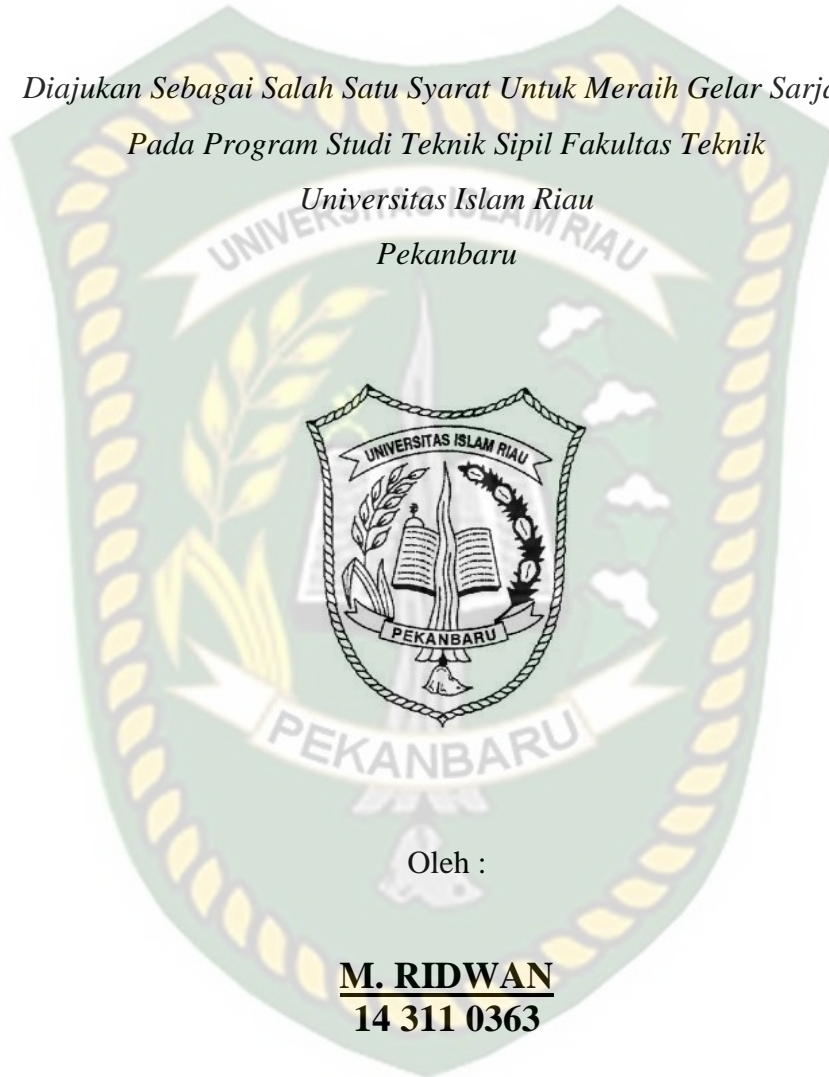


**STUDI PARAMETRIK PELAT TERPAKU  
AKIBAT BEBAN HORIZONTAL**

**TUGAS AKHIR**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana  
Pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas Islam Riau  
Pekanbaru*



Oleh :

**M. RIDWAN**  
**14 311 0363**

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

**2019**

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh*

Alhamdulillah rabbil 'alamin, puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan Hidayah-Nya berupa akal, pikiran serta kesehatan jasmani dan rohani kepada penulis tetap bersemangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini sesuai dengan harapan. Shalawat serta salam untuk Nabi Muhammad SWA, berkat perjuangan beliau kita bisa menikmati ilmu pengetahuan seperti saat sekarang ini.

Melalui proses yang panjang akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Studi Parametrik Pelat Terpaku Akibat Beban Horizontal**” yang disusun sebagai persyaratan mengikuti kurikulum akademis pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau sebagai syarat untuk mendapatkan gelar sarjana teknik (ST).

Pokok permasalahan utama dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa besar pengaruh beban horizontal pada perkerasan jalan sistem pelat terpaku kemudian dibandingkan dengan perkerasan kaku konvensional. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil *displacements* dari kedua jenis perkerasan.

Mengingat keterbatasan kemampuan yang penulis miliki, penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan tidak luput dari kesalahan. Karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dari para pembaca demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, Mei 2019

Penulis

M. RIDWAN

## UCAPAN TERIMA KASIH

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh*

Dengan segala kerendahan hati peneliti ingin menyampaikan dan mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu peneliti dengan memberikan dorongan dan dukungan yang tak terhingga terutama kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Syafrinaldi, S.H., M.C.L. sebagai Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Ir. H. Abd. Kudus Zaini, MT., MS., TR. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Dr. Kurnia Hastuti, ST., MT. sebagai Wakil Dekan Bidang Akademis Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak M. Ariyon, ST., MT. sebagai Wakil Dekan Bidang Keuangan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
5. Bapak Ir. Syawaldi, M.Sc. sebagai Wakil Dekan Bidang Kamahasiswaan dan Alumni Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
6. Ibu Dr. Elizar, ST., MT. sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
7. Bapak Firman Syarif, ST., M.Eng. sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
8. Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing I.
9. Ibu Roza Mildawati, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing II.
10. Ibu Sri Hartati Dewi, ST., MT. sebagai Dosen Penguji.
11. Bapak Mahadi Kurniawan, ST., MT. sebagai Dosen Penguji.
12. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
13. Seluruh Staf dan Karyawan/i Tata usaha (TU) Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
14. Seluruh Staf dan Karyawan/i Perpustakaan Teknik Universitas Islam Riau.

15. Orang tua tercinta M. Akmal dan Banunah yang selama ini tak henti-hentinya mendoakan, memberikan semangat, dan memberikan dukungan.
16. Kakak Erna Wati, SE dan Abang Eka Sarwedi yang selama ini memberikan doa dan telah memberikan dorongan dan juga motivasi selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
17. Seluruh teman-teman yang selalu memberi semangat dan dukungannya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini Risqi Yuliani, Rizki Evan Bucika, Rizki Anugrah Ramadan, Rezi Maryan, Muhammad Edward, Adi Nurhakim, Arfan Hidayat, dan seluruh teman-teman yang tidak disebutkan lagi nama-namanya.
18. Seluruh teman-teman Teknik Sipil kelas A, kelas B, dan kelas C Angkatan 2014.
19. Seluruh senior dan junior Teknik Sipil yang telah memberikan semangat dan dukungannya.
20. Seluruh teman-teman Tembilahan.

Akhir kata penulis berharap agar Tugas Akhir ini nantinya dapat bermanfaat bagi kita semua terutama bagi penulis sendiri.

***Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh***

Pekanbaru, Mei 2019

Penulis

M. RIDWAN

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PERSETUJUAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
HALAMAN PERNYATAAN	
KATA PENGANTAR.....	i
UCAPAN TERIMA KASIH.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
DAFTAR NOTASI.....	xix
ABSTRAK.....	xxi
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Manfaat Penelitian .....	3
1.5. Batasan Masalah .....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Umum .....	5
2.2. Penelitian Sebelumnya.....	5
2.3. Keaslian Penelitian .....	10
<b>BAB III. LANDASAN TEORI</b>	
3.1. Sistem Pelat Terpaku .....	13
3.2. Metode Perancangan Sistem Pelat Terpaku.....	17
3.3. Perkerasan Kaku .....	18
3.3.1. Jenis Perkerasan Kaku .....	20

3.3.2. Fungsi Perkerasan Kaku .....	21
3.4. Persyaratan Teknis Dalam Perkerasan Kaku .....	21
3.4.1. Tanah Dasar .....	21
3.4.2. Pondasi Bawah.....	21
2.4.2.1 Pondasi Bawah Material Berbutir.....	23
2.4.2.2 Pondasi Bawah Dengan Bahan Pengikat (Buond Sub-base).....	24
2.4.2.3 Pondasi Bawah Dengan Campuran Beton Kurus ( <i>Lean-Mix Concrete</i> ).....	24
2.4.2.4 Lapisan Pemecah Ikatan Pondasi Bawah dan Pelat.....	24
3.4.3. Mutu Beton .....	25
3.5. Lalu Lintas .....	26
3.5.1. Lalu Lintas Rencana dan Koefisien Rencana .....	26
3.5.2. Umur Rencana .....	27
3.5.3. Pertumbuhan Lalu Lintas .....	27
3.5.4. Lalu Lintas Rencana .....	28
3.5.5. Faktor Keamanan Beban.....	29
3.5.6. Beban Lalu Lintas .....	29
3.5.7. Kecepatan Lalu Lintas .....	31
3.5.8. Jarak Aman Kendaraan.....	31
3.6. Gaya Pengereman .....	32
3.7. Metode Elemen Hingga .....	34
3.7.1. Pemodelan Material Properties .....	37
3.7.2. Pemodelan Komponen Pelat .....	38
3.7.3. Pemodelan Komponen Tiang.....	40

#### **BAB IV. METODE PENELITIAN**

4.1. Tinjauan Umum.....	43
4.2. Alat Penelitian.....	43
4.3. Tahap Pelaksanaan Penelitian.....	43

4.4. Pemodelan Numerik Plaxis 2D.....	47
4.5. Cara Analisa.....	51
 <b>BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
5.1. Diskripsi Umum.....	52
5.1.1. Jenis Perkerasan Jalan Persegmen .....	52
5.1.2. Jenis Perkerasan Jalan Menerus.....	53
5.2. Hasil Pengolahan Data.....	55
5.2.1. Parameter Tanah dan Lantai Kerja Untuk Input Plaxis.....	55
5.2.2. Parameter Elemen Struktur Untuk Input Plaxis.....	57
5.2.3. Hasil Analisa Beban Horizontal.....	59
5.2.4. Hasil Analisa Tebal Perkerasan Kaku Metode Bina Marga Pd T-14-2003.....	60
5.3. Penempatan Posisi Beban Horizontal .....	64
5.4. Hasil Analisa Beban Horizontal Pada Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Konvensional Untuk Jenis Perkerasan Jalan Persegmen .....	65
5.5. Hasil Analisa Beban Horizontal Pada Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Konvensional Untuk Jenis Perkerasan Jalan Menerus.....	77
5.6. Perbandingan Hasil <i>Displacements</i> Jenis Perkerasan Jalan Persegmen dengan Menerus .....	88
 <b>BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
6.1. Kesimpulan .....	106
6.2. Saran .....	107
 <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	 108
<b>LAMPIRAN A</b>	
<b>LAMPIRAN B</b>	
<b>LAMPIRAN C</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Penelitian Terdahulu .....	11
Tabel 3.1.	Nilai Koefisien Gesekan ( $\mu$ ) (Kementerian Pekerjaam Umum, 2003) .....	24
Tabel 3.2.	Jumlah Lajur Berdasarkan Lebar Perkerasan dan Koefisien Distribusi (C) Kendaraan Niaga Pada Lajur Rencana (Kementerian Pekerjaam Umum, 2003) .....	27
Tabel 3.3.	Faktor Pertumbuhan Lalu-Lintas (R) (Kementerian Pekerjaam Umum, 2003) .....	28
Tabel 3.4.	Faktor Keamanan Beban ( $F_{KB}$ ) (Kementerian Pekerjaam Umum, 2003) .....	29
Tabel 3.5.	Konfigurasi Beban Sumbu (Ditjen Bina Marga dan Permenhub No.14 Tahun 2007) .....	30
Tabel 3.6.	Jarak Minimal dan Jarak Aman Antar Kendaraan (PP No.43/1993) .....	32
Tabel 5.1.	Parameter Tanah Lempung (Puri, 2017).....	55
Tabel 5.2.	Parameter Tanah Pasir (Puri, 2017).....	56
Tebal 5.3.	Parameter Beton Lantai Kerja ( <i>Lean Concrete</i> ) .....	56
Tabel 5.4.	Parameter Struktur Pelat Terpaku 2D <i>Plane Strain</i> .....	57
Tabel 5.5.	Parameter Struktur Tiang 2D <i>Plane Strain</i> .....	58
Tebal 5.6.	Parameter Struktur Balok 2D <i>Plane Strain</i> .....	58
Tebal 5.7.	Parameter Struktur Perkerasan Kaku Konvensional 2D <i>Plane Strain</i> .....	59
Tebal 5.8.	Hasil Analisa Beban Horizontal .....	60
Tabel 5.9.	LHR Pada Ruas Simpang Tol–Terminal Terboyo (Jl.Kaligawe)	60
Tabel 5.10.	Hasil Analisa Jumlah Sumbu Kendaraan Berdasarkan Jenis dan Bebannya.....	61
Tabel 5.11.	Perhitungan Repetisi Sumbu Rencana .....	62
Tabel 5.12.	Analisa Fatik dan Erosi.....	63
Tebal 5.13.	Perbandingan Hasil <i>Displacements</i> Perkerasan Jalan Sistem	



	Pelat Terpaku dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	65
Tabel 5.14.	Perbandingan Tegangan Geser Efektif Tanah Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	68
Tabel 5.15.	Perbandingan Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Pelat Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	69
Tabel 5.16.	Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Tiang Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	70
Tabel 5.17.	Perbandingan Hasil <i>Displacements</i> Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	71
Tabel 5.18.	Perbandingan Tegangan Geser Efektif Tanah Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	74
Tabel 5.19.	Perbandingan Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Pelat Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	75
Tabel 5.20.	Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Tiang Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	76
Tabel 5.21.	Perbandingan Hasil <i>Displacements</i> Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	77
Tabel 5.22.	Perbandingan Tegangan Geser Efektif Tanah Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	80
Tabel 5.23.	Perbandingan Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Pelat Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	81
Tabel 5.24.	Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Tiang Perkerasan Jalan Sistem	

	Pelat Terpaku Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	82
Tabel 5.25.	Perbandingan Hasil <i>Displacements</i> Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	83
Tabel 5.26.	Perbandingan Tegangan Geser Efektif Tanah Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	86
Tabel 5.27.	Perbandingan Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Pelat Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	87
Tabel 5.28.	Perbandingan Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Tiang Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	87
Tabel 5.29.	Perbandingan Hasil <i>Displacements</i> Horizontal Jenis Perkerasan Jalan Persegmen Dengan Menerus Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	89
Tabel 5.30.	Perbandingan Hasil <i>Displacements</i> Vertikal Jenis Perkerasan Jalan Persegmen Dengan Menerus Akibat Beban Horizontal 64 kN.....	91
Tabel 5.31.	Perbandingan Tegangan Geser Efektif Tanah Jenis Perkerasan Jalan persegmen dengan menerus Akibat Beban Horizontal 64 kN.....	93
Tabel 5.32.	Perbandingan Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Pelat Jenis Perkerasan Jalan Persegmen Dengan Menerus Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	95
Tabel 5.33.	Perbandingan Hasil <i>Displacements</i> Horizontal Jenis Perkerasan Jalan Persegmen Dengan Menerus Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	97
Tabel 5.34.	Perbandingan Hasil <i>Displacements</i> Vertikal Jenis Perkerasan Jalan Persegmen Dengan Menerus Akibat Beban Horizontal 108 kN.....	99

Tabel 5.35.	Perbandingan Tegangan Geser Efektif Tanah Jenis Perkerasan Jalan Persegmen Dengan Menerus Akibat Beban Horizontal 108 kN.....	101
Tabel 5.36.	Perbandingan Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Pelat Jenis Perkerasan Jalan Persegmen Dengan Menerus Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	104
Tabel A.1.	LHR Pada Ruas Simpang Tol – Terminal Terboyo (Jl. Kaligawe).....	A-13
Tabel A.2.	Perhitungan Jumlah Sumbu Berdasarkan Jenis dan Bebannya ..	A-15
Tabel A.3.	Perhitungan Repetisi Sumbu Rencana.....	A-16
Tabel A.4.	Analisa Fatik dan Erosi.....	A-17
Tabel A.5.	Hasil <i>Displacements</i> Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	A-51
Tabel A.6.	Hasil <i>Displacements</i> Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN.....	A-51
Tabel A.7.	Hasil Tegangan Geser Efektif Tanah Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	A-51
Tabel A.8.	Hasil Tegangan Geser Efektif Tanah Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	A-52
Tabel A.9.	Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Pelat Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Akibat Beban Horizontal 64 kN.....	A-52
Tabel A.10.	Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Pelat Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	A-52
Tabel A.11.	Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Tiang Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	A-53
Tabel A.12.	Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Tiang Perkerasan Jalan Sistem	

	Pelat Terpaku Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	A-53
Tabel A.13.	Hasil <i>Displacements</i> Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN.....	A-53
Tabel A.14.	Hasil <i>Displacements</i> Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN.....	A-54
Tabel A.15.	Hasil Tegangan Geser Efektif Tanah Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	A-54
Tabel A.16.	Hasil Tegangan Geser Efektif Tanah Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	A-54
Tabel A.17.	Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Pelat Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	A-55
Tabel A.18.	Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Pelat Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	A-55
Tabel A.19.	Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Tiang Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	A-55
Tabel A.20.	Hasil Analisa Gaya-Gaya Dalam Tiang Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	A-56

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Ilustrasi Pengaruh Pemasangan Tiang Sebagai “Paku” Pada Perkerasan Beton (Hardiyatmo, 2008) .....	13
Gambar 3.2. Tipikal Konstruksi Sistem Pelat Terpaku (Hardiyatmo, 2008)	16
Gambar 3.3. Tipikal Struktur Perkerasan Beton Semen (SNI Pd-T-14-2003)	19
Gambar 3.4. Tebal Pondasi Bawah Minimum Untuk Perkerasan Beton Semen (SNI Pd-T-14-2003) .....	22
Gambar 3.5. CBR Tanah Dasar Efektif Dan Tebal Pondasi Bawah (SNI Pd-T-14-2003) .....	23
Gambar 3.6. Vektor Perpindahan S Sejajar (Raharja dkk, 2014).....	33
Gambar 3.7. Posisi Tegangan Pada Material Padat (Liu Yijun, 2003) .....	35
Gambar 3.8. Ilustrasi Pemodelan <i>Plane strain</i> dan <i>Axisymmetric</i> (Brinkgreve,2002) .....	37
Gambar 3.9. Ilustrasi Pemodelan Kekakuan Material Pelat (Brinkgreve, 2002).....	39
Gambar 3.10. Ilustrasi Pemodelan Kekakuan Material Pelat untuk Komponen Tiang (Brinkgreve,2002) .....	41
Gambar 4.1. Bagan Alir Penelitian .....	46
Gambar 4.2. <i>General setting</i> Plaxis.....	47
Gambar 4.3. Pemodelan Struktur Jalan Sistem Pelat Terpaku .....	48
Gambar 4.4. Jendela <i>Material Sets</i> .....	48
Gambar 4.5. <i>Mesh Generate</i> Pada Pemodelan Plaxis .....	49
Gambar 4.6. (a) <i>Intial Water Pressure</i> dan (b) <i>Initial Stress</i> .....	50
Gambar 4.7. <i>Calculation</i> .....	50
Gambar 4.8. Jendela <i>Output</i> PLAXIS .....	51
Gambar 5.1. Jenis Perkerasan Jalan Persegmen Pada Sistem Pelat Terpaku	52
Gambar 5.2. Jenis Perkerasan Jalan Persegmen Pada Perkerasan Kaku Konvensional .....	53
Gambar 5.3. Jenis Perkerasan Jalan Menerus Pada Sistem Pelat Terpaku ...	54
Gambar 5.4. Jenis Perkerasan Jalan Menerus Pada Perkerasan Kaku	

	Konvensional .....	54
Gambar 5.5.	Susunan Lapisan Perkerasan Beton .....	64
Gambar 5.6.	Penempatan Posisi Beban .....	64
Gambar 5.7.	Perbandingan <i>Displacements</i> Horizontal Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	67
Gambar 5.8.	Perbandingan <i>Displacements</i> Vertikal Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	67
Gambar 5.9.	Perbandingan Tegangan Geser Efektif Tanah Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	69
Gambar 5.10.	Perbandingan <i>Displacements</i> Horizontal Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	73
Gambar 5.11.	Perbandingan <i>Displacements</i> Vertikal Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	73
Gambar 5.12.	Perbandingan Tegangan Geser Efektif Tanah Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	75
Gambar 5.13.	Perbandingan <i>Displacements</i> Horizontal Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	79
Gambar 5.14.	Perbandingan <i>Displacements</i> Vertikal Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	79
Gambar 5.15.	Perbandingan Tegangan Geser Efektif Tanah Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	81
Gambar 5.16.	Perbandingan <i>Displacements</i> Horizontal Perkerasan Sistem	

Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional	
Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	84
Gambar 5.17. Perbandingan <i>Displacements</i> Vertikal Perkerasan Sistem	
Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku Konvensional	
Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	85
Gambar 5.18. Perbandingan Tegangan Geser Efektif Tanah Perkerasan	
Sistem Pelat Terpaku Dengan Perkerasan Kaku	
Konvensional Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	86
Gambar 5.19. Perbandingan <i>Displacements</i> Horizontal Jenis Perkerasan	
Jalan Persegmen Dengan Menerus Akibat Beban Horizontal	
64 kN .....	89
Gambar 5.20. Perbandingan <i>Displacements</i> Vertikal Jenis Perkerasan Jalan	
Persegmen Dengan Menerus Akibat Beban Horizontal 64 kN	91
Gambar 5.21. Perbandingan Tegangan Geser Efektif Tanah Jenis	
Perkerasan Jalan Persegmen Dengan Menerus Akibat Beban	
Horizontal 64 kN .....	94
Gambar 5.22. Perbandingan <i>Displacements</i> Horizontal Jenis Perkerasan	
Jalan Persegmen Dengan Menerus Akibat Beban Horizontal	
108 kN .....	98
Gambar 5.23. Perbandingan <i>Displacements</i> Vertikal Jenis Perkerasan Jalan	
Persegmen Dengan Menerus Akibat Beban Horizontal	
108 kN .....	100
Gambar 5.24. Perbandingan Tegangan Geser Efektif Tanah Jenis Perkerasan	
Jalan Persegmen Dengan Menerus Akibat Beban Horizontal	
108 kN .....	102
Gambar A.1. Tipikal Sistem Pelat Terpaku (a) Denah, (b) Tampak.....	A-1
Gambar A.2. Pemodelan <i>Plane Strain</i> .....	A-2
Gambar A.3. Balok.....	A-4
Gambar A.4. Tipikal Sistem Pelat Terpaku (a) Denah, (b) Tampak.....	A-5
Gambar A.5. Pemodelan <i>Plane Strain</i> .....	A-5
Gambar A.6. Tipikal Perkerasan Kaku (a) Denah, (b) Tampak.....	A-8

Gambar A.7. Pemodelan <i>Plane Strain</i> .....	A-8
Gambar A.8. Tipikal Perkerasan Kaku (a) Denah, (b) Tampak.....	A-10
Gambar A.9. Pemodelan <i>Plane Strain</i> .....	A-10
Gambar A.10. Hasil Analisis Tebal Pelat .....	A-18
Gambar A.11. Hasil Analisa Fatik dan Beban Repetisi Ijin Berdasarkan Rasio Tegangan, Dengan / Tanpa Bahu Beton.....	A-19
Gambar A.12. Analisis Erosi dan Jumlah Repetisi Beban Ijin, Berdasarkan Faktor Erosi, Tanpa Bahu Beton .....	A-20
Gambar A.13. Jendela Pengaturan Global .....	A-21
Gambar A.14. Model <i>Geometri</i> .....	A-22
Gambar A.15. Pemodelan Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku .....	A-22
Gambar A.16. Jendela Material Tanah Dan Struktur.....	A-23
Gambar A.17. <i>Mesh Generate</i> Pada Pemodelan Plaxis .....	A-23
Gambar A.18. (a) <i>Intial water pressure</i> dan (b) <i>Initial stress</i> .....	A-24
Gambar A.19. <i>Calculation</i> .....	A-24
Gambar A.20. Hasil total <i>displacements</i> akibat beban horizontal 64 kN .....	A-25
Gambar A.21. Hasil <i>displacements</i> horizontal akibat beban horizontal 64 kN	A-25
Gambar A.22. Hasil <i>displacements</i> vertikal akibat beban horizontal 64 kN ...	A-26
Gambar A.23. Hasil tegangan geser efektif tanah akibat beban horizontal 64 kN .....	A-26
Gambar A.24. Hasil total <i>displacements</i> akibat beban horizontal 108 kN .....	A-26
Gambar A.25. Hasil <i>displacements</i> horizontal akibat beban horizontal 108 kN .....	A-27
Gambar A.26. Hasil <i>displacements</i> vertikal akibat beban horizontal 108 kN .	A-27
Gambar A.27. Hasil tegangan geser efektif tanah akibat beban horizontal 108 kN .....	A-28
Gambar A.28. Jendela Pengaturan Global .....	A-28
Gambar A.29. Model <i>Geometri</i> .....	A-29
Gambar A.30. Pemodelan Perkerasan Kaku .....	A-29
Gambar A.31. Jendela Material Tanah dan Struktur.....	A-30
Gambar A.32. <i>Mesh Generate</i> Pada Pemodelan Plaxis .....	A-30



Gambar A.33. (a) <i>Intial water pressure</i> dan (b) <i>Initial stress</i> .....	A-31
Gambar A.34. <i>Calculation</i> .....	A-31
Gambar A.35. Hasil Total <i>Displacements</i> Akibat Beban Horizontal 64 kN....	A-32
Gambar A.36. Hasil <i>Displacements</i> Horizontal Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	A-32
Gambar A.37. Hasil <i>Displacements</i> Vertikal Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	A-33
Gambar A.38. Hasil Tegangan Geser Efektif Tanah Akibat Beban Horizontal 64 kN .....	A-33
Gambar A.39. Hasil Total <i>Displacements</i> Akibat Beban Horizontal 108 kN..	A-34
Gambar A.40. Hasil <i>Displacements</i> Horizontal Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	A-34
Gambar A.41. Hasil <i>Displacements</i> Vertikal Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	A-34
Gambar A.42. Hasil Tegangan Geser Efektif Tanah Akibat Beban Horizontal 108 kN .....	A-35
Gambar A.43. Jendela Pengaturan Global .....	A-35
Gambar A.44. Model <i>Geometri</i> .....	A-36
Gambar A.45. Pemodelan Perkerasan Sistem Pelat Terpaku.....	A-36
Gambar A.46. Jendela Material Tanah dan Struktur.....	A-37
Gambar A.47. <i>Mesh Generate</i> Pada Pemodelan Plaxis .....	A-37
Gambar A.48. (a) <i>Intial water pressure</i> dan (b) <i>Initial stress</i> .....	A-38
Gambar A.49. <i>Calculation</i> .....	A-39
Gambar A.50. Hasil total <i>displacements</i> akibat beban horizontal 64 kN .....	A-39
Gambar A.51. Hasil <i>displacements</i> horizontal akibat beban horizontal 64 kN .....	A-40
Gambar A.52. Hasil <i>displacements</i> vertikal akibat beban horizontal 64 kN ...	A-40
Gambar A.53. Hasil tegangan geser efektif tanah akibat beban horizontal 64 kN .....	A-41
Gambar A.54. Hasil total <i>displacements</i> akibat beban horizontal 108 kN .....	A-41
Gambar A.55. Hasil <i>displacements</i> horizontal akibat beban horizontal	

108 kN .....	A-42
Gambar A.56. Hasil <i>displacements</i> vertikal akibat beban horizontal	
108 kN .....	A-42
Gambar A.57. Hasil tegangan geser efektif tanah akibat beban horizontal	
108 kN .....	A-43
Gambar A.58. Jendela Pengaturan Global .....	A-43
Gambar A.59. Model <i>Geometri</i> .....	A-44
Gambar A.60. Pemodelan Perkerasan Kaku .....	A-44
Gambar A.61. Jendela Material Tanah dan Struktur.....	A-45
Gambar A.62. <i>Mesh Generate</i> Pada Pemodelan Plaxis .....	A-45
Gambar A.63. (a) <i>Intial water pressure</i> dan (b) <i>Initial stress</i> .....	A-46
Gambar A.64. <i>Calculation</i> .....	A-46
Gambar A.65. Hasil Total <i>Displacements</i> Akibat Beban Horizontal 64 kN....	A-47
Gambar A.66. Hasil <i>Displacements</i> Horizontal Akibat Beban Horizontal	
64 kN .....	A-47
Gambar A.67. Hasil <i>Displacements</i> Vertikal Akibat Beban Horizontal	
64 kN .....	A-48
Gambar A.68. Hasil Tegangan Geser Efektif Tanah Akibat Beban	
Horizontal 64 kN .....	A-48
Gambar A.69. Hasil Total <i>Displacements</i> Akibat Beban Horizontal 108 kN..	A-49
Gambar A.70. Hasil <i>Displacements</i> Horizontal Akibat Beban Horizontal	
108 kN .....	A-49
Gambar A.71. Hasil <i>Displacements</i> Vertikal Akibat Beban Horizontal	
108 kN .....	A-50
Gambar A.72. Hasil Tegangan Geser Efektif Tanah Akibat Beban Horizontal	
108 kN .....	A-50

## DAFTAR LAMPIRAN

### LAMPIRAN A. PERHITUNGAN

A.1.	Perhitungan Modulus Kekakuan Normal dan Modulus Kekakuan Lentur .....	A-1
A.1.1.	Pemodelan Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku .....	A-1
A.1.2.	Pemodelan Perkerasan Kaku Konvensional ( <i>Rigid Pavement</i> ) .....	A-7
A.2.	Perhitungan Gaya Rem .....	A-11
A.2.1.	Perhitungan Gaya Rem Jenis Kendaraan Truk .....	A-11
A.2.2.	Perhitungan Gaya Rem Jenis Kendaraan Trailer .....	A-12
A.3.	Analisa Tebal Perkerasan Kaku Metode Bina Marga Pd T-14-2003 .....	A-13
A.3.1.	Analisa Mutu Beton Rencana .....	A-13
A.3.2.	Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku Konvensional ...	A-14
A.4.	Langkah-Langkah Perhitungan Dengan Motode Elemen Hingga Menggunakan Plaxis V.8.2 .....	A-21
A.4.1.	Jenis Perkerasan Jalan Persegmen .....	A-21
A.4.2.	Jenis Perkerasan Jalan Menerus .....	A-35

### LAMPIRAN B. DATA-DATA

### LAMPIRAN C. SURAT-SURAT

## DAFTAR NOTASI

$\phi$	: <i>friction angle</i> ( $^{\circ}$ )
$\psi$	: <i>dilatancy angle</i> ( $^{\circ}$ )
$\sigma$	: Tegangan
$\varepsilon$	: Regangan
$\nu$	: Poisson's ratio
$\gamma_{\text{beton}}$	: Berat beton bertulang ( $\text{kN/m}^3$ )
$A_t$	: Luas permukaan tiang (m)
$b$	: Lebar (m)
$C$	: Koefisien distribusi rencana
$c$	: Kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )
$D$	: Diameter (m)
$E$	: Modulus young ( $\text{kN/m}^2$ )
$EA$	: Kekakuan normal ( $\text{kN/m}$ )
$EI$	: Kekakuan lentur ( $\text{kNm}^2/\text{m}$ )
$E_k$	: Energi kinetik
$F$	: Gaya (kN)
$f_c'$	: Kuat tekan beton ( $\text{kg/cm}^2$ )
$f_{cf}$	: Kuat tarik lentur beton ( $\text{kg/cm}^2$ )
$f_{cs}$	: Kuat tarik balah beton ( $\text{kg/cm}^2$ )
$F_{KB}$	: Faktor keamanan beban
$h$	: Tebal (m)
$i$	: Laju pertumbuhan lalu lintas pertahun (%)
$I_t$	: Momen inersia
$J_{SKN}$	: Jumlah sumbu kendaraan niaga
$J_{SKNH}$	: Jumlah sumbu kendaraan niaga harian
$K$	: Konstanta
$L_r$	: Panjang komponen pelat (m)
$m$	: Massa kendaraan (kg)

- $n_{p\text{-baris-}i}$  : Jumlah tiang dalam satu baris (buah)
- $R$  : Faktor pertumbuhan lalu lintas
- $R_{\text{inter}}$  : Faktor reduksi *interface*
- $s$  : Perpindahan (m)
- $UR$  : Umur rencana (tahun)
- $UR_m$  : Waktu tertentu dalam tahun sebelum umur rencana
- $v$  : Kecepatan kendaraan (m/s)
- $W$  : Usaha
- $w$  : Berat (kN)
- $w_t$  : Berat beton bertulang x luas permukaan tiang (kN/m/m)



## STUDI PARAMETRIK PELAT TERPAKU AKIBAT BEBAN HORIZONTAL

M.RIDWAN  
143110363

### Abstrak

Fungsi perkerasan jalan adalah untuk memikul beban lalu lintas secara cukup aman dan nyaman, serta sebelum umur rencana tidak terjadi kerusakan yang berarti. Untuk memperoleh kestabilan dari perkerasan harus diketahui faktor-faktor yang dapat merusak perkerasan itu sendiri. Konstruksi perkerasan dapat diusahakan sedemikian hingga untuk menanggulangi segala faktor perusak, yang ditimbulkan oleh gaya-gaya lalu lintas salah satunya gaya rem kendaraan berupa gaya horizontal yang disalurkan ke permukaan perkerasan jalan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis beban horizontal pada perkerasan jalan sistem pelat terpaku kemudian dibandingkan dengan perkerasan kaku dari jenis perkerasan persegmen dan menerus.

Pemodelan perkerasan jalan yang terdiri dari perkerasan jalan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku dilakukan dengan elemen hingga *software* PLAXIS V.8.2. Analisis beban horizontal berupa gaya rem pada kendaraan menggunakan persamaan energi kinetik. Pemodelan perkerasan jalan terdiri dari jenis perkerasan jalan persegmen dengan panjang setiap segmen 12 m dan lebar 6 m dan jenis perkerasan jalan menerus dengan panjang pelat 300 m dan lebar 6 m. Panjang perkerasan jalan dari dua jenis pemodelan adalah 300 m dan lebar 6 m. Dari panjang perkerasan jalan terdapat 5 titik beban dengan jarak setiap beban 75 m. Hasil *displacement* pelat terpaku akan dibandingkan dengan perkerasan kaku. Perkerasan jalan dianalisis pada tanah lunak. Tebal pelat perkerasan sistem pelat terpaku 0,15 m, diameter tiang 0,20 m dengan panjang 1,50 m, jarak antar tiang 1,20 m, dan tebal pelat perkerasan kaku 0,30 m. Beban horizontal dari jenis kendaraan truk dan trailer.

Perkerasan jalan sistem pelat terpaku menghasilkan *displacements* horizontal lebih besar dari perkerasan kaku, terbukti ketika diberi beban sebesar 64 kN dari jenis persegmen pada pelat terpaku yaitu 0,128 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,078 mm, dan *displacements* vertikal sistem pelat terpaku yaitu -1,926 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,720 mm. Jenis perkerasan persegmen pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional yaitu -0,127 mm dan 0,078 mm menghasilkan *displacements* horizontal lebih besar dari jenis perkerasan menerus yaitu 0,119 mm dan 0,063 mm, dan *displacements* vertikal jenis persegmen pada pelat terpaku yaitu -1,962 mm lebih kecil dari jenis perkerasan menerus -2,518 mm, tetapi perkerasan kaku jenis persegmen yaitu -2,720 mm lebih besar dari jenis menerus yaitu -2,628 mm. Pada beban di pinggir pelat, beban di titik A dan E yaitu 0,078 mm dan 0,079 mm menghasilkan *displacements* horizontal lebih kecil dibandingkan pada beban di tengah pelat, beban di titik B, C, dan D yaitu 0,173 mm, 0,179 mm dan 0,125 mm, dan *displacements* vertikal lebih seragam dari semua titik beban pada pelat terpaku yaitu -1,962 mm dan perkerasan kaku konvensional yaitu -2,720 mm.

Kata kunci : Beban horizontal, gaya rem, lempung lunak, metode elemen hingga, pelat terpaku, perkerasan kaku.

## THE PARAMETRIC STUDY OF THE NAILED SLAB BASED ON HORIZONTAL LOADS

M.RIDWAN  
143110363

### Abstract

The function of road pavement is to carry the traffic load quite safely and comfortably, and before the age of the plan does not cause significant damage. To obtain stability from the pavement must know the factors that can damage the pavement itself. The pavement construction can be tried so that to overcome all destructive factors, caused by traffic forces one of them is the vehicle brake force in the form horizontal force that distributed to the surface of the road pavement. This research aims to analyze horizontal loads on the pavement Nailed-slab System then compared to rigid pavement from the type of pavement per segment and continuous.

Modeling of road pavement consists of Nailed-slab System and rigid pavement was carried out with the help of finite element method PLAXIS V.8.2. software. Analysis of horizontal loads in the form of brake force on vehicles using per kinetic energy. Modeling of road pavement consists type of road pavement per segment with a length of each segment of 12m and width of 6m and the type of continuous road pavement with a plate length of 300 m and a width of 6 m. The length of the road pavement of the two types of modeling is 300 m and width of 6m. From the length of the road pavement there are 5 load points with a distance of each load of 75 m. The resulting displacement of the Nailed-slab will be compared to rigid pavement. Road pavement was analyzed in soft soil. Nailed-slab System pavement plate thickness of 0.15 m, pole diameter of 0.20 m with a length of 1.50 m, distance between poles 1.20 m, and rigid pavement plate thickness of 0.30 m. Horizontal load of truck and trailer types.

Road pavement of the Nailed-slab System produces horizontal displacements greater than rigid pavement, proven when given a load of 64 kN from the type of segment on the Nailed-slab which is 0.128 mm greater than the conventional rigid pavement which is 0.078 mm, and vertical displacements of the Nailed-slab System which is -1.926 mm smaller than conventional rigid pavements which is -2,720 mm. The type of Nailed-slab and conventional rigid pavement are -0.127 mm and 0.078 mm produce in horizontal displacements greater than the type of continuous pavement which is 0.119 mm and 0.063 mm, and vertical displacements of the type of segment on the Nailed-slab which is -1,962 mm smaller than the type of continuous pavement of -2,518 mm, but the rigid type per segment pavement is -2,720 mm larger than the continuous type of -2,628 mm. loads at points A and E which are 0.078 mm and 0.079 mm produce horizontal displacements smaller than loads in the center of the plate, loads at points B, C, and D which are 0.173 mm, 0.179 mm and 0.125 mm, and vertical displacements are more uniform than all load points on Nailed-slab which are -1.962 mm and conventional rigid pavements are -2.720 mm.

Keywords : Horizontal load, brake force, soft clay, finite element method, Nailed-slab, rigid pavement.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan sarana transportasi yang sangat penting bagi kehidupan manusia untuk mempermudah dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Hal ini dapat dilihat dari pengertian transportasi yaitu memudahkan orang atau barang dari satu tempat ke tempat lainnya dengan menggunakan sebuah kendaraan yang digerakkan oleh manusia atau mesin. Oleh karena itu, kondisi jalan sangat berpengaruh bagi kenyamanan dan keselamatan setiap pengguna jalan. Agar jalan dapat berfungsi dengan semestinya maka perkerasan jalan harus sesuai dengan yang direncanakan. Kerusakan jalan bisa berdampak buruk bagi kebutuhan ekonomi maupun sosial, terutama pada sarana transportasi darat. Umumnya kerusakan jalan berupa retak-retak, bergelombang, berlubang, juga kerusakan berupa alur/cekungan arah memanjang jalan sekitar jejak roda kendaraan.

Perencanaan perkerasan kaku yang telah banyak distandarisasi didasarkan pada kondisi dimana perkerasan terletak di atas tanah dasar yang mempunyai kekakuan yang cukup untuk menerima beban lalu lintas. Pada tanah lunak diperlukan tebal perkerasan yang lebih besar sehingga beban struktur juga bertambah. Beberapa metode konstruksi telah dikembangkan untuk mengatasi atau meminimalisir masalah perkerasan kaku pada tanah lunak, misalnya penggunaan stabilisasi tanah, perkuatan tanah, *embankment on pile* (dengan individual *pile cap* maupun *continous pile cap*), fondasi Konstruksi Sarang Laba-laba serta perkerasan Sistem Cakar Ayam.

Hardiyatmo (2008) melalui studi analitisnya mengusulkan Sistem Pelat Terpaku (*Nailed-slab System*), yaitu penggunaan tiang-tiang pendek di bawah pelat perkerasan kaku. Tiang-tiang tersebut berfungsi sebagai paku bagi pelat beton sehingga penurunannya lebih merata atau seragam, sekaligus menambah kuat dukung tanah dan mengurangi faktor kehilangan dukungan (*loss support factor, LS*), serta meningkatkan modulus reaksi *subgrade* vertikal efektif. Diperoleh efisiensi pada tebal pelat beton. Tiang-tiang yang dipasang di bawah



pelat meningkatkan kekakuan pelat (Puri, et.al., 2011a). Peningkatan kekakuan pelat ini akan mengurangi ketebalan pelat (Hardiyatmo, 2009). Pelat beton mempunyai fungsi ganda yaitu sebagai perkerasan jalan dan *pile cap*. Dalam hal ini hanya dibutuhkan pelat yang tipis. Penggunaan *pile cap* yang tipis pada tanah lunak menguntungkan, karena beban yang dipikul tanah menjadi lebih ringan sehingga penurunan dapat tereduksi (Hardiyatmo dan Suhendro, 2003). Pada dasarnya, Sistem Pelat Terpaku merupakan inovasi dari Sistem Cakar Ayam. Bilamana Sistem Cakar Ayam menggunakan struktur cakar berupa silinder beton bertulang atau silinder baja galvanis, maka pada Sistem Pelat Terpaku diganti dengan tiang-tiang beton yang pendek.

Fungsi perkerasan jalan adalah untuk memikul beban lalu lintas secara cukup aman dan nyaman, serta sebelum umur rencana tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar jalan tidak mengalami kerusakan akibat beban lalu lintas kendaraan maka dibutuhkan suatu konstruksi perkerasan jalan yang mampu menahan beban lalu lintas sesuai klasifikasinya. Untuk memperoleh kestabilan dari perkerasan harus diketahui faktor-faktor yang dapat merusak perkerasan itu sendiri. Konstruksi perkerasan dapat diusahakan sedemikian hingga untuk menanggulangi segala faktor perusak, yang ditimbulkan oleh gaya-gaya lalu lintas salah satunya gaya rem kendaraan berupa gaya horizontal yang disalurkan ke permukaan perkerasan jalan. Kerusakan akibat kendaraan yang melakukan pengereman akan mengakibatkan jalan menjadi tidak rata atau bergelombang pada permukaan jalan. Sukirman (2010), beban lalu lintas adalah beban yang disalurkan kepermukaan perkerasan jalan melalui roda kendaraan terdiri atas gaya rem kendaraan sebagai gaya horizontal.

Pada penelitian ini dengan judul “Studi Parametrik Pelat Terpaku Akibat Beban Horizontal” sesuai dengan latar belakang yang telah dipaparkan di atas terkait dengan jalan merupakan sarana transportasi yang sangat penting bagi kehidupan manusia untuk mempermudah dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Untuk memperoleh kestabilan dari perkerasan harus diketahui faktor-faktor yang dapat merusak perkerasan itu sendiri, penelitian ini menganalisis tentang berapa besar pengaruh gaya horizontal berupa gaya rem kendaraan yang disalurkan

kepermukaan perkerasan jalan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini penulis hanya merumuskan beberapa hal permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil perbandingan *displacements* pada perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku akibat beban horizontal.
2. Bagaimana hasil perbandingan *displacements* dari jenis perkerasan jalan persegmen dan menerus.
3. Bagaimana hasil *displacements* di berbagai titik beban pada perkerasan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku akibat beban horizontal.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk membandingkan hasil *displacements* yang terjadi pada perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku akibat beban horizontal.
2. Untuk membandingkan hasil *displacements* dari jenis perkerasan jalan persegmen dan menerus.
3. Untuk mengetahui hasil *displacements* di berbagai titik beban pada perkerasan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku akibat beban horizontal.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menambah bahan bacaan mengenai analisis akibat beban horizontal pada perkerasan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku.
2. Diharapkan mampu mengembangkan ilmu pengetahuan dalam bidang teknik sipil khususnya tentang akibat beban horizontal pada perkerasan jalan.
3. Menjadi acuan bagi peneliti lain yang akan melanjutkan kajian tentang persoalan akibat beban horizontal pada jalan.

4. Diharapkan dapat menjadi masukan dan wawasan bagi peneliti dan peneliti selanjutnya.

### **1.5 Batasan Masalah**

Agar penyusunan tugas akhir ini lebih terarah dan lebih efisien maka penulis membatasi antara lain:

1. Perkerasan jalan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional ada dua jenis perkerasan yaitu jenis perkerasan persegmen dengan panjang setiap segmen 12 m dan perkerasan menerus dengan panjang perkerasan 300 m.
2. Perkerasan jalan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional berada di atas tanah lempung lunak.
3. Perkerasan jalan yang terdiri dari perkerasan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional tanpa memperhitungkan anggaran biaya.
4. Panjang perkerasan jalan yang dianalisis 300 meter dan lebar 6 m.
5. Dari panjang perkerasan jalan 300 m terdapat lima titik beban yang dianalisa dengan jarak setiap beban 75 m dan beban yang dianalisa hanya dalam bentuk satu arah.
6. Jenis beban dari kendaraan truk dengan konfigurasi sumbu 1.22 dan trailer dengan konfigurasi sumbu 1.2-2.2.
7. Kecepatan kendaraan dari jenis kendaraan truk dan trailer sebesar 70 km/jam.
8. Penelitian berfokus akibat beban horizontal sebagai beban statik.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Tinjauan pustaka memuat uraian sistematika tentang pustaka dan hasil-hasil penelitian yang didapat oleh peneliti serta memiliki hibungan erat dengan peneliti yang dilakukan. Dalam penyajian ini hendaknya ditunjukkan bahwa permasalahan yang akan diteliti belum terjawab dan belum terpecahkan secara memuaskan. Fakta yang akan dikemukakan sejauh mungkin diambil dari sumbernya (Sukirman, 2003).

#### **2.2 Penelitian Sebelumnya**

Puri (2017), telah melakukan penelitian terhadap “Infrastruktur Jalan Beton Sistem Pelat Terpaku Untuk Pembangunan Jalan Berkelanjutan Pada Tanah Dasar Lunak dan Ekspansif” Perkerasan kaku konvensional pada tanah lunak memerlukan tebal perkerasan yang lebih besar sehingga beban struktur juga bertambah, sehingga tidak begitu menguntungkan bagi tanah lunak. Perkerasan Sistem Pelat Terpaku telah diusulkan peneliti terdahulu sebagai pilihan solusi perkerasan jalan pada tanah lunak dan ekspansif, ekspansif adalah tanah yang mengalami perubahan volume akibat perubahan kadar air dalam tanah. Sistem ini bukan metode perbaikan tanah melainkan metode pilihan untuk meningkatkan kinerja perkerasan kaku pada tanah lunak dan ekspansif. Tiang-tiang yang dipasang di bawah pelat berfungsi sebagai pengaku. Makalah ini bertujuan memberikan informasi tentang kinerja prototipe Pelat Terpaku pada lempung lunak, prospek aplikasi lapangan dan metode perancangan. Pengujian Pelat Terpaku skala penuh telah dilakukan oleh Puri (2015a). Pelat Terpaku tiga baris tiang telah dibangun pada tanah lunak yang terdiri atas pelat 6,00 m x 3,54 m dengan tebal 0,15 m, 15 buah tiang mikro (diameter 0,20 m, panjang 1,50 m, dan jarak tiang 1,20 m) sebagai pengaku yang dipasang monolit di bawah pelat. Pada kedua ujung pelat diperkuat dengan pelat penutup tepi. Sistem Pelat Terpaku dibebani dengan beban vertikal monotonik dan repetitif. Pelat Terpaku satu baris

tiang juga dibuat dan dilakukan uji beban tekan dan beban cabut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tiang-tiang di bawah pelat yang tertanam di dalam tanah dapat berfungsi dengan baik sebagai pengaku dan memberikan respons yang sama ke segala arah. *Differential settlement* yang teramati sangat kecil. Sistem mempunyai tahanan yang tinggi terhadap vibrasi. Kinerja yang baik juga ditunjukkan sistem ini terhadap gaya angkat, terutama akibat tekanan pengembangan (*swelling pressures*) tanah ekspansif. Tampaknya kinerja Sistem Pelat Terpaku ini sangat menjanjikan untuk aplikasi lapangan. Oleh karena itu perlu dilakukan *field trial* pada suatu ruas jalan dengan kondisi tanah lempung lunak atau ekspansif.

Puri, dkk (2015), telah melakukan penelitian terhadap “Perilaku Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Pada Tanah Dasar Lempung Lunak” Perkerasan Sistem Pelat Terpaku merupakan salah satu metode peningkatan kinerja perkerasan kaku pada tanah lunak yang dikembangkan dari Sistem Cakar Ayam Modifikasi, sehingga diharapkan perkerasan memberikan kemampuan layan yang baik; terhindar dari penurunan tidak seragam yang berlebihan dan pumping, serta mempunyai ketahanan yang tinggi. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari perilaku perkerasan Sistem Pelat Terpaku pada lempung lunak akibat pembebanan, sehingga dapat diketahui kontribusi tiang-tiang dalam meningkatkan kekakuan sistem, dan meningkatkan modulus reaksi tanah dasar ekuivalen, serta sebagai validasi metode analisis yang diusulkan. Uji Sistem Pelat Terpaku skala penuh telah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Gadjah Mada. Pelat Terpaku menggunakan konstruksi beton bertulang yang dipasang pada media lempung lunak. Uji Pelat Terpaku dengan 3 baris tiang mempunyai ukuran pelat 6.00 m × 3.54 m, tebal 0.15 m, berada pada lempung lunak setebal 2.15 m, dan diperkuat tiang mikro berdiameter 0.20 m, panjang 1.50 m, dan jarak 1.20 m. Sejumlah alat-alat dipasang untuk mengamati perilaku sistem. Pembebanan berupa beban statis dan monotonik. Pelat Terpaku memperlihatkan perilaku lendutan pelat berbentuk mangkok. Hal ini mengindikasikan semua tiang mampu memberikan respon yang sama dalam 3D. Tiang-tiang memobilisasi kapasitas dukung tekan dan berfungsi sebagai angkur mencegah pelat terjungkit

pada bagian yang menerima jungkitan. Pelat Terpaku skala penuh mempunyai kekakuan yang besar dalam memikul beban. Hingga beban sentris 160 kN memberikan respon lendutan yang masih elastik-linier, dimana lendutannya kecil sebesar 4,35 mm akibat beban di tepi sebesar 2 kali beban roda tunggal. Persamaan dan kurva faktor perpindahan yang diusulkan peneliti terdahulu untuk penentuan tambahan modulus reaksi tanah dasar dapat digunakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kinerja sistem ini sangat menjanjikan untuk aplikasi lapangan. Untuk itu perlu dilakukan *field trial* pada suatu ruas jalan dengan kondisi tanah dasar lempung lunak.

Puri (2014), telah melakukan penelitian terhadap “Prospek Aplikasi Perkerasan Sistem Pelat Terpaku untuk Jalan pada Tanah Lunak” Perkerasan kaku konvensional pada tanah lunak memerlukan tebal perkerasan yang lebih besar sehingga beban struktur juga bertambah, sehingga tidak menguntungkan bagi tanah lunak. Perkerasan Sistem Pelat Terpaku telah diusulkan peneliti terdahulu sebagai alternatif solusi perkerasan jalan pada tanah lunak. Sistem ini bukan metode perbaikan tanah melainkan metode alternatif guna meningkatkan kinerja perkerasan kaku pada tanah lunak. Tiang-tiang yang dipasang di bawah pelat berfungsi sebagai pengaku. Makalah ini bertujuan memberikan informasi tentang kinerja prototipe Pelat Terpaku pada lempung lunak dan prospek aplikasi lapangannya. Pengujian Pelat Terpaku skala penuh telah dilakukan oleh Puri, et.al. (2013d, 2014). Pelat Terpaku telah dibangun pada tanah lunak yang terdiri atas pelat 6,00 m x 3,54 m dengan tebal 0,15 m, 15 buah tiang mikro (diameter 0,20 m, panjang 1,50 m, dan jarak tiang 1,20 m) sebagai pengaku yang dipasang monolit di bawah pelat. Pada kedua ujung pelat diperkuat dengan pelat penutup tepi. Sistem Pelat Terpaku dibebani dengan beban vertikal monotonik dan repetitif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tiang-tiang di bawah yang tertanam di dalam tanah dapat berfungsi dengan baik sebagai pengaku dan memberikan respons yang sama ke segala arah. *Differential settlement* yang teramati sangat kecil. Sistem mempunyai tahanan yang tinggi terhadap vibrasi. Tampaknya kinerja Sistem Pelat Terpaku ini sangat menjanjikan untuk aplikasi lapangan.

Utomo, dkk (2017) telah melakukan penelitian terhadap “Analisis Lendutan Perkerasan Kaku Pada Pembebanan Tengah Dan Tepi Dengan Metode Elemen Hingga” Perkerasan kaku banyak digunakan pada kondisi tanah dasar yang mempunyai daya dukung rendah. Perkerasan kaku merupakan solusi tepat dalam menangani tanah dasar yang bermasalah. Namun jika tebal dan mutu beton tidak diperhitungkan dengan tepat, akan menghasilkan lendutan yang sangat besar, sehingga menyebabkan *cracking*, serta *pumping* dan *faulting* pada perkerasan. Metode Elemen Hingga adalah salah satu alternatif dalam menganalisis besarnya lendutan perkerasan kaku akibat pembebanan pusat, dan tepi pelat dengan beban vertikal. Penelitian ini menggunakan pelat berukuran 6x3 m dengan ketebalan 15,20, 25, 30 dan 35 cm dengan pembebanan 8 ton serta dengan mutu beton K250,K300 dan K350 pada pembebanan tengah dan tepi pelat. Pada CBR 5% dengan tebal 15 cm Nilai lendutan maximum pada pelat tengah adalah -0,7630 mm sedangkan pada beban tepi sebesar -1,5646 mm dengan prosentase penurunan 51,23%. Prosentase penurunan pada beban tepi dan tengah sebesar 38%-52%. Sebaran tahanan tanah dasar pada beban tepi lebih sedikit dari pada beban tengah sehingga lendutan menjadi lebih besar. Besarnya nilai lendutan berbanding terbalik dengan mutu beton, CBR dan tebal pelat.

Yasir, dkk (2017), telah melakukan penelitian terhadap “Analisis Lendutan Perkerasan Kaku Pada Pembebanan Sudut Dengan Metode Elemen Hingga” Perkerasan kaku adalah salah satu jenis perkerasan untuk menangani permasalahan akibat daya dukung tanah yang rendah. Tebal perkerasan merupakan salah satu yang diperhitungkan agar tidak terjadi lendutan yang melebihi lendutan yang diijinkan pada tanah dasarnya. Penggunaan balok pada ujung pelat perkerasan kaku adalah sebagai pilihan/solusi untuk mengatasi permasalahan lendutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui lendutan pada perkerasan kaku akibat beban vertikal pada posisi sudut dengan variasi ketebalan dan penambahan balok pada ujung pelat. Besarnya lendutan akibat pembebanan sudut dianalisis dengan Metode Elemen Hingga. Model pelat berukuran 6x3 m dengan variasi tebal 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm dan 35 cm, nilai CBR 10%, mutu beton yang digunakan adalah K350, posisi pembebanan sudut dengan beban

8 ton dan koperan lebar 25 cm tinggi 50 cm. Penggunaan balok dapat mereduksi lendutan hingga 42,36% pada tebal 15 cm dan semakin turun dengan bertambahnya tebal pelat hingga sebesar 13,13% pada tebal 35 cm, sehingga dapat diperoleh tebal perkerasan yang lebih kecil, sebagaimana dalam hasil analisis pelat tebal 35 cm tanpa balok diperoleh lendutan maksimum sebesar 10,659 mm atau lebih besar lendutannya dari pelat tebal 25 cm menggunakan balok dengan lendutan maksimum sebesar 10,413 mm.

Yanto (2015), telah melakukan penelitian terhadap “Analisis Lendutan Perkerasan Kaku Pada Tanah Lunak Dengan Perkuatan *Soil Cement*” Analisis lendutan pada penelitian ini menggunakan Plaxis 3D. Langkah pertama adalah menentukan parameter pemodelan perkerasan kaku, tanah dan kolom *soil cement*. Kemudian dengan metode elemen hingga dianalisis lendutan tanpa *soil cement*, analisis lendutan dengan variasi diameter *soil cement*, dan analisa lendutan dengan menggunakan *microsoft excel* untuk mencari hubungan antar lendutan dan konfigurasi kolom *soil cement*. Perkerasan kaku dibebani dengan beban vertikal. Komponen perkerasan kaku adalah beton semen, beton kurus, dan *base course* dengan dimensi 6 m x 3 m dan ketebalan masing-masing adalah 28 cm, 10 cm, dan 10 cm. parameter tanah dan *soil cement* diambil dari hasil test laboratorium Mekanika Tanah Universitas Sebelah Maret, Surakarta. Kadar air ( $w$ ), berat jenis ( $G_s$ ), dan berta volume kondisi basah ( $\gamma_b$ ) tanah lunak adalah 55,14%, 2,57, dan 16 kN/m<sup>3</sup>. Nilai LL dan PL tanah lunak adalah 70,37% dan 38,64%. Berat volume kondisi basah ( $\gamma_b$ ) *soil cement* adalah sekitar 16,7 kN/m<sup>3</sup>. Nilai Modulus Elastisitas *soil cement* sekitar 526.900 kN/m<sup>2</sup>. Hasil analisis menunjukkan bahwa perkerasan kaku tanpa perkuatan mengalami lendutan dengan nilai lendutan maksimum sebesar 63,83 mm. perbandingan landutan masing-masing konfigurasi terhadap lendutan ijin rata-rata 91,88%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa perbaikan tanah dengan membuat kolom *soil cement* merupakan metode perbaikan untuk mengurangi besar lendutan. Nilai koefisien korelasi antara lendutan dan konfigurasi kolom *soil cement* adalah 0,654-0,952. Ini menunjukkan bahwa ada hubungan yang sangat kuat untuk mereduksi lendutan.



Firdaus (2006), telah melakukan penelitian terhadap “Uji Beban Lateral Kelompok Tiang Beton Dengan Pilecap Tipis Pada Tanah Lempung Lunak” Kondisi tanah lempung lunak sering kita jumpa di lapangan dengan volume yang sangat besar. Penggunaan fondasi kelompok tiang mengapung dengan *pile cap* yang berfungsi untuk menyatukan ujung tiang dan mendistribusikan beban ke masing-masing tiang diharapkan dapat memberikan perlawanan terhadap pengaruh gaya lateral yang berkerja pada konstruksi khususnya penerapan untuk bangunan konstruksi tower akibat beban angin dan dermaga akibat beban benturan kapan. Pelat (*pile cap*) tipis ukuran 3 x 1 meter yang didukung perkuatan kelompok tiang dengan panjang ( $L$ ) = 1 meter dan diameter ( $\phi$ ) = 0,1 meter yang dipancang pada tanah lempung sebanyak 12 buah. Media lempung ukuran 3,5 x 1,5 meter, kedalaman 1,5 meter. Pelaksanaan pengujian pembebanan lateral pada fondasi berdasarkan ASTM D420-D3966. Pendekatan analisis dan perancangan menggunakan metode *Beam on Elastic Foundation* (BoEF) dan metode Broms. Pemberian beban lateral maksimum 30 kN menyebabkan lendutan *pile cap* bertambah besar untuk letak momen dekat dengan pusat pelat (*pile cap*) dan memperkecil pengaruh *displacement* lateral pada perletakan 0,25 meter dari tepi *pile cap*. Perhitungan BoEF untuk  $k_{v-momen}$  dengan hasil pengamatan diperoleh selisih antara 57% sampai 9 %, hitungan BoEF dengan memakai  $k_{v-PLT}$  terkoreksi selisih di atas 400 %. Analisis perilaku defleksi tiang dengan metode Broms terhadap hasil pengamatan memperlihatkan selisih perhitungan antara 27 % sampai 6 %.

### 2.3 Keaslian Penelitian

Berdasarkan dari tinjauan pustaka yang dipaparkan maka penelitian tugas akhir ini jelas berbeda penelitiannya. Seperti sistem perkerasan jalan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional dimodelkan dengan dua cara yaitu persegmen dan menerus, beban yang bekerja pada pelat dari arah horizontal, dan panjang perkerasan jalan 300 meter, serta tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui bagaimana pengaruh perkerasan sistem pelat terpaku akibat beban horizontal dan dibandingkan dengan perkerasan kaku konvensional. Maka dari

seluruh penelitian ini adalah benar hasil penelitian penulis dan belum pernah diteliti sebelumnya.

**Tabel 2.1** Peneliti terdahulu

No	Penelitian	Tujuan	Metode
(1)	(2)	(3)	(4)
1	Puri A 2017	Bertujuan untuk memberikan informasi tentang kinerja prototipe Pelat Terpaku pada lempung lunak, prospek aplikasi lapangan dan metode perancangan.	Metode perancangan praktis diutamakan untuk <i>preliminary design</i> . Lendutan dan gaya-gaya dalam dihitung menggunakan teori BoEF.
2	Puri, dkk 2015	Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari perilaku perkerasan Sistem Pelat Terpaku pada lempung lunak akibat pembebanan, sehingga dapat diketahui kontribusi tiang-tiang dalam meningkatkan kekakuan sistem, dan meningkatkan modulus reaksi tanah dasar ekuivalen, serta sebagai validasi metode analisis yang diusulkan.	Metode analisis BoEF dan simulasi elemen hingga (FEM) menggunakan software Plaxis 3D dan SAP2000.
3	Utomo, dkk (2017)	Tujuan penelitian ini untuk mengetahui lendutan pada pelat dengan pembebanan pusat dan pembebanan tepi pelat.	Metode Deskriptif Kuantitatif menggunakan pemodelan dengan program Sap-2000 v.14.
4	Puri A (2014)	Bertujuan memberikan informasi tentang kinerja prototipe Pelat Terpaku pada lempung lunak dan prospek aplikasi lapangannya.	Metode analisis BoEF dan simulasi elemen hingga (FEM) menggunakan software Plaxis 3D dan SAP2000.
5	Yanto F (2015)	Menganalisis lendutan perkerasan kaku, <i>subgrade</i> tanpa perkuatan	Metode yang digunakan menggunakan metode elemen hingga plaxis 3D

**Tabel 2.1** (Lanjutan)

(1)	(2)	(3)	(4)
		dan dengan kekuatan kolom <i>soil cement</i> dan hubungan variasi diameter dan jarak <i>soil cement</i> .	
6	Yasir, dkk (2017)	Bertujuan untuk mengetahui lendutan pada perkerasan kaku akibat beban pada posisi sudut dengan variasi ketebalan dan penambahan koperan	Metode deskriptif kuantitatif dan metode eksperimental untuk membuat pemodelan struktur perkerasan kaku yang dianalisis lendutannya dengan metode elemen hingga program SAP-2000 v.14.
7	Firdaus (2006)	Bertujuan untuk mengamati perilaku <i>pile cap</i> dan kelompok tiang akibat beban lateral, dan mengamati perilaku <i>displacement</i> pelat dan tiang pada waktu beban telah bekerja.	Pendekatan analisis dan perancangan menggunakan metode <i>Beam on Elastic Foundation</i> (BoEF) dan metode Broms.

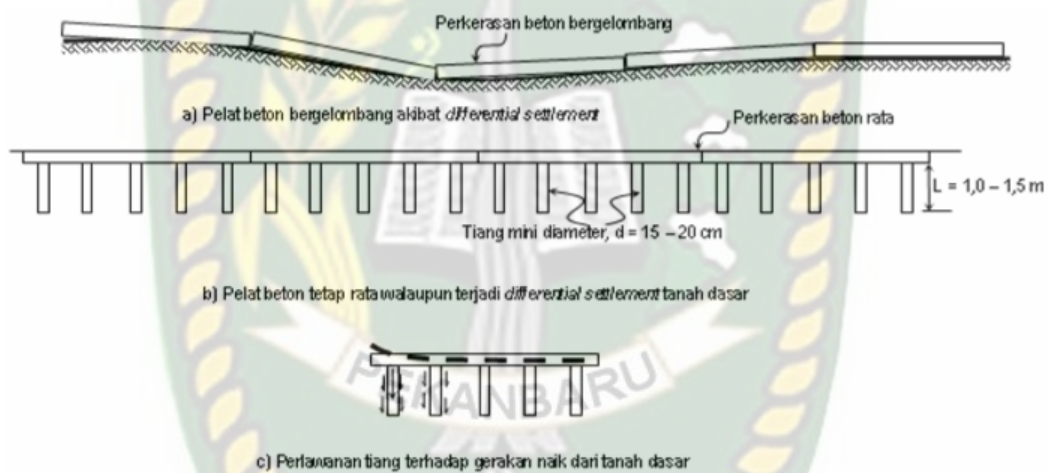
Tabel 2.1 menunjukkan penelitian terdahulu tentang analisis pembebanan dari arah vertikal pada perkerasan jalan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional dengan pembebanan tengah pelat dan pembebanan tepi pelat. Dari Tabel 2.1 tentang penelitian terdahulu, maka penelitian ini jelas berbeda dengan penelitian sebelumnya, seperti pada beban yang bekerja pada pelat dari arah horizontal pada perkerasan jalan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional.

### BAB III

## LANDASAN TEORI

### 3.1 Sistem Pelat Terpaku

Sistem Pelat Terpaku (*Nailed Slab Sistem*) yang dikembangkan oleh Hary Cristady Hardiyatmo (2008) adalah suatu perkerasan beton bertulang (tebal antara 12 – 20 cm) yang didukung oleh tiang-tiang beton mini (panjang 150–200 cm dan diameter 15–20 cm). Tiang-tiang dan pelat beton dihubungkan secara monolit dengan bantuan tulangan-tulangan. Hubungan antara pelat beton-tiang tanah di sekitarnya menciptakan suatu perkerasan yang lebih kaku, yang lebih tahan terhadap perubahan wujud pada tanah.



**Gambar 3.1** Ilustrasi pengaruh pemasangan tiang sebagai “paku” pada perkerasan beton (Hardiyatmo, 2008)

Gambar 3.1 mengilustrasikan perbandingan perkerasan kaku (*Rigid Pavement*) dengan perkerasan sistem pelat terpaku dan perlawanan tiang terhadap beban. Perkerasan kaku diperkuat dengan tiang-tiang pendek. Tiang-tiang tersebut berfungsi sebagai paku bagi pelat beton, serta menambah kuat dukung tanah dan mengurangi faktor kehilangan dukung (*loss support factor, LS*), sehingga meningkatkan modulus reaksi *subgrade* vertikal efektif. Hasil yang dicapai adalah terjadi efisiensi pada pelat beton. Keberadaan tiang-tiang diharapkan dapat mereduksi perbedaan penurunan (Gambar 3.1a) sehingga perkerasan tetap rata

pada arah memanjang jalan (Gambar 3.1b). Perbedaan penurunan juga dapat direduksi pada arah melintang jalan, dimana tiang dapat berfungsi sebagai angkur sehingga pelat tidak mengalami jungkitan (Gambar 3.11c). Tiang-tiang berfungsi sebagai paku bagi pelat beton, menambah kuat dukung sistem perkerasan, dan mengurangi faktor kehilangan dukungan, sehingga meningkatkan modulus reaksi tanah dasar vertikal efektif, serta terjadi efisiensi pelat beton (Hardiyatmo, 2008).

Dasar pemikiran dari fungsi tiang dalam Sistem Pelat Terpaku (*Nailed-slab System*) pada dasarnya sama seperti Sistem Cakar Ayam. Suatu pelat beton yang dipaku atau diangker pada tanah, bila dibebani berulang-ulang, maka kontak antara tanah-dasar di bawahnya dan pelat akan lebih terjaga dibandingkan dengan pelat yang hanya diletakkan di atas tanah. Karena bidang kontak antara pelat dan tanah terjamin selalu rapat, maka pelat perkerasan beton akan terjaga kinerja jangka panjangnya. Selain itu, kenaikan kapasitas dukung tanah-dasar akibat pengaruh dukungan tiang-tiang pada pelat akan mengurangi kebutuhan tebal perkerasan beton dan memperkaku sistem perkerasan. Pada sistem perkerasan kaku (*Rigid Pavement*), di mana pelat tidak dipaku ke dalam tanah, oleh akibat beban berulang lalu-lintas, maka di bawah pelat cenderung mudah sekali terbentuk rongga-rongga di antara pelat dan tanah. Rongga-rongga ini akan mengurangi kontribusi dukungan tanah-dasar terhadap pelat bila pelat dibebani, akibatnya pelat mudah retak atau pecah. Dari hasil uji laboratorium, Hardiyatmo et al. (2008) menunjukkan bahwa oleh akibat beban, lendutan pelat tanpa tiang lebih besar dibandingkan dengan pelat yang diperkuat dengan tiang, baik untuk beban statis maupun dinamis.

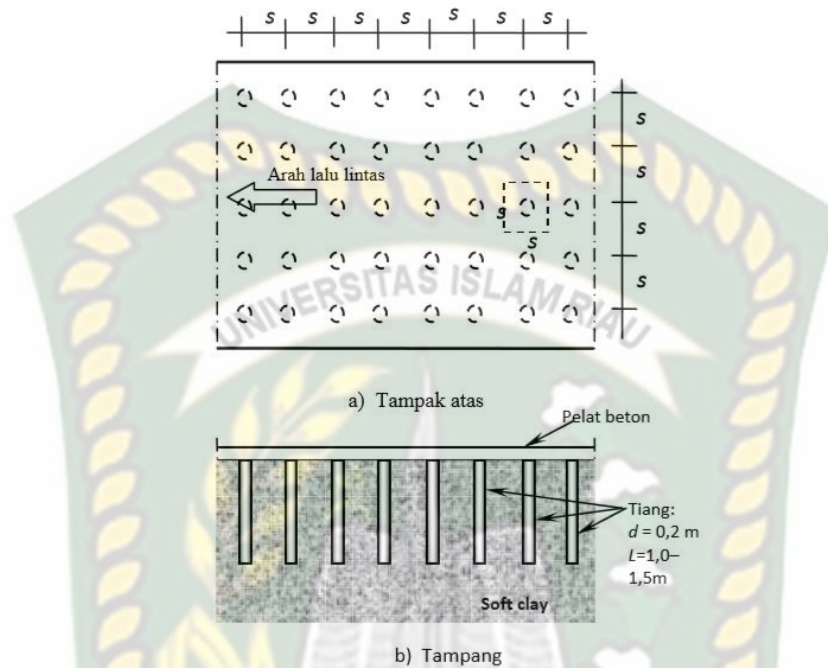
Analisa dengan sistem cakar ayam, tiang-tiang pada sistem pelat terpaku diharapkan berfungsi sebagai angkur dan sekaligus berfungsi sebagai perlawanan lendutan. Kinerjanya pun diharapkan serupa dengan kinerja sistem cakar ayam, namun konstruksinya lebih kecil, sehingga diperoleh keuntungan berupa pelaksanaan yang lebih praktis dibanding cakar ayam. Lendutan maksimum Pelat Terpaku terjadi tepat di bawah beban, dan semakin kecil bila semakin jauh dari beban (Hardiyatmo dan Suhendro, 2003). Selain itu, jungkitan di ujung pelat

(lendutan negatif) berkurang dengan semakin tebalnya pelat ( $t$ ), serta distribusi lendutan semakin menyebar. Tebal pelat juga cenderung mereduksi lendutan, oleh karena kekakuan pelat meningkat sejalan dengan peningkatan tebalnya.

Keberadaan tiang-tiang dapat meningkatkan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen arah vertikal ( $k'$ ) (Pujiastuti, 2001; Hardiyatmo dan Suhendro, 2003; Hardiyatmo, 2008, 2010; Dewi, 2009; Nasibu, 2009). Peningkatan  $k'$  dipengaruhi beberapa faktor seperti kekakuan tanah, kekakuan tiang dan pelat, dimensi tiang maupun pelat, serta konfigurasi tiang. Hardiyatmo (2009) merekomendasikan metode analisis lendutan pelat fleksibel menggunakan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen, dan mengusulkan pula cara penentuan nilai tambahan modulus reaksi *subgrade* akibat dipasangnya tiang (Hardiyatmo, 2011a). Penggunaan modulus  $k'$  dalam analisis lendutan pelat fleksibel berdasarkan teori balok pada fondasi elastis (BoEF) memberikan hasil memuaskan bila dibandingkan dengan hasil pengukuran (Hardiyatmo, 2009). Perlu digaris-bawahi di sini, bahwa Sistem Pelat Terpaku bukanlah metode perbaikan tanah melainkan salah satu alternatif metode meningkatkan kinerja perkerasan kaku pada tanah lunak.

Hardiyatmo (2008) melalui studi analitisnya mengusulkan Sistem Pelat Terpaku (*Nailed-slab System*), yaitu penggunaan tiang-tiang pendek di bawah pelat perkerasan kaku. Tiang-tiang tersebut berfungsi sebagai paku bagi pelat beton sehingga penurunannya lebih merata atau seragam, sekaligus menambah kuat dukung tanah dan mengurangi faktor kehilangan dukungan (*loss support factor, LS*), serta meningkatkan modulus reaksi *subgrade* vertikal efektif. Diperoleh efisiensi pada tebal pelat beton. Tiang-tiang yang dipasang di bawah pelat meningkatkan kekakuan pelat (Puri, et.al., 2011a). Peningkatan kekakuan pelat ini akan mengurangi ketebalan pelat (Hardiyatmo, 2009). Pelat beton mempunyai fungsi ganda yaitu sebagai perkerasan jalan dan *pile cap*. Dalam hal ini hanya dibutuhkan pelat yang tipis. Penggunaan *pile cap* yang tipis pada tanah lunak menguntungkan, karena beban yang dipikul tanah menjadi lebih ringan sehingga penurunan dapat tereduksi (Hardiyatmo dan Suhendro, 2003). Pada dasarnya, Sistem Pelat Terpaku merupakan inovasi dari Sistem Cakar Ayam. Bilamana Sistem Cakar Ayam menggunakan struktur cakar berupa silinder beton

bertulang atau silinder baja galvanis, maka pada Sistem Pelat Terpaku diganti dengan tiang-tiang beton yang pendek. Gambar 3.2 memperlihatkan tipikal Sistem Pelat Terpaku (*Nailed-slab System*).



**Gambar 3.2** Tipikal konstruksi Sistem Pelat Terpaku (Hardiyatmo, 2008)

Gambar 3.2 memperlihatkan tipikal sistem pelat terpaku dengan perkerasan beton bertulang (tebal antara 12 – 20 cm) yang didukung oleh tiang-tiang beton mini (panjang 150–200 cm dan diameter 15–20 cm). Tiang-tiang dan pelat beton dihubungkan secara monolit dengan bantuan tulangan-tulangan. Fungsi tiang-tiang dalam Sistem Pelat Terpaku, berguna untuk menaikkan daya dukung tanah-dasar, juga menjaga agar pelat beton tetap dalam kontak yang baik dengan lapis pondasi bawah dan/atau tanah-dasar di bawahnya, sehingga timbulnya rongga-rongga di bawah pelat beton yang mengurangi kekuatan struktur perkerasan dapat dicegah, dan kekuatan jangka panjang struktur perkerasan lebih terjamin. Kenaikan daya dukung tanah-dasar akibat pengaruh dukungan tiang-tiang pada pelat akan mengurangi kebutuhan tebal perkerasan beton dan memperkaku sistem perkerasan.

Sistem Pelat Terpaku cocok digunakan untuk perkerasan yang tanah-dasarnya dipengaruhi oleh penurunan tidak seragam karena interaksi tanah-tiang-pelat membuat pelat lebih kaku sehingga mengurangi terjadinya beda penurunan permukaan perkerasan (menciptakan permukaan perkerasan beton yang selalu rata). Pelat terpaku juga memungkinkan digunakan pada jalan yang tanah dasarnya berpotensi kembang-susut dan mengalami getaran yang kuat oleh beban lalu lintas berat. Naik-turunnya tanah-dasar tereduksi oleh kekakuan yang diciptakan oleh interaksi antara pelat beton, tiang-tiang dan tanah dalam zona terkurung tiang-tiang.

### 3.2 Metode Perancangan Sistem Pelat Terpaku

Metode perancangan dengan cara analisis struktur dilakukan dengan menggunakan beberapa cara. Hardiyatmo (2011) melakukan penyelesaian dengan menggunakan teori balok pada pondasi elastik (*beam on elastic foundation*) yang disarankan oleh Hetenyi (1974). Walaupun teori Hetenyi (1974) ini lebih cocok digunakan untuk analisis struktur balok, namun Hetenyi (1974) telah memberikan contoh bahwa teori tersebut dapat dipakai untuk struktur yang bentuknya memanjang, seperti bangunan akuaduk.

Dalam perancangan Sistem Pelat Terpaku, Hardiyatmo (2011) menggap bahwa tiang-tiang yang dipasang untuk mendukung pelat ini hanya menambah nilai modulus reaksi tanah dasar. Dengan asumsi tersebut, maka hasil hitungan untuk perancangan akan memberikan nilai yang sangat hati-hati. Dalam kenyataan, tiang-tiang yang terhubung secara monolit dengan pelat beton ini juga memberikan tahanan momen yang mengurangi defleksi pelat.

Hardiyatmo (2011) mengusulkan dua cara perancangan Sistem Pelat Terpaku, yaitu:

1. Tebal pelat beton dihitung berdasarkan prosedur AASHTO (1993). Perancangan dengan menggunakan metoda AASHTO ini dilakukan dengan cara yang sama seperti pada perancangan perkerasan kaku tipe bertulang bersambung dan tipe beton bertulang kontinu. Perancangan dengan cara ini mengacu pada beban gandar standar 18 kip (8,16 ton). Dalam cara ini,



tulangan-tulangan pada pelat beton dianggap hanya berfungsi sebagai tulangan susut dan tiang-tiang berfungsi sebagai menaikkan modulus reaksi tanah dasar.

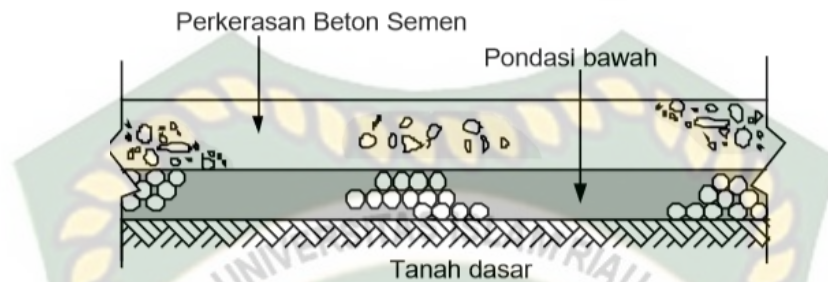
2. Perancangan pelat beton Sistem Pelat Terpaku dilakukan dengan cara yang lazim dilakukan dalam perancangan pelat beton secara struktural. Dalam cara ini, hitungan dilakukan dengan menggunakan metode *beam on elasticfoundation* atau metode elemen hingga (SAP 2000). Keuntungan dari cara ini, besarnya beban gandar kendaraan rancangan bisa lebih besar dari beban gandar standar AASHTO. Lendutan, momen, gaya lintang dan geser dihitung, kemudian dirancang tebal beton dan dimensi tulangnya.

### 3.3 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan beton semen sebagai bahan utama. Perkerasan beton yang kaku dan memiliki modulus elastisitas yang tinggi, akan mendistribusikan beban terhadap bidang area tanah yang cukup luas, sehingga bagian tersebar dari struktur perkerasan diperoleh dari *slab* beton sendiri. Hal ini berbeda dengan perkerasan lentur dimana kekuatan perkerasan diperoleh dari lapisan-lapisan tebal pondasi bawah, pondasi dan lapisan permukaan (Suryawan, 2005).

Pada awal penemuannya, pembangunan perkerasan kaku dilakukan tanpa mempertimbangkan jenis tanah dasar dan drainase yang dimilikinya. Namun seiring dengan perkembangan teknologi dan tuntutan zaman bahwa jalan harus mampu menahan beban dari kendaraan berat, maka jenis tanah dasar pun menjadi faktor paling penting yang harus diperhatikan. Pembangunan perkerasan kaku di atas tanah yang tidak sesuai akan memperbesar risiko terjadinya *pumping* yaitu peristiwa masuknya air hujan dari permukaan plat beton melalui retakan/celah sambungan pada plat beton tersebut dan terus ke tanah dasar, yang kemudian dengan terjadinya lendutan plat beton akibat dari beban lalu lintas berat mengakibatkan air dapat terpompa ke luar lagi dengan membawa butir-butir halus material tanah dasar.

Perkerasan beton semen adalah struktur yang terdiri atas pelat beton semen yang bersambung (tidak menerus) tanpa atau dengan tulangan, atau menerus dengan tulangan, terletak di atas lapis pondasi bawah atau tanah dasar, tanpa atau dengan lapis permukaan beraspal.



**Gambar 3.3** Tipikal struktur perkerasan beton semen (SNI Pd-T-14-2003)

Gambar 3.3 menunjukkan struktur perkerasan beton semen secara tipikal, dengan daya dukung tanah dinyatakan apabila mempunyai nilai CBR lebih kecil dari 2 %, maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus (*Lean-Mix Concrete*) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 5 % dan kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3–5 MPa (30-50 kg/cm<sup>2</sup>).

Pada perkerasan beton semen, daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Sifat, daya dukung dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan kekuatan perkerasan beton semen. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan adalah kadar air pematatan, kepadatan dan perubahan kadar air selama masa pelayanan. Lapis pondasi bawah pada perkerasan beton semen adalah bukan merupakan bagian utama yang memikul beban, tetapi merupakan bagian yang berfungsi sebagai berikut :

- a. Mengendalikan pengaruh kembang susut tanah dasar.
- b. Mencegah intrusi dan pemompaan pada sambungan, retakan dan tepi-tepi pelat.

- c. Memberikan dukungan yang mantap dan seragam pada pelat.
- d. Sebagai perkerasan lantai kerja selama pelaksanaan.

Pelat beton semen mempunyai sifat yang cukup kaku serta dapat menyebarkan beban pada bidang yang luas dan menghasilkan tegangan yang rendah pada lapisan-lapisan di bawahnya. Bila diperlukan tingkat kenyamanan yang tinggi, permukaan perkerasan beton semen dapat dilapisi dengan lapis campuran beraspal setebal 5 cm.

### 3.3.1 Jenis Perkerasan Kaku

Menurut SNI Pd-T-14-2003 perkerasan kaku (*Rigid Pavement*) beton semen dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu:

1. Perkerasan beton bersambung tanpa tulangan (*Jointed Unreinforced Concrete Pavement*)  
 Jenis perkerasan beton semen yang dibuat tanpa tulangan dengan ukuran pelat mendekati bujur sangkar, dimana panjang dari pelatnya dibatasi oleh adanya sambungan-sambungan melintang. Panjang pelat dari jenis perkerasan ini berkisar antara 4-5 meter.
2. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan (*Jointed Reinforced Concrete Pavement*)  
 Jenis perkerasan beton yang dibuat dengan tulangan, yang ukuran pelatnya berbentuk empat persegi panjang, dimana panjang dari pelatnya dibatasi oleh adanya sambungan-sambungan melintang. Panjang pelat dari jenis perkerasan ini berkisar antara 8-15 meter.
3. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan (*Continuously Reinforced Concrete Pavement*)  
 jenis perkerasan beton yang dibuat dengan tulangan dan dengan panjang pelat yang menerus yang hanya dibatasi oleh adanya sambungan-sambungan muai melintang. Panjang pelat dari jenis perkerasan ini lebih besar dari 75 meter.
4. Perkerasan beton semen pra-tegang (*prestressed concrete pavement*)

jenis perkerasan beton menerus, tanpa tulangan yang menggunakan kabel-kabel pratekan guna mengurangi pengaruh susut, muai dan lenting akibat perubahan temperatur dan kelembaban.

### 3.3.2 Fungsi Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku direncanakan untuk memikul beban lalu lintas secara aman dan nyaman serta dalam umur rencana tidak terjadi kerusakan yang berarti. Untuk dapat memenuhi fungsi tersebut perkerasan kaku (*rigid pavement*) harus :

1. Mereduksi tegangan yang terjadi pada tanah dasar (akibat beban lalu lintas) sampai batas-batas yang masih mampu dipikul tanah dasar tersebut, tanpa menimbulkan perbedaan penurunan atau lendutan yang dapat merusak perkerasan.
2. Mampu mengatasi pengaruh kembang susut dan penurunan kekuatan tanah dasar, serta pengaruh cuaca dan kondisi lingkungan.

## 3.4 Persyaratan Teknis Dalam Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

### 3.4.1 Tanah Dasar

Daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian CBR insitu sesuai dengan SNI 031731-1989 atau CBR laboratorium sesuai dengan SNI 03-1744-1989, masing-masing untuk perencanaan tebal perkerasan lama dan perkerasan jalan baru. Apabila tanah dasar mempunyai nilai CBR lebih kecil dari 2 %, maka harus dipasang pondasi bawah yang terbuat dari beton kurus (*Lean-Mix Concrete*) setebal 15 cm yang dianggap mempunyai nilai CBR tanah dasar efektif 5 %.

### 3.4.2 Pondasi Bawah

Bahan pondasi bawah dapat berupa :

- a. Bahan berbutir.
- b. Stabilisasi atau dengan beton kurus giling padat (*Lean Rolled Concrete*)
- c. Campuran beton kurus (*Lean-Mix Concrete*).

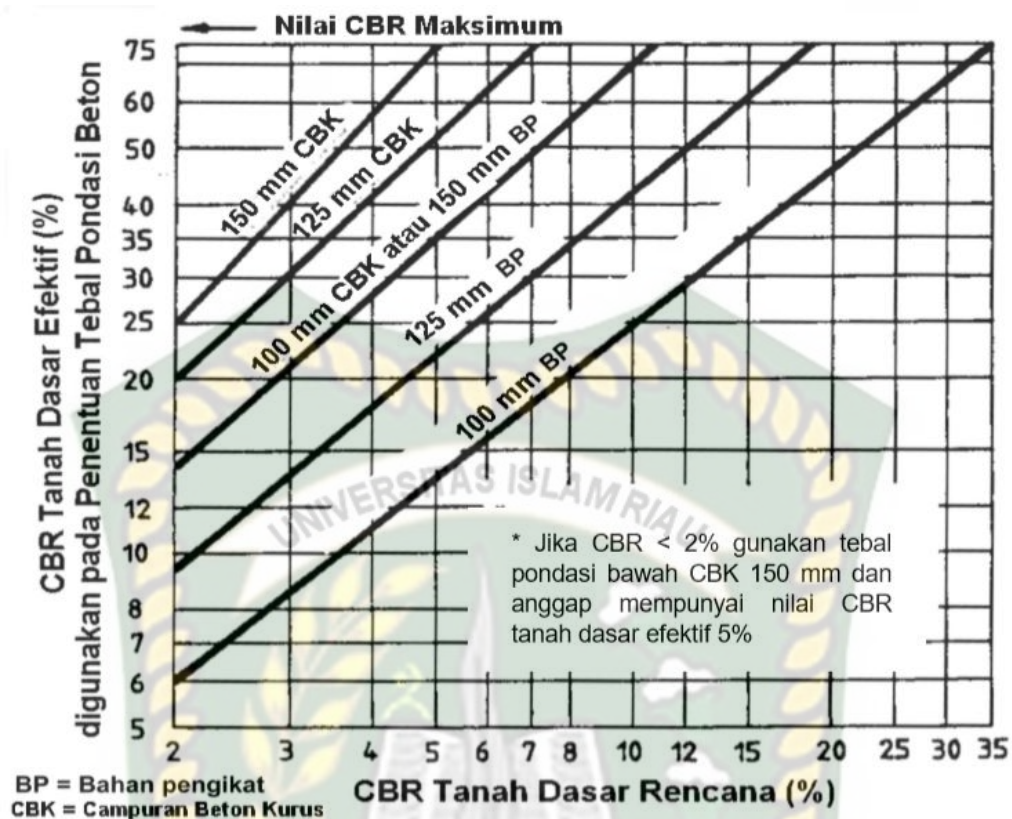
Lapis pondasi bawah perlu diperlebar sampai 60 cm diluar tepi perkerasan beton semen. Untuk tanah ekspansif perlu pertimbangan khusus perihal jenis dan penentuan lebar lapisan pondasi dengan memperhitungkan tegangan pengembangan yang mungkin timbul. Pemasangan lapis pondasi dengan lebar sampai ke tepi luar lebar jalan merupakan salah satu cara untuk mereduksi perilaku tanah ekspansif.

Tebal lapisan pondasi minimum 10 cm yang paling sedikit mempunyai mutu sesuai dengan SNI No. 03-6388-2000 dan AASHTO M-155 serta SNI 03-1743-1989. Bila direncanakan perkerasan beton semen bersambung tanpa ruji, pondasi bawah harus menggunakan campuran beton kering (CBK). Tebal lapis pondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan CBR tanah dasar efektif didapat dari Gambar 3.5.



**Gambar 3.4** Tebal pondasi bawah minimum untuk perkerasan beton semen(SNI Pd-T-14-2003)

Gambar 3.4 menunjukkan cara untuk menentukan tebal pondasi bawah minimum ditentukan oleh gambar diagram berdasarkan jumlah repetisi sumbu dan CBR tanah dasar rencana.



**Gambar 3.5** CBR tanah dasar efektif dan tebal pondasi bawah (SNI Pd-T-14-2003)

Gambar 3.5 menunjukkan cara untuk menentukan CBR efektif ditentukan oleh gambar diagram berdasarkan CBR tanah dasar dan tebal pondasi bawah yang direncanakan.

#### 3.4.2.1 Pondasi Bawah Material Berbutir

Material berbutir tanpa pengikat harus memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI-03-63882000. Persyaratan dan gradasi pondasi bawah harus sesuai dengan kelas B. Sebelum pekerjaan dimulai, bahan pondasi bawah harus diuji gradasinya dan harus memenuhi spesifikasi bahan untuk pondasi bawah, dengan penyimpangan ijin 3% - 5%.

Ketebalan minimum lapis pondasi bawah untuk tanah dasar dengan CBR minimum 5% adalah 15 cm. Derajat kepadatan lapis pondasi bawah minimum 100 %, sesuai dengan SNI 03-1743-1989.

### 3.4.2.2 Pondasi Bawah Dengan Bahan Pengikat (*Bound Sub-base*)

Pondasi bawah dengan bahan pengikat (BP) dapat digunakan salah satu dari:

1. Stabilisasi material berbutir dengan kadar bahan pengikat yang sesuai dengan hasil perencanaan, untuk menjamin kekuatan campuran dan ketahanan terhadap erosi. Jenis bahan pengikat dapat meliputi semen, kapur, serta abu terbang dan/atau slag yang dihaluskan.
2. Campuran beraspal bergradasi rapat (*dense-graded asphalt*).
3. Campuran beton kurus giling padat yang harus mempunyai kuat tekan karakteristik pada umur 28 hari minimum 5,5 MPa (55 kg/cm<sup>2</sup>).

### 3.4.2.3 Pondasi Bawah Dengan Campuran Beton Kurus (*Lean-Mix Concrete*)

Campuran Beton Kurus (CBK) harus mempunyai kuat tekan beton karakteristik pada umur 28 hari minimum 5 MPa (50 kg/cm<sup>2</sup>) tanpa menggunakan abu terbang, atau 7 MPa (70 kg/cm<sup>2</sup>) bila menggunakan abu terbang, dengan tebal minimum 10 cm.

### 3.4.2.4 Lapis Pemecah Ikatan Pondasi Bawah dan Pelat

Perencanaan ini didasarkan bahwa antara pelat dengan pondasi bawah tidak ada ikatan. Jenis pemecah ikatan dan koefisien geseknya dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Nilai koefisien gesekan ( $\mu$ ) (kementerian pekerjaam umum, 2003)

No.	Lapisan pemecah ikatan	Koefisien gesekan ( $\mu$ )
1	Lapis resap ikat aspal di atas permukaan pondasi bawah	1,0
2	Laburan parafin tipis pemecah ikat	1,5
3	Karet kompon ( <i>A chlorinated rubber curing compound</i> )	2,0
4	Pelastik hitam ( <i>Bond breaker</i> )	1,3

Tabel 3.1 menunjukkan nilai koefisien gesekan ( $\mu$ ) antara pelat dengan pondasi bawah berdasarkan jenis atau bahan pecah ikatan.

### 3.4.3 Mutu Beton

Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (*flexural strength*) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3–5 MPa (30-50 kg/cm<sup>2</sup>).

Kuat tarik lentur beton yang diperkuat dengan bahan serat penguat seperti serat baja, aramit atau serat karbon, harus mencapai kuat tarik lentur 5–5,5 MPa (50-55 kg/cm<sup>2</sup>). Kekuatan rencana harus dinyatakan dengan kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan hingga 0,25 MPa (2,5 kg/cm<sup>2</sup>) terdekat.

Hubungan antara kuat tekan karakteristik dengan kuat tarik-lentur beton dapat didekati dengan rumus menurut kementerian pekerjaan umum (2003) persamaan 3.1 dan 3.2.

$$f_{cf} = K (f_c')^{0,5} \text{ dalam MPa atau} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$f_{cf} = 3,13 K (f_c')^{0,5} \text{ dalam kg/cm}^2 \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana:

$f_c'$  : kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm<sup>2</sup>)

$f_{cf}$  : kuat tarik lentur beton 28 hari (kg/cm<sup>2</sup>)

$K$  : konstanta, 0,7 untuk agregat tidak dipecah dan 0,75 untuk agregat becah

Kuat tarik lentur dapat juga ditentukan dari hasil uji kuat tarik belah beton yang dilakukan menurut SNI 03-2491-1991 persamaan 3.3 dan 3.4.

$$f_{cf} = 1,37 \cdot f_{cs}, \text{ dalam MPa atau} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$f_{cf} = 13,44 \cdot f_{cs}, \text{ dalam kg/cm}^2 \dots\dots\dots (3.4)$$

Dimana:

$f_{cs}$  : kuat tarik belah beton 28 hari

Beton dapat diperkuat dengan serat baja (*steel-fibre*) untuk meningkatkan kuat tarik lenturnya dan mengendalikan retak pada pelat khususnya untuk bentuk tidak lazim. Serat baja dapat digunakan pada campuran beton, untuk jalan plaza tol, putaran dan perhentian bus. Panjang serat baja antara 15 mm dan 50 mm yang bagian ujungnya melebar sebagai angker dan/atau sekrup penguat untuk



meningkatkan ikatan. Secara tipikal serat dengan panjang antara 15 dan 50 mm dapat ditambahkan ke dalam adukan beton, masing-masing sebanyak 75 dan 45 kg/m<sup>3</sup>.

Semen yang akan digunakan untuk pekerjaan beton harus dipilih dan sesuai dengan lingkungan dimana perkerasan akan dilaksanakan.

### 3.5 Lalu Lintas

Penentuan beban lalu-lintas rencana untuk perkerasan beton semen, dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga (*commercial vehicle*), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Lalu-lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalu-lintas dan konfigurasi sumbu, menggunakan data terakhir atau data 2 tahun terakhir. Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah yang mempunyai berat total minimum 5 ton.

Konfigurasi sumbu untuk perencanaan terdiri atas 4 jenis kelompok sumbu sebagai berikut:

- a. Sumbu tunggal roda tunggal (STRT).
- b. Sumbu tunggal roda ganda (STRG).
- c. Sumbu tandem roda ganda (STdRG).
- d. Sumbu tridem roda ganda (STrRG).

#### 3.5.1 Lalu Lintas Rencana dan Koefisien Rencana

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan raya yang menampung lalu-lintas kendaraan niaga terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, maka jumlah lajur dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga dapat ditentukan dari lebar perkerasan sesuai Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan dan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga pada lajur rencana (kementerian pekerjaan umum, 2003)

Lebar perkerasan ( $L_p$ )	Jumlah lajur ( $n_1$ )	Koefisien distribusi	
		1 Arah	2 Arah
$L_p < 5,5$ m	1 lajur	1	1
$5,50 \text{ m} \leq L_p < 8,25$ m	2 lajur	0,70	0,50
$8,25 \text{ m} \leq L_p < 11,25$ m	3 lajur	0,50	0,475
$11,25 \text{ m} \leq L_p < 15,00$ m	4 lajur	-	0,45
$15,00 \text{ m} \leq L_p < 18,75$ m	5 lajur	-	0,425
$18,75 \text{ m} \leq L_p < 22,00$ m	6 lajur	-	0,40

Tabel 3.2 menunjukkan koefisien distribusi (C) kendaraan niaga dapat ditentukan dari lebar perkerasan, jumlah lajur dan arah jalan.

### 3.5.2 Umur Rencana

Umur rencana perkerasan jalan ditentukan atas pertimbangan klasifikasi fungsional jalan, pola lalu-lintas serta nilai ekonomi jalan yang bersangkutan, yang dapat ditentukan antara lain dengan metode *Benefit Cost Ratio*, *Internal Rate of Return*, kombinasi dari metode tersebut atau cara lain yang tidak terlepas dari pola pengembangan wilayah. Umumnya perkerasan beton semen dapat direncanakan dengan umur rencana (UR) 20 tahun sampai 40 tahun.

### 3.5.3 Pertumbuhan Lalu Lintas

Volume lalu-lintas akan bertambah sesuai dengan umur rencana atau sampai tahap di mana kapasitas jalan dicapai dengan faktor pertumbuhan lalu-lintas yang dapat ditentukan berdasarkan rumus menurut kementerian pekerjaan umum (2003) persamaan 3.5.

$$R = \frac{(1+i)^{UR}-1}{i} \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana:

$R$  : Faktor pertumbuhan lalu lintas

$i$  : Laju pertumbuhan lalu lintas pertahun dalam %.

$UR$  : Umur rencana (tahun)

**Tabel 3.3** Faktor Pertumbuhan lalu-lintas (R) (kementerian pekerjaam umum, 2003)

Umur Rencana (Tahun)	Laju Pertumbuhan (i) per tahun (%)					
	0	2	4	6	8	10
5	5	5,2	5,4	5,6	5,9	6,1
10	10	10,9	12	13,2	14,5	15,9
15	15	17,3	20	23,3	27,2	31,8
20	20	24,3	29,8	36,8	45,8	57,3
25	25	32	41,6	54,9	73,1	98,3
30	30	40,6	56,1	79,1	113,3	164,5
35	35	50	73,7	111,4	172,3	271
40	40	60,4	95	154,8	259,1	442,6

Tabel 3.3 menunjukkan Faktor pertumbuhan lalu-lintas (R) berdasarkan umur rencana dan pertumbuhan lalu lintas pertahun (%).

Apabila setelah waktu tertentu ( $UR_m$  tahun) pertumbuhan lalu-lintas tidak terjadi lagi, maka R dapat dihitung berdasarkan rumus menurut kementerian pekerjaan umum (2003) persamaan 3.6.

$$R = \frac{(1+i)^{UR}}{i} + (UR - UR_m) \{(1+i)^{UR_m} - 1\} \dots\dots\dots (3.6)$$

Dimana:

R : Faktor pertumbuhan lalu lintas

i : Laju pertumbuhan lalu lintas pertahun dalam %.

$UR_m$  : Waktu tertentu dalam tahun, sebelum UR selesai.

#### 3.5.4 Lalu Lintas Rencana

Lalu-lintas rencana adalah jumlah kumulatif sumbu kendaraan niaga pada lajur rencana selama umur rencana, meliputi proporsi sumbu serta distribusi beban pada setiap jenis sumbu kendaraan. Beban pada suatu jenis sumbu secara tipikal dikelompokkan dalam interval 10 kN (1 ton) bila diambil dari survai beban. Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung berdasarkan rumus menurut kementerian pekerjaan umum (2003) persamaan 3.7.

$$JSKN = JSKNH \times 365 \times R \times C \dots\dots\dots (3.7)$$

Dimana:

- $JSKN$  : Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana.
- $JSKNH$  : Jumlah total sumbu kendaraan niaga per hari pada saat jalan dibuka.
- $R$  : Faktor pertumbuhan kumulatif dari Rumus (3.1) atau Tabel 3 atau Rumus (3.2), yang besarnya tergantung dari pertumbuhan lalu lintas tahunan dan umur rencana.
- $C$  : Koefisien distribusi rencana.

### 3.5.5 Faktor Keamanan Beban

Pada penentuan beban rencana, beban sumbu dikalikan dengan faktor keamanan beban ( $F_{KB}$ ). Faktor keamanan beban ini digunakan berkaitan adanya berbagai tingkat realibilitas perencanaan seperti terlihat pada Tabel 3.4.

**Tabel 3.4** Faktor keamanan beban ( $F_{KB}$ ) (kementerian pekerjaan umum, 2003)

No.	Penggunaan	Nilai $F_{KB}$
1	Jalan bebas hambatan utama ( <i>major freeway</i> ) dan jalan berlajur banyak, yang aliran lalu lintasnya tidak terhambat serta volume kendaraan niaga yang tinggi. Bila menggunakan data lalu-lintas dari hasil survai beban ( <i>weight-in-motion</i> ) dan adanya kemungkinan route alternatif, maka nilai faktor keamanan beban dapat dikurangi menjadi 1,15.	1,2
2	Jalan bebas hambatan ( <i>freeway</i> ) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah.	1,1
3	Jalan dengan volume kendaraan niaga rendah.	1,0

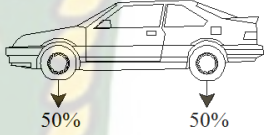
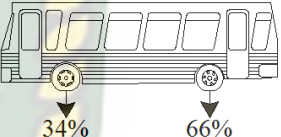
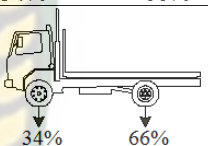
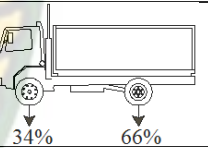
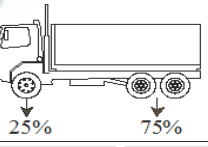
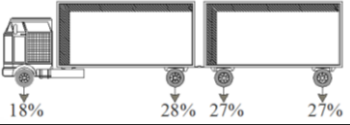
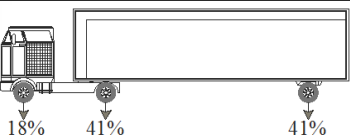
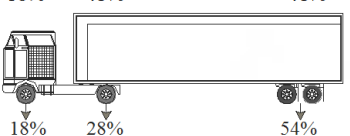
Tabel 3.4 menunjukkan bahwa penentuan nilai faktor keamanan beban berdasarkan jenis penggunaan jalan dan jenis volume kendaraan.

### 3.5.6 Beban Lalu Lintas

Konfigurasi beban sumbu pada berbagai jenis kendaraan beserta angka ekuivalen kendaraan dalam keadaan kosong (min) dan dalam keadaan bermuatan (max). Menunjukkan distribusi beban sumbu dari berbagai jenis kendaraan

sebagaimana yang diberikan oleh Bina Marga dalam buku Manual Pemeriksaan Perkerasan Jalan dengan alat Benkelman Beam No. 01/MN/BM.83, dapat dilihat pada Tabel 3.5.

**Table 3.5** Konfigurasi beban sumbu (Ditjen Bina Marga dan Permenhub No.14 Tahun 2007)

Konfigurasi sumbu & tipe	Berat kosong (Ton)	Beban muatan maksimum (Ton)	Beban total maksimum (Ton)	UE 18 KSAL kosong	UE 18 KSAL maksimum	
1,1 HP	1,5	0,5	2,0	0,0001	0,0005	
1,2 BUS	3	6	9	0,0037	0,3006	
1,2L TRUK	2,3	6	8,3	0,0013	0,2174	
1,2H TRUK	4,2	14	18,2	0,0143	5,0264	
1,22 TRUK	5	20	25	0,0044	2,7416	
1,2 + 2,2 TRAILER	6,4	25	31,4	0,0085	3,9083	
1,2 - 2 TRAILER	6,2	20	26,2	0,0192	6,1179	
1,2 - 2,2 TRAILER	10	32	42	0,0327	10,183	

### 3.5.7 Kecepatan Lalu Lintas

Hal yang mengacu pada peraturan pemerintah (PP) No. 79 Tahun 2013 tentang Jaringan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Ditegaskan bahwa batas kecepatan di jalan bebas hambatan paling rendah adalah 60 km/jam, dan paling tinggi 100 km/jam.

Dalam ayat 4 pasal 23 UU Lalu Lintas disebut batas kecepatan paling rendah pada jalan bebas hambatan ditetapkan dengan batas absolut 60 (enam puluh) km/jam dalam kondisi arus bebas. Sementara itu, ayat 5 menyebut "ketentuan lebih lanjut mengenai batas kecepatan diatur dengan peraturan pemerintah".

Belakangan, pemerintah lewat Kementerian Perhubungan mengeluarkan Peraturan Menteri Nomor 111 Tahun 2015 tentang Tata Cara Penetapan Batas Kendaraan pada 29 Juli 2015 lalu. Peraturan tersebut merupakan implementasi dari Inpres Nomor 4 Tahun 2013 tentang Program Dekade Aksi Keselamatan Jalan.

Dalam Permen tersebut ditetapkan kecepatan paling rendah yakni 60 kilometer per jam dalam kondisi arus bebas, dan paling tinggi 100 kilometer per jam untuk jalan bebas hambatan atau jalan tol.

Kemudian kecepatan paling tinggi 80 kilometer per jam untuk jalan antar kota. Sementara itu untuk kawasan perkotaan kecepatan paling tinggi yakni 50 kilometer per jam. Sedangkan di kawasan permukiman yakni 30 kilometer per jam.

### 3.5.8 Jarak Aman Kendaraan

Jarak antar kendaraan sangat penting diwaspadai pengemudi, terutama saat kondisi jalan licin atau lalu lintas padat. Benturan mendadak antar kendaraan sangat mungkin terjadi karena jarak yang terlalu dekat. Demikian pula ketika menjumpai jalur menanjak. Menjaga jarak antara satu kendaraan dengan dengan lainnya merupakan langkah bijak demi keselamatan perjalanan. Ada dua macam jarak yang harus diperhatikan, yakni jarak minimal dan jarak aman. Jarak minimal adalah jarak paling dekat yang tidak boleh dilewati antara mobil belakang dengan

depannya. Jenis jarak ini belum tentu aman, dan pengemudi harus berhati-hati apabila terjadi pengereman mendadak dari kendaraan di depannya. Sedangkan jarak aman adalah jarak yang paling disarankan. Berikut distribusi jarak minimal dan jarak aman berdasarkan kecepatan mobil di belakang seperti pada Tabel 3.6.

**Table 3.6** Jarak minimal dan jarak aman antar kendaraan (PP No.43/1993)

Kecepatan	Jarak Minimal	Jarak Aman
30 km/jam	15 Meter	30 Meter
40 km/jam	20 Meter	40 Meter
50 km/jam	25 Meter	50 Meter
60 km/jam	40 Meter	60 Meter
70 km/jam	50 Meter	70 Meter
80 km/jam	60 Meter	80 Meter
90 km/jam	70 Meter	90 Meter
100 km/jam	80 Meter	100 Meter

Tabel 3.6 menunjukkan Jarak minimal dan jarak aman antar kendaraan berdasarkan kecepatan laju kendaraan.

### 3.6 Gaya Pengereman

Rem merupakan komponen penting dalam kendaraan karena fungsinya untuk mengontrol laju kendaraan yang secara langsung berhubungan dengan keamanan dan keselamatan berlalu lintas di jalan raya.

Fungsi sistem rem pada kendaraan adalah untuk memperlambat dan menghentikan kendaraan dalam jarak dan waktu yang memadai dengan cara terkendali dan terarah.

Pada gerak, usaha negatif terjadi karena melawan perpindahan. Misalnya, sebuah kendaraan direm agar tidak terjadi tabrakan. Pada kasus tersebut, gaya (dalam hal ini gaya gesekan) tidak mengakibatkan perpindahan, tetapi melawan perpindahan. Itulah yang dimaksud dengan usaha negatif dalam bermanfaat ketika membahas atar usaha dan energi.

Persamaan usaha ( $W$ ) berdasarkan rumus menurut Raharja dkk, (2014) persamaan 3.8.

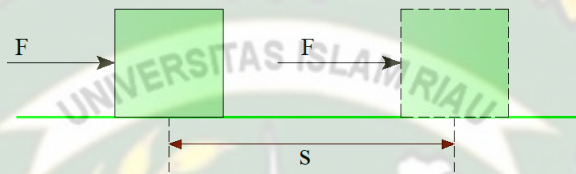
$$W = Fs \dots\dots\dots (3.8)$$

Dimana:

$W$  : usaha

$F$  : gaya

$s$  : perpindahan



**Gambar 3.6** Vektor perpindahan  $s$  sejajar (Raharja dkk, 2014)

Gaya ( $F$ ) dapat dinyatakan sebagai hasil pembagian antara usaha ( $W$ ) dengan perpindahan ( $s$ ) persamaan 3.9.

$$F = \frac{W}{s} \dots\dots\dots (3.9)$$

Usaha  $W$  adalah besaran skala walaupun merupakan hasil perhitungan dari dua vektor, yaitu gaya dan perpindahan.

Pada hukum Newton tentang gerak, informasi kecepatan dan perpindahan dari benda yang bergerak diperoleh dari informasi gaya dan massa benda. Terbukti dengan pendekatan melalui ketika hukum Newton tentang gerak, kita dapat memperkirakan keadaan akhir dari gerak benda.

Besarnya gaya yang dihasilkan dalam pengereman dapat ditentukan berdasarkan persamaan energi kinetik. Energi kinetik adalah energi yang dimiliki benda karena geraknya. Ketika suatu benda melakukan usaha karena geraknya, benda itu dikatakan memiliki energi kinetik. Persamaan energi kinetik yang dimiliki benda bergerak dituliskan berdasarkan rumus menurut Raharja dkk, (2014) persamaan 3.10.

$$E_k = \frac{1}{2} m.v^2 \dots\dots\dots (3.10)$$



Dimana:

$E_k$  = Energi kinetik

$m$  = Massa kendaraan

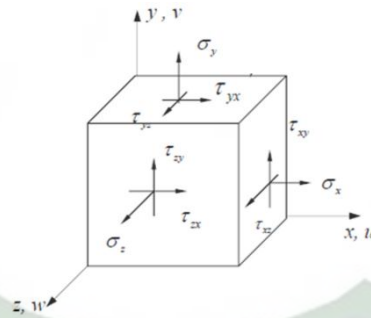
$v$  = Kecepatan kendaraan

### 3.7 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan salah satu metode pendekatan dengan cara mengganti domain dari masalah dengan koleksi dari subdomain sederhana yang disebut elemen hingga. Disebut elemen hingga karena ukuran elemen kecil ini berhingga dan umumnya mempunyai bentuk geometri yang lebih sederhana dibandingkan komponen utamanya. Dengan menggunakan metode elemen hingga suatu masalah dengan derajat kebebasan tak berhingga dapat diubah menjadi permasalahan dengan jumlah derajat kebebasan tertentu sehingga proses pemecahannya akan lebih sederhana. Pembagian sebuah elemen global menjadi sebuah elemen lokal yang lebih kecil, bagian-bagian kecil itu yang kemudian disebut elemen hingga. Dalam analisa mekanika tanah, diskritisasi dilakukan dengan membagi satu elemen global kedalam bentuk segitiga-segitiga kecil yang kemudian disebut sebagai jaring-jaring elemen (*mesh*). Perpotongan antara sisi elemen dinamakan simpul (*node*). Sedangkan permukaan antara elemen-elemen disebut garis simpul. Pembagian jumlah elemen segitiga akan mempengaruhi ketelitian analisis dalam metode elemen hingga. Semakin kecil elemen tiap elemen yang dibentuk, maka akan semakin besar tingkat ketelitian analisisnya.

Metode elemen hingga didasarkan pada konsep menyusun objek yang rumit dari bagian-bagian yang lebih sederhana, atau membagi objek yang rumit menjadi bagian-bagian kecil yang dapat dengan mudah diselesaikan. (Liu Yijun, 2003).

Pada umumnya, elemen hingga digunakan untuk analisis tegangan dan deformasi. Pada umumnya, geometri material yang akan dianalisis terlebih dahulu dibagi menjadi jaring-jaring elemen hingga, sehingga analisis akan menjadi lebih mudah. Metode elemen hingga dapat digunakan untuk analisis material padat, termasuk analisis geoteknik pada material tanah.



**Gambar 3.7** Posisi tegangan pada material padat (Liu Yijun, 2003)

Gambar 3.7 menunjukkan posisi tegangan pada material padat. Metode elemen hingga dapat digunakan untuk mengetahui modulus elastisitas suatu material, parameter ini didefinisikan sebagai matrik hubungan tegangan-regangan yang terjadi pada material akibat beban yang bekerja padanya. Matrik modulus elastisitas terdiri dari komponen tegangan normal ( $\sigma$ ) dan tegangan geser ( $\tau$ ), serta regangan normal ( $\epsilon$ ) dan regangan geser ( $\gamma$ ) pada arah sumbu x, y, dan z dalam bidang kartesius.

Matrik Tegangan:

$$\sigma = \{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(3.11)$$

Matrik Regangan:

$$\epsilon = \{\epsilon\} = \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \epsilon_{xy} \\ \epsilon_{yz} \\ \epsilon_{zx} \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(3.12)$$

### Martik Hubungan Tegangan-Regangan

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} \end{Bmatrix} \quad (3.13)$$

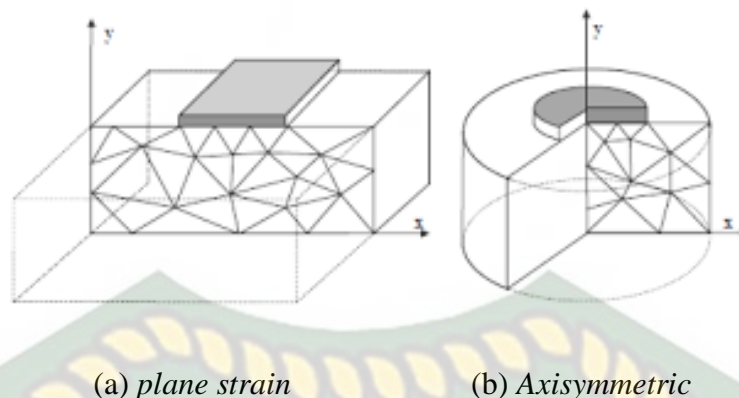
Pemodelan elemen hingga menggunakan Plaxis 2D, pelat dimodelkan sebagai elemen 2 dimensi dengan memiliki hanya dua derajat kebebasan per nodal. Adapun terdapat dua bentuk pemodelan dari 3 dimensi ke dalam 2 dimensi dalam Plaxis, yaitu bentuk *plane strain* dan bentuk *axisymmetric*.

#### 1. *Plane strain*

Model *plane strain* digunakan untuk geometri dengan potongan yang relatif seragam. Selain itu kondisi tegangan dan skema pembebanan dengan panjang tertentu dan tegak lurus terhadap arah sumbu z juga harus relatif seragam. Perpindahan dan regangan pada arah sumbu z diasumsikan nol. Namun demikian, tegangan normal pada arah sumbu z tetap memiliki nilai.

#### 2. *Axisymmetric*

Model ini digunakan untuk struktur melingkar dengan potongan melintang secara radial dan skema pembebanan yang relatif seragam disekitar titik pusat lingkaran di mana deformasi dan kondisi tegangan yang terjadi diasumsikan identik dalam semua arah radial. Sumbu x pada pemodelan ini mempresentasikan radius sementara sumbu y mempresentasikan sumbu simetri. Adapun koordinat x negatif tidak dapat digunakan.



(a) *plane strain* (b) *Axisymmetric*  
**Gambar 3.8** Ilustrasi Pemodelan *Plane strain* dan *Axisymmetric*  
 (Brinkgreve,2002)

### 3.7.1 Pemodelan Material Properties

Pada Plaxis 2D material properties untuk tanah inputnya dilakukan dengan menggunakan pilihan material tipe *Soil and interfaces*, pemodelannya dalam pada Plaxis meliputi:

1. Material model digunakan untuk mensimulasikan model tanah berdasarkan karakteristik regangan-regangan. Terdapat dua tipe material model yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:
  - a) *Linear elastic*, yaitu untuk memodelkan material yang bersifat *linear elastic* (hukum Hooke). Input parameter meliputi Modulus Young (E) dan Poisson's ratio ( $\nu$ ). Tipe ini digunakan untuk memodelkan beton non struktur (*lean concrete*). Model ini dipilih karena dari beberapa model material di dalam plaxis 2D hanya tipe model *Linear elastic* yang sesuai dalam data parameter beton dengan cepat dan sederhana hanya dengan menggunakan dua buah parameter.
  - b) Mohr-Coulomb, yaitu pemodelan tanah yang paling umum digunakan. Perilakunya mengikuti Mohr-Coulomb kriteria. Terdapat 5 input parameter, yaitu Modulus Young (E), Poisson's ratio ( $\nu$ ), cohesion (c), *friction angle* ( $\phi$ ), dan *dilatancy angle* ( $\psi$ ). Tipe ini digunakan untuk memodelkan jenis tanah lempung dan pasir. Model ini dipilih karena dapat memodelkan elastik-plastis tanah dengan cepat dan sederhana

hanya dengan menggunakan lima buah parameter. Model Mohr-Coulomb dapat dikatakan model dengan pendekatan ordo pertama dari perilaku tanah karena umum digunakan untuk perhitungan awal dengan nilai kekakuan rata-rata yang konstan.

2. Material tipe, digunakan untuk mensimulasikan interaksi air-tanah. Terdapat tiga tipe perilaku, yaitu :
  - a) *Drained*, model ini mensimulasikan kondisi dimana tidak terjadi *excess pore pressure*. Contohnya pada kasus tanah kering (*dry soil*) dan *full drainage* karena permeabilitas yang tinggi (pasir) atau kecepatan pembebanan yang rendah. Option ini dapat juga digunakan untuk mensimulasikan kondisi *long term*.
  - b) *Undrained*, model ini untuk mensimulasikan kondisi dimana terjadi *excess pore pressure*. Contohnya pada kasus *no drainage* karena permeabilitas yang rendah (*clay*) atau kecepatan pembebanan yang tinggi.
  - c) *Non porous*, model ini untuk mensimulasikan kondisi dimana *initial pore pressure* dan *excess pore pressure* tidak diperhitungkan. Option ini biasanya digunakan untuk pemodelan struktur beton atau batu.
3. Properties dan parameter, digunakan untuk mendefinisikan berbagai properti dan parameter dari tanah.
4. *Interfaces*, digunakan untuk mensimulasikan interaksi antara tanah dan struktur. Input meliputi *strength* dan permeabilitas di *interfaces*.

### 3.7.2 Pemodelan Komponen Pelat

Pada Plaxis, komponen pelat pada desain akan dimodelkan dengan menggunakan pelat (*plate*). Adapun tipe material dari komponen ini adalah elastik. Untuk memodelkan komponen pelat, harus diasumsikan beberapa parameter, yaitu:

1. Perilaku kekakuan

Properti kekakuan terkait dengan nilai kekakuan aksial (EA) dan kekakuan fleksural (EI). Pada pemodelan *plane strain*, nilai EA dan EI berkaitan dengan nilai kekakuan per satuan lebar pada arah diluar bidang (*out-of-plane*). Oleh

karena itu, kekakuan aksial ( $EA$ ) diberikan dalam gaya persatuan lebar dan kekakuan fleksural ( $EI$ ) diberikan dalam gaya dikali panjang kuadrat persatuan lebar. Nilai tebal ekivalen pelat akan dihitung secara otomatis pada program Plaxis. Properti kekakuan akan dihitung sesuai dengan dimensi pelat yang akan direncanakan. Dalam pemodelan *plane strain*, nilai  $b$  diperhitungkan sebagai 1 meter. Dengan menggunakan rumus dalam bentuk *plane strain* Ryltenius, A (2011).

Kekakuan lentur dihitung dengan persamaan 3.14.

$$EI = E \frac{b \cdot h^3}{12} \dots\dots\dots(3.14)$$

Dimana:

- $E$  = Modulus Young
- $h$  = tebal pelat
- $b$  = 1 meter

Kekakuan normal dihitung dengan persamaan 3.15.

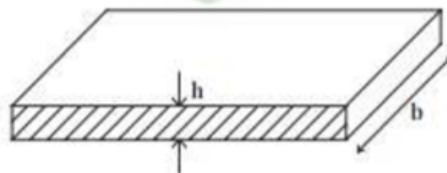
$$EA = E(h)(b) \dots\dots\dots(3.15)$$

Tebal ekivalen pelat dapat diperhitungkan dengan rumus persamaan 3.16.

$$d = h = \sqrt{12 \frac{EI}{EA}} \dots\dots\dots(3.16)$$

Dimana:

- $EI$  = kekakuan lentur
- $EA$  = kekakuan normal



**Gambar 3.9** Ilustrasi Pemodelan Kekakuan Material Pelat (Brinkgreve,2002)

## 2. Rasio poisson

Besarnya nilai perbandingan antara regangan lateral ( $\epsilon_2$ ) terhadap regangan longitudinal ( $\epsilon_1$ ) pada suatu bahan/ material adalah tetap (konstan). Nilai perbandingan inilah yang disebut dengan Rasio Poisson dan dilambangkan dengan 'v' ( $\nu$ ). Nilai rasio poisson untuk beton berkisar antara 0,15 - 0,25. (Gere dan Timoshenko, 1997).

## 3. Berat

Berat pelat akan diberikan dalam gaya per satuan luas. Berat akan dihitung sesuai dengan dimensi pelat menurut Ryltenius, A (2011) persamaan 3.17.

$$w = \gamma_{\text{beton}} (h) \dots\dots\dots(3.17)$$

Dimana:

$$\gamma_{\text{beton}} = \text{berat beton bertulang}$$

### 3.7.3 Pemodelan Komponen Tiang

Pada Plaxis, komponen tiang pada desain akan dimodelkan dengan menggunakan pelat (*plate*). Adapun tipe material dari komponen ini adalah elastik. Untuk memodelkan komponen tiang, harus dimasukkan beberapa parameter yaitu:

#### 1. Properti kekakuan

Properti kekakuan terkait dengan nilai kekakuan aksial (EA) dan kekakuan fleksural (EI). Pada pemodelan *plane strain*, nilai EA dan EI berkaitan dengan nilai kekakuan per satuan lebar arah diluar bidang (*out-of-plane*). Oleh karena itu, kekakuan aksial (EA) diberikan dalam gaya per satuan lebar dan kekakuan fleksural (EI) diberikan dalam gaya dikali panjang kuadrat per satuan lebar. Nilai tebal ekivalen tiang akan dihitung secara otomatis. Properti kekakuan akan dihitung sesuai dengan dimensi tiang. Dengan menggunakan rumus dalam bentuk *plane strain* Ryltenius, A (2011).

Kekakuan lentur tiang dihitung dengan persamaan berikut.

$$EI = E \cdot I_t \frac{n_{p\text{-baris-}i}}{L_r} \dots\dots\dots(3.18)$$

Dimana:

$E$  = Modulus Young

$I_t$  = momen inersia

$n_{p\text{-baris-}i}$  = jumlah tiang dalam baris ke- $i$

$L_r$  = panjang komponen pelat

Momen inersia penampang berbentuk lingkaran dihitung dengan persamaan 3.19.

$$I_t = \frac{\pi \times D^4}{64} \dots\dots\dots(3.19)$$

Dimana:

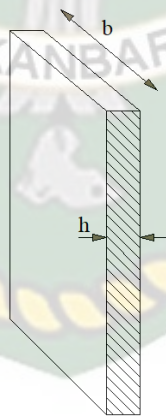
$D$  = diameter lingkaran tiang

Kekakuan normal untuk tiang dihitung dengan persamaan 3.20.

$$EA = E \cdot A_t \frac{n_{p\text{-baris-}i}}{L_r} \dots\dots\dots(3.20)$$

Dimana:

$A_t$  = luas permukaan tiang ( $\frac{1}{4} \pi D^2$ )



**Gambar 3.10** Ilustrasi Pemodelan Kekakuan Material Pelat untuk Komponen Tiang (Brinkgreve,2002)



2. Rasio Poisson

Besarnya nilai perbandingan antara regangan lateral ( $\epsilon_2$ ) terhadap regangan longitudinal ( $\epsilon_1$ ) pada suatu bahan/ material adalah tetap (konstan). Nilai perbandingan inilah yang disebut dengan Rasio Poisson dan dilambangkan dengan 'v' (nu). Nilai rasio poisson untuk beton berkisar antara 0,15 - 0,25. (Gere dan Timoshenko, 1997).

3. Berat

Berat tiang akan diberikan dalam gaya per satuan luas menurut Ryltenius, A (2011) persamaan 3.21.

$$w = w_t \frac{n_{p-baris-i}}{L_r} \dots\dots\dots(3.21)$$

Dimana:

$w_t$  = berat beton bertulang x luas permukaan tiang

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Tinjauan Umum**

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh perkerasan jalan Sistem Pelat Terpakai akibat beban horizontal dan dibandingkan dengan perkerasan kaku konvensional (*Rigid Pavement*). Dihitung dengan pendekatan metode elemen hingga menggunakan software Plaxis.

#### **4.2 Alat Penelitian**

Peralatan umum yang digunakan seperti laptop, printer, HVS, kalkulator, dan alat tulis lainnya, sebagai hasil output dari penelitian merupakan dasar yang perlu dipersiapkan. Untuk penelitian ini alat yang menjadi penting agar penelitian dapat tercapai sampai hasil yang diinginkan yaitu suatu aplikasi yang terdapat pada sistem komputer berupa:

1. Software Plaxis 2D.
2. Software AutoCAD 2007.

Sehingga data yang didapat bisa diperhitungkan secara komputersasi menjadi hasil penelitian yang lebih teliti.

#### **4.3 Tahapan Pelaksanaan Penelitian**

Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan metode studi literatur yang menggunakan data data-data sekunder seperti: data tanah dan data beton dari penelitian Puri (2017), data lalu lintas dari (Suryawan, 2005), dan perhitungan tebal perkerasan kaku konvensional (*Rigid Pavement*) menggunakan metode SNI Pd T-14-2003, dan buku-buku yang berisikan tentang dasar-dasar teori dengan rumus-rumus yang mendukung dalam penelitian ini agar didapat hasil perhitungan yang teliti.

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Persiapan

Persiapan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu melakukan persiapan diantaranya mencari buku referensi tentang perkerasan jalan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional (*Rigid Pavement*), serta mencari beberapa jurnal, dan Tugas Akhir dari penelitian terdahulu sebagai gambaran dari penelitian tentang pelat terpaku.

2. Pengumpulan data

Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini didapat adalah data sekunder berupa:

- a) Data tanah dan beton bersumber dari penelitian (Puri, 2017).
- b) Data lalu lintas bersumber dari data LHR 2004 pada ruas Simpang Tol-Terminal Terboyo (Jl. Kaliwage) dalam buku Perkerasan Jalan Beton Semen Portland (*Rigid Pavement*) (Suryawan, 2005).
- c) Beban-beban sumbu kendaraan bersumber dari Depertemen Pekerjaan Umum tentang Rekayasa Lalu Lintas, 2005.

3. Analisis data

Setelah data-data yang diperlukan sudah lengkap, maka dilakukan analisa sebagai berikut:

- a) Menentukan tebal perkeasan kaku konvensional (*Rigid Pavement*) dengan metode SNI Pd T-14-2003.
- b) Menghitung beban horizontal pada perkerasan jalan berupa gaya rem dengan jenis kendaran yang diperhitungkan berupa kendaraan truk dengan beban sumbu maksimum 25 ton dan kendaraan trailer dengan beban sumbu maksimum 42 ton dengan menggunakan persamaan energi kinetik.
- c) Menghitung *displacements* horizontal dan vertikal, momen pelat dan tiang dan tegangan di dalam tanah dengan metode elemen hingga 2D menggunakan software Plaxis.

#### 4. Hasil analisis

Setelah data penelitian dianalisis dengan menggunakan metode elemen hingga 2D maka akan didapatkan hasil perhitungan yang berguna untuk dibahas dan diambil suatu kesimpulan dari hasil perhitungan tersebut.

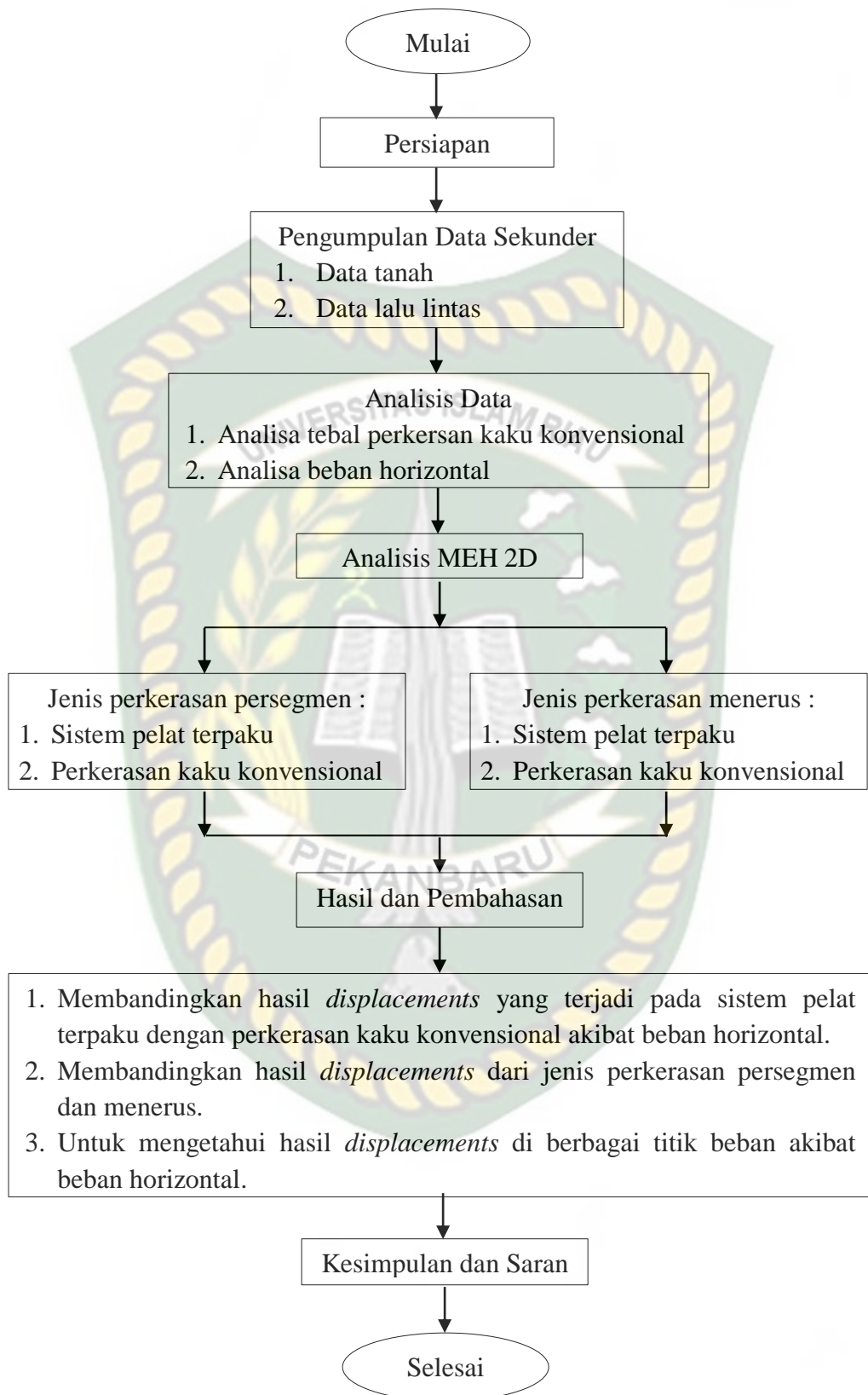
#### 5. Pembahasan

Dalam pembahasan dari analisis beban horizontal akan dibandingkan pada perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional dari jenis perkerasan persegmen dengan menerus di berbagai titik beban. Dari jenis perkerasan ini, manakah yang lebih besar pengaruh akibat beban horizontal pada perkerasan jalan tersebut.

#### 6. Kesimpulan dan saran

Dari pembahasan yang telah dilakukan maka diambil kesimpulan dari penelitian ini akibat beban horizontal pada perkerasan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional, dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

Adapun skema tahapan pelaksanaan penelitian ini dibuat dalam bentuk bagan alir untuk menyederhanakan urutan langkah rangkaian dari suatu proses ke proses lainnya sehingga mudah dipahami dan mudah dilihat bagi pembaca. Berikut tahap pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.1.



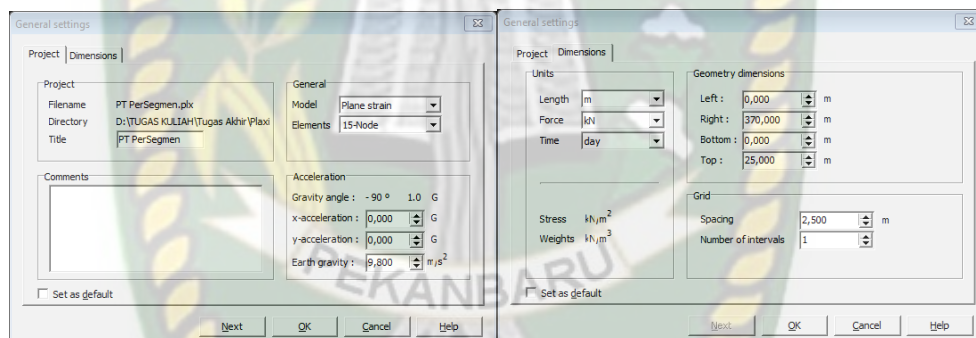
**Gambar 4.1** Bagan alir penelitian

#### 4.4 Pemodelan Numerik Plaxis 2D

PLAXIS (*Finite Element Code For Soil and Rock Analysis*) adalah suatu program yang dikembangkan untuk menganalisa deformasi dan stabilitas tanah dengan menggunakan pendekatan metode elemen hingga. Melalui input yang sederhana, mampu melakukan perhitungan elemen hingga yang kompleks serta menyediakan fasilitas *output* tampilan yang cukup detail dan hasil perhitungan yang akurat sehingga mampu membantu dalam memecahkan suatu masalah yang berkaitan dengan tanah dan geoteknik.




##### 1. General setting


Langkah pertama dalam pengerjaan adalah menentukan nama file, model, jumlah node elemen, dimensi area Plaxis untuk nantinya digunakan dalam pemodelan (Gambar 4.2).

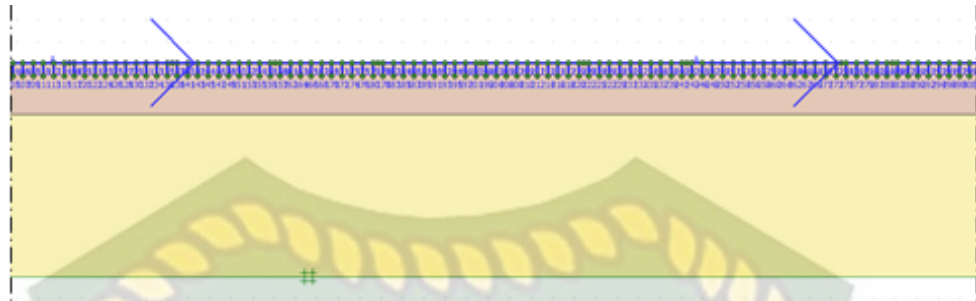


**Gambar 4.2** General setting Plaxis

##### 2. Model geometri

Selanjutnya, masukkan geometri sesuai model yang dibutuhkan dalam pemodelan ini adalah potongan melintang jalan dimulai dari *subgrade* sampai lapisan perkerasan jalan menggunakan *geometry line*  dan pelat  (Gambar 4.3). Membuat geometri dengan cara menarik garis pada *grid* yang tersedia atau dengan menginput koordinat yang dibutuhkan. Setiap lapisan struktur yang dibutuhkan, dimodelkan pada tahap ini. Jika pemodelan sudah selesai, berikan batasan dengan menggunakan *standard fixities*  Kemudian, input


beban titik yang akan bekerja pada lapisan permukaan jalan dengan menggunakan *Point Loads – Load system A* .

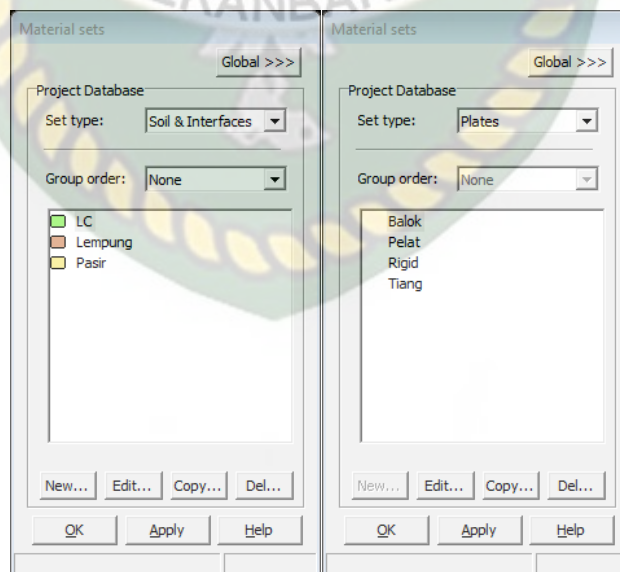


**Gambar 4.3** Pemodelan struktur jalan sistem pelat terpaku

Gambar 4.3 menunjukkan pemodelan perkerasan jalan sistem pelat terpaku dan bentuk pembebanan arah horizontal.

### 3. Material

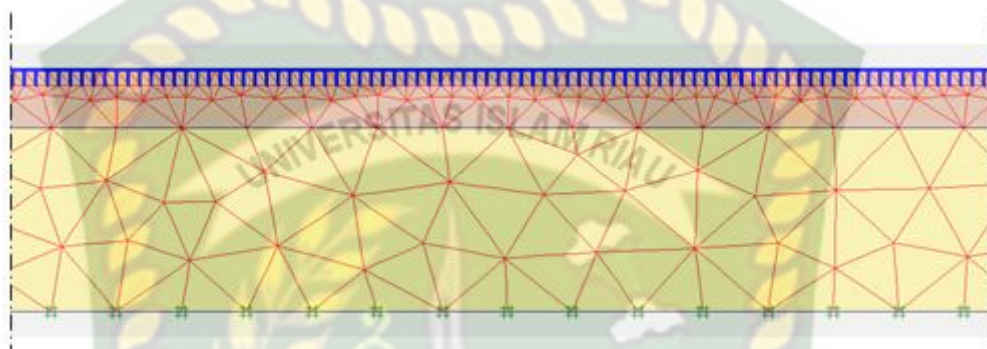
Tentukan parameter material untuk setiap lapisan tanah dan struktur jalan pada tahap ini. Mulai dari model material, tipe material, parameter teknis, sesuai parameter yang digunakan. Pilih *material sets*  untuk mulai mengatur. Masukkan parameter-parameter tanah pada tipe *soil & interfaces* dan struktur pelat dan tiang pada tipe *plates* (Gambar 4.4)



**Gambar 4.4** Jendela *material sets*

#### 4. *Mesh*

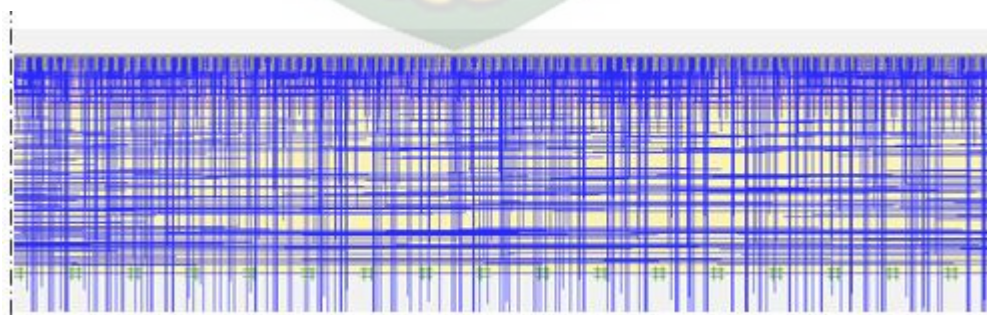
*Mesh* dilakukan untuk membagi elemen menjadi bagian yang lebih kecil berbentuk jaring-jaring segitiga (Gambar 4.5). Tujuannya untuk mempermudah perhitungan dengan metode elemen hingga dan memperoleh hasil yang akurat. *Mesh* dilakukan setelah tahapan pemodelan geometri, struktur perkerasan jalan, dan input material selesai.



**Gambar 4.5** *Mesh generate* pada pemodelan Plaxis

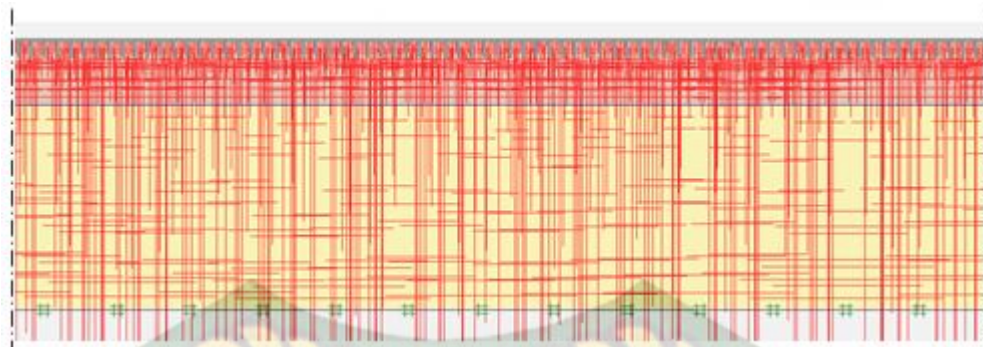
#### 5. *Initial condition*

Diperlukan untuk memberikan kondisi awal pada tanah sesuai keadaan aslinya. Terdapat dua kondisi awal, tekanan air pori (*initial water pressure*) dan tekanan awal (*initial stress*). *Initial water pressure* digunakan untuk menentukan kondisi struktur dalam kondisi kering atau basah. *Initial stress* digunakan pada pemodelan dengan struktur yang memiliki bentuk rata dan tidak memiliki kemiringan. (Gambar 4.6).



(a)



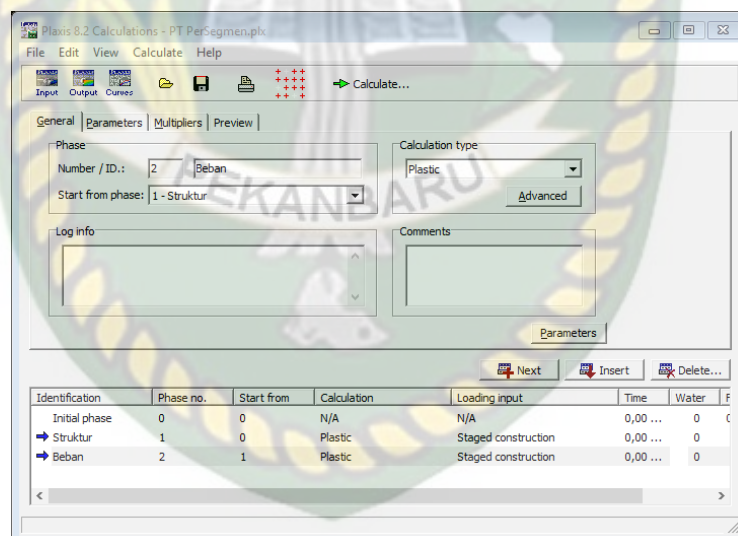


(b)

**Gambar 4.6** (a) *Initial water pressure* dan (b) *Initial stress*

#### 6. Calculation

Proses perhitungan dimulai dengan *calculation*, proses ini dimulai dari menentukan setiap *parameters* yang akan diperhitungkan. Setiap proses urutan pekerjaan dapat dikondisikan secara individu dan saling terkait secara berurutan.

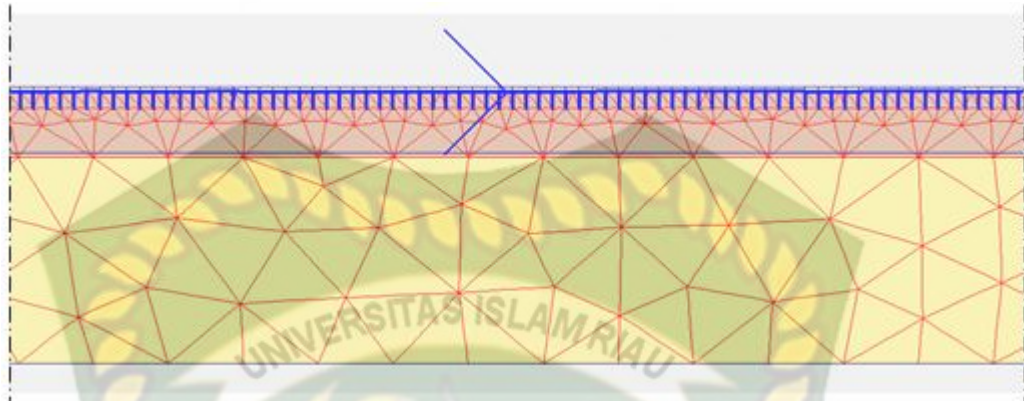


**Gambar 4.7** *Calculation*

#### 7. Output

Tahap terakhir pemodelan, dimana hasil dari perhitungan dengan menggunakan metode elemen hingga dilakukan untuk model dan material

yang telah didefinisikan pada tahap-tahapan sebelumnya. Output PLAXIS dapat menyajikan tampilan dalam bentuk visual untuk memberikan gambaran secara aktual sehingga *displacements* yang terjadi bisa diamati (Gambar 4.8).



**Gambar 4.8** Jendela *output* PLAXIS

#### 4.5 Cara Analisis

Cara analisis adalah tahapan pelaksanaan penelitian yang akan dicapai pada sebuah penelitian, adapun cara analisis adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan parameter pelat dan tiang dianalisis menggunakan idealisasi *plane strain*.
2. Perhitungan tebal perkerasan kaku konvensional (*Rigid Pavement*) dengan metode SNI Pd T-14-2003.
3. Perhitungan beban horizontal pada perkerasan jalan berupa gaya rem kendaraan dengan menggunakan persamaan energi kinetik.
4. Perhitungan *displacement* horizontal dan vertikal dengan metode elemen hingga 2D.
5. Perhitungan tegangan geser efektif tanah dengan metode elemen hingga 2D.
6. Perhitungan momen pelat dan tiang dengan metode elemen hingga 2D.
7. Perhitungan tegangan dalam tanah dengan metode elemen hingga 2D.

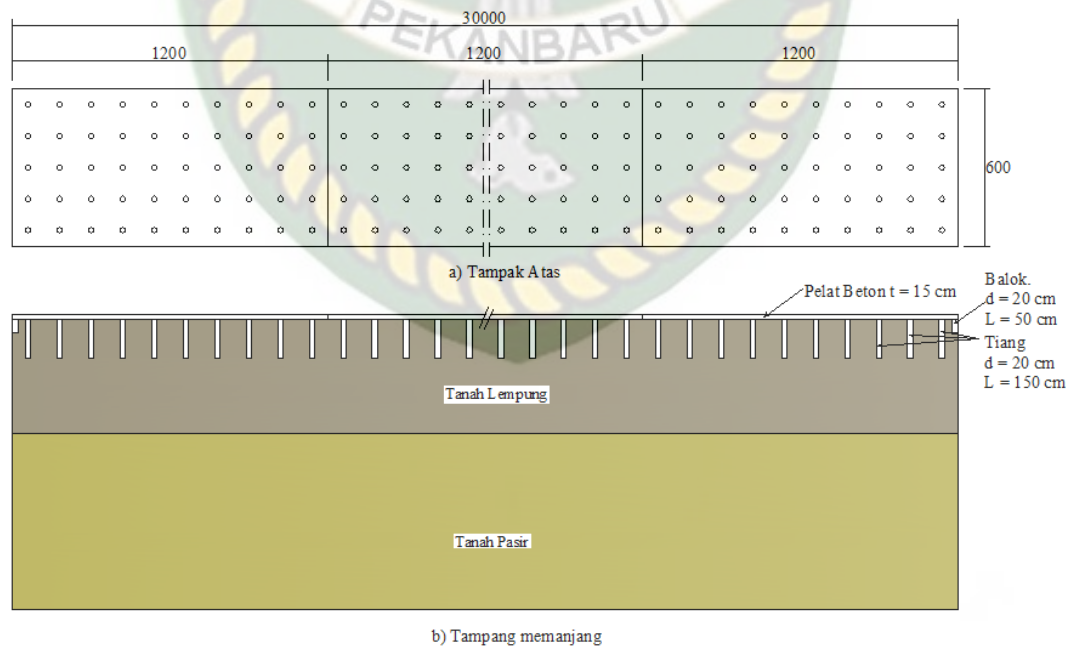
## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Diskripsi Umum

Struktur perkerasan jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Konvensional yang dianalisis menggunakan mutu beton K-350 ( $f_c' = 29$  MPa) tebal pelat perkerasan sistem pelat terpaku 0,15 m, diameter tiang 0,20 m, panjang tiang 1,50 m, jarak antar tiang 1,20 m dan tebal perkerasan kaku 0,30 m. Dalam penelitian ini ada dua jenis permodelan perkerasan jalan yang akan dianalisis yang terdiri dari jenis perkerasan jalan persegmen dan jenis perkerasan jalan menerus.

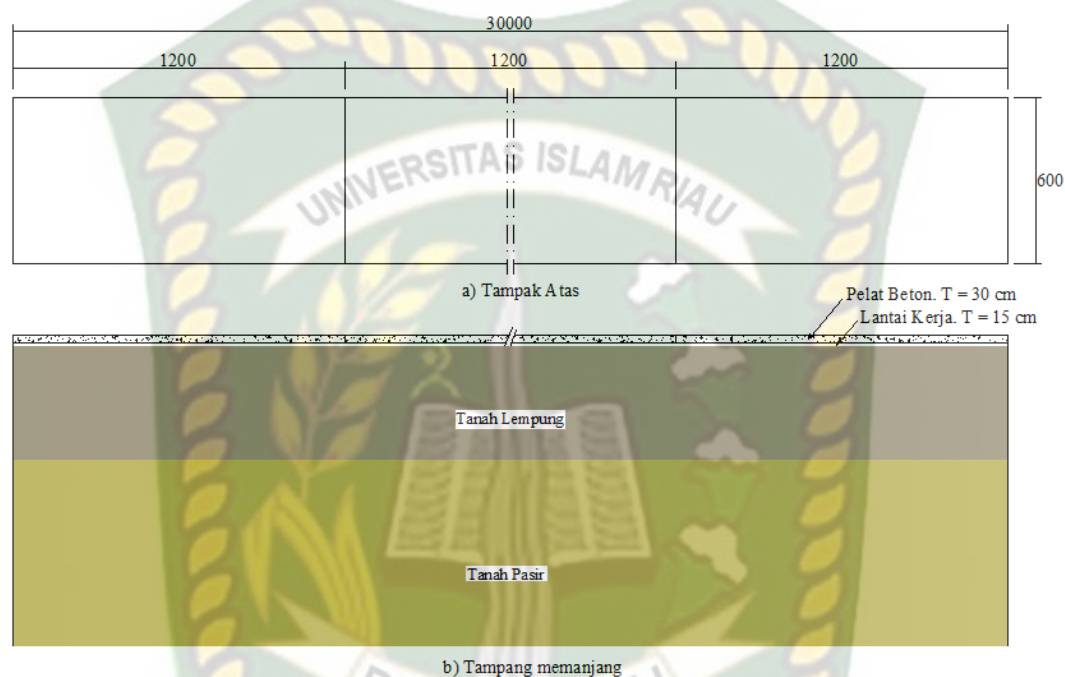
#### 5.1.1 Jenis Perkerasan Jalan Persegmen

Jenis perkerasan jalan persegmen yang ukuran pelatnya berbentuk empat persegi panjang, dimana panjang pelat dari jenis perkerasan ini 12 m dan lebar 6 m. Panjang total perkerasan jalan yang akan dianalisa 300 m dan lebar 6 m. Dari jenis perkerasan persegmen terdiri dari perkerasan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional, perkerasan jalan berada di atas tanah lunak seperti pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2.



**Gambar 5.1** Jenis perkerasan jalan persegmen pada sistem pelat terpaku

Gambar 5.1 menunjukkan perkerasan jalan sistem pelat terpaku jenis perkerasan persegmen, dengan panjang pelat setiap segmen 12 m, lebar 6 m, tebal pelat 0,15 m dan panjang total perkerasan jalan 300 m, dari panjang total perkerasan jalan terdapat 25 segmen. Dari panjang pelat setiap segmen 12 m terdiri dari 10 tiang dari arah memanjang dan 5 tiang dari arah melintang, dengan panjang tiang 1,50 m, diameter tiang 0,20 m, dan jarak antar tiang 1,20 m.

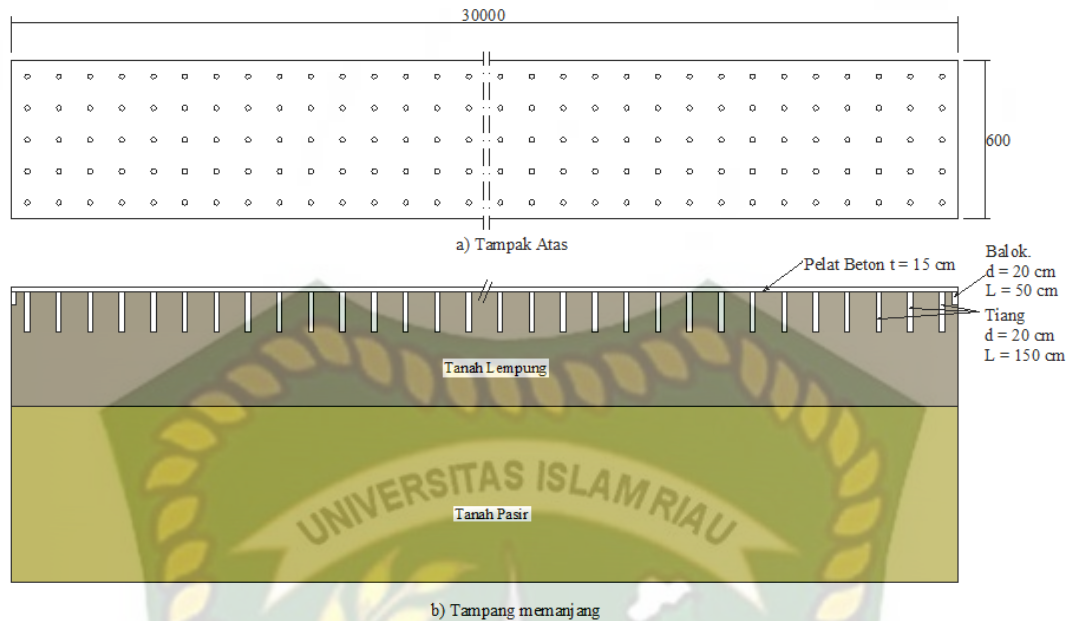


**Gambar 5.2** Jenis perkerasan jalan persegmen pada pekerasan kaku konvensional

Gambar 5.2 menunjukkan perkerasan kaku konvensional jenis perkerasan persegmen, dengan panjang pelat setiap segmen 12 m, lebar 6 m, tebal pelat 0,30 m, tebal lantai kerja 0,15 m dan panjang total perkerasan jalan 300 m, dari panjang total perkerasan jalan terdapat 25 segmen.

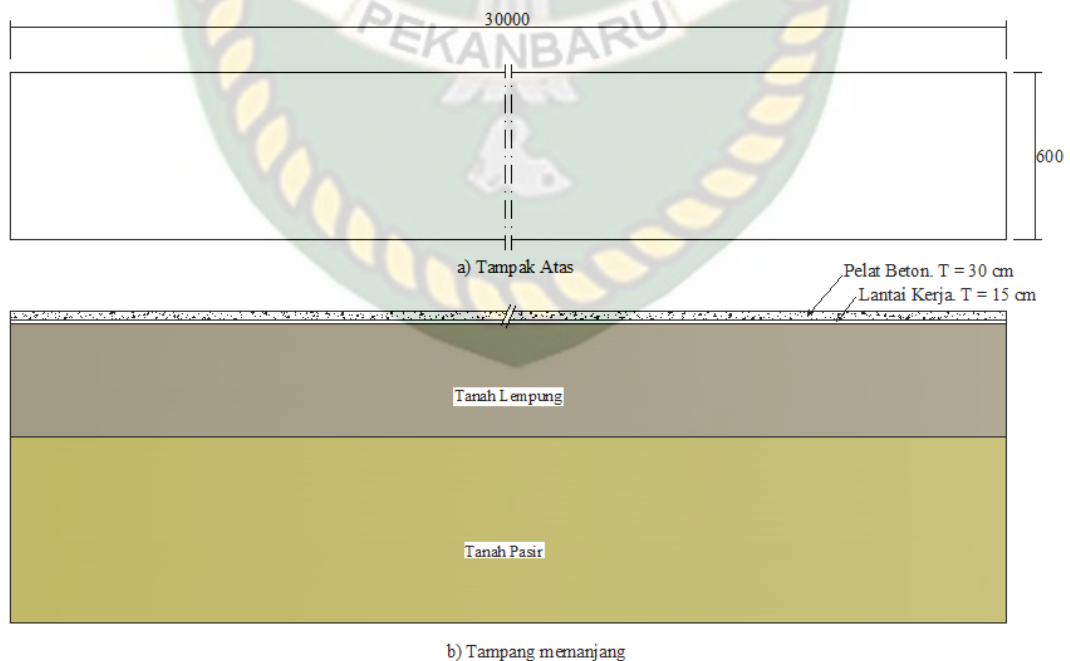
### 5.1.2 Jenis Perkerasan Jalan Menerus

Jenis perkerasan menerus dengan panjang pelat 300 m dan lebar 6 m. Panjang total perkerasan jalan yang akan dianalisa 300 m dan lebar 6 m. Dari jenis perkerasan menerus terdiri dari perkerasan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional, perkerasan jalan berada di atas tanah lunak seperti pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4.



**Gambar 5.3** Jenis perkerasan jalan menerus pada sistem pelat terpeku

Gambar 5.3 menunjukkan perkerasan jalan sistem pelat terpeku jenis perkerasan menerus, dengan panjang pelat 300 m, lebar 6 m, tebal pelat 0,15 m dan panjang total perkerasan jalan 300 m. Dari panjang pelat 300 m terdiri dari 250 tiang dari arah memanjang dan 5 tiang dari arah melintang, dengan panjang tiang 1,50 m, diameter tiang 0,20 m, dan jarak antar tiang 1,20 m.



**Gambar 5.4** Jenis perkerasan jalan menerus pada pekerasan kaku konvensional

Gambar 5.4 menunjukkan perkerasan kaku konvensional jenis perkerasan menerus, dengan panjang pelat 300 m, lebar 6 m, tebal pelat 0,30 m, tebal lantai kerja 0,15 m dan panjang total perkerasan jalan 300 m.

## 5.2 Hasil Pengolahan Data

Hasil pengolahan data yang terdiri dari data tanah dengan menggunakan data tanah Puri (2017), data LHR tahun 2004 dari Suryawan (2005), dan perhitungan yang telah dilakukan pada penelitian ini terdiri dari parameter lantai kerja, hasil analisa parameter pelat, tiang dan balok, hasil perhitungan beban horizontal menggunakan persamaan energi kinetik, hasil analisa tebal perkerasan kaku, hasil analisa *displacements*, hasil analisa gaya-gaya dalam dan hasil analisa tegangan dalam tanah dengan menggunakan metode elemen hingga.

### 5.2.1 Parameter Tanah dan Lantai Kerja Untuk Input Plaxis

Parameter tanah dan lantai kerja adalah ukuran atau acuan untuk mengetahui proses perubahan yang terjadi dalam tanah jika tanah dibeban dengan beban struktur maupun beban yang bekerja pada struktur tersebut. Adapun bagian dari parameter tanah yaitu modulus Young, Poisson rasio, berat isi tanah, berat isi tanah kering, berat isi tanah jenuh, sudut geser, sudut dilatasi, kohesi, dan faktor reduksi seperti pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2, dan parameter lantai kerja yaitu modulus Young, Poisson rasio, berat isi tanah jenuh, dan faktor reduksi seperti pada Tabel 5.3.

**Tabel 5.1** Parameter tanah lempung (Puri, 2017)

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Model material	Model	Mohr-Coulomb	-
2	Perilaku material	Tipe	<i>Undrained</i>	-
3	Modulus Young	$E$	1.790,00	kN/m <sup>2</sup>
4	Rasio Poisson	$\nu$	0,35	-
5	Berat volume jenuh	$\gamma_{sat}$	16,30	kN/m <sup>3</sup>
6	Berat volume tak jenuh	$\gamma$	10,90	kN/m <sup>3</sup>

**Tabel 5.1** (Lanjutan)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
7	Kohesi	$c$	20,00	$\text{kN/m}^2$
8	Sudut gesek internal	$\phi$	1,00	$^\circ$
9	Sudut dilatasi	$\psi$	0,00	$^\circ$
10	Faktor reduksi <i>interface</i>	$R_{inter}$	0,80	-

Tabel 5.1 menunjukkan bahwa parameter tanah lempung yang digunakan untuk mengetahui atau menilai hasil suatu proses perubahan yang terjadi dalam tanah jika tanah dibeban dengan beban struktur maupun beban yang bekerja pada struktur, yang terletak di bawah perkerasan jalan.

**Tabel 5.2** Parameter tanah pasir (Puri, 2017)

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	Model material	Model	Mohr-Coulomb	-
2	Perilaku material	Tipe	<i>Drained</i>	-
3	Modulus Young	$E$	42.750,00	$\text{kN/m}^2$
4	Rasio Poisson	$\nu$	0,35	-
5	Berat volume jenuh	$\gamma_{sat}$	20,00	$\text{kN/m}^3$
6	Berat volume tak jenuh	$\gamma$	18,00	$\text{kN/m}^3$
7	Kohesi	$c$	1,00	$\text{kN/m}^2$
8	Sudut gesek internal	$\phi$	47,80	$^\circ$
9	Sudut dilatasi	$\psi$	2,00	$^\circ$
10	Faktor reduksi <i>interface</i>	$R_{inter}$	0,70	-

Tabel 5.2 menunjukkan bahwa parameter tanah pasir yang digunakan untuk mengetahui atau menilai hasil suatu proses perubahan yang terjadi dalam tanah jika tanah dibeban oleh tanah lempung dan beban struktur maupun beban yang bekerja pada struktur, yang terletak di bawah tanah lempung dan perkerasan jalan.

**Tabel 5.3** Parameter beton lantai kerja (*Lean Concrete*) (Puri, 2017)

No	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Model material	Model	Linear elastic	-

**Tabel 5.3** (Lanjutan)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
2	Perilaku material	Tipe	<i>Non Pourus</i>	-
3	Modulus Young	$E$	12.000.000	kN/m <sup>2</sup>
4	Rasio Paisson	$\nu$	0,15	-
5	Berat volume tak jenuh	$\gamma$	22,00	kN/m <sup>3</sup>
6	Faktor reduksi <i>interface</i>	$R_{inter}$	0,80	-

Tabel 5.3 menunjukkan parameter beton lantai kerja yang akan digunakan dalam analisa metode elemen hingga yang terletak di bawah perkerasan kaku konvensional atau sebagai bahan pondasi bawah dalam perkerasan kaku konvensional.

### 5.2.2 Parameter Elemen Struktur Untuk Input Plaxis

Dalam Plaxis 2D parameter elemen struktur ini dimodelkan dalam bentuk *plane strain*. Adapun bagian dari parameter elemen struktur yaitu modulus young, kekakuan normal, kekakuan lentur, berat struktur, rasio poisson, dan berat jenis. Untuk lebih jelas parameter struktur yang digunakan dalam analisa program Plaxis dapat dilihat dalam Tabel 5.4 sampai Tabel 5.7.

**Tabel 5.4** Parameter struktur pelat terpaku 2D *plane strain*

No	Parameter	Simbol	Pelat	Satuan
1	Model material	Model	<i>Plate</i>	-
2	Perilaku material	Tipe	Elastic	-
3	Modulus Young	$E$	25.310.275	kN/m <sup>2</sup>
4	Kekakuan normal	$EA$	3.796.541	kN/m
5	Kekakuan lentur	$EI$	7.119	kNm <sup>2</sup> /m
6	Diameter	$d$	0,15	m
7	Berat	$w$	3,6	kN/m/m
8	Rasio Poisson	$\nu$	0,15	-
9	Berat jenis	$\gamma$	24	kN/m <sup>3</sup>



Tabel 5.4 menunjukkan parameter pelat pada sistem pelat terpaku yang akan digunakan dalam analisa metode elemen hingga dengan bentuk pemodelan *plane strain*.

**Tabel 5.5** Parameter struktur tiang 2D *plane strain*

No	Parameter	Simbol	Tiang	Satuan
1	Model material	Model	<i>Plate</i>	-
2	Perilaku material	Tipe	Elastic	-
3	Modulus Young	$E$	25.310.275	kN/m <sup>2</sup>
4	Kekakuan normal	$EA$	662.286	kN/m
5	Kekakuan lentur	$EI$	1.657	kNm <sup>2</sup> /m
6	Diameter	$d$	0,20	m
7	Berat	$w$	0,628	kN/m/m
8	Rasio Poisson	$\nu$	0,20	-
9	Berat jenis	$\gamma$	24	kN/m <sup>3</sup>

Tabel 5.5 menunjukkan parameter tiang pada sistem pelat terpaku yang akan digunakan dalam analisa metode elemen hingga dengan bentuk pemodelan *plane strain*.

**Tabel 5.6** Parameter struktur balok 2D *plane strain*

No	Parameter	Simbol	Pelat	Satuan
1	Model material	Model	<i>Plate</i>	-
2	Perilaku material	Tipe	Elastic	-
3	Modulus Young	$E$	25.310.275	kN/m <sup>2</sup>
4	Kekakuan normal	$EA$	5.062.055	kN/m
5	Kekakuan lentur	$EI$	16.874	kNm <sup>2</sup> /m
6	Diameter	$d$	0,20	m
7	Berat	$w$	4,8	kN/m/m
8	Rasio Poisson	$\nu$	0,15	-
9	Berat jenis	$\gamma$	24	kN/m <sup>3</sup>

Tabel 5.6 menunjukkan parameter balok yang terletak di ujung sisi kanan dan kiri pada sistem pelat terpaku yang akan digunakan dalam analisa metode elemen hingga dengan bentuk pemodelan *plane strain*.

**Tabel 5.7** Parameter struktur perkerasan kaku konvensional 2D *plane strain*

No	Parameter	Simbol	Pelat	Satuan
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Model material	Model	<i>Plate</i>	-
2	Perilaku material	Tipe	Elastic	-
3	Modulus Young	$E$	25.310.275	kN/m <sup>2</sup>
4	Kekakuan normal	$EA$	7.593.083	kN/m
5	Kekakuan lentur	$EI$	56.948	kNm <sup>2</sup> /m
6	Diameter	$d$	0,30	m
7	Berat	$w$	7,2	kN/m/m
8	Rasio Poisson	$\nu$	0,15	-
9	Berat jenis	$\gamma$	24	kN/m <sup>3</sup>

Tabel 5.7 menunjukkan parameter pelat pada perkerasan kaku konvensional yang akan digunakan dalam analisa metode elemen hingga dengan bentuk pemodelan *plane strain*.

### 5.2.3 Hasil Analisa Beban Horizontal

Analisa beban horizontal yang bekerja pada perkerasan jalan berupa gaya rem kendaraan dengan menggunakan persamaan energi kinetik dari rumus (3.10). Perhitungan beban diantaranya beban sumbu maksimum kendaraan dari Tabel (3.5), kecepatan izin kendaraan diambil dengan kecepatan 70 km/jam, angka kecepatan ini termasuk kecepatan yang diatur dalam PM 111 tahun 2015 tentang Tata Cara Penetapan Batas Kecepatan dan PP No. 79 tahun 2013 tentang Jaringan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, dan jarak aman kendaraan mengacu pada PP No.43/1993 dari Tabel 3.6. Pada penelitian ini ada dua jenis kendaraan yang perhitungkan akibat beban horizontal yaitu kendaraan Truck dengan konfigurasi sumbu 1,22 dan kendaraan Trailer dengan konfigurasi sumbu 1,2-2,2. Hasil analisa beban horizontal atau beban yang ditimbulkan pada kendaraan berupa gaya rem dapat lihat pada (Lampiran A.12-14) dan Tabel 5.8.

**Tabel 5.8** Hasil analisa beban horizontal

No	Konfigurasi sumbu dan tipe	Beban max. (Ton)	Kecepatan izin. Kend (km/jam)	Jarak aman. Kend (m)	Beban horizontal (kN)
1	1,22 Truck	25	70	70	64
2	1,2-2,2 Trailer	42	70	70	108

#### 5.2.4 Hasil Analisa Tebal Perkerasan Kaku Metode Bina Marga Pd T-14-2003

Untuk menentukan tebal perkerasan jalan terlebih dahulu diketahui jumlah LHR pada setiap kendaraan. Dalam perhitungan tebal perkerasan kaku pada penelitian ini jumlah LHR didapatkan dari Suryawan (2005). Lalu- lintas Harian Rata-rata (LHR) tahun 2004 seperti pada Tabel 5.9 dan menggunakan data tanah yang sama dengan perkerasan sistem pelat terpaku dengan CBR tanah dasar sebesar 0,83 %.

**Tabel 5.9** LHR pada ruas Simpang Tol – Terminal Terboyo (Jl. Kaligawe)

No	Tipe Kendaraan	LHR 2004
(1)	(2)	(3)
1	Sedan, jeep, st. wagon	10.242
2	Pick-up, combi	2.545
3	Bus kecil	311
4	Bus besar	3.142
5	Truck 2 as (L) micro truck, mobil hantaran	4.691
6	Truck 2 as (H)	3.262
7	Truck 3 as	1.727
8	Trailer 4 as, truck gandengan	689
9	Truck s. trailer	848
Jumlah		27.458

Sumber : Ari Suryawan, 2005.

Sesuai data LHR pada Tabel 5.9 dapat dianalisa tebal perkerasan kaku dengan Metode Bina Marga Pd T-14-2003 meliputi hasil-hasil sebagai berikut:

## 1. Hasil Analisa Mutu Beton Rencana

Dari hasil analisa mutu beton, kuat tarik lentur beton umur 28 hari didapat dari hubungan antara kuat tekanan karakteristik dengan kuat tarik lentur beton. Untuk beton K-350 dengan kuat tekanan karakteristik 29 MPa didapat kuat tarik lentur beton sebesar 4,4 MPa.

## 2. Hasil Analisa Lalu Lintas

Sebelum menentukan Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga (JSKN) dan Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Rencana JSKN rencana ditentukan terlebih dahulu jumlah sumbu masing-masing kendaraan dimana dari hasil analisa adalah seperti Tabel 5.10.

**Tabel 5.10** Hasil analisa jumlah sumbu kendaraan berdasarkan jenis dan bebannya

Jenis Kendaraan	Konfigurasi beban Sumbu (ton)				jml. Kend (bh)	jml. Sumbu Per kend (bh)	Jml. Sumbu (bh)	STRT		STRG		STdRG	
	RD	RB	RGD	RGB				BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)	BS (ton)	JS (bh)
1	2				3	4	5	6	7	8	9	10	11
MP	1	1	-	-	10.242	-	-	-	-	-	-	-	-
pick-up, combi	1	1	-	-	2.545	-	-	-	-	-	-	-	-
Bus K	2,04	3,96	-	-	311	2	622	2,04	311	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	3,96	311	-	-	-	-
Bus B	3,06	5,94	-	-	3.142	2	6284	3,06	3.142	5,94	3.142	-	-
Truck 2as (L)	2,82	5,48	-	-	4.691	2	9382	2,82	4.691	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	5,48	4.691	-	-	-	-
Truck 2as (H)	6,19	12	-	-	3.262	2	6524	6,19	3.262	12	3.262	-	-
Truck 3as	6,25	18,8	-	-	1.727	2	3454	6,25	1.727	-	-	18,8	1.727
Trailer 4 as	5,65	8,79	8,48	8,48	689	4	2756	5,65	689	8,48	689	8,79	689
										8,48	689	-	-
Truck s.trailer	5,88	20,07	-	14,25	848	3	2544	5,88	848	-	-	20,07	848
										-	-	14,25	848
Total							31566		19.672		7.782		4.112

Keterangan : RD = roda depan, RB = roda belakang, RGD = roda gandeng depan, RGB = roda gandeng belakang, BS = beban sumbu, JS = jumlah sumbu, STRT = sumbu tunggal roda tunggal, STRG = sumbu tunggal roda ganda, STdRG = sumbu tandem roda ganda.

Selanjutnya setelah diketahui jumlah sumbu kendaraan niaga JSKNH, selama umur rencana 20 tahun dengan R dari Tabel 3.3 sebesar 22,05 didapat

jumlah sumbu kendaraan niaga JSKN =  $3,12 \times 10^8$  dan dari Tabel 3.2 dapat diketahui angka koefisien distribusi kendaraan ( $c$ ) = 0,7 untuk 2 lajur 1 arah, sehingga didapat jumlah sumbu kendaraan niaga JSKN rencana =  $2,18 \times 10^8$ .

### 3. Hasil Analisa Repetisi Sumbu Rencana

Dari hasil jumlah sumbu untuk masing-masing jenis sumbu kendaraan pada Tabel 5.8 didapat proporsi beban, proporsi sumbu dan jumlah sumbu kendaraan niaga JSKN rencana =  $2,18 \times 10^8$  didapat repetisi sumbu rencana seperti pada Tabel 5.11.

**Tabel 5.11** Perhitungan repetisi sumbu rencana

Jenis Sumbu	Beban Sumbu (ton)	Jumlah Sumbu	Proporsi Beban	Proporsi Sumbu	Lalu-lintas Rencana	Repetisi yang terjadi
STRT	6,25	1,727	0,09	0,62	$2,18 \times 10^8$	$1,19 \times 10^7$
	6,19	3,262	0,17	0,62	$2,18 \times 10^8$	$2,24 \times 10^7$
	5,88	848	0,04	0,62	$2,18 \times 10^8$	$5,83 \times 10^6$
	5,65	689	0,04	0,62	$2,18 \times 10^8$	$4,73 \times 10^6$
	5,48	4,691	0,24	0,62	$2,18 \times 10^8$	$3,22 \times 10^7$
	3,96	311	0,02	0,62	$2,18 \times 10^8$	$2,14 \times 10^6$
	3,06	3,142	0,16	0,62	$2,18 \times 10^8$	$2,16 \times 10^7$
	2,82	4,691	0,24	0,62	$2,18 \times 10^8$	$3,22 \times 10^7$
	2,04	311	0,02	0,62	$2,18 \times 10^8$	$2,14 \times 10^7$
Total		19672	1,00			
STRG	12	3,262	0,42	0,25	$2,18 \times 10^8$	$2,25 \times 10^7$
	8,48	1,378	0,18	0,25	$2,18 \times 10^8$	$9,52 \times 10^6$
	5,94	3,142	0,40	0,25	$2,18 \times 10^8$	$2,17 \times 10^7$
Total		7,782	1,00			
STdRG	20,07	848	0,21	0,13	$2,18 \times 10^8$	$5,86 \times 10^6$
	18,75	1,727	0,42	0,13	$2,18 \times 10^8$	$1,19 \times 10^7$
	14,25	848	0,21	0,13	$2,18 \times 10^8$	$5,86 \times 10^6$
	8,79	689	0,17	0,13	$2,18 \times 10^8$	$4,76 \times 10^6$
Total		4,112	1,00			
Komulatif						$2,17 \times 10^8$

Tabel 5.11 menunjukkan hasil perhitungan repetisi sumbu rencana, hasil yang didapat sama dengan JSKN rencana yaitu sebesar  $2,17 \times 10^8$ , dari hasil yang didapat menunjukkan perkerasan jalan aman dilalui selama umur rencana 20 tahun.

#### 4. Hasil Analisa Tebal Pelat Beton

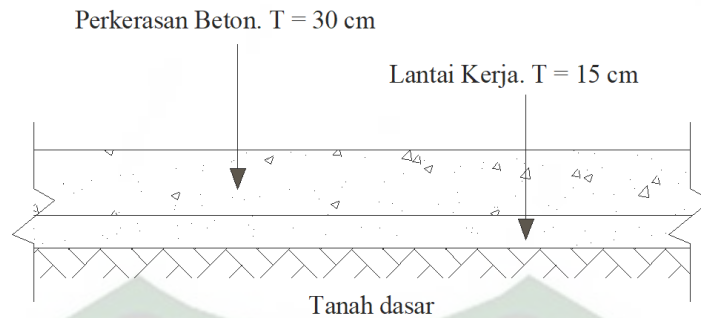
Dari hasil CBR efektif 5 % dan kuat tarik lentur 4,4 MPa untuk K-350 dengan tebal lapisan pondasi bawah (*lean concrete*) 15 cm, didapat tebal pelat beton 30 cm. Perhitungan analisa fatik dan erosi dapat dilihat pada Tabel 5.12.

**Tabel 5.12** Analisa fatik dan erosi

Jenis Sumbu	Beban Sumbu ton (kN)	Beban Rencana Per roda (kN)	Repetisi yang terjadi	Faktor Tegangan dan Erosi	Analisa Fatik		Analisa erosi	
					Repetisi ijin	Persen Rusak (%)	Repetisi ijin	Persen Rusak (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7) = $4 \times 100 / (6)$	(8)	(9) = $4 \times 100 / (8)$
STRT	6,25 (62,5)	34,38	$1,19 \times 10^7$	TE = 0,58	TT	0	TT	0
	6,19 (61,9)	34,05	$2,24 \times 10^7$	FRT = 0,13	TT	0	TT	0
	5,88 (58,8)	32,34	$5,83 \times 10^6$	FE = 1,71	TT	0	TT	0
	5,65 (56,5)	31,08	$4,73 \times 10^6$		TT	0	TT	0
	5,48 (54,8)	30,14	$3,22 \times 10^7$		TT	0	TT	0
	3,96 (39,6)	21,78	$2,14 \times 10^6$		TT	0	TT	0
	3,06 (30,6)	16,83	$2,16 \times 10^7$		TT	0	TT	0
	2,82 (28,2)	15,51	$3,22 \times 10^7$		TT	0	TT	0
	2,04 (20,4)	11,22	$2,14 \times 10^6$		TT	0	TT	0
STRG	12 (120)	33,00	$2,25 \times 10^7$	TE = 1,03	TT	0	$70 \times 10^6$	32
	8,48 (84,8)	23,32	$9,52 \times 10^6$	FRT = 0,23	TT	0	TT	TT
	5,94 (59,4)	16,34	$2,17 \times 10^7$	FE = 2,31	TT	0	TT	TT
STdRG	20,1 (201)	27,60	$5,86 \times 10^6$	TE = 1	TT	0	$30 \times 10^6$	19,52
	18,8 (188)	25,78	$1,19 \times 10^7$	FRT = 0,23	TT	0	$60 \times 10^6$	19,88
	14,3 (143)	19,59	$5,86 \times 10^6$	FE = 2,55	TT	0	TT	0
	8,79 (87,9)	12,09	$4,76 \times 10^6$		TT	0	TT	0
Total					0	< 100 %	72%	< 100 %

Keterangan : TE = tegangan ekuivalen; FRT = faktor rasio tegangan; FE = faktor rasio; TT = tidak terbatas

Sesuai dari hasil Tabel 5.12 didapat % rusak fatik (lebih kecil dari 100%) maka tebal pelat perkerasan kaku 30 cm. Untuk lebih jelasnya susunan tebal perkerasan dapat dilihat pada Gambar 5.5.

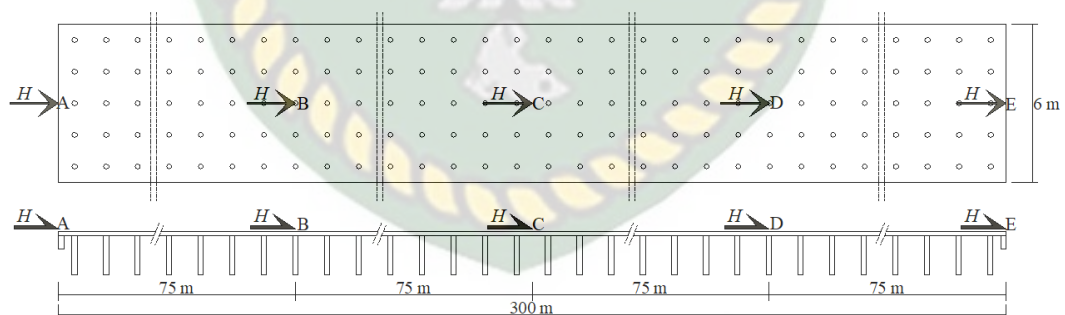


**Gambar 5.5** Susunan lapisan perkerasan beton

Gambar 5.5 menunjukkan tebal perkerasan kaku konvensional 30 cm dari hasil perhitungan menggunakan Metode Bina Marga Pd T-14-2003 dan lantai kerja 15 cm, perkerasan jalan berada di atas tanah lempung lunak.

### 5.3 Penempatan Posisi Beban Horizontal

Dalam penelitian ini ada dua jenis pemodelan perkerasan jalan yang dianalisis, yang pertama yaitu perkerasan jalan persegmen, dengan panjang setiap segmen 12 m dan lebar 6 m, kedua perkerasan jalan menerus, dengan panjang perkerasan 300 m dan lebar 6 m. Panjang perkerasan jalan yang dianalisis dari dua jenis pemodelan perkerasan jalan adalah 300 m dan lebar jalan 6 m, dari panjang perkerasan jalan 300 m ada lima titik beban yang akan dianalisa untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.6.



**Gambar 5.6** Penempatan posisi beban

Gambar 5.6 menunjukkan bahwa panjang perkerasan jalan 300 m dan lebar 6 m dari panjang perkerasan jalan ada lima titik beban yang akan dianalisa dengan jarak setiap beban 75 m dan beban yang dianalisa hanya dalam bentuk satu arah.

#### 5.4 Hasil Analisa Beban Horizontal Pada Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Konvensional Untuk Jenis Perkerasan Jalan Persegmen

Hasil analisa beban horizontal pada perkerasan jalan dilakukan dengan metode elemen hingga *software* Plaxis 2D. Beban horizontal merupakan gaya rem yang ditimbulkan oleh kendaraan. Panjang perkerasan jalan yang dianalisa 300 m dan panjang setiap segmen 12 m dan lebar 6 m. Hasil analisa beban horizontal dalam penelitian ini dari jenis kendaraan truk dan trailer.

##### A. Hasil analisa beban horizontal akibat kendaraan truk

Beban horizontal dari jenis kendaraan truk sebesar 64 kN. Hasil analisa *displacements*, tegangan dalam tanah, dan gaya-gaya dalam yang dihasilkan pada perkerasan jalan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku adalah sebagai berikut.

##### 1. Hasil analisa *displacement*

Perbandingan hasil *displacement* perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.51 Tabel A.5.

**Tabel 5.13** Perbandingan hasil *displacement* perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 64 kN

Titik Beban	Sistem Pelat Terpaku			Perkerasan Kaku Konvensional		
	TD (mm)	DH (mm)	DV (mm)	TD (mm)	DH (mm)	DV (mm)
A	2,500	0,078	-2,500	2,720	0,043	-2,720
B	1,600	0,173	-1,590	2,720	0,096	-2,720
C	1,610	0,179	-1,600	2,720	0,112	-2,720
D	1,600	0,125	-1,600	2,720	0,096	-2,720
E	2,520	0,079	-2,520	2,720	0,043	-2,720

Keterangan : TD = Total *Displacements*, DH = *Displacements* Horizontal, DV = *Displacement* Vertikal.

Tabel 5.13 menunjukkan hasil perbandingan *displacements* perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional penjelasan sebagai berikut:



#### 1. Beban di titik A

Hasil total *displacements* dan *displacements* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacements* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

#### 2. Beban di titik B

Hasil total *displacements* dan *displacements* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacements* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

#### 3. Beban di titik C

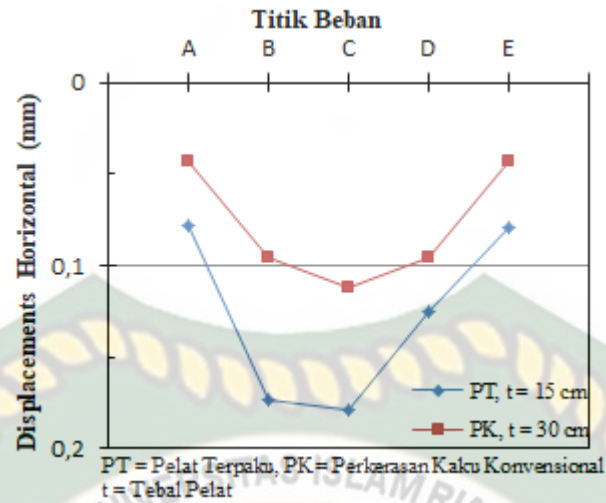
Hasil total *displacements* dan *displacements* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacements* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

#### 4. Beban di titik D

Hasil total *displacements* dan *displacements* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacements* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

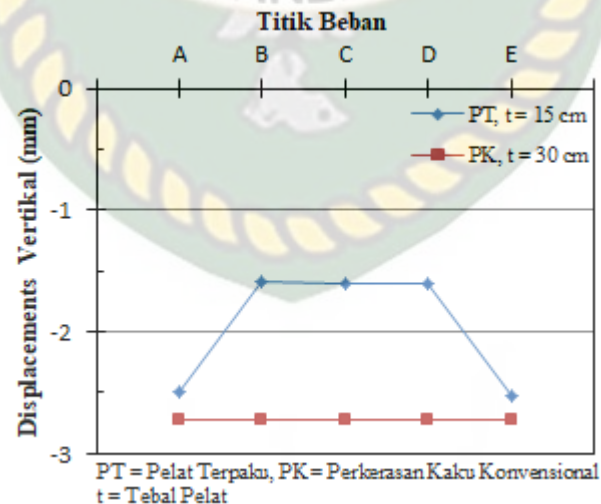
#### 5. Beban di titik E

Hasil total *displacements* dan *displacements* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacements* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional. Perbandingan *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.7.



**Gambar 5.7** Perbandingan *displacements* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 64 kN.

Gambar 5.7 menunjukkan bahwa *displacement* horizontal yang terbesar pada beban di titik C terletak pada perkerasan sistem pelat terpaku yaitu 0,179 mm dan *displacement* horizontal yang terkecil pada beban di titik A dan E pada perkerasan kaku konvensional yaitu 0,043 mm. Perbandingan *displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.8.



**Gambar 5.8** Perbandingan *displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 64 kN.

Gambar 5.8 menunjukkan bahwa *displacement* vertikal yang terbesar terletak pada perkerasan kaku konvensional yaitu -2,720 mm dan *displacement* vertikal yang terkecil pada beban di titik B pada perkerasan pelat terpaku yaitu -1,590 mm.

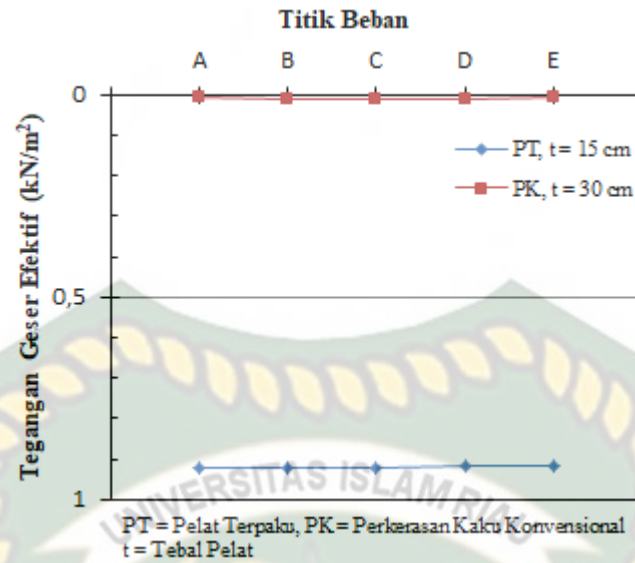
## 2. Hasil analisa tegangan geser efektif tanah

Perbandingan hasil tegangan geser efektif tanah perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.51 Tabel A.7.

**Tabel 5.14** Perbandingan tegangan geser efektif tanah perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 64 kN

Titik Beban	Tegangan geser efektif tanah (kN/m <sup>2</sup> )	
	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku Konvensional
A	0,921	0,006
B	0,921	0,011
C	0,920	0,012
D	0,919	0,011
E	0,918	0,005

Tabel 5.14 menunjukkan bahwa tegangan geser efektif tanah pada beban di titik A sampai E perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional. Sesuai Tabel 5.14 dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 5.9.



**Gambar 5.9** Perbandingan tegangan geser efektif tanah perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 64 kN.

Gambar 5.9 menunjukkan bahwa tegangan efektif tanah yang terbesar pada beban di titik A dan B terletak pada perkerasan sistem pelat terpaku yaitu  $0,921 \text{ kN/m}^2$  dan tegangan efektif tanah yang terkecil pada beban di titik E pada perkerasan kaku yaitu  $0,005 \text{ kN/m}^2$ .

### 3. Hasil analisa gaya-gaya dalam

Hasil analisa gaya-gaya dalam pelat perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.52 Tabel A.9.

**Tabel 5.15** Perbandingan hasil analisa gaya-gaya dalam pelat perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 64 kN

Titik Beban	Sistem Pelat Terpaku			Perkerasan Kaku Konvensional		
	Ga (kN/m)	Gg (kN/m)	M (kN/m)	Ga (kN/m)	Gg (kN/m)	M (kN/m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
A	4,760	2,940	-3,190	-1,420	-0,001	0,002
B	5,770	0,145	-0,066	7,020	0,001	0,002

**Tabel 5.15** (Lanjutan)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
C	-6,850	0,150	-0,056	-5,320	0,001	0,002
D	-8,600	0,148	-0,062	-7,030	0,001	-0,002
E	7,090	-3,320	-3,530	1,420	-0,001	-0,001

Keterangan : Ga = Gaya axial, Gs = Gaya geser, M = momen.

Tabel 5.15 menunjukkan bahwa gaya-gaya dalam pelat pada beban di titik A sampai E gaya axial perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku, kecuali pada beban di titik B gaya axial perkerasan kaku lebih besar dari perkerasan kaku, dan gaya geser dan momen pelat pada beban di titik A sampai E perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku.

Hasil analisa gaya-gaya dalam yang terjadi pada tiang pada perkerasan sistem pelat terpaku dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.53 Tabel A.11.

**Tabel 5.16** Hasil analisa gaya-gaya dalam tiang perkerasan jalan sistem pelat terpaku akibat beban horizontal 64 kN

Titik Beban	Sistem Pelat Terpaku		
	Gaya Axial (kN/m)	Gaya Geser (kN/m)	Momen (kN/m)
A	-0,751	0,676	0,581
B	-0,383	-0,068	-0,037
C	-0,241	-0,060	-0,031
D	-0,594	-0,039	-0,034
E	-0,819	-0,745	-0,878

Tabel 5.16 menunjukkan bahwa gaya-gaya dalam tiang pada beban di titik A sampai E gaya axial, gaya geser, dan momen yang terbesar terletak pada beban di titik E.

### **B. Hasil analisa beban horizontal akibat kendaraan trailer**

Beban horizontal dari jenis kendaraan trailer sebesar 108 kN. Hasil analisa *displacement*, tegangan dalam tanah, dan gaya-gaya dalam yang dihasilkan pada

perkerasan jalan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional adalah sebagai berikut.

### 1. Hasil analisa *displacement*

Perbandingan hasil *displacement* perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.51 Tabel A.6.

**Tabel 5.17** Perbandingan hasil *displacement* perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 108 kN

Titik Beban	Sistem Pelat Terpaku			Perkerasan Kaku Konvensional		
	TD (mm)	DH (mm)	DV (mm)	TD (mm)	DH (mm)	DV (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
A	2,510	0,102	-2,510	2,720	0,072	-2,720
B	1,610	0,275	-1,590	2,720	0,161	-2,720
C	1,630	0,302	-1,600	2,730	0,188	-2,720
D	1,610	0,278	-1,600	2,720	0,161	-2,720
E	2,510	0,026	-2,510	2,720	0,072	-2,720

Keterangan : TD = Total *Displacement*, DH = *Displacement* Horizontal, DV = *Displacement* Vertikal.

Tabel 5.17 menunjukkan hasil perbandingan *displacement* perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional penjelasan sebagai berikut:

#### 1. Beban di titik A

Hasil total *displacement* dan *displacement* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

## 2. Beban di titik B

Hasil total *displacement* dan *displacement* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

## 3. Beban di titik C

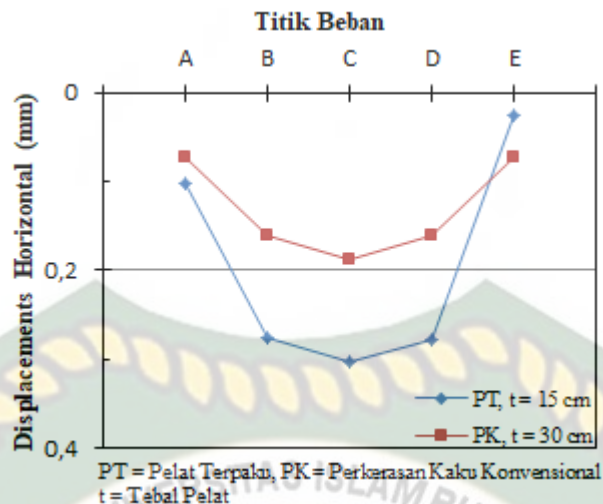
Hasil total *displacement* dan *displacement* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

## 4. Beban di titik D

Hasil total *displacement* dan *displacement* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

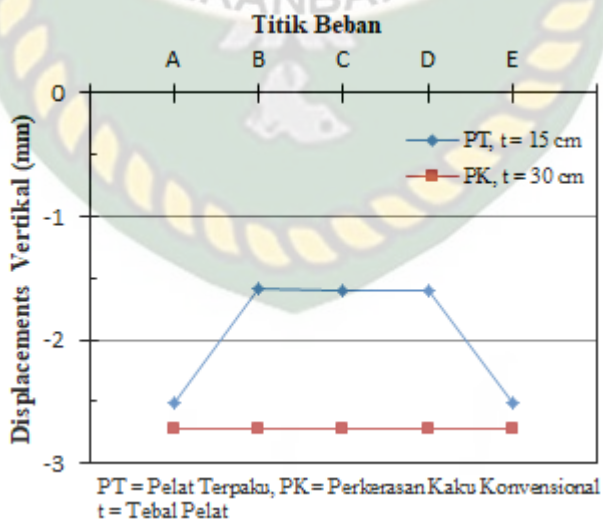
## 5. Beban di titik E

Hasil total *displacement*, *displacement* horizontal dan *displacement* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Perbandingan *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.10.



**Gambar 5.10** Perbandingan *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 108 kN.

Gambar 5.10 menunjukkan bahwa *displacement* horizontal yang terbesar pada beban di titik C terletak pada perkerasan sistem pelat terpaku yaitu 0,302 mm dan *displacement* horizontal yang terkecil pada beban di titik E pada perkerasan sistem pelat terpaku yaitu 0,026 mm. Perbandingan *displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.11.



**Gambar 5.11** Perbandingan *displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 108 kN.



Gambar 5.11 menunjukkan bahwa *displacement* vertikal yang terbesar terletak pada perkerasan kaku konvensional yaitu -2,720 mm dan *displacement* vertikal yang terkecil pada beban di titik B pada perkerasan pelat terpaku yaitu -1,590 mm.

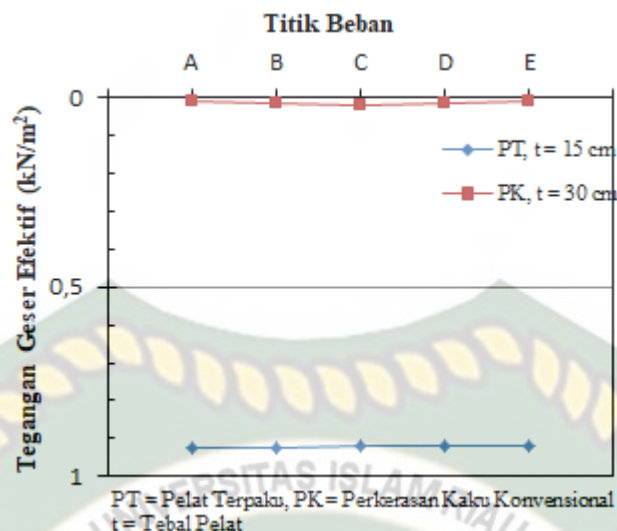
## 2. Hasil analisa tegangan geser efektif tanah

Perbandingan hasil tegangan geser efektif tanah perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.18 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.52 Tabel A.8.

**Tabel 5.18** Perbandingan tegangan geser efektif tanah perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 108 kN

Titik Beban	Tegangan geser efektif tanah (kN/m <sup>2</sup> )	
	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku Konvensional
A	0,923	0,009
B	0,923	0,018
C	0,921	0,021
D	0,920	0,018
E	0,918	0,009

Tabel 5.18 menunjukkan bahwa tegangan geser efektif tanah pada beban di titik A sampai E perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional. Sesuai Tabel 5.18 dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 5.12.



**Gambar 5.12** Perbandingan tegangan geser efektif tanah perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku akibat beban horizontal 108 kN.

Gambar 5.12 menunjukkan bahwa tegangan efektif tanah yang terbesar pada beban di titik A dan B terletak pada perkerasan sistem pelat terpaku yaitu  $0,923 \text{ kN/m}^2$  dan tegangan efektif tanah yang terkecil pada beban di titik A dan E pada perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,009 \text{ kN/m}^2$ .

### 3. Hasil analisa gaya-gaya dalam

Hasil analisa gaya-gaya dalam pelat perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.19 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.52 Tabel A.10.

**Tabel 5.19** Perbandingan hasil analisa gaya-gaya dalam pelat perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 108 kN

Titik Beban	Sistem Pelat Terpaku			Perkerasan Kaku Konvensional		
	Ga (kN/m)	Gg (kN/m)	M (kN/m)	Ga (kN/m)	Gg (kN/m)	M (kN/m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
A	4,180	2,960	-3,220	-2,390	-0,001	-0,003
B	10,540	0,159	-0,078	11,850	-0,002	-0,003
C	-10,510	0,168	-0,068	-8,980	-0,002	-0,003
D	-13,380	0,170	-0,072	-11,850	0,002	-0,003

**Tabel 5.19** (Lanjutan)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
E	7,680	-3,310	-3,500	2,390	-0,001	-0,003

Keterangan : Ga = Gaya axial, Gs = Gaya geser, M = momen.

Tabel 5.19 menunjukkan bahwa gaya-gaya dalam pelat pada beban di titik A sampai E gaya axial perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional, kecuali pada beban di titik B gaya axial perkerasan kaku lebih besar dari perkerasan kaku, dan gaya geser dan momen pelat pada beban di titik A sampai E perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

Hasil analisa gaya-gaya dalam yang terjadi pada tiang pada perkerasan sistem pelat terpaku dapat dilihat pada Tabel 5.20 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.53 Tabel A.12.

**Tabel 5.20** Hasil analisa gaya-gaya dalam tiang perkerasan jalan sistem pelat terpaku akibat beban horizontal 108 kN

Titik Beban	Sistem Pelat Terpaku		
	Gaya Axial (kN/m)	Gaya Geser (kN/m)	Momen (kN/m)
A	-0,758	0,672	0,576
B	-0,382	-0,087	-0,061
C	-0,237	-0,087	-0,056
D	-0,588	-0,067	-0,058
E	-0,813	-0,751	-0,885

Tabel 5.20 menunjukkan bahwa gaya-gaya dalam tiang pada beban di titik A sampai E gaya axial, gaya geser, dan momen yang terbesar terletak pada beban di titik E.

## 5.5 Hasil Analisa Beban Horizontal Pada Perkerasan Jalan Sistem Pelat Terpaku dan Perkerasan Kaku Konvensional Untuk Jenis Perkerasan Jalan Menerus

Hasil analisa beban horizontal pada perkerasan jalan dilakukan dengan metode elemen hingga *software* Plaxis 2D. Beban horizontal merupakan gaya rem yang ditimbulkan oleh kendaraan. Perkerasan jalan yang dianalisa merupakan perkerasan jalan menerus dengan panjang perkerasan 300 m. Hasil analisa beban horizontal dalam penelitian ini dari jenis kendaraan truk dan trailer.

### A. Hasil analisa beban horizontal akibat kendaraan truk

Beban horizontal dari jenis kendaraan truk sebesar 64 kN. Hasil analisa *displacements*, tegangan dalam tanah, dan gaya-gaya dalam yang dihasilkan pada perkerasan jalan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional adalah sebagai berikut.

#### 1. Hasil analisa *displacement*

Perbandingan hasil *displacement* perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.21 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.53 Tabel A.13.

**Tabel 5.21** Perbandingan hasil *displacement* perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 64 kN

Titik Beban	Sistem Pelat Terpaku			Perkerasan Kaku Konvensional		
	TD (mm)	DH (mm)	DV (mm)	TD (mm)	DH (mm)	DV (mm)
A	2,520	0,076	-2,520	2,630	0,034	-2,630
B	2,520	0,172	-2,520	2,630	0,078	-2,630
C	2,520	0,179	-2,520	2,630	0,092	-2,630
D	2,510	0,125	-2,510	2,630	0,078	-2,630
E	2,520	0,043	-2,520	2,620	0,034	-2,620

Keterangan : TD = Total *Displacements*, DH = *Displacements* Horizontal, DV = *Displacement* Vertikal.

Tabel 5.21 menunjukkan hasil perbandingan *displacement* perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional penjelasan sebagai berikut:

1. Beban di titik A

Hasil total *displacement* dan *displacement* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

2. Beban di titik B

Hasil total *displacement* dan *displacement* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

3. Beban di titik C

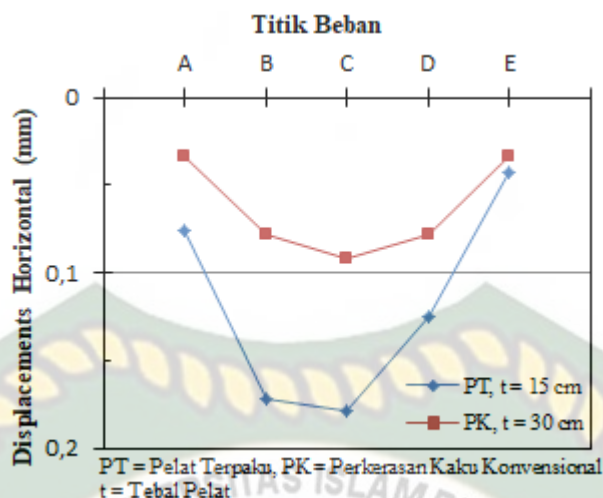
Hasil total *displacement* dan *displacement* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

4. Beban di titik D

Hasil total *displacement* dan *displacement* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

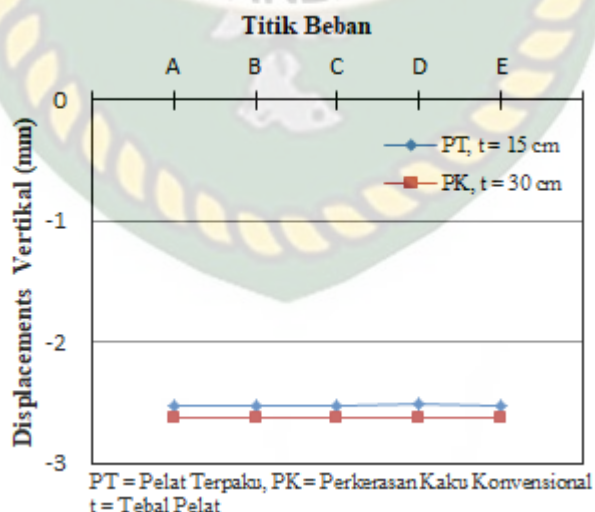
5. Beban di titik E

Hasil total *displacement* dan *displacement* vertikal perkerasan kaku lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku. Perbandingan *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.13.



**Gambar 5.13** Perbandingan *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 64 kN.

Gambar 5.13 menunjukkan bahwa *displacement* horizontal yang terbesar pada beban di titik C terletak pada perkerasan sistem pelat terpaku yaitu 0,179 mm dan *displacement* horizontal yang terkecil pada beban di titik A dan E pada perkerasan kaku yaitu 0,034 mm. Perbandingan *displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.14.



**Gambar 5.14** Perbandingan *displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 64 kN.

Gambar 5.14 menunjukkan bahwa *displacement* vertikal yang terbesar terletak pada perkerasan kaku konvensional yaitu -2,630 mm dan *displacement* vertikal yang terkecil pada beban di titik D pada perkerasan pelat terpaku yaitu -2,510 mm.

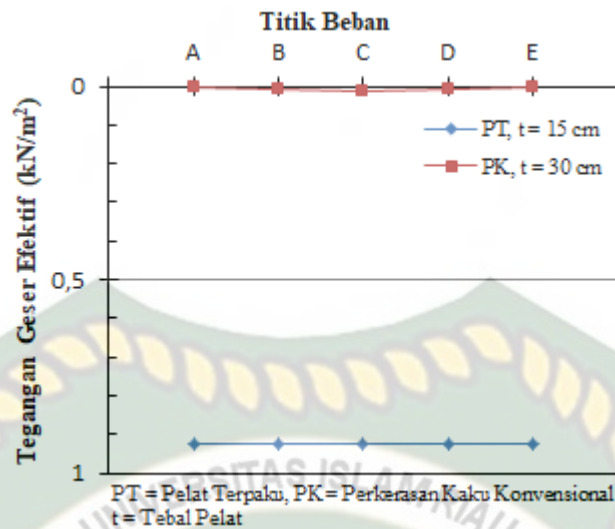
## 2. Hasil analisa tegangan geser efektif tanah

Perbandingan hasil tegangan geser efektif tanah perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.22 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.54 Tabel A.15.

**Tabel 5.22** Perbandingan tegangan geser efektif tanah perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 64 kN

Titik Beban	Tegangan geser efektif tanah (kN/m <sup>2</sup> )	
	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku Konvensional
A	0,924	0,005
B	0,926	0,009
C	0,925	0,011
D	0,923	0,009
E	0,922	0,005

Tabel 5.22 menunjukkan bahwa tegangan geser efektif tanah pada beban di titik A sampai E perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional. Sesuai Tabel 5.22 dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 5.15.



**Gambar 5.15** Perbandingan tegangan geser efektif tanah perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 64 kN.

Gambar 5.15 menunjukkan bahwa tegangan efektif tanah yang terbesar pada beban di titik C terletak pada perkerasan sistem pelat terpaku yaitu  $0,925 \text{ kN/m}^2$  dan tegangan efektif tanah yang terkecil pada beban di titik A dan E pada perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,005 \text{ kN/m}^2$ .

### 3. Hasil analisa gaya-gaya dalam

Hasil analisa gaya-gaya dalam pelat perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.23 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.55 Tabel A.17.

**Tabel 5.23** Perbandingan hasil analisa gaya-gaya dalam pelat perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 64 kN

Titik Beban	Sistem Pelat Terpaku			Perkerasan Kaku Konvensional		
	Ga (kN/m)	Gg (kN/m)	M (kN/m)	Ga (kN/m)	Gg (kN/m)	M (kN/m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
A	6,000	-3,300	-3,560	-1,370	-0,038	-0,038
B	11,880	-3,290	-3,550	6,120	-0,031	0,040



**Tabel 5.23** (Lanjutan)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
C	9,380	-3,290	-3,550	-4,700	-0,102	-0,041
D	-8,650	-3,290	-3,540	-6,120	-0,031	-0,040
E	7,120	-3,270	-3,530	1,350	-0,046	0,039

Keterangan : Ga = Gaya axial, Gs = Gaya geser, M = momen.

Tabel 5.23 menunjukkan bahwa gaya-gaya dalam pelat pada beban di titik A sampai E gaya axial, gaya geser dan momen perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

Hasil analisa gaya-gaya dalam yang terjadi pada tiang pada perkerasan sistem pelat terpaku dapat dilihat pada Tabel 5.24 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.55 Tabel A.19.

**Tabel 5.24** Hasil analisa gaya-gaya dalam tiang perkerasan jalan sistem pelat terpaku akibat beban horizontal 64 kN

Titik Beban	Sistem Pelat Terpaku		
	Gaya Axial (kN/m)	Gaya Geser (kN/m)	Momen (kN/m)
A	-0,734	0,673	0,596
B	-0,254	-0,051	-0,033
C	-0,370	-0,095	-0,062
D	-0,391	-0,104	-0,061
E	-0,785	-0,782	-0,893

Tabel 5.24 menunjukkan bahwa gaya-gaya dalam tiang pada beban di titik A sampai E gaya axial, gaya geser, dan momen yang terbesar terletak pada beban di titik E.

### B. Hasil analisa beban horizontal akibat kendaraan trailer

Beban horizontal dari jenis kendaraan trailer sebesar 108 kN. Hasil analisa *displacements*, tegangan dalam tanah, dan gaya-gaya dalam yang dihasilkan pada perkerasan jalan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional adalah sebagai berikut.

### 1. Hasil analisa *displacement*

Perbandingan hasil *displacement* perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.25 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.54 Tabel A.14.

**Tabel 5.25** Perbandingan hasil *displacement* perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 108 kN

Titik Beban	Sistem Pelat Terpaku			Perkerasan Kaku Konvensional		
	TD (mm)	DH (mm)	DV (mm)	TD (mm)	DH (mm)	DV (mm)
A	2,520	0,100	-2,520	2,630	0,057	-2,630
B	2,520	0,274	-2,520	2,630	0,132	-2,630
C	2,510	0,302	-2,510	2,630	0,155	-2,630
D	2,510	0,227	-2,510	2,630	0,132	-2,630
E	2,510	0,045	-2,510	2,630	0,057	-2,630

Keterangan : TD = Total *Displacements*, DH = *Displacements* Horizontal, DV = *Displacement* Vertikal.

Tabel 5.25 menunjukkan hasil perbandingan *displacement* perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional penjelasan sebagai berikut:

#### 1. Beban di titik A

Hasil total *displacement* dan *displacement* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

#### 2. Beban di titik B

Hasil total *displacement* dan *displacement* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

### 3. Beban di titik C

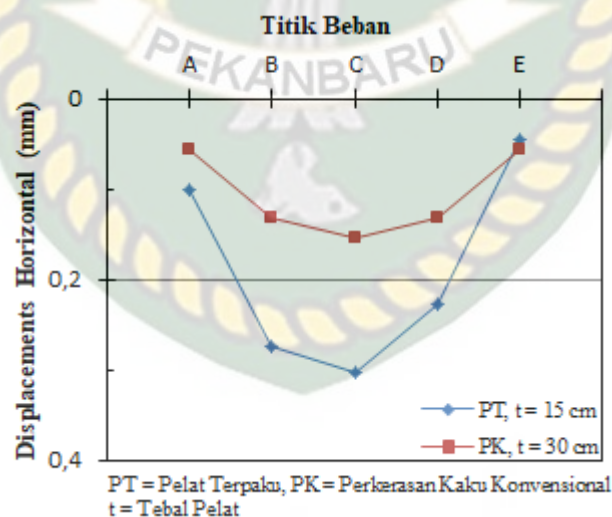
Hasil total *displacements* dan *displacements* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacements* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

### 4. Beban di titik D

Hasil total *displacement* dan *displacement* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Dan hasil *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

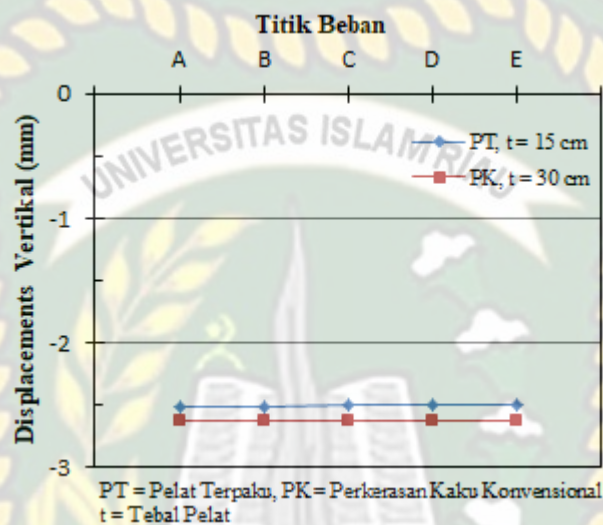
### 5. Beban di titik E

Hasil total *displacement*, *displacement* horizontal dan *displacement* vertikal perkerasan kaku konvensional lebih besar dari perkerasan sistem pelat terpaku. Perbandingan *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.16.



**Gambar 5.16** Perbandingan *displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 108 kN.

Gambar 5.16 menunjukkan bahwa *displacement* horizontal yang terbesar pada beban di titik C terletak pada perkerasan sistem pelat terpaku yaitu 0,302 mm dan *displacement* horizontal yang terkecil pada beban di titik E pada perkerasan sistem pelat terpaku yaitu 0,045 mm. Perbandingan *displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.17.



**Gambar 5.17** Perbandingan *displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 108 kN.

Gambar 5.17 menunjukkan bahwa *displacements* vertikal yang terbesar terletak pada perkerasan kaku konvensional yaitu -2,630 mm dan *displacements* vertikal yang terkecil pada perkerasan pelat terpaku yaitu -2,510 mm.

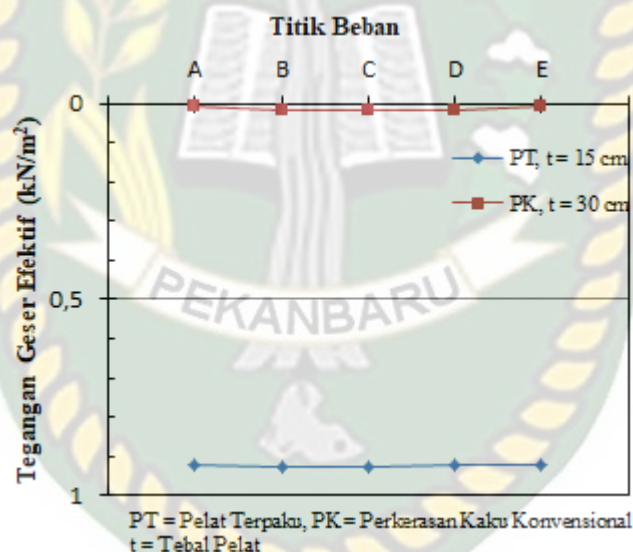
## 2. Hasil analisa tegangan geser efektif tanah

Perbandingan hasil tegangan geser efektif tanah perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.26 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.54 Tabel A.16.

**Tabel 5.26** Perbandingan tegangan geser efektif tanah perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 108 kN

Titik Beban	Tegangan geser efektif tanah (kN/m <sup>2</sup> )	
	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku Konvensional
A	0,924	0,008
B	0,929	0,016
C	0,926	0,018
D	0,924	0,015
E	0,922	0,008

Tabel 5.26 menunjukkan bahwa tegangan geser efektif tanah pada beban di titik A sampai E perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional. Sesuai Tabel 5.26 dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 5.18.



**Gambar 5.18** Perbandingan tegangan geser efektif tanah perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 108 kN.

Gambar 5.18 menunjukkan bahwa tegangan efektif tanah yang terbesar pada beban di titik B terletak pada perkerasan sistem pelat terpaku yaitu 0,929 kN/m<sup>2</sup> dan tegangan efektif tanah yang terkecil pada beban di titik A dan E pada perkerasan kaku konvensional yaitu 0,008 kN/m<sup>2</sup>.

### 3. Hasil analisa gaya-gaya dalam

Hasil analisa gaya-gaya dalam pelat perkerasan jalan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.27 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.55 Tabel A.18.

**Tabel 5.27** Perbandingan hasil analisa gaya-gaya dalam pelat perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional akibat beban horizontal 108 kN

Titik Beban	Sistem Pelat Terpaku			Perkerasan Kaku Konvensional		
	Ga (kN/m)	Gg (kN/m)	M (kN/m)	Ga (kN/m)	Gg (kN/m)	M (kN/m)
A	5,810	-3,300	-3,560	-2,320	-0,065	-0,065
B	16,170	-3,290	-3,550	10,320	-0,052	0,067
C	11,930	-3,290	-3,540	-7,930	0,172	-0,070
D	-13,430	-3,280	-3,520	-10,320	-0,052	-0,067
E	7,690	-3,250	-3,510	2,290	-0,077	0,065

Keterangan : Ga = Gaya axial, Gs = Gaya geser, M = momen.

Tabel 5.27 menunjukkan bahwa gaya-gaya dalam pelat pada beban di titik A sampai E gaya axial, gaya geser dan momen perkerasan sistem pelat terpaku lebih besar dari perkerasan kaku konvensional.

Hasil analisa gaya-gaya dalam yang terjadi pada tiang pada perkerasan sistem pelat terpaku dapat dilihat pada Tabel 5.28 dan lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A.56 Tabel A.20.

**Tabel 5.28** Hasil analisa gaya-gaya dalam tiang perkerasan jalan sistem pelat terpaku akibat beban horizontal 108 kN

Titik Beban	Sistem Pelat Terpaku		
	Gaya Axial (kN/m)	Gaya Geser (kN/m)	Momen (kN/m)
(1)	(2)	(3)	(4)
A	-0,740	0,670	0,589
B	-0,257	-0,081	-0,057
C	-0,368	0,300	-0,087

**Tabel 5.28** (Lanjutan)

(1)	(2)	(3)	(4)
D	-0,390	-0,134	-0,085
E	-0,779	-0,787	-0,899

Tabel 5.28 menunjukkan bahwa gaya-gaya dalam tiang pada beban di titik A sampai E gaya axial, gaya geser, dan momen yang terbesar terletak pada beban di titik E.

## 5.6 Perbandingan Hasil Analisa Beban Horizontal Jenis Perkerasan Jalan Persegmen Dengan Menerus

Perbandingan hasil analisa beban horizontal jenis perkerasan jalan persegmen, yang ukuran pelatnya berbentuk empat persegi panjang, dimana panjang pelat 12 m dan lebar 6 m dengan perkerasan jalan menerus dengan panjang pelat 300 m dan lebar 6 m. Panjang perkerasan jalan dari dua jenis perkerasan adalah 300 m. Hasil analisa beban horizontal dalam penelitian ini dari jenis kendaraan truk dan trailer.

### A. Hasil analisa beban horizontal akibat kendaraan truk

Beban horizontal dari jenis kendaraan truk sebesar 64 kN. Hasil analisa *displacement*, tegangan dalam tanah, dan gaya-gaya dalam yang dihasilkan dari jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus pada perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional adalah sebagai berikut.

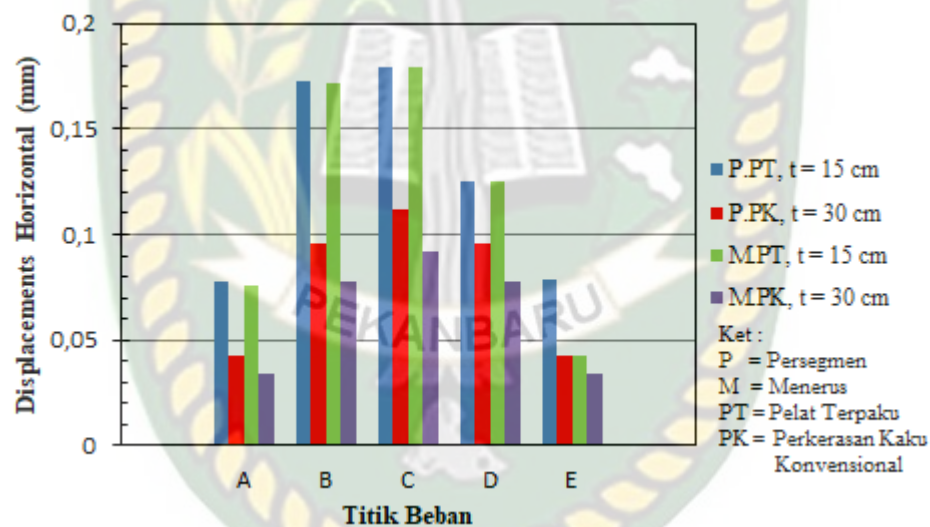
#### 1. Hasil analisa *displacement*

Perbandingan hasil *displacement* horizontal dari jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus dapat dilihat pada Tabel 5.29.

**Tabel 5.29** Perbandingan hasil *displacement* horizontal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus akibat beban horizontal 64 kN

Titik Beban	Perkerasan jalan persegmen		Perkerasan jalan menerus	
	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku Konvensional	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku Konvensional
A	0,078	0,043	0,076	0,034
B	0,173	0,096	0,172	0,078
C	0,179	0,112	0,179	0,092
D	0,125	0,096	0,125	0,078
E	0,079	0,043	0,043	0,034

Tabel 5.29 menunjukkan hasil perbandingan *displacement* horizontal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus untuk lebih jelas disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.19.



**Gambar 5.19** Perbandingan *displacement* horizontal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus akibat beban horizontal 64 kN

Gambar 5.19 menunjukkan hasil perbandingan *displacement* horizontal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus penjelasan sebagai berikut.



1. Beban di titik A

*Displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu 0,078 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,043 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu 0,076 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,034 mm.

2. Beban di titik B

*Displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu 0,173 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,096 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu 0,172 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,078 mm.

3. Beban di titik C

*Displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu 0,179 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,112 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu 0,179 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,092 mm.

4. Beban di titik D

*Displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu 0,125 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,096 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu 0,125 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,078 mm.

5. Beban di titik E

*Displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu 0,079 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,043 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku

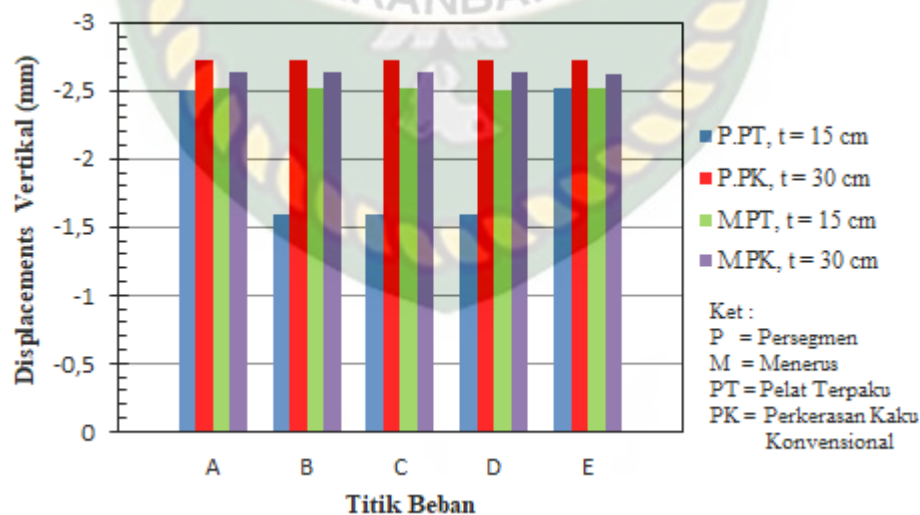
dari jenis perkerasan menerus yaitu 0,043 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,034 mm.

Perbandingan *displacement* vertikal akibat beban kendaraan truk sebesar 64 kN dari jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus dapat dilihat pada Tabel 5.30.

**Tabel 5.30** Perbandingan hasil *displacement* vertikal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus akibat beban horizontal 64 kN

Titik Beban	Perkerasan jalan persegmen		Perkerasan jalan menerus	
	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku Konvensional	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku Konvensional
A	-2,500	-2,720	-2,520	-2,630
B	-1,590	-2,720	-2,520	-2,630
C	-1,600	-2,720	-2,520	-2,630
D	-1,600	-2,720	-2,510	-2,630
E	-2,520	-2,720	-2,520	-2,620

Tabel 5.30 menunjukkan hasil perbandingan *displacements* vertikal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus untuk lebih jelas disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.20.



**Gambar 5.20** Perbandingan *displacement* vertikal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus akibat beban horizontal 64 kN

Gambar 5.20 menunjukkan hasil perbandingan *displacement* vertikal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus penjelasan sebagai berikut.

1. Beban di titik A

*Displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu -2,500 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,720 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu -2,520 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,630 mm.

2. Beban di titik B

*Displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu -1,590 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,720 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu -2,520 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,630 mm.

3. Beban di titik C

*Displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu -1,600 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,720 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu -2,520 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,630 mm.

4. Beban di titik D

*Displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu -1,600 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,720 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu -2,510 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,630 mm.

### 5. Beban di titik E

*Displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu -2,520 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,720 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu -2,520 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,620 mm.

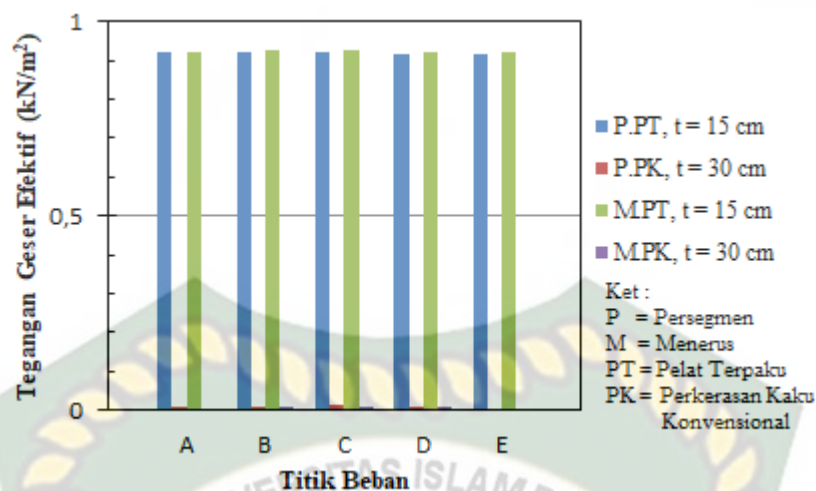
## 2. Hasil analisa tegangan geser efektif tanah

Perbandingan hasil analisa tegangan geser efektif tanah dari jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus dapat dilihat pada Tabel 5.31.

**Tabel 5.31** Perbandingan tegangan geser efektif tanah jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus akibat beban horizontal 64 kN

Titik Beban	Perkerasan jalan persegmen		Perkerasan jalan menerus	
	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku Konvensional	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku Konvensional
A	0,921	0,006	0,924	0,005
B	0,921	0,011	0,926	0,009
C	0,920	0,012	0,925	0,011
D	0,919	0,011	0,923	0,009
E	0,918	0,005	0,922	0,005

Tabel 5.31 menunjukkan hasil perbandingan tegangan geser efektif tanah jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus untuk lebih jelas disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.21.



**Gambar 5.21** Perbandingan tegangan geser efektif tanah jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus akibat beban horizontal 64 kN

Gambar 5.21 menunjukkan hasil perbandingan tegangan geser efektif tanah jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus penjelasan sebagai berikut.

1. Beban di titik A

Tegangan geser efektif tanah perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu  $0,921 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,006 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu  $0,924 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,005 \text{ kN/m}^2$ .

2. Beban di titik B

Tegangan geser efektif tanah perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu  $0,921 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,011 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu  $0,926 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,009 \text{ kN/m}^2$ .

### 3. Beban di titik C

Tegangan geser efektif tanah perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu  $0,920 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,012 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu  $0,925 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,011 \text{ kN/m}^2$ .

### 4. Beban di titik D

Tegangan geser efektif tanah perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu  $0,919 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,011 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu  $0,923 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,009 \text{ kN/m}^2$ .

### 5. Beban di titik E

Tegangan geser efektif tanah perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu  $0,918 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,005 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu  $0,922 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,005 \text{ kN/m}^2$ .

## 3. Hasil analisa gaya-gaya dalam

Perbandingan hasil analisa gaya-gaya dalam pelat dari jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus dapat dilihat pada Tabel 5.32.

**Tabel 5.32** Perbandingan hasil analisa gaya-gaya dalam pelat jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus akibat beban horizontal 64 kN

Titik Beban	Perkerasan Jalan Persegmen						Perkerasan Jalan Menerus					
	Ga. PT (kN/m)	Gg. PT (kN/m)	M. PT (kN/m)	Ga. PK (kN/m)	Gg. PK (kN/m)	M. PK (kN/m)	Ga. PT (kN/m)	Gg. PT (kN/m)	M. PT (kN/m)	Ga. PK (kN/m)	Gg. PK (kN/m)	M. PK (kN/m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
A	4,760	2,940	-3,190	-1,420	-0,001	0,002	6,000	-3,300	-3,560	-1,370	-0,038	-0,038
B	5,770	0,145	-0,066	7,020	0,001	0,002	11,880	-3,290	-3,550	6,120	-0,031	0,040

**Tabel 5.32** (Lanjutan)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
C	-6,850	0,150	-0,056	-5,320	0,001	0,002	9,380	-3,290	-3,550	-4,700	-0,102	-0,041
D	-8,600	0,148	-0,062	-7,030	0,001	-0,002	-8,650	-3,290	-3,540	-6,120	-0,031	-0,040
E	7,090	-3,320	-3,530	1,420	-0,001	-0,001	7,120	-3,270	-3,530	1,350	-0,046	0,039

Keterangan : PT = Pelat Terpaku, PK = Perkerasan Kaku Konvensional, Ga = Gaya axial, Gg = Gaya geser, M = Momen.

Tabel 5.32 menunjukkan hasil perbandingan gaya-gaya dalam pelat jenis perkerasan jalan persegi dengan menerus penjelasan sebagai berikut.

1. Beban di titik A

Gaya-gaya dalam pelat perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus gaya axial, gaya geser, dan momen lebih besar dari perkerasan kaku konvensional dan lebih besar dari jenis perkerasan persegi pada sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional.

2. Beban di titik B

Gaya-gaya dalam pelat perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus gaya axial, gaya geser, dan momen lebih besar dari perkerasan kaku konvensional dan lebih besar dari jenis perkerasan persegi pada sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional.

3. Beban di titik C

Gaya-gaya dalam pelat perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus gaya axial, gaya geser, dan momen lebih besar dari perkerasan kaku konvensional dan lebih besar dari jenis perkerasan persegi pada sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional.

4. Beban di titik D

Gaya-gaya dalam pelat perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus gaya axial, gaya geser, dan momen lebih besar dari perkerasan kaku konvensional dan lebih besar dari jenis perkerasan persegi pada sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional.

### 5. Beban di titik E

Gaya-gaya dalam pelat perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus gaya axial, gaya geser, dan momen lebih besar dari perkerasan kaku konvensional dan lebih besar dari jenis perkerasan persegmen pada sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional.

### B. Hasil analisa beban horizontal akibat kendaraan trailer

Beban horizontal dari jenis kendaraan trailer sebesar 108 kN. Hasil analisa *displacements*, tegangan dalam tanah, dan gaya-gaya dalam yang dihasilkan dari jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus pada perkerasan sistem pelat terpaku dengan perkerasan kaku konvensional adalah sebagai berikut.

#### 1. Hasil analisa *displacements*

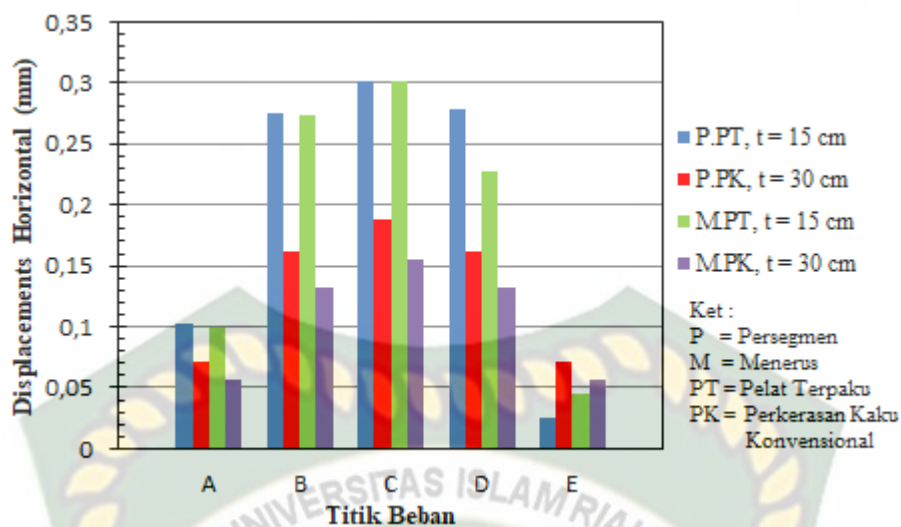
Perbandingan hasil *displacement* horizontal dari jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus dapat dilihat pada Tabel 5.33.

**Tabel 5.33** Perbandingan hasil *displacement* horizontal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus akibat beban horizontal 108 kN

Titik Beban	Perkerasan jalan persegmen		Perkerasan jalan menerus	
	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku
A	0,102	0,072	0,100	0,057
B	0,275	0,161	0,274	0,132
C	0,302	0,188	0,302	0,155
D	0,278	0,161	0,227	0,132
E	0,026	0,072	0,045	0,057

Tabel 5.33 menunjukkan hasil perbandingan *displacement* horizontal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus untuk lebih jelas disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.22.





**Gambar 5.22** Perbandingan *displacement* horizontal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus akibat beban horizontal 108 kN

Gambar 5.22 menunjukkan hasil perbandingan *displacement* horizontal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus penjelasan sebagai berikut.

1. Beban di titik A

*Displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu 0,102 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,072 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu 0,100 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,057 mm.

2. Beban di titik B

*Displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu 0,275 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,161 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu 0,274 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,132 mm.

3. Beban di titik C

*Displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu 0,302 mm lebih besar dari perkerasan kaku

konvensional yaitu 0,188 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu 0,302 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,155 mm.

#### 4. Beban di titik D

*Displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu 0,278 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,161 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu 0,227 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,132 mm.

#### 5. Beban di titik E

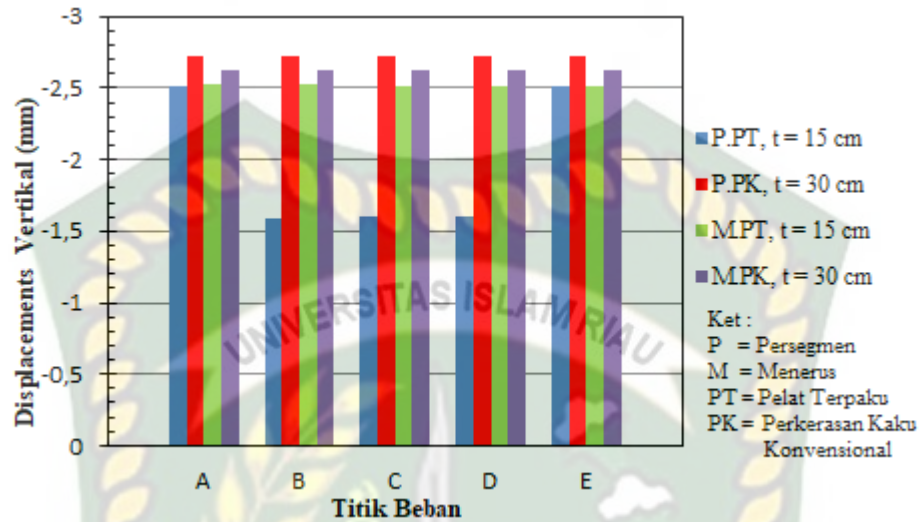
*Displacement* horizontal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu 0,026 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,072 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu 0,045 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu 0,057 mm.

Perbandingan *displacement* vertikal akibat beban kendaraan trailer sebesar 108 kN dari jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus dapat dilihat pada Tabel 5.34.

**Tabel 5.34** Perbandingan hasil *displacement* vertikal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus akibat beban horizontal 108 kN

Titik Beban	Perkerasan jalan persegmen		Perkerasan jalan menerus	
	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku Konvensional	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku Konvensional
A	-2,510	-2,720	-2,520	-2,630
B	-1,590	-2,720	-2,520	-2,630
C	-1,600	-2,720	-2,510	-2,630
D	-1,600	-2,720	-2,510	-2,630
E	-2,510	-2,720	-2,510	-2,630

Tabel 5.34 menunjukkan hasil perbandingan *displacement* vertikal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus untuk lebih jelas disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.23.



**Gambar 5.23** Perbandingan *displacement* vertikal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus akibat beban horizontal 108 kN

Gambar 5.23 menunjukkan hasil perbandingan *displacement* vertikal jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus penjelasan sebagai berikut.

1. Beban di titik A

*Displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu -2,510 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,720 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu -2,520 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,630 mm.

2. Beban di titik B

*Displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu -1,590 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,720 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu -2,520 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,630 mm.

### 3. Beban di titik C

*Displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu -1,600 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,720 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu -2,510 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,630 mm.

### 4. Beban di titik D

*Displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu -1,600 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,720 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu -2,510 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,630 mm.

### 5. Beban di titik E

*Displacement* vertikal perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu -2,510 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,720 mm. Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu -2,510 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional yaitu -2,630 mm.

## 2. Hasil analisa tegangan geser efektif tanah

Perbandingan hasil analisa tegangan geser efektif tanah dari jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus dapat dilihat pada Tabel 5.35.

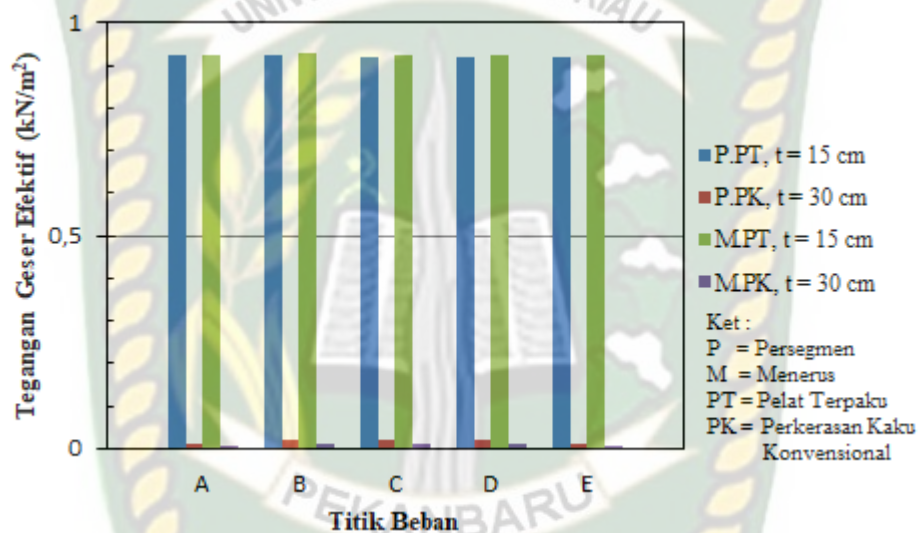
**Tabel 5.35** Perbandingan tegangan geser efektif tanah jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus akibat beban horizontal 108 kN

Titik Beban	Perkerasan jalan persegmen		Perkerasan jalan menerus	
	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku Konvensional	Sistem Pelat Terpaku	Perkerasan Kaku Konvensional
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
A	0,923	0,009	0,924	0,005

**Tabel 5.35** (Lanjutan)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
B	0,923	0,018	0,929	0,009
C	0,921	0,021	0,926	0,011
D	0,920	0,018	0,924	0,009
E	0,918	0,009	0,922	0,005

Tabel 5.35 menunjukkan hasil perbandingan tegangan geser efektif tanah jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus untuk lebih jelas disajikan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.24.



**Gambar 5.24** Perbandingan tegangan geser efektif tanah jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus akibat beban horizontal 108 kN

Gambar 5.24 menunjukkan hasil perbandingan tegangan geser efektif tanah jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus penjelasan sebagai berikut.

#### 1. Beban di titik A

Tegangan geser efektif tanah perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu  $0,923 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,009 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat

terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu  $0,924 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,005 \text{ kN/m}^2$ .

#### 2. Beban di titik B

Tegangan geser efektif tanah perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu  $0,923 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,018 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu  $0,929 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,009 \text{ kN/m}^2$ .

#### 3. Beban di titik C

Tegangan geser efektif tanah perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu  $0,921 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,021 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu  $0,926 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,011 \text{ kN/m}^2$ .

#### 4. Beban di titik D

Tegangan geser efektif tanah perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu  $0,920 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,018 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu  $0,924 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,009 \text{ kN/m}^2$ .

#### 5. Beban di titik E

Tegangan geser efektif tanah perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen yaitu  $0,918 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,009 \text{ kN/m}^2$ . Sedangkan untuk perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus yaitu  $0,922 \text{ kN/m}^2$  jauh lebih besar dari perkerasan kaku konvensional yaitu  $0,005 \text{ kN/m}^2$ .

### 3. Hasil analisa gaya-gaya dalam

Perbandingan hasil analisa gaya-gaya dalam pelat dari jenis persekerasan jalan persegmen dengan menerus dapat dilihat pada Tabel 5.36.

**Tabel 5.36** Perbandingan hasil analisa gaya-gaya dalam pelat jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus akibat beban horizontal 108 kN

Titik Beban	Perkerasan Jalan Persegmen						Perkerasan Jalan Menerus					
	Ga. PT (kN/m)	Gg. PT (kN/m)	M. PT (kN/m)	Ga. PK (kN/m)	Gg. PK (kN/m)	M. PK (kN/m)	Ga. PT (kN/m)	Gg. PT (kN/m)	M. PT (kN/m)	Ga. PK (kN/m)	Gg. PK (kN/m)	M. PK (kN/m)
A	4,180	2,960	-3,220	-2,390	-0,001	-0,003	5,810	-3,300	-3,560	-2,320	-0,065	-0,065
B	10,540	0,159	-0,078	11,850	-0,002	-0,003	16,170	-3,290	-3,550	10,320	-0,052	0,067
C	-10,510	0,168	-0,068	-8,980	-0,002	-0,003	11,930	-3,290	-3,540	-7,930	0,172	-0,070
D	-13,380	0,170	-0,072	-11,850	0,002	-0,003	-13,430	-3,280	-3,520	-10,320	-0,052	-0,067
E	7,680	-3,310	-3,500	2,390	-0,001	-0,003	7,690	-3,250	-3,510	2,290	-0,077	0,065

Keterangan : PT = Pelat Terpaku, PK = Perkerasan Kaku Konvensional, Ga = Gaya axial, = Gg = Gaya geser, M = Momen.

Tabel 5.36 menunjukkan hasil perbandingan gaya-gaya dalam pelat jenis perkerasan jalan persegmen dengan menerus penjelasan sebagai berikut.

#### 1. Beban di titik A

Gaya-gaya dalam pelat perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus gaya axial, gaya geser, dan momen lebih besar dari perkerasan kaku konvensional dan lebih besar dari jenis perkerasan persegmen pada sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional.

#### 2. Beban di titik B

Gaya-gaya dalam pelat perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus gaya axial, gaya geser, dan momen lebih besar dari perkerasan kaku konvensional dan lebih besar dari jenis perkerasan persegmen pada sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional.

### 3. Beban di titik C

Gaya-gaya dalam pelat perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus gaya axial, gaya geser, dan momen lebih besar dari perkerasan kaku konvensional dan lebih besar dari jenis perkerasan persegmen pada sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional.

### 4. Beban di titik D

Gaya-gaya dalam pelat perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus gaya axial, gaya geser, dan momen lebih besar dari perkerasan kaku konvensional dan lebih besar dari jenis perkerasan persegmen pada sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional.

### 5. Beban di titik E

Gaya-gaya dalam pelat perkerasan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan menerus gaya axial, dan momen lebih besar dari perkerasan kaku konvensional dan lebih besar dari jenis perkerasan persegmen pada sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional. Dan untuk gaya geser sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen lebih besar dari perkerasan kaku dan lebih besar dari jenis perkerasan menerus pada sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional.



## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dalam bab hasil dan pembahasan dari penelitian Studi Parametrik Pelat Terpaku Akibat Beban Horizontal didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil *displacement* horizontal perkerasan jalan sistem pelat terpaku, ketika diberi beban sebesar 64 kN dengan nilai rata-rata dari semua titik beban dari jenis perkerasan persegmen dan menerus sebesar 0,127 mm dan 0,119 mm lebih besar dari perkerasan kaku konvensional dari jenis perkerasan persegmen dan menerus sebesar 0,078 mm dan 0,063 mm. Sedangkan untuk *displacement* vertikal perkerasan jalan sistem pelat terpaku dari jenis perkerasan persegmen dan menerus sebesar -1,962 mm dan -2,520 mm lebih kecil dari perkerasan kaku konvensional dari jenis perkerasan persegmen dan menerus sebesar -2,720 mm dan -2,630 mm.
2. Jenis perkerasan jalan persegmen ketika diberi beban sebesar 64 kN menghasilkan *displacement* horizontal dengan nilai rata-rata dari semua titik beban pada sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional yaitu 0,127 mm dan 0,078 mm lebih besar dari jenis perkerasan menerus pada sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional yaitu 0,119 mm dan 0,063 mm, dan *displacement* vertikal jenis perkerasan persegmen pada sistem pelat terpaku yaitu -1,926 mm lebih kecil dari jenis perkerasan menerus yaitu -2,518 mm, tetapi pada perkerasan kaku konvensional jenis perkerasan persegmen yaitu -2,720 mm lebih besar dari jenis perkerasan menerus yaitu -2,628 mm.
3. Perkerasan jalan sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional ketika diberi beban sebesar 64 kN dari jenis perkerasan persegmen pada beban di pinggir pelat, beban di titik A dan E menghasilkan *displacements* horizontal untuk sistem pelat terpaku yaitu 0,078 mm dan 0,079 mm dan perkerasan kaku konvensional yaitu 0,043 mm dan 0,043 mm lebih kecil

dibandingkan pada beban di tengah pelat (beban di titik B, C dan D) untuk sistem pelat terpaku beban di titik B yaitu 0,173 mm, beban di titik C yaitu 0,179 mm dan beban di titik D yaitu 0,125 mm dan perkerasan kaku konvensional beban di titik B yaitu 0,096 mm, beban di titik C yaitu 0,112 mm dan beban di titik D yaitu 0,096 mm, dan *displacements* vertikal sistem pelat terpaku dan perkerasan kaku konvensional menghasilkan *displacements* vertikal yang lebih seragam baik beban di pinggir pelat maupun di tengah pelat dengan nilai rata-rata untuk sistem pelat terpaku yaitu -1,962 mm dan dan perkerasan kaku konvensional yaitu -2,720 mm.

## 6.2 Saran

Dalam penulisan tugas akhir ini, beberapa saran yang dapat penulis sampaikan antara lain:

1. Untuk penelitian selanjutnya variasikan beban horizontal dari berbagai arah.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan analisa beban horizontal pada perkerasan jalan menggunakan metode elemen hingga 3D agar didapatkan hasil sesuai dengan kondisi sebenarnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Brinkgreve, R. B. J., et al. (ed.). 2002. PLAXIS 2D – Version 8 Manual. Netherlands: A.A. Balkena Publishers.
- Depertemen Pemukiman Dan Prasarana Wilayah Pd T-14-2003 *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen*.
- Diana, W., 2016. *Pemodelan Skala Kecil dan Analisa Numeris Sistem Pelat Terpaku Pada Tanah Ekspansif*. ISBN 978-602-71762-4-9.
- Firdaus, M., 2006. *Uji Beban Lateral Kelompok Tiang Beton Dengan Pilecap Tipis Pada Tanah Lempung Lunak*. Yogyakarta: Sekolah Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada.
- Hardiyatmo, H. C., 2005. *Analisa dan Perancangan Fondasi II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Puri, A., Suhendro, B. & Rafi, 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*. Vol, 12, Issue 32, pp. 25-29.
- Puri, A., 2017. *Infrastruktur Jalan Beton Sistem Pelat Terpaku Untuk Pembangunan Jalan Berkelanjutan Pada Tanah Dasar Lunak dan Ekspansif*. ISBN 978-602-61059-0-5.
- Puri, A., 2014. *Prospek Aplikasi Perkerasan Sistem Pelat Terpaku untuk Jalan pada Tanah Lunak*. Pekanbaru: Universitas Islam Riau.
- Puri, A., 2015. *Studi Paramterik Perkerasan Jalan Beton Sistem Pelat Terpaku Pada Tanah Dasar Lunak*. Pekanbaru: Universitas Islam Riau.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 79 Tahun 2013. *Jaringan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*.
- Peraturan Pemerintah No 43 Tahun 1993. *Tentang Prasarana dan Lalu Lintas Jalan*.
- Ryltenius, A., 2011. *FEM Modelling Of Piled Raft Foundations In Two And Three Dimensions*. ISRN LUTVDG/TVGT-11/5046-SE (1-73) ISSN 0281-6679.

- Raharja, B., 2014. *Panduan Belajar Fisika 2A*. ISBN 978-979-092-616-5.
- Suryawan, A., 2005. *Perkerasan jalan beton semen portland (Rigid Pavement)*. Beta Offset.
- Sudiyono., Setyawan, A., & Syafi'i., 2014. *Analisis Kerusakan Dini (Premature Failure) Ruas Jalan Nguter-Wonogiri*. ISSN 2339-0271.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009. *Lalu Lintas Dan Angkutan Jalan*.
- Utomo, V. P., Surjandari, N. S., & Yulianto, B., 2017. *Analisis Lendutan Perkerasan Kaku Pada Pembebanan Tengah Dan Tepi Dengan Metode Elemen Hingga*. ISSN 2579-6402.
- Yasir, F., Surjandari, N. S., & Purwana, Y. M., 2017. *Analisis Lendutan Perkerasan Kaku Pada Pembebanan Sudut Dengan Metode Elemen Hingga*. ISSN 2579-6402.
- Yijun, L. 2003. *Lecture Notes: Introduction to the Finite Element Method*. CAE Research Laboratory Mechanical Engineering Department University of Cincinnati Cincinnati, OH 45221-0072, U.S.A.
- Yanto, F. H., 2015. *Analisis Lendutan Perkerasan Kaku Pada Tanah Lunak Dengan Perkuatan Kolom Soil Cement*. Surakarta: Jurusan Magister Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret.