:

Hubungan beban-penurunan  $P-\delta$  pelat untuk variasi panjang tiang diameter 30 cm.



Gambar 5.5:

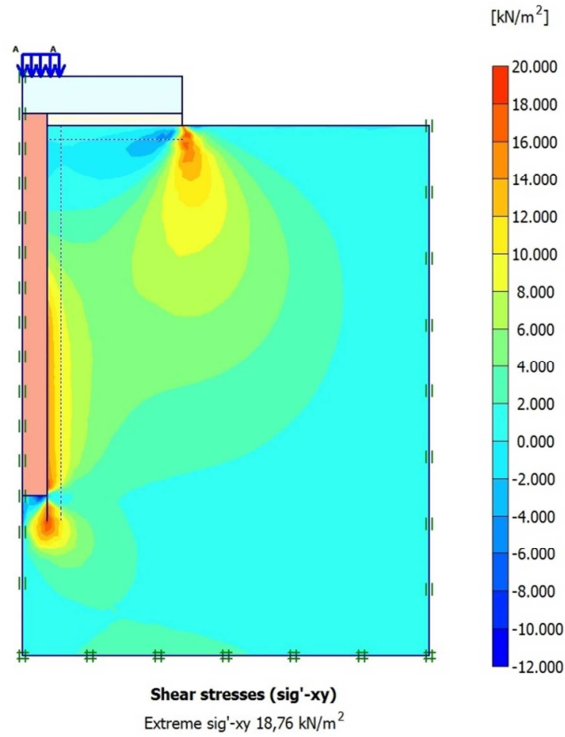
Hubungan beban-penurunan  $P-\delta$  pelat untuk variasi panjang tiang diameter 60 cm.



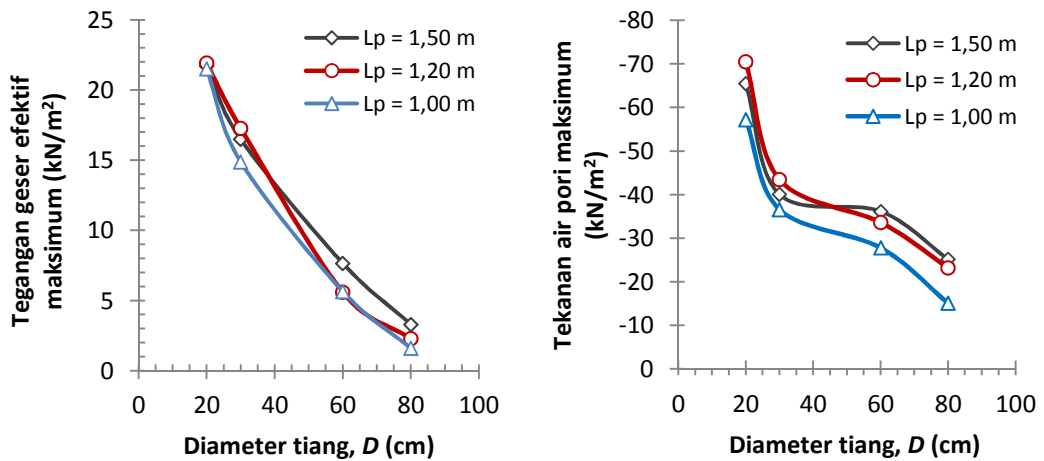
Gambar 5.6:  
Hubungan beban-penurunan  $P-\delta$  pelat untuk variasi panjang tiang diameter 80 cm.

### C. Perilaku Bidang Kontak Tanah dan Tiang

Tegangan geser efektif yang berkembang pada tanah di sekitar tiang pipa diameter 20 cm dan panjang 1,50 m akibat beban sentris pada Pelat Terpaku tiang tunggal terlihat pada Gambar 5.7. Tegangan geser efektif maksimum bekerja sebesar  $18,76 \text{ kN/m}^2$  tidak melampaui kuat geser *undrained* lempung sebesar  $20 \text{ kN/m}^2$ . Secara umum tanah tidak mengalami keruntuhan. Tepat pada daerah baji di bawah ujung tiang, terjadi tegangan geser tekan. Adapun tegangan geser tarik terjadi di sepanjang tiang dan menerus sedalam  $D$  di bawah dasar tiang, serta di sekitar sisi bawah tepi pelat. Tegangan geser tersebut meningkat dengan kedalaman. Gambar 5.8a memperlihatkan hubungan tegangan geser efektif maksimum tanah terhadap variasi diameter tiang untuk berbagai panjang tiang dan Gambar 5.8b untuk tekanan air pori. Tegangan-tegangan tersebut untuk di sekitar bawah ujung tiang.



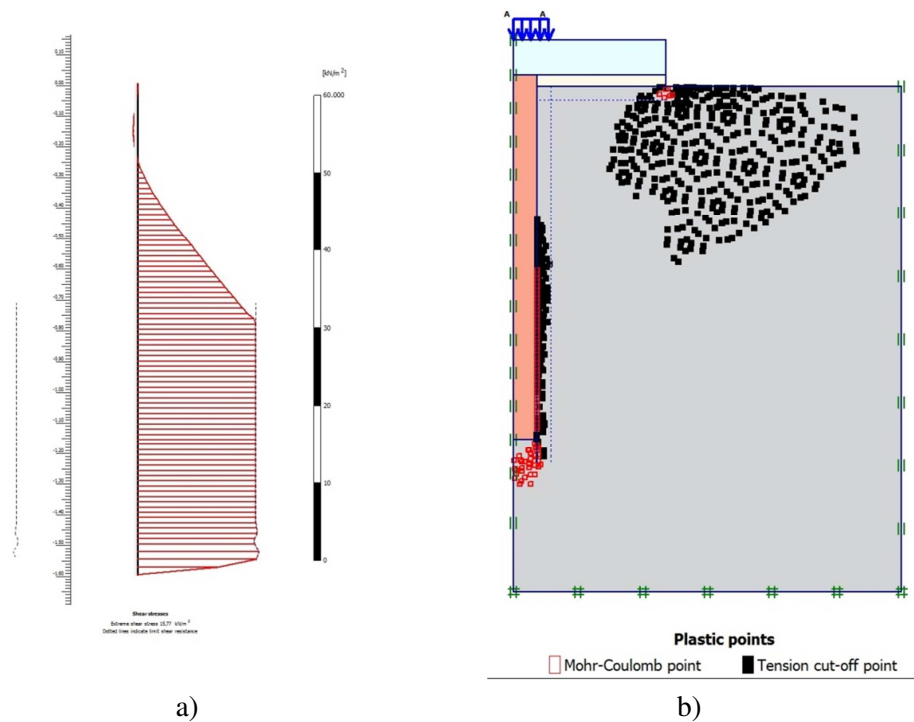
Gambar 5.7:  
Tegangan geser akibat beban sentris 60 kN untuk tiang pipa diameter 0,20 m.



Gambar 5.8:  
Tegangan tanah untuk berbagai panjang tiang pada beban  $P = 60$  kN; a) Tegangan geser efektif maksimum, b) Tekanan air pori.

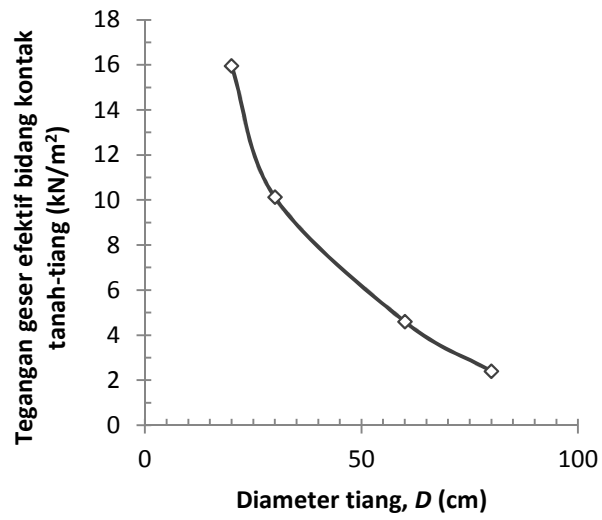
Terlihat bahwa peningkatan diameter tiang cenderung menurunkan tegangan geser yang dipikul tanah, dan tiang yang lebih panjang tegangan geser cenderung menurun (Gambar 5.8a). Perilaku serupa juga terjadi pada tekanan air pori, dimana peningkatan diameter tiang mengurangi tekanan air pori. Variasi panjang tiang yang ada cukup berpengaruh terhadap reduksi tekanan air pori (Gambar 5.8b). Mengacu ke perubahan tekanan air pori ini, penggunaan diameter tiang antara 30 cm sampai dengan 60 cm sudah memadai dengan panjang tiang 1,20 m.

Gambar 5.9 menyajikan tegangan geser pada bidang kontak tanah-tiang. Tegangan geser maksimum yang bekerja di bidang kontak sebesar  $15,95 \text{ kN/m}^2$ , melampaui kondisi ultimit  $10,00 \text{ kN/m}^2$  ( $=R_{\text{inter}}c_u = 0,5 \times 20$ ). Tegangan geser meningkat dengan kedalaman dan maksimum mulai dari  $0,5L_p$  sampai ujung tiang (Gambar 5.9a). Garis putus-putus di sebelah kiri dan kanan diagram tegangan geser pada Gambar 5.9a adalah tahanan geser batas (*limit shear resistance*). Keruntuhan pada bidang kontak dibuktikan pula dengan terjadinya *tension cut-off* pada area tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 5.9b. Selain itu, tanah di bawah tepi pelat mengalami tegangan tarik dimana terjadi *tension cut-off*. Hasil ini adalah untuk beban  $P = 60 \text{ kN}$ , bilamana beban lebih rendah maka tegangan tersebut tentu akan turun.

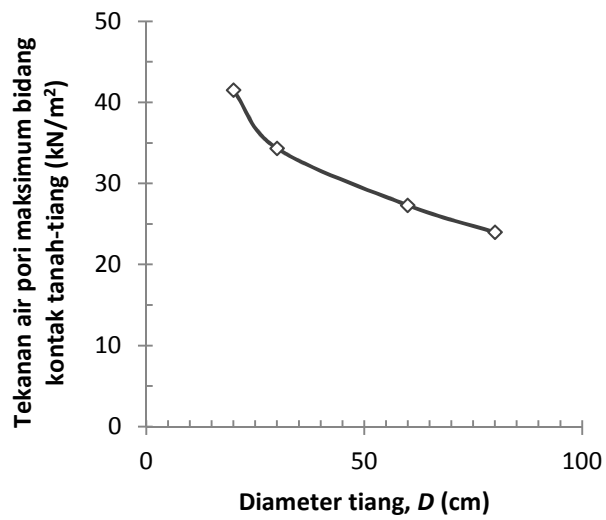


Gambar 5.9:  
 Perilaku bidang kontak tanah dan tiang diameter 20 cm dan panjang 1,50 m akibat beban sentris 60 kN; a) Tegangan geser, b) Titik plastis.

Gambar 5.10a memperlihatkan pengaruh diameter tiang terhadap tegangan geser bidang kontak tanah-tiang. Tegangan geser tersebut cenderung menurun dengan peningkatan diameter tiang. Mulai dari tiang berdiameter 30 cm, tegangan geser tidak melampaui kuat geser tanah. Dengan demikian Sistem Pelat Terpaku ini semakin aman dengan semakin besarnya diameter tiang. Hal ini juga dibuktikan dengan menurunnya tekanan air pori sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.10b.



a)



b)

Gambar 5.10:

Pengaruh diameter tiang dengan panjang tiang 1,50 m untuk beban 60 kN terhadap: a) tegangan geser bidang kontak, b) tekanan air pori bidang kontak.

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Bahwa tiang pipa baja dapat digunakan sebagai paku pada perkerasan Sistem Pelat Terpaku,
2. Peningkatan diameter dan panjang tiang dapat mereduksi penurunan pelat perkerasan, dimana penurunan pelat pada beban roda tunggal 40 kN masih di bawah penurunan maksimum izin 5 mm,
3. Tegangan geser efektif maksimum bekerja pada tanah tidak melampaui kuat geser *undrained* tanah. Secara umum tanah tidak mengalami keruntuhan,
4. Peningkatan diameter dan panjang tiang dapat mereduksi tegangan geser efektif dan tekanan air pori tanah dan bidang kontak tanah-tiang,
5. 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.

### B. Saran

Berdasarkan kesimpulan tersebut dapat disarankan bahwa tiang pipa baja dapat digunakan sebagai alternatif paku pada perkerasan Sistem Pelat Terpaku, namun masih perlu diteliti bagaimana hubungan antara tiang pipa dan pelat beton perkerasan, serta aspek daya tahan bahan tiang pipa baja terhadap korosi. Selain



itu, penting juga untuk dilakukan kajian efisiensi terkait waktu pelaksanaan dan biaya konstruksi serta perawatan di masa layan.

## 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 Bently, 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 IJCE-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 16<sup>th</sup> 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 13<sup>th</sup> 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 6<sup>th</sup> 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 7<sup>th</sup> 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, *1<sup>st</sup> International Conference on Development Infrasructure (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. 17<sup>th</sup> 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.

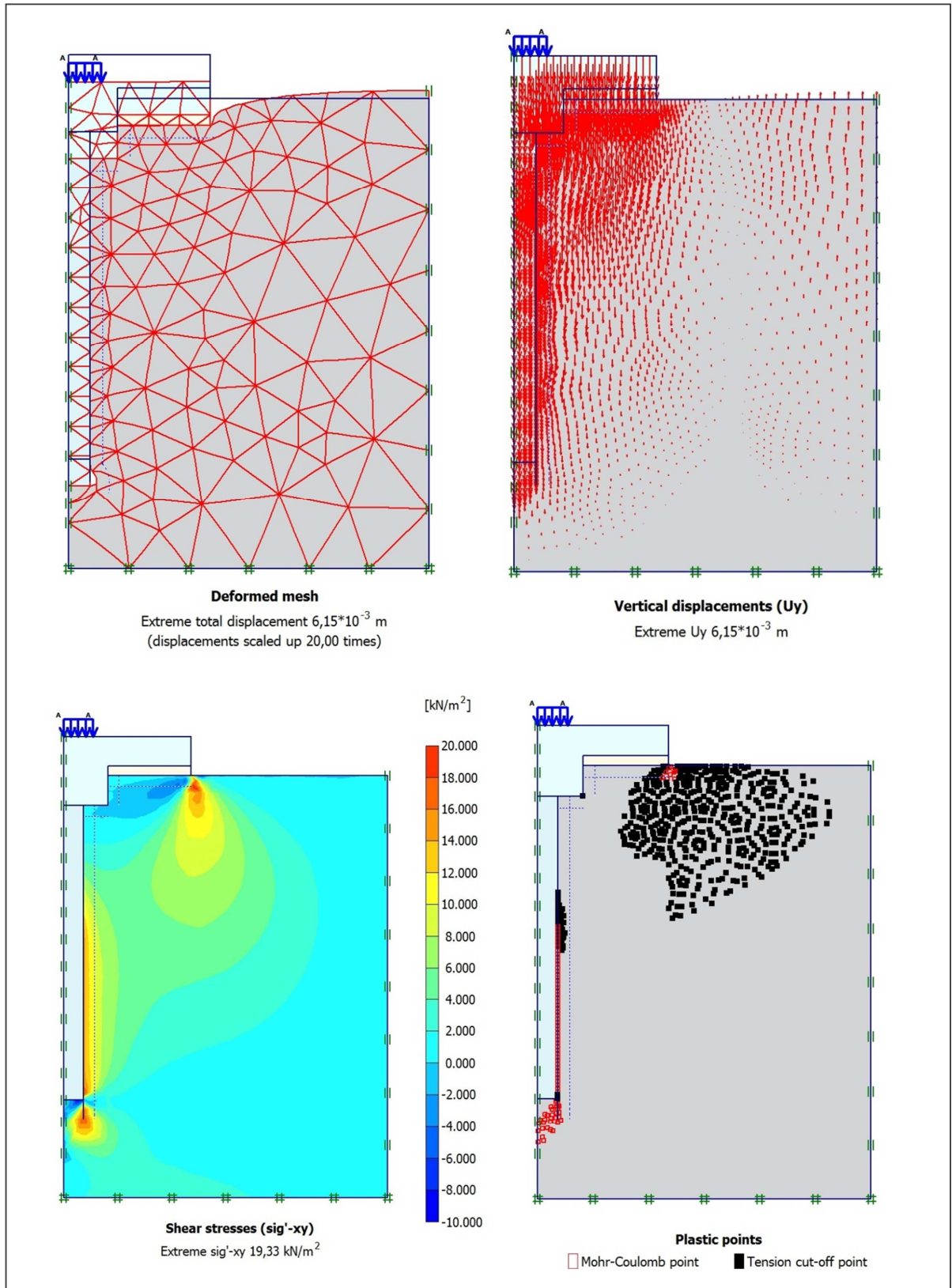
Wikipedia, 2009, *Ground-Structure Interaction*, [http://en.wikipedia.org/wiki/  
Ground-structure\\_interaction](http://en.wikipedia.org/wiki/Ground-structure_interaction), tanggal akses: 7 November 2009.

## LAMPIRAN A: HASIL ANALISIS

### LAMPIRAN A-1: DATA TIANG PIPA BAJA

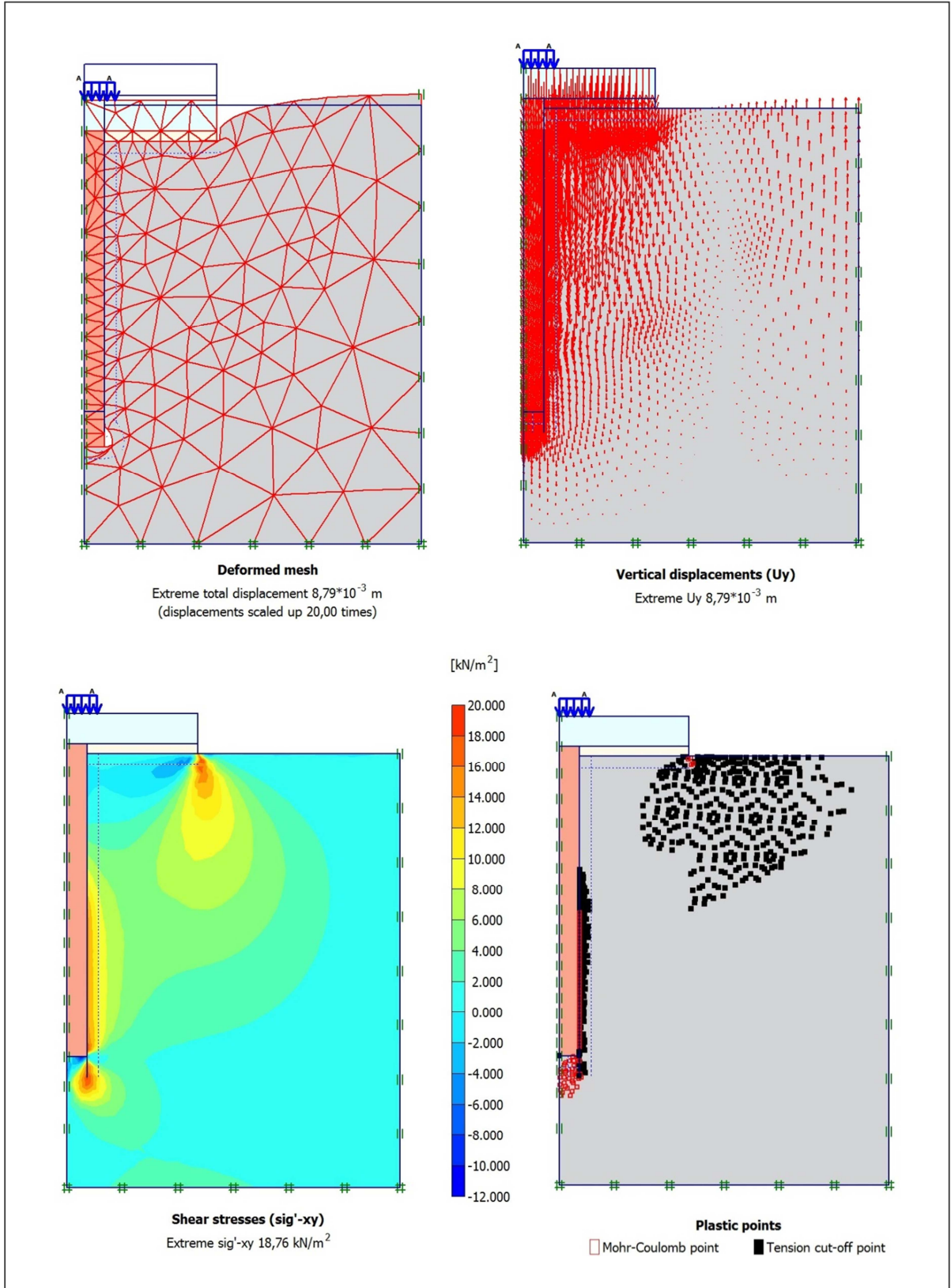
		Pipe Schedule																																	
idpipe.com		Schedule 10S		Schedule 10		Schedule 20		Schedule 30		Schedule Std./40S		Schedule 40		Schedule 60		Schedule XS/80S		Schedule 80		Schedule 100		Schedule 120		Schedule 140		Schedule 160		Schedule XOS							
Nominal Pipe Size Inches	OD INCH	Wall Inch	WT Kg.	Wall Inch	WT Kg.	Wall Inch	WT Kg.	Wall Inch	WT Kg.	Wall Inch	WT Kg.	Wall Inch	WT Kg.	Wall Inch	WT Kg.	Wall Inch	WT Kg.	Wall Inch	WT Kg.	Wall Inch	WT Kg.	Wall Inch	WT Kg.	Wall Inch	WT Kg.	Wall Inch	WT Kg.	Wall Inch	WT Kg.						
1/2	.840	.083	1,0							.109	1,3							.147	1,6									.187	2,0	.294	2,8				
3/4	1,050	.083	1,3							.113	1,7							.154	2,2									.219	2,9	.308	3,7				
1	1,315	.109	2,1							.133	2,5							.179	3,3									.250	4,3	.358	5,5				
1 1/4	1,680	.109	2,7							.140	3,4							.191	4,5									.250	5,7	.382	7,9				
1 1/2	1,900	.109	3,2							.145	4,1							.200	5,5									.281	7,4	.400	9,7				
2	2,375	.109	4,0							.154	5,5							.218	7,6									.344	11,1	.436	13,4				
2 1/2	2,875	.120	5,3							.203	8,6							.276	11,4									.375	14,0	.552	20,4				
3	3,500	.120	6,5							.216	11,3							.300	15,3									.438	21,4	.600	27,7				
3 1/2	4,000	.120	7,4							.228	13,6							.318	18,6																
4	4,500	.120	8,4							.237	16,1							.337	22,3									.438	28,3	.531	33,5	.674	41,0		
5	5,583	.134	11,6							.258	21,8							.375	31,0									.500	40,3	.625	49,1	.750	57,4		
6	6,625	.134	13,8							.280	28,3							.432	42,6									.562	54,2	.719	67,6	.864	79,2		
8	8,625	.148	20,0			.250	33,3	.277	36,8	.322	42,6							.406	53,1	.500	64,6			.594	96,0	.719	114,8	.844	133,1	1,000	155,2	1,125	172,3	1,000	155,2
10	10,750	.165	27,8			.250	42,4	.307	51,8	.365	60,3							.500	81,6	.500	81,6	.594	96,0	.719	114,8	.844	133,1	1,000	155,2	1,125	172,3	1,000	155,2		
12	12,750	.180	36,0			.250	49,7	.330	65,2	.375	73,9	.406	79,7	.562	109,0	.500	97,4	.888	132,1	.844	133,1	1,000	155,2	1,125	172,3	1,000	155,2	1,125	172,3	1,000	155,2	1,000	155,2		
14	14,000	.188	41,3	.250	54,7	.312	67,9	.375	81,3	.375	81,3	.438	94,6	.594	126,7	.500	107,4	.750	158,1	.938	195,0	1,094	224,7	1,250	253,5	1,406	281,7								
16	16,000	.188	47,3	.250	62,8	.312	77,8	.375	93,3	.375	93,3	.500	123,3	.656	160,1	.500	123,3	.844	203,5	1,031	245,6	1,219	286,6	1,438	333,2	1,594	365,4								
18	18,000	.188	53,3	.250	70,8	.312	87,7	.438	122,4	.375	105,2	.562	155,8	.750	205,7	.500	139,2	.938	254,6	1,156	309,6	1,375	363,6	1,562	408,3	1,781	459,4								
20	20,000	.218	66,6	.250	78,6	.375	117,2	.500	155,1	.375	117,2	.594	183,4	.812	247,8	.500	155,1	1,031	311,2	1,281	381,5	1,500	441,5	1,750	508,1	1,969	564,6								
24	24,000	.250	94,5	.250	94,5	.375	141,1	.562	209,6	.375	141,1	.688	255,4	.969	355,3	.500	187,1	1,219	442,1	1,531	547,7	1,812	640,0	2,082	720,2	2,344	808,2								

**LAMPIRAN A-2: PELAT TERPAKU TIANG TUNGGAL BETON MASIF DIAMETER 20 CM, P= 60 kN**

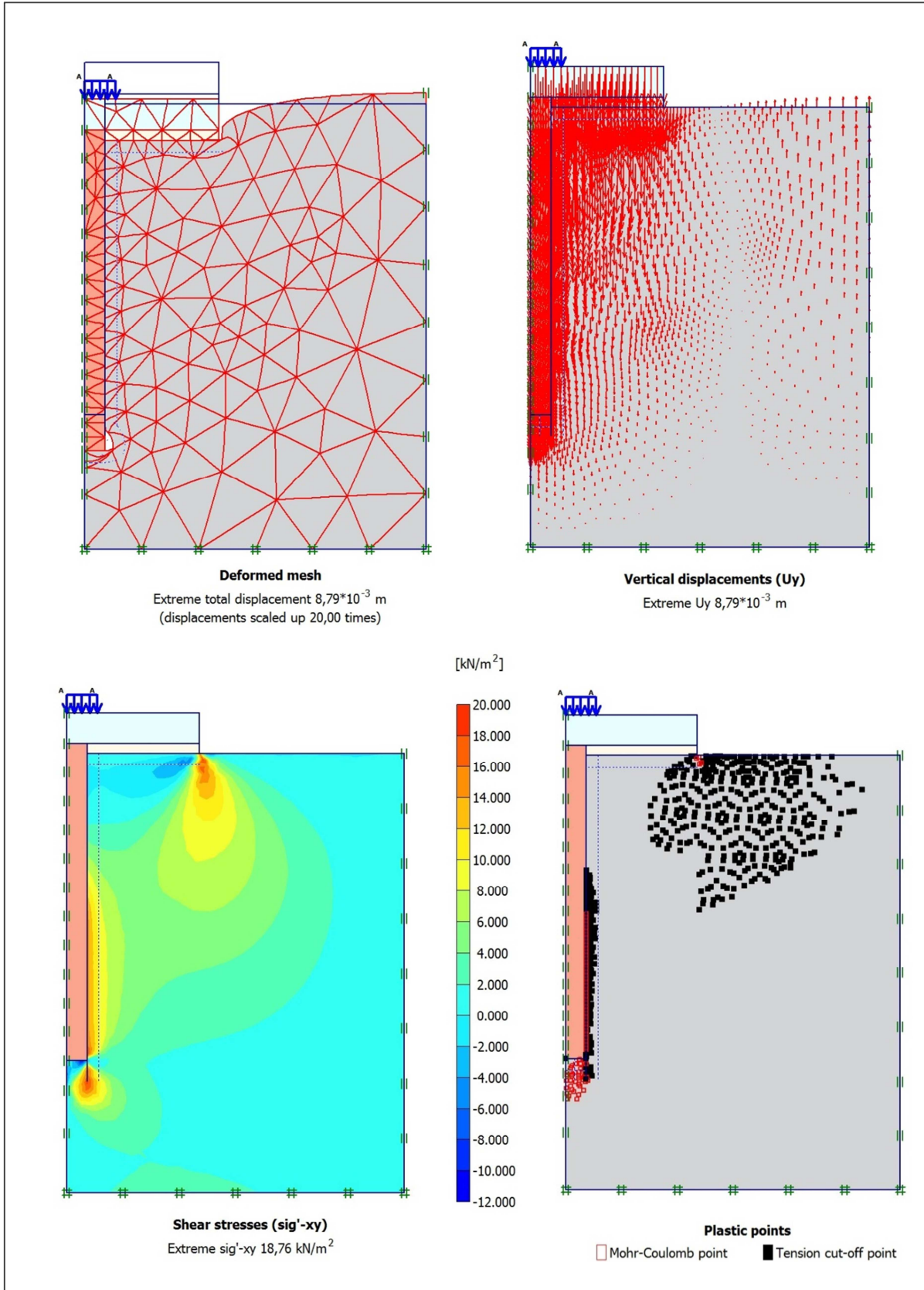




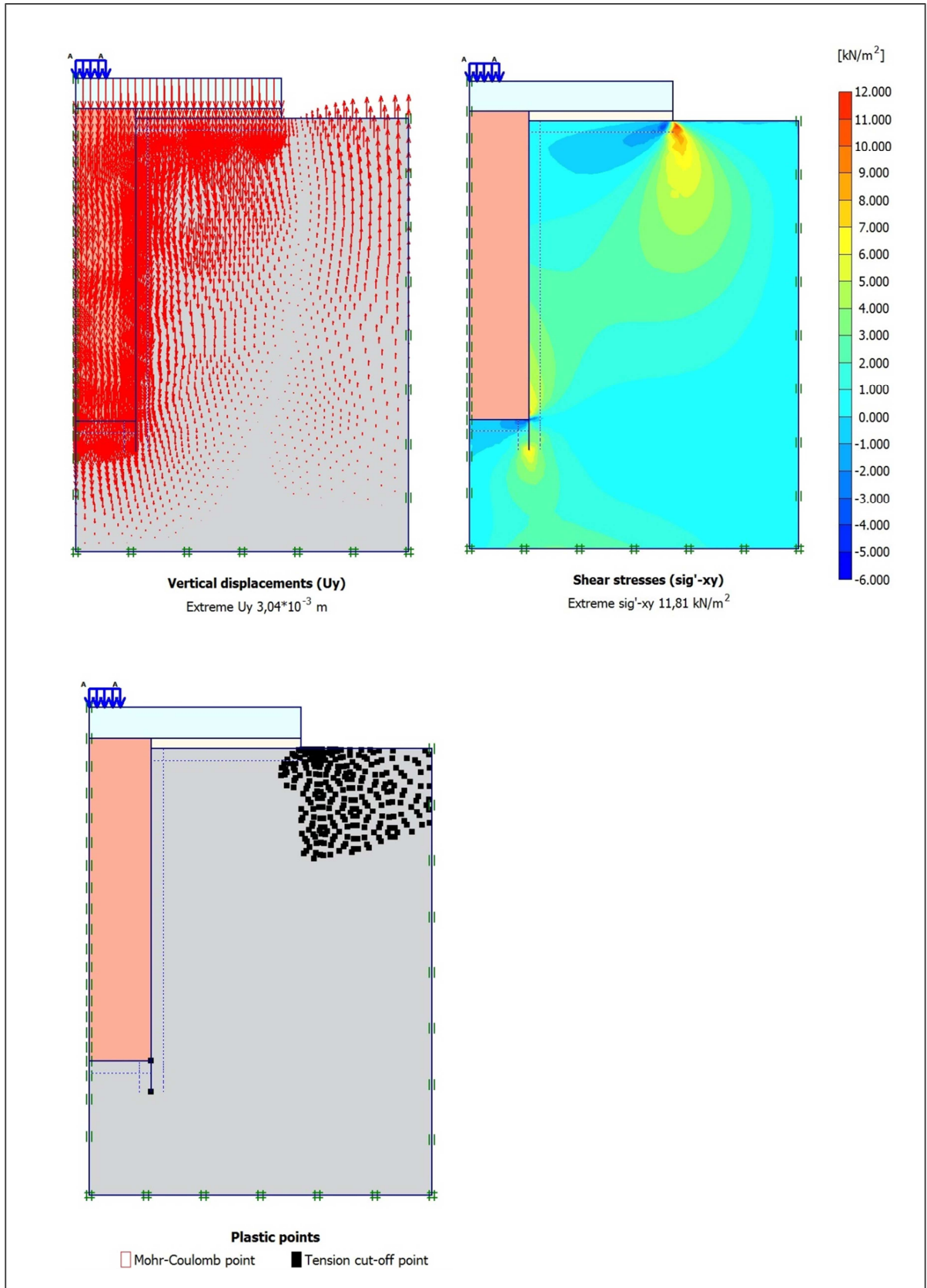
**LAMPIRAN A-3: PELAT TERPAKU TIANG PIPA TUNGGAL DIAMETER 20 CM, P= 60 kN**



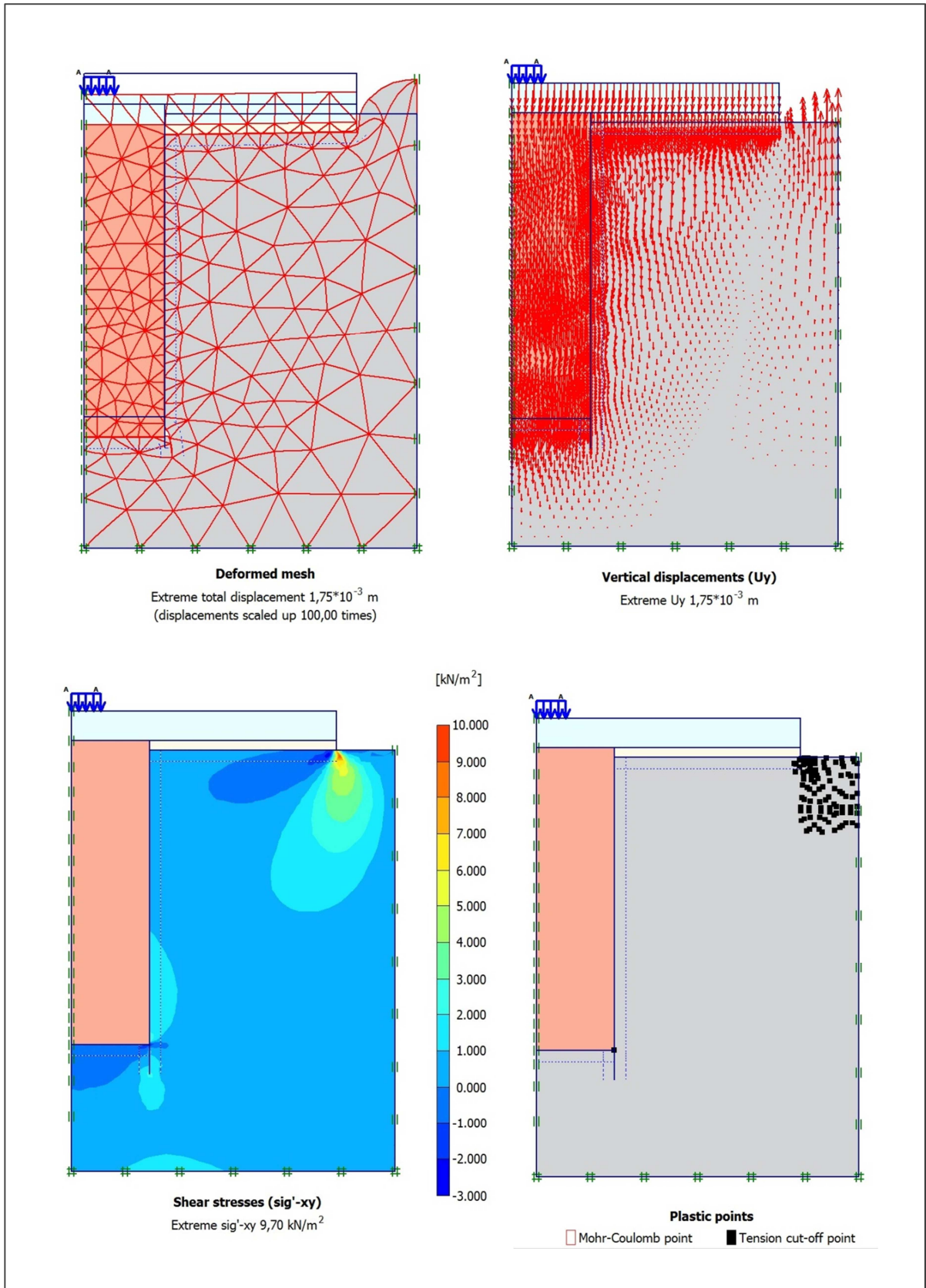
**LAMPIRAN A-4: PELAT TERPAKU TIANG PIPA TUNGGAL DIAMETER 30 CM, P= 60 kN**



LAMPIRAN A-5: PELAT TERPAKU TIANG PIPA TUNGGAL DIAMETER 60 CM, P= 60 kN



**LAMPIRAN A-6: PELAT TERPAKU TIANG PIPA TUNGGAL DIAMETER 80 CM, P= 60 kN**



## LAMPIRAN B: KONTRAK PENELITIAN



### Universitas Islam Riau LEMBAGA PENELITIAN

Jl. Kaharuddin Nasution No. 113 P. Marpoyan Telp. (0761) 72126 Pes. 112  
Fax. (0761) 674834 Pekanbaru, Riau 28284, Indonesia

#### SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENELITIAN NOMOR: 150/KONTRAK/LP-UIR/12-2015

Pada Hari ini, *Senin* Tanggal *Dua Delapan* Bulan *Desember* Tahun *Dua Ribu Lima Belas*, Kami yang bertanda tangan di bawah ini:

1. **H. M. Hasbi Zaidi, SE., MP**, Ketua Lembaga Penelitian Universitas Islam Riau, alamat. Jl. Kaharuddin Nasution Perhentian Marpoyan Pekanbaru, Selanjutnya disebut Pihak Pertama (Ke-I).
2. **Dr. Anas Puri, ST.MT**, Dosen Fakultas Teknik Universitas Islam Riau elanjutnya disebut pihak Kedua (Ke- II)

Kedua belah pihak secara bersama telah bersepakat membuat perjanjian pelaksanaan kegiatan penelitian dengan ketentuan sebagai berikut:

#### *Pasal 1*

Pihak Pertama dalam jabatan seperti diatas telah memberi tugas kepada pihak Kedua dan Pihak Kedua telah menerima tugas dari Pihak Pertama untuk melaksanakan kegiatan penelitian dengan judul: **"Studi Parametrik Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Tiang Tunggal Menggunakan Tiang Pipa Pada Tanah Lunak**, yang personalia penelitian diketuai oleh **Dr. Anas Puri, ST.MT** dengan anggota ditentukan kemudian dan kegiatan penelitian tersebut dilakukan atas usulan yang disusun Pihak Kedua.

#### *Pasal 2*

Waktu pelaksanaan penelitian tersebut dalam Pasal 1 adalah 6 (enam) bulan sejak tanggal ditanda tangannya surat perjanjian ini. Apabila ada perpanjangan waktu pelaksanaan penelitian ini, maka Pihak Kedua mengajukan permintaan dan atau permohonan tertulis dengan alas an-alasan yang objektif untuk selanjutnya dipertimbangkan dan diberitahukan melalui Surat Perpanjangan waktu penelitian. Satu bulan sebelum perjanjian berakhir Pihak Kedua diharuskan menyampaikan laporan kemajuan kerja secara tertulis kepada Pihak Pertama tentang kegiatan yang dilaksanakan yang berisi persiapan pelaksanaan, pengumpulan data dan analisa data.

#### *Pasal 3*

Biaya Kegiatan penelitian seperti tersebut Pasal 1 adalah sebesar **Rp. 12 000.000,- (Dua belas juta rupiah)**.

#### *Pasal 4*

Pembayaran biaya penelitian tersebut Pasal 3 dilakukan sebagai berikut:

- a. Tahap (termin) pertama adalah 80% dari seluruh biaya dibayarkan setelah surat perjanjian ini ditanda tangani oleh kedua belah Pihak.
- b. Tahap Kedua (termin) kedua dibayar setelah Pihak Kedua menyerahkan hasil penelitiannya dan diseminarkan dalam kegiatan Seminar Hasil Penelitian yang dilaksanakan Pihak Pertama dan selanjutnya dinyatakan dengan suatu berita acara.
- c. Penggunaan biaya penelitian tersebut sepenuhnya dilaksanakan atas kebijakan Pihak Kedua dengan berpedoman kepada usulan Penelitian.

#### *Pasal 5*

Apabila Pihak Kedua tidak dapat menyelesaikan pekerjaan dalam waktu seperti tersebut dalam Pasal 2 maka Pihak Kedua dikenakan denda sebesar 1 persil setiap hari keterlambatan dan maksimum 5% (lima persen) dari jumlah biaya penelitian.

#### *Pasal 6*

Pihak kedua tidak bertanggung jawab terhadap segala kerugian dan atau kecelakaan yang terjadi akibat pelaksanaan penelitian ini.

**Pasal 7**

Apabila Pihak Pertama membatalkan perjanjian ini secara sepihak, maka Pihak Kedua berhak menuntut ganti rugi atas biaya yang telah dikeluarkannya dengan menunjukkan bukti syah.

**Pasal 8**

Apabila Pihak Kedua tidak dapat melaksanakan kewajibannya setelah menerima biaya penelitian, Pihak Pertama berhak menuntut ganti rugi atas biaya yang telah diberikannya dengan menunjukkan bukti syah.

**Pasal 9**

Pihak Kedua harus menyerahkan hasil penelitian seperti tersebut dalam Pasal 1 kepada Pihak Pertama dalam bentuk:

- a. Laporan Lengkap sebanyak 10 (sepuluh) eksemplar.
- b. Sebelum Laporan Hasil Penelitian dibuat, terlebih dahulu diseminarkan di LP-UIR
- c. Draft Laporan harus disetujui/ditandatangani oleh Pihak Pertama.
- d. Laporan di jilid dengan ukuran kwarto, kulit warna hijau.
- e. Laporan ringkas (7-10) halaman kwartotik 1,5 spasi untuk bahan seminar publikasi 3 eksemplar dan wajib diseminarkan dalam hasil Laporan ringkas (7-10) halaman kwarto tik 1,5 spasi untuk bahan seminar publikasi 3 eksemplar dan wajib diseminarkan dalam hasil penelitian UIR.
- f. Menyerahkan Disket/flasdisk yang berisi file lengkap hasil kegiatan.

**Pasal 10**

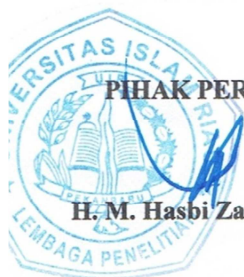
Hak cipta dari hasil penelitian dipegang bersama oleh Pihak Pertama dan Pihak Kedua, sehingga penggandaan, pengedaran dan komersialisasi hasil penelitian, hanya diperkenankan atas sepengetahuan bersama.

**Pasal 11**

Perselisihan yang mungkin timbul dalam pelaksanaan perjanjian ini akan diselesaikan dengan cara musyawarah dan/atau dengan melalui badan arbitrase yang dibentuk bersama.

**Pasal 12**

Demikianlah surat perjanjian ini dibuat pada hari ini, tanggal, bulan dan tahun seperti tersebut diatas dan dibuat dalam rangkap 5 (lima), yang ditembuskan kepada Rektor Universitas Islam Riau, Dekan Fakultas dari Pihak Kedua, Kepala Biro Keuangan UIR yang sama bunyi dan kekuatannya untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



**PIHAK PERTAMA,**

**H. M. Hasbi Zaidi, SE.MP**

**PIHAK KEDUA,**

**Dr. Anas Puri, ST.MT**



Mengetahui/menyetujui  
**REKTOR UNIVERSITAS ISLAM RIAU,**

**\* Prof. Dr. H. Detri Karya, SE., MA**

## **LAMPIRAN C: SINOPSIS PENELITIAN LANJUTAN**

Penelitian lanjutan berupa studi parametrik perilaku Sistem Pelat Terpaku dengan satu dan tiga baris tiang tiang pipa baja pada lempung lunak. Variabel analisis adalah jumlah baris tiang yaitu satu dan tiga baris tiang, variasi diameter dan panjang tiang pipa. Data yang digunakan adalah data yang telah digunakan pada penelitian ini dan data uji pembebanan pada model skala penuh Sistem Pelat Terpaku dengan satu dan tiga baris tiang oleh Puri (2015a).

**LAMPIRAN D: 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 *Studi Parametrik Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Tiang Tunggal Menggunakan Tiang Pipa Baja Pada Tanah Lunak* yang dibiayai melalui Skim Penelitian Internal UIR untuk Tahun Anggaran 2015/2016 Nomor Kontrak 150/KONTRAK/LP-UIR/12-2015 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, 30 Mei 2018  
Yang Menyatakan,



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



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


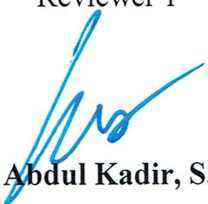

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : DR. ANAS PURI, S.T., M.T.  
NIDN : 1005057003  
Fakultas : Teknik  
Judul Riset : **Studi Parametrik Perkerasan Sistem Pelat Terpaku  
Tiang Tunggal Menggunakan Tiang Pipa Baja Pada  
Tanah 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 (9 Mei 2018) di Ruang Sidang Faperta UIR.

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

Pekanbaru, 30 Mei 2018

Ketua Peneliti,   <u>Dr. Anas Puri, S.T., M.T.</u> <u>NIK 960902239</u>	
Mengetahui,	
Reviewer 1   <b>Dr. Evizal Abdul Kadir, S.T., M.Eng.</b>	Reviewer 2   <b>Dr. Elizar, S.T., M.T.</b>

## LAMPIRAN F: PERSONALIA PENELITIAN

**Ketua:**

Nama : Dr. Anas Puri, ST., MT.  
 Golongan/Ruang dan NIK. : IV/A, 96 09 02 239  
 Jabatan Fungsional : Lektor Kepala.  
 Fakultas/ Program Studi : Pascasarjana/ Magister Teknik Sipil.  
 Bidang Keahlian : Geoteknik.

**BIODATA KETUA PENELITI**

**A. Identitas Diri**

1.	Nama Lengkap (dengan gelar)	Dr. Anas Puri, S.T., M.T.	Laki-laki
2.	Jabatan Fungsional	Lektor Kepala	
3.	Jabatan Struktural	Kaprodi S2 Teknik Sipil	
4.	NIK	090602239	
5.	NIDN	1005057003	
6.	Tempat dan Tanggal Lahir	Pekanbaru, 5 Mei 1970	
7.	Alamat Rumah	Perum Yepupa Utama Permai Blok A7, Jl. As-Salam Utama, Kel. Air Dingin, Pekanbaru	
8.	Nomor Telepon/Fax	+6281365675895	
9.	Nomor HP	+6281365675895	
10.	Alamat Kantor	Fakultas Teknik Universitas Islam Riau, Jl. Kaharuddin Nasution 113 Pekanbaru	
11.	Nomor Telepon/Fax	+6276164717	
12.	Alamat e-mail	anaspuri@eng.uir.ac.id	
13.	Lulusan yang Telah Dihasilkan	S1 > 65 orang; S2 > 10 orang; S3= 0 orang	
14.	Mata Kuliah yang Diampu	Mekanika Tanah	
		Rekayasa Pondasi	
		Perbaikan Tanah	
		Konstruksi di Atas Tanah Lunak	
		Perancangan Jalan pada Tanah Lunak	
		Metode Penelitian Teknik	

**B. Riwayat Pendidikan**

Program:	S1	S2	S3
Nama PT	Universitas Islam Riau	Universitas Gadjah Mada	Universitas Gadjah Mada
Bidang Ilmu	Teknik Sipil	Teknik Sipil	Teknik Sipil
Tahun Masuk-Lulus	1990-1996	2000-2003	2009-2015
Judul Skripsi/ Tesis	Evaluasi Perencanaan Fondasi Bored-pile Konstruksi Pylon Jembatan Cabled-stayed Batam-Tonton	Interaksi Antara Pasir dan Geotekstil Menggunakan Uji Tekan Triaksial Konvensional	Perilaku Perkerasan Sistem Pelat Terpaku pada Lempun Lunak

Nama Pembimbing/ Promotor	Ir. Halimah Sitompul, M.Sc., dan Ir. Sugeng Wiyono	Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng., DEA. dan Prof. Ir. Bambang Suhendro, M.Sc., Ph.D.	Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng., DEA. dan Prof. Ir. Bambang Suhendro, M.Sc., Ph.D., Dr.Ir. Ahmad Rifa'i, M.T.
---------------------------	--	--	---

### C. Pengalaman Penelitian dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp)
1	2013	Uji Skala Penuh Pelat Terpaku pada Lempung Lunak	Hibah Doktor Dikti	44,5
2	2015	Validasi Metode Perencanaan Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Pada Lempung Lunak Menggunakan Metode Elemen Hingga: Tinjauan Satu Baris Tiang	Hibah Bersaing	51,5
3	2016	Validasi Metode Perencanaan Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Pada Lempung Lunak Menggunakan Metode Elemen Hingga: Tinjauan Tiga Baris Tiang	Hibah Bersaing	55,5
4	2016	Kajian Pengembangan Infrastruktur Penunjang Pariwisata Riau dalam Rangka Peningkatan Daya Saing Bangsa	BALITB ANG RIAU	20,0

### D. Pengalaman Pengabdian pada Masyarakat

No	Tahun	Judul Pengabdian pada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp)
1	2014	Soil Investigation of As-Salaam Mosque in Perum Yepupa Utama Permai, Simpang Tiga Pekanbaru	Free of charge	0,0
2	2015	Pelatihan Pengenalan Plaxis 2D untuk Analisis Geoteknik	Umum	5,0
3	2015	Redesign of Roof of As-Salaam Mosque in Perum Yepupa Utama Permai, Simpang Tiga Pekanbaru	Free of charge	0,0
4	2016	Pelatihan Pengenalan Plaxis 2D untuk Analisis Geoteknik	LPM UIR & Umum	6,0
5	2016	Short Course on Applied Plaxis 2D for Geotechnical Engineers	PPs UIR	5,25
6	2018	Kursus Singkat Aplikasi Software Plaxis 2D pada Analisis Geoteknik	Umum	12,7

### E. Pengalaman Penulisan Artikel Ilmiah Dalam Jurnal dan Prosiding

No.	Tahun	Judul Artikel Ilmiah	Vol./ Nomor	Nama Jurnal
1	2018	Effects of Model Scale Due to Displacement Factor for Nailed-slab Pavement System	<i>submitted</i>	Interntl Conf. on Geotechnics
2	2018	Investigasi Numerik Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Tiang Tunggal Menggunakan Tiang Pipa Baja pada Tanah Lunak	<i>submitted</i>	Media Komunikasi Teknik Sipil (MKTS)
3	2017	Validation The Curve of Displacement Factor Due To Full Scale of One Pile Row Nailed-Slab Pavement System	<i>submitted</i>	International Journal of Technology
4	2017	Studi Parametrik Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Terhadap Variasi Dimensi Struktur	<i>submitted</i>	Jurnal Teknik Sipil ITB
5	2018	Differentiation of Displacement Factor for Stiff and Soft Clay in Additional Modulus of Subgrade Reaction of Nailed-slab Pavement System	Volume 2. Springer, Singapore	Proc. The 2nd Intrtl. Conference on The Future of ASEAN (icofa)
6	2017	Effect Of Safety Factors On The Calculated Deflection Of 1-Pile Row Full Scale Nailed-Slab Pavement System Resting On Soft Clay Due To Concentric Loadings		The 1st International Conference on Science Engineering and Technology (ICoSET)
7	2017	Calculation The Edge Of Slab Deflection Of Modified <i>Cakar Ayam</i> System By Applying The Displacement Factor From Puri's Graph	<i>accepted</i>	The 14th Intntl. Symp. of Quality in Research (QiR)
8	2017	Effects Of Vertical Wall Barrier On The Rigid Pavement Deflection Of Full Scale 1-Pile Row Nailed-Slab System On Soft Sub Grade. DOI: <a href="http://dx.doi.org/10.21660/2017.32.6577">http://dx.doi.org/10.21660/2017.32.6577</a>	Vol. 12, Issue 32, pp. 25-29 ISSN:2186-2990	International Journal of Geotec., Const. Mat. & Env. (GEOMATE)
9	2017	Developing The Curve Of Displacement Factor For Determination The Additional Modulus Of Sub Grade Reaction On Nailed-Slab Pavement System	Vol. 1, pp. 122-131. ISSN 2086-9614.	International Journal of Technology

10	2017	Infrastruktur Jalan Beton Sistem Pelat Terpaku Untuk Pembangunan Jalan Berkelanjutan pada Tanah Dasar Lunak dan Ekspansif	pp. 1-17.	Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP)
11	2017	Penerapan Modulus Reaksi <i>Subgrade</i> Ekuivalen Metode Puri, Dkk (2012) Dalam Perhitungan Lendutan Pelatpada Perkerasan Sistemcakar Ayam Modifikasi	pp. 29-35	
12	2017	Perhitungan Lendutan Perkerasan Jalan Sistem Cakar Ayam Modifikasi Dengan Variasi Faktor Aman Pada Tambahan Modulus Reaksi <i>Subgrade</i>	pp. 76-84	
13	2017	Pengaruh Indeks Plastisitas Terhadap Kuat Geser Bidang Kontak Tanah Kohesif dan Geotekstil	pp. 87-94	
14	2017	Perilaku Kuat Geser Tanah Terstabilisasi Semen Untuk <i>Subgrade</i> Jalan	pp. 18-28	
15	2017	Perbandingan Gradasi Agregat AC-WC Dari <i>Job Mix Formula</i> Dengan Variasi Jumlah Lintasan Pematatan	pp. 112-119	
16	2017	Pengaruh perendaman terhadap kuat dukung tanah terstabilisasi pasir		
17	2016	Behavior of Uplift Resistance of Single Pile Row Nailed-Slab Pavement System on Soft Clay Sub Grade	pp. 1226-1230	The 3rd Asia Future Conference
18	2016	Differential Settlement of Rigid Pavement of 3-Pile Row Nailed-Slab System on Soft Clay Sub Grade Due to Monotonic And Repetitive Loadings	pp. 377-388 978-602-70570-4-3 © 2016 DOI 10.21063/ICTIS.2016.1059	Proc. Interntl. Conference on Tech., Innovation, and Society (ICTIS)
19	2015	Validasi Metode Analisis Lendutan Perkerasan Sistem Pelat Terpaku pada Model Skala Penuh Dengan Satu Baris Tiang	pp. 453-464, (ISBN 978-602-17221-3-8)	Prosiding PIT XIX dan KOGEI X, HATTI
20	2015	Studi Paramterik Perkerasan Sistem Pelat Terpaku pada Tanah Lunak	pp. 305-313, (ISBN 978-979-792-636-6)	1st Annual Civil Eng. Seminar (ACES)
21	2015	Perilaku Perkerasan Sistem Pelat Terpaku pada Tanah Dasar Lempung Lunak	pp. 7-17, (ISSN 2477-0086)	Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KN PTS)

22	2015	Pull out Test of Single Pile Row Nailed-slab System on Soft Clay	pp. 62-67, (ISSN 1411-1284)	Proc. of 14 <sup>th</sup> Intl. Symp. on Quality in Research (QiR)
23	2014	Behavior of Nailed-slab System on Soft Clay Due to Repetitive Loadings by Conducting Full Scale Test	Vol. 14 No. 06, pp. 24-30.	Intl. Journal of Civil and Environmental Eng. (IJCEE)-IJENS
24	2013	Behavior of Fullscale nailed-slab System with Variation on Load Positions	pp. 26-36.	Proc. 1 <sup>st</sup> Intl. Conf. on Infrstructure Developmnt (ICID)
25	2013	Penerapan Metode Analisis Lendutan Pelat Terpaku pada Model Skala Penuh dan Komparasi dengan Uji Pembebanan	pp. G201-G211	Prosiding Konferensi Nasional T. Sipil ke-7 (KoNTekS7)
26	2013	Deflection Analysis of Nailed-Slab System which Reinforced by Vertical Wall Barrier Under Repetitive Loadings	pp. TS6-9 – TS6-16 (ISBN 978-602-8605-08-3)	Proc. CECAR6 2013
27	2013	Pile Spacing and Length Effects Due to the Additional Modulus of Subgrade Reaction for the Nailed-slab System Resting on Soft Clay	pp. 1302-1310 (ISSN 1411-1284)	Proc. of the 13 <sup>th</sup> Intl. Conf. on QiR (Quality in Reseach)
28	2012	Application of the Additional Modulus of Subgrade Reaction to Predict the Deflection of Nailed-slab System Resting on Soft Clay Due to Repetitive Loadings	pp. 217-222	Proc. of 16 <sup>th</sup> Annual Scientific Meeting, HATTI
29	2012	Determining Additional Modulus of Subgrade Reaction Based on Tolerable Settlement for the Nailed-slab System Resting on Soft Clay	Vol. 12 No. 03, 32-40	IJCEE-IJENS

**F. Pengalaman Penyampaian Makalah Secara Oral pada Pertemuan/ Seminar**

No	Nama Pertemuan Ilmiah/ Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1	The 1st International Conference on Science	Effect Of Safety Factors On The Calculated Deflection Of 1-Pile	8-10 Nov 2017 Pekanbaru

	Engineering and Technology (ICoSET)	Row Full Scale Nailed-Slab Pavement System Resting On Soft Clay Due To Concentric Loadings	
2	The 14th Intntl. Symp. of Quality in Research (QiR)	Calculation The Edge Of Slab Deflection Of Modified <i>Cakar Ayam</i> System By Applying The Displacement Factor From Puri's Graph	24-27 July 2017 Nusa Dua, Bali
3	The 2nd International Conference on The Future of ASEAN (icofa)	Differentiation of Displacement Factor for Stiff and Soft Clay in Additional Modulus of Subgrade Reaction of Nailed-slab Pavement System	Perlis
4	International Conference on Geotechnique, Construction Materials & Environment (GEOMATE)	Effects of Vertical Wall Barrier on The Rigid Pavement Deflection of Full Scale 1-Pile Row Nailed-Slab System on Soft Sub Grade	Nov. 14-16th, 2016, Bangkok
5	The 3rd Asia Future Conference	Behavior of Uplift Resistance of Single Pile Row Nailed-slab Pavement System on Soft Clay Sub Grade	Sept. 29th- Oct.3rd. 2016, Kitakyushu
6	Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP)	Infrastruktur Jalan Beton Sistem Pelat Terpaku Untuk Pembangunan Jalan Berkelanjutan Pada Tanah Dasar Lunak Dan Ekspansif	9 Februari 2017, Pekanbaru
7	Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP)	Pengaruh Indeks Plastisitas Terhadap Kuat Geser Bidang Kontak Tanah Kohesif Dan Geotekstil	9 Februari 2017, Pekanbaru
8	International Conference on Technology, Innovation, and Society (ICTIS)	Differential Settlement of Rigid Pavement of 3-Pile Row Nailed-Slab System on Soft Clay Sub Grade Due to Monotonic And Repetitive Loadings	Padang
9	Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KN PTS) ke-6	Perilaku Perkerasan Sistem Pelat Terpaku pada Tanah Dasar Lempung Lunak	12 November 2015 Bandung
10	1st Annual Civil Engineering Seminar (ACES)	Studi Parametrik Perkerasan Sistem Pelat Terpaku pada Tanah Lunak	20 November 2015 Pekanbaru

11	14 <sup>th</sup> Intl. Symp. on Quality in Research (QiR)	Pull out Test of Single Pile Row Nailed-slab System on Soft Clay	Lombok, 11-12 Agustus 2015
12	Seminar Triwulan Teknik Sipil, PPs. Univ. Islam Riau, Edisi #1	Prospek Aplikasi Perkerasan Sistem Pelat Terpaku untuk Jalan pada Tanah Lunak	Oktober 2014 Pekanbaru
13	17 <sup>th</sup> FSTPT Intrntl. Symp.	Behavior of Nailed-slab System on Soft Clay Due to Repetitive Loadings by Conducting Full Scale Test	22-24 August 2014 Jember
14	1 <sup>st</sup> Intl. Conf. on Developmmt Infrsruclure (ICID)	Behavior of Fullscale nailed-slab System with Variation on Load Positions	1-3 November 2013, Surakarta
15	Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-7 (KoNTekS7)	Penerapan Metode Analisis Lendutan Pelat Terpaku pada Model Skala Penuh dan Komparasi dengan Uji Pembebanan	24-26 Oktober 2013, Surakarta
16	The 6 <sup>th</sup> Civil Engineering Conference on Asia Region (CECAR6)	Deflection Analysis of Nailed-Slab System which Reinforced by Vertical Wall Barrier Under Repetitive Loadings	20-22 Agustus 2013, Jakarta
17	The 13 <sup>th</sup> Intl. Conf. on QiR (Quality in Reseach)	Pile Spacing and Length Effects Due to the Additional Modulus of Subgrade Reaction for the Nailed-slab System Resting on Soft Clay	25-28 Juni 2013, Yogyakarta

#### G. Pengalaman Penulisan Buku

No	Tahun	Judul Buku	Jumlah Halaman	Penerbit
1	2003	Panduan Menyusun Usulan Penelitian dan Tugas Akhir	62	UIR Press

#### H. Pengalaman Perolehan HAKI

No	Judul/ Tema HAKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ ID



**I. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/ Rekayasa Sosial Lainnya**

No	Judul/ Tema/ Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respon Masyarakat

**J. Penghargaan yang Pernah Diraih**

No	Judul Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Terbaik I Poster Ilmiah	Ristek-Dikti	2017
2	Sedyatmo Award	Program Pascasarjana Teknik Sipil ITB pada Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil ke-6 (KNPTS)	2015
3	The Best Paper	Program Pascasarjana Teknik Sipil ITB pada Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil ke-6 (KNPTS)	2015
4	The Best Presenter	Program Pascasarjana Teknik Sipil ITB pada Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil ke-6 (KNPTS)	2015

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggung jawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidak-sesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima resiko.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam Laporan Penelitian Hibah UIR.

Pekanbaru, 30 Mei 2018



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