

**ANALISIS LENDUTAN DAN MOMEN PELAT MODEL  
PERKERASAN SISTEM CAKAR AYAM MODIFIKASI  
PADA TANAH GAMBUT MENGGUNAKAN METODE  
*BEAMS ON ELASTIC FOUNDATION***

**TUGAS AKHIR**

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



**OLEH**

**NOPRIADI**  
**153110551**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM RIAU  
PEKANBARU  
2021**

## LEMBAR PENGESAHAN

Dengan ini saya menyatakan:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademis (Strata Satu) di Universitas Islam Riau.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain secara tertulis dengan jelas dicantumkan di dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Pekanbaru, 25 Agustus 2021



Nopriadi  
153110551

## KATA PENGANTAR

---

Perpustakaan Universitas Islam Riau

Dokumen ini adalah Arsip Miik :



**NOPRIADI – 153110551**

---

**Analisis Lendutan Dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Gambut Menggunakan Metode *Beams On Elastic Foundation***

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim*

Segala puji bagi Allah, Rabb semesta alam, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Lentutan dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Gambut Menggunakan Metode *Beams On Elastic Foundation***” sebagai salah satu syarat akademis pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (ST). Serta shalawat dan salam semoga terlimpah atas Nabi yang paling mulia dan penghulu para rasul, atas keluarganya, para sahabatnya, dan siapa saja yang mengikuti mereka dengan baik hingga hari pembalasan.

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kesempurnaan dan tentu tidak luput dari kekeliruan. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati dan memohon keikhlasan kepada Allah agar penulis dapat menerima kritik dan saran dari pembaca untuk kebaikan tulisan Tugas Akhir ini.

Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

*Barakallahu fiikum*

Pekanbaru, 25 Agustus 2021



Nopriadi  
153110551

## UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan puja kehadirat Allah *subhanahu wa ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat dan salam penulis sampaikan kepada Nabi besar Muhammad *shallallahu 'alaihi wa 'ala alihi wa shahbihi wa sallam* yang syafaatnya kita harapkan pada hari pembalasan kelak.

Tugas Akhir ini tentu tidak akan terwujud tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu, dengan kerendahan hati pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Syafrinaldi, SH., MC., L., selaku Rektor Universitas Islam Riau.
2. Bapak Dr. Eng. Muslim, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
3. Ibu Dr. Mursyidah, S.Si., M.Sc., selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dr. Anas Puri, ST., MT., selaku Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Islam Riau dan Dosen Pembimbing.
5. Bapak Ir. Akmar Efendi, S.Kom., M.Kom., selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
6. Ibu Harmiyati, ST., M.Si., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
7. Ibu Sapitri, ST., MT., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
8. Bapak Mahadi Kurniawan, ST., MT., selaku Dosen Penguji I.
9. Bapak Firman Syarif., ST., M.Eng., selaku Dosen Penguji II.
10. Seluruh Staf Pengajar/Dosen Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
11. Seluruh Karyawan/Karyawati Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

12. Kedua orang tua tersayang, yaitu Ayahanda Iskandar dan Ibunda Farida, yang tanpa lelah selalu mendoakan anak-anaknya, selalu memberikan dukungan dan dorongan serta motivasi yang begitu besar sehingga penulis tetap kuat dan semangat. Semoga Allah selalu menjaganya.
13. Silfiyani, S.Pd dan Muhammad Zamri, ST., sosok kakak dan abang yang telah memberikan doa dan motivasi kepada penulis dalam menjalani pendidikan ini.
14. Sahabat terbaik sehidup surga di samping penulis, yaitu Endah Puji Rahayu S.Pi (semoga selalu dalam lindungan Allah), yang selalu memberikan doa, meluangkan waktu dan pikirannya serta menjadi penyemangat hingga saat ini.
15. Teman-teman seperjuangan kelas A, B, C dan D angkatan 2015 Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.
16. Teman-teman dan rekan-rekan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Riau seluruh angkatan khususnya angkatan 2012, 2013, 2014 dan 2016 yang telah memberikan dorongan, kritik dan saran kepada penulis.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak, semoga penelitian ini bermanfaat bagi kita semua.

Pekanbaru, 25 Agustus 2021



Nopriadi  
153110551

## DAFTAR ISI

---

Perpustakaan Universitas Islam Riau

Dokumen ini adalah Arsip Miik :



**NOPRIADI – 153110551**

---

**Analisis Lendutan Dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Gambut Menggunakan Metode *Beams On Elastic Foundation***

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</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> .....	<b>5</b>
2.1 Umum.....	5
2.2 Penelitian Terdahulu .....	5
2.3 Keaslian Penelitian.....	10
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b> .....	<b>12</b>
3.1 Sistem Cakar Ayam Prof. Sedyatmo .....	12
3.2 Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) .....	13
3.3 Sistem Pelat Terpaku.....	15
3.4 Gambut.....	17
3.5 Modulus Reaksi <i>Subgrade</i> .....	18
3.5.1 Modulus Reaksi <i>Subgrade</i> Ekuivalen.....	20
3.5.2 Tambahan Modulus Reaksi <i>Subgrade</i> Akibat Adanya Cakar ( $\Delta k$ ) Metode Hardiyatmo (2011).....	20



	3.5.3 Tambahan Modulus Reaksi <i>Subgrade</i> Akibat Adanya Cakar ( $\Delta k$ ) Metode Hardiyatmo Modifikasi (Puri, dkk., 2012).....	24
	3.5.4 Tambahan Modulus Reaksi <i>Subgrade</i> Akibat Adanya Cakar ( $\Delta k$ ) Berdasarkan Grafik Puri (2017).....	27
	3.6 <i>Beams on Elastic Foundation</i> (BoEF) .....	28
<b>BAB IV</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
	4.1 Objek Penelitian.....	33
	4.2 Tahapan Penelitian.....	34
	4.3 Cara Analisis .....	36
<b>BAB V</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
	5.1 Deskripsi Umum .....	43
	5.2 Data Acuan Penelitian.....	43
	5.2.1 Klasifikasi Tanah dan Beton.....	44
	5.2.2 Pembebanan.....	45
	5.3 Pengaruh Tahanan Ujung Cakar terhadap Perhitungan $\Delta k$ dan $k'$ .....	45
	5.4 Lendutan dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi dengan Analisis Metode BoEF .....	47
	5.4.1 Pelat Model Tanpa Lantai Kerja.....	47
	5.4.2 Pelat Model dengan Lantai Kerja 1,5 cm .....	54
	5.5 Perbandingan Lendutan Hitungan dengan Lendutan Pengamatan pada Pelat model perkerasan Sistem CAM .....	61
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>66</b>
	6.1 Kesimpulan .....	66
	6.2 Saran.....	68
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>69</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 5.1</b>	Sifat-sifat tanah gambut (Hamdan, 2019) .....	44
<b>Tabel 5.2</b>	Hasil uji kuat tekan beton 5 cm x 5 cm (Hamdan, 2019).....	44
<b>Tabel 5.3</b>	Data dan besaran perhitungan $\Delta k$ dan $k'$ .....	46
<b>Tabel A.1</b>	Rekap nilai $\Delta k$ dan $k'$ untuk analisis BoEF .....	A-9
<b>Tabel A.2</b>	Hasil perhitungan lendutan pelat tanpa lantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban A dengan mengabaikan tahanan ujung tiang ( $Q_b = 0$ ) .....	A-10
<b>Tabel A.3</b>	Hasil perhitungan lendutan pelat tanpa lantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban B dengan mengabaikan tahanan ujung tiang ( $Q_b = 0$ ) .....	A-11
<b>Tabel A.4</b>	Hasil perhitungan momen pelat tanpa lantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban A dengan mengabaikan tahanan ujung tiang ( $Q_b = 0$ ) .....	A-11
<b>Tabel A.5</b>	Hasil perhitungan momen pelat tanpa lantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban B dengan mengabaikan tahanan ujung tiang ( $Q_b = 0$ ) .....	A-12
<b>Tabel A.6</b>	Hasil perhitungan lendutan pelat tanpa lantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban A dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ( $Q_b > 0$ ).....	A-12
<b>Tabel A.7</b>	Hasil perhitungan lendutan pelat tanpa lantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban B dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ( $Q_b > 0$ ).....	A-13
<b>Tabel A.8</b>	Hasil perhitungan momen pelat tanpa lantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban A dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ( $Q_b > 0$ ).....	A-13
<b>Tabel A.9</b>	Hasil perhitungan momen pelat tanpa lantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban B dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ( $Q_b > 0$ ).....	A-14

<b>Tabel A.10</b>	Hasil perhitungan lendutan pelat dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban A dengan mengabaikan tahanan ujung tiang ( $Q_b = 0$ ) .....	A-14
<b>Tabel A.11</b>	Hasil perhitungan lendutan pelat dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban B dengan mengabaikan tahanan ujung tiang ( $Q_b = 0$ ) .....	A-15
<b>Tabel A.12</b>	Hasil perhitungan momen pelat dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban A dengan mengabaikan tahanan ujung tiang ( $Q_b = 0$ ) .....	A-15
<b>Tabel A.13</b>	Hasil perhitungan momen pelat dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban B dengan mengabaikan tahanan ujung tiang ( $Q_b = 0$ ) .....	A-16
<b>Tabel A.14</b>	Hasil perhitungan lendutan pelat dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban A dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ( $Q_b > 0$ ).....	A-16
<b>Tabel A.15</b>	Hasil perhitungan lendutan pelat dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban B dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ( $Q_b > 0$ ).....	A-17
<b>Tabel A.16</b>	Hasil perhitungan momen pelat dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban A dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ( $Q_b > 0$ ).....	A-17
<b>Tabel A.17</b>	Hasil perhitungan momen pelat dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan metode BoEF akibat beban B dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ( $Q_b > 0$ ).....	A-18
<b>Tabel A.18</b>	Perbandingan hasil lendutan pelat tanpa lantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan modulus reaksi <i>subgrade</i> ekuivalen metode Hardiyatmo (2011) .....	A-18
<b>Tabel A.19</b>	Perbandingan hasil lendutan pelat tanpa lantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan modulus reaksi <i>subgrade</i> ekuivalen metode Hardiyatmo Modifikasi (2012).....	A-19

<b>Tabel A.20</b>	Perbandingan hasil lendutan pelat tanpa lantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan modulus reaksi <i>subgrade</i> ekuivalen berdasarkan Grafik Puri (2017).....	A-19
<b>Tabel A.21</b>	Perbandingan hasil lendutan pelat dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan modulus reaksi <i>subgrade</i> ekuivalen metode Hardiyatmo (2011).....	A-20
<b>Tabel A.22</b>	Perbandingan hasil lendutan pelat dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan modulus reaksi <i>subgrade</i> ekuivalen metode Hardiyatmo Modifikasi (2012).....	A-20
<b>Tabel A.23</b>	Perbandingan hasil lendutan pelat dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan modulus reaksi <i>subgrade</i> ekuivalen berdasarkan Grafik Puri (2017).....	A-21
<b>Tabel A.24</b>	Perbandingan hasil momen pelat tanpa lantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan modulus reaksi <i>subgrade</i> ekuivalen metode Hardiyatmo (2011) .....	A-22
<b>Tabel A.25</b>	Perbandingan hasil momen pelat tanpa lantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan modulus reaksi <i>subgrade</i> ekuivalen metode Hardiyatmo Modifikasi (2012).....	A-22
<b>Tabel A.26</b>	Perbandingan hasil momen pelat tanpa lantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan modulus reaksi <i>subgrade</i> ekuivalen berdasarkan Grafik Puri (2017).....	A-23
<b>Tabel A.27</b>	Perbandingan hasil momen pelat dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan modulus reaksi <i>subgrade</i> ekuivalen metode Hardiyatmo (2011).....	A-23
<b>Tabel A.28</b>	Perbandingan hasil momen pelat dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan modulus reaksi <i>subgrade</i> ekuivalen metode Hardiyatmo Modifikasi (2012).....	A-24
<b>Tabel A.29</b>	Perbandingan hasil momen pelat dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan modulus reaksi <i>subgrade</i> ekuivalen berdasarkan Grafik Puri (2017).....	A-24

<b>Tabel A.30</b>	Distribusi lendutan dengan $k'$ metode Hardiyatmo saat $Q_b = 0$ ( $k' = 1333,717 \text{ kN/m}^3$ ; $LC = 0 \text{ cm}$ ) .....	A-25
<b>Tabel A.31</b>	Distribusi lendutan dengan $k'$ metode Hardiyatmo saat $Q_b > 0$ ( $k' = 1346,756 \text{ kN/m}^3$ ; $LC = 0 \text{ cm}$ ) .....	A-30
<b>Tabel A.32</b>	Distribusi lendutan dengan $k'$ metode Hardiyatmo Modifikasi saat $Q_b = 0$ ( $k' = 1677,479 \text{ kN/m}^3$ ; $LC = 0 \text{ cm}$ ) .....	A-35
<b>Tabel A.33</b>	Distribusi lendutan dengan $k'$ metode Hardiyatmo Modifikasi saat $Q_b > 0$ ( $k' = 1677,479 \text{ kN/m}^3$ ; $LC = 0 \text{ cm}$ ) .....	A-40
<b>Tabel A.34</b>	Distribusi lendutan dengan $k'$ berdasarkan Grafik Puri saat $Q_b = 0$ (untuk beban A $k'=719,078 \text{ kN/m}^3$ , untuk beban B $k'=1438,156 \text{ kN/m}^3$ ; $LC = 0 \text{ cm}$ ).....	A-45
<b>Tabel A.35</b>	Distribusi lendutan dengan $k'$ berdasarkan Grafik Puri saat $Q_b > 0$ (untuk beban A $k'=724,546 \text{ kN/m}^3$ , untuk beban B $k'=1449,092 \text{ kN/m}^3$ ; $LC = 0 \text{ cm}$ ).....	A-50
<b>Tabel A.36</b>	Distribusi lendutan dengan $k'$ metode Hardiyatmo saat $Q_b = 0$ ( $k' = 1333,717 \text{ kN/m}^3$ ; $LC = 1,5 \text{ cm}$ ) .....	A-55
<b>Tabel A.37</b>	Distribusi lendutan dengan $k'$ metode Hardiyatmo saat $Q_b > 0$ ( $k' = 1346,756 \text{ kN/m}^3$ ; $LC = 1,5 \text{ cm}$ ) .....	A-60
<b>Tabel A.38</b>	Distribusi lendutan dengan $k'$ metode Hardiyatmo Modifikasi saat $Q_b = 0$ ( $k' = 1677,479 \text{ kN/m}^3$ ; $LC = 1,5 \text{ cm}$ ).....	A-65
<b>Tabel A.39</b>	Distribusi lendutan dengan $k'$ metode Hardiyatmo Modifikasi saat $Q_b > 0$ ( $k' = 1677,479 \text{ kN/m}^3$ ; $LC = 1,5 \text{ cm}$ ).....	A-70
<b>Tabel A.40</b>	Distribusi lendutan dengan $k'$ berdasarkan Grafik Puri saat $Q_b = 0$ (untuk beban A $k'=719,078 \text{ kN/m}^3$ , untuk beban B $k'=1438,156 \text{ kN/m}^3$ ; $LC = 1,5 \text{ cm}$ ).....	A-75
<b>Tabel A.41</b>	Distribusi lendutan dengan $k'$ berdasarkan Grafik Puri saat $Q_b > 0$ (untuk beban A $k'=724,546 \text{ kN/m}^3$ , untuk beban B $k'=1449,092 \text{ kN/m}^3$ ; $LC = 1,5 \text{ cm}$ ).....	A-80
<b>Tabel A.42</b>	Hubungan $P-\delta$ hasil pengamatan dan hasil BoEF pada pelat model Sistem CAM tanpa rantai kerja ( $LC = 0 \text{ cm}$ ) beban A ..	A-85

<b>Tabel A.43</b>	Hubungan $P$ - $\delta$ hasil pengamatan dan hasil BoEF pada pelat model Sistem CAM tanpa rantai kerja ( $LC = 0$ cm) beban B...	A-85
<b>Tabel A.44</b>	Hubungan $P$ - $\delta$ hasil pengamatan dan hasil BoEF pada pelat model Sistem CAM dengan rantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) beban A .....	A-86
<b>Tabel A.45</b>	Hubungan $P$ - $\delta$ hasil pengamatan dan hasil BoEF pada pelat model Sistem CAM dengan rantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) beban B .....	A-86
<b>Tabel A.46</b>	Perbandingan lendutan pengamatan dan lendutan hasil pada pelat model tanpa rantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan $k'$ Hardiyatmo (2011) .....	A-88
<b>Tabel A.47</b>	Perbandingan lendutan pengamatan dan lendutan hasil pada pelat model dengan rantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan $k'$ Hardiyatmo (2011) .....	A-88
<b>Tabel A.48</b>	Perbandingan lendutan pengamatan dan lendutan hasil pada pelat model tanpa rantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan $k'$ Hardiyatmo Modifikasi (2012).....	A-89
<b>Tabel A.49</b>	Perbandingan lendutan pengamatan dan lendutan hasil pada pelat model dengan rantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan $k'$ Hardiyatmo Modifikasi (2012).....	A-90
<b>Tabel A.50</b>	Perbandingan lendutan pengamatan dan lendutan hasil pada pelat model tanpa rantai kerja ( $LC = 0$ cm) menggunakan $k'$ Grafik Puri (2017) .....	A-90
<b>Tabel A.51</b>	Perbandingan lendutan pengamatan dan lendutan hasil pada pelat model dengan rantai kerja ( $LC = 1,5$ cm) menggunakan $k'$ Grafik Puri (2017) .....	A-91

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 3.1</b>	Sistem Cakar Ayam Prof. Sedyatmo 1961 (Hardiyatmo, 2010) .....	13
<b>Gambar 3.2</b>	Sistem Cakar Ayam Modifikasi untuk aplikasi perkerasan jalan beton (Hardiyatmo, 2010) .....	15
<b>Gambar 3.3</b>	Perkerasan beton dengan Sistem Pelat Terpaku Hary Christady Hardiyatmo 2008 (Hardiyatmo, 2018) .....	16
<b>Gambar 3.4</b>	Tampang Sistem Pelat Terpaku dirancang untuk beban berat dan tanah dasar bermasalah (Hardiyatmo, 2008 dalam Hardiyatmo, 2018) .....	17
<b>Gambar 3.5</b>	Hubungan antara $k$ dan CBR (Austroads, 1997; FAA, 1995) (1 kPa/mm = 1000 kN/m <sup>3</sup> ) .....	19
<b>Gambar 3.6</b>	Kenaikan modulus reaksi tanah dasar oleh pengaruh dukungan tiang (Hardiyatmo, 2011 dalam Hardiyatmo, 2018). .....	21
<b>Gambar 3.7</b>	Hubungan antara defleksi pelat ( $\delta$ ) dengan rasio $\delta/\delta_0$ untuk tiang dengan panjang $L = 1, 1,5$ dan $2$ m (Hardiyatmo, 2011).. .....	24
<b>Gambar 3.8</b>	Faktor adhesi untuk tiang pancang pada lempung .....	25
<b>Gambar 3.9</b>	Grafik Puri (2017) .....	28
<b>Gambar 3.10</b>	Perilaku balok menerus yang dibebani di atas media elastis (Hetenyi, 1974 dalam Firdaus, 2010).....	29
<b>Gambar 3.11</b>	Balok di atas fondasi elastis dengan panjang terbatas (Young dan Budynas, 2002 dalam Puri, dkk., 2013) .....	30
<b>Gambar 4.1</b>	Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi (Hamdan, 2019) .....	34
<b>Gambar 4.2</b>	Skema pembebanan Sistem Cakar Ayam Modifikasi (Hamdan, 2019).....	34
<b>Gambar 4.3</b>	Bagan alir penelitian .....	36

<b>Gambar 4.4</b>	Tampilan input data program BoEF dalam <i>Ms. Excel</i> .....	38
<b>Gambar 4.5</b>	Tampilan <i>output</i> program BoEF dalam <i>Ms. Excel</i> .....	39
<b>Gambar 4.6</b>	Bagan alir analisis .....	42
<b>Gambar 5.1</b>	Hubungan $P-\delta$ pada pelat tanpa lantai kerja dengan variasi nilai $k'$ .....	49
<b>Gambar 5.2</b>	Distribusi lendutan pelat tanpa lantai kerja dengan $k'$ metode Hardiyatmo.....	50
<b>Gambar 5.3</b>	Distribusi lendutan pelat tanpa lantai kerja dengan $k'$ metode Hardiyatmo Modifikasi .....	51
<b>Gambar 5.4</b>	Distribusi lendutan pelat tanpa lantai kerja dengan $k'$ berdasarkan Grafik Puri .....	52
<b>Gambar 5.5</b>	Pengaruh variasi nilai $k'$ terhadap momen pelat tanpa lantai kerja.....	53
<b>Gambar 5.6</b>	Hubungan $P-\delta$ pada pelat dengan lantai kerja 1,5 cm berdasarkan variasi nilai $k'$ .....	55
<b>Gambar 5.7</b>	Distribusi lendutan pelat tanpa lantai kerja dengan $k'$ metode Hardiyatmo.....	57
<b>Gambar 5.8</b>	Distribusi lendutan pelat tanpa lantai kerja dengan $k'$ metode Hardiyatmo Modifikasi .....	58
<b>Gambar 5.9</b>	Distribusi lendutan pelat tanpa lantai kerja dengan $k'$ berdasarkan Grafik Puri (2017).....	59
<b>Gambar 5.10</b>	Pengaruh variasi nilai $k'$ terhadap momen pelat tanpa lantai kerja.....	60
<b>Gambar 5.11</b>	Lendutan maksimum pelat model Sistem CAM tanpa lantai kerja.....	62
<b>Gambar 5.12</b>	Lendutan maksimum pelat model Sistem CAM dengan lantai kerja 1,5 cm.....	63
<b>Gambar 5.13</b>	Hubungan $P-\delta$ tanpa lantai kerja dan dengan lantai kerja 1,5 cm.....	65
<b>Gambar A.1</b>	Sistem Cakar Ayam Modifikasi model laboratorium (Hamdan, 2019).....	A-1



<b>Gambar A.2</b>	Hubungan antara $k$ dan CBR (Austroads, 1997; FAA, 1995) (1 kPa/mm = 1000 kN/m <sup>3</sup> ).....	A-2
<b>Gambar A.3</b>	Faktor adhesi lempung (McClelland, 1974).....	A-4
<b>Gambar A.4</b>	Hubungan defleksi pelat ( $\delta$ ) dengan rasio $\delta/\delta_0$ (Hardiyatmo, 2011) .....	A-5
<b>Gambar A.5</b>	Grafik Puri (2017).....	A-7



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

## DAFTAR NOTASI

$a$	= Jarak beban terhadap tepi kiri balok
$A_b$	= Luas ujung tiang/cakar
$A_b$	= Luas ujung tiang/cakar
$a_d$	= Faktor adhesi
$A_{ps}$	= Luasan zona pelat yang didukung oleh satu tiang/cakar
$A_s$	= Luas selimut tiang/cakar
ASTM	= <i>American Standard Testing and Material</i>
$B$	= Lebar pelat
BoEF	= <i>Beams on Elastic Foundation</i>
$c$	= Kohesi
CA	= Cakar Ayam
CAM	= Cakar Ayam Modifikasi
CBR	= <i>California Bearing Ratio</i>
cm	= Centimeter
$c_u$	= <i>Undrained</i> kohesi
$D$	= Diameter tiang/cakar
$E$	= Kekakuan pelat
$E_c$	= Modulus elastisitas beton
$E_s$	= Modulus elastisitas baja
$f_b$	= Tahanan ujung satuan tiang/cakar
$f_c'$	= Mutu beton
$f_s$	= Tahanan gesek satuan tiang/cakar
$G_s$	= Berat jenis tanah
$I$	= Momen inersia pelat
$k$	= Modulus reaksi subgrade
$k_{(B \times B)}$	= modulus reaksi tanah dasar pelat beban $B \times B$
$k'$	= Modulus reaksi subgrade ekuivalen

$K_d$	= Koefisien tekanan tanah lateral di sekitar tiang/cakar
kN	= Kilonewton
kN/m	= Kilonewton per meter
kN/m <sup>2</sup>	= Kilonewton per meter persegi
kN/m <sup>3</sup>	= Kilonewton per meter kubik
kPa	= Kilopascal
$k_t$	= Modulus gesek tiang/cakar
$l$	= Panjang balok
$L$	= Panjang pelat
LC	= <i>Lean Concrete</i> (lantai kerja)
m	= Meter
m <sup>2</sup>	= Meter persegi
mm	= milimeter
Mpa	= Megapascal
$N_c$	= Faktor kapasitas dukung tiang
$p$	= Tekanan/beban
PCC	= <i>Portland Pozzolanic Cement</i>
$p_o$	= Tekanan <i>overburden</i> rata-rata di sepanjang tiang
$Q_b$	= Tahanan ujung tiang/cakar
$Q_b = 0$	= Tahanan ujung tiang/cakar diabaikan
$Q_b > 0$	= Tahanan ujung tiang/cakar diperhitungkan
$Q_s$	= Tahanan gesek tiang/cakar
$Q_u$	= Kapasitas dukung ultimit tiang/cakar
$R_s$	= Tahanan gesek tiang termobilisasi per satuan luas
$s$	= Jarak antar tiang
$T$	= Tebal pelat
$w$	= Berat sendiri
$W_p$	= Berat tiang/cakar
$x$	= Jarak titik yang ditinjau terhadap tepi kiri balok
$\Delta k$	= Tambahan modulus reaksi <i>subgrade</i> akibat adanya tiang/cakar
$\alpha$	= Faktor perpindahan tiang

$\beta$	= Fleksibilitas balok
$\delta$	= Lendutan/penurunan pelat
$\delta_a$	= Lendutan izin maksimum/lendutatan rencana
$\delta_o$	= Perpindahan relatif antara tanah terhadap tiang/cakar
$\delta_s$	= Lendutan pengamatan
$\varphi_d$	= Sudut gesek antara tanah dan tiang/cakar



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

## DAFTAR LAMPIRAN

### LAMPIRAN A PERHITUNGAN

A.1 Koreksi Modulus Reaksi <i>Subgrade</i> .....	A-1
A.2 Tambahan Modulus Reaksi <i>Subgrade</i> karena Adanya Cakar ( $\Delta k$ ) dan Modulus Reaksi <i>Subgrade</i> Ekuivalen ( $k'$ ) Berdasarkan Lendutan Izin Maksimum ( $\delta_a = \delta_s = 0,00258$ m).....	A-3
A.2.1 Metode Hardiyatmo (2011) .....	A-4
A.2.2 Metode Hardiyatmo Modifikasi (Puri, dkk., 2012) .....	A-6
A.2.3 Berdasarkan Grafik Puri (2017) .....	A-6
A.3 Data-data yang digunakan dalam Analisis <i>Beams on Elastic Foundation</i> (BoEF) .....	A-8
A.4 Hasil Perhitungan Lendutan dan Momen Pelat dengan Metode <i>Beams on Elastic Foundation</i> (BoEF).....	A-10
A.4.1 Model Pelat Tanpa Lantai Kerja ( $LC = 0$ cm).....	A-10
A.4.2 Model Pelat Dengan Lantai Kerja ( $LC = 1,5$ cm) .....	A-14
A.5 Perbandingan Hasil Perhitungan Lendutan dan Momen Pelat dengan Metode BoEF saat $Q_b = 0$ dan $Q_b > 0$ .....	A-18
A.6 Distribusi Lendutan pada Pelat Model Sistem CAM saat $Q_b = 0$ dan $Q_b > 0$ .....	A-25
A.7 Perbandingan Lendutan Hitungan dengan Lendutan Pengamatan.....	A-85

### LAMPIRAN B LEMBAR KERJA PROGRAM BoEF

B.1 *Input*

B.2 *Output*

### LAMPIRAN C DATA SEKUNDER

### LAMPIRAN D SURAT-SURAT

## ABSTRAK

---

Perpustakaan Universitas Islam Riau

Dokumen ini adalah Arsip Miik :



**NOPRIADI – 153110551**

---

**Analisis Lendutan Dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Gambut Menggunakan Metode *Beams On Elastic Foundation***

# ANALISIS LENDUTAN DAN MOMEN PELAT MODEL PERKERASAN SISTEM CAKAR AYAM MODIFIKASI PADA TANAH GAMBUT MENGUNAKAN METODE *BEAMS ON ELASTIC FOUNDATION*

**NOPRIADI**  
**153110551**

## **Abstrak**

Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) merupakan pengembangan lebih lanjut dari Sistem Cakar Ayam (CA) Prof. Sedyatmo. Pada pelaksanaannya sistem ini melakukan pengecoran di tempat, sehingga menimbulkan pekerjaan yang kotor dan kesulitan dalam pengerjaan penulangannya. Hamdan (2019) telah melakukan uji model laboratorium Sistem CAM menggunakan lantai kerja pada tanah gambut dengan skala 1:10. Pengujian bertujuan untuk mengetahui pengaruh ketebalan lantai kerja terhadap Sistem CAM dengan pembebanan dilakukan secara sentris dan eksentris. Hasil menunjukkan bahwa lantai kerja dapat mereduksi lendutan yang terjadi pada pelat model perkerasan Sistem CAM. Pada penelitian ini, dilakukan analisis untuk mengetahui lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem CAM.

Analisis pelat model perkerasan Sistem CAM ini menggunakan metode *Beams on Elastic Foundation* (BoEF) dengan bantuan program "*BoEF.xls*" versi 1.6. Program ini membutuhkan nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ) yang memperhitungkan modulus reaksi *subgrade* ( $k$ ) dan tambahan modulus reaksi *subgrade* akibat adanya tiang/cakar ( $\Delta k$ ). Perhitungan  $\Delta k$  dilakukan dengan beberapa metode yaitu metode Hardiyatmo, metode Hardiyatmo Modifikasi dan berdasarkan Grafik Puri. Data-data yang digunakan mengacu pada penelitian terdahulu (Hamdan, 2019). Analisis lendutan dan momen dengan program BoEF dilakukan dengan pembebanan di tengah (A) dan di tepi (B) pelat, menggunakan variasi lantai kerja yaitu tanpa lantai kerja (0 cm) dan dengan lantai kerja 1,5 cm. Selain variasi lantai kerja, analisis juga dilakukan dengan memperhitungkan pengaruh tahanan ujung tiang/cakar ( $Q_b$ ).

Hasil analisis menunjukkan bahwa lendutan terbesar terjadi pada titik beban, pengaruh beban semakin berkurang seiring menjauhi titik beban. Akibat beban tepi (B), ujung pelat yang tidak diberi beban mengalami jungkitan. Tahanan ujung cakar ( $Q_b$ ) tidak berpengaruh signifikan terhadap lendutan hitungan pada pelat model perkerasan Sistem CAM, hal ini ditunjukkan dengan kecilnya selisih lendutan saat  $Q_b = 0$  dan  $Q_b > 0$ . Lantai kerja dapat mereduksi lendutan yang terjadi, besarnya kemampuan rata-rata lantai kerja 1,5 cm untuk mereduksi lendutan adalah sebesar 12,71% pada beban A dan 8,34% pada beban B. Variasi  $k'$ , lantai kerja dan  $Q_b$  tidak berpengaruh signifikan terhadap perhitungan momen pelat model perkerasan Sistem CAM menggunakan program BoEF, terlihat bahwa nilai momen relatif sama dan semakin besar seiring bertambahnya beban.

**Kata kunci:** Cakar Ayam Modifikasi, gambut, tanah lunak, modulus reaksi *subgrade* ekuivalen, lantai kerja, lendutan.

# **DEFLECTION AND SLAB MOMENT ANALYSIS OF MODIFIED CAKAR AYAM SYSTEM MODEL ON PEAT USING THE BEAMS ON ELASTIC FOUNDATION METHOD**

**NOPRIADI**  
**153110551**

## **Abstract**

*The Modified Cakar Ayam (CAM) system is a further development of the Prof. Sedyatmo Cakar Ayam (CA) system. In practice, this system performs on-site casting, resulting in a dirty work and difficulties in working the reinforcement. Hamdan (2019) has tested a laboratory model of the CAM System using a lean concrete on peat soil with a scale of 1:10. The test was aimed to determine the effect of the thickness of the lean concrete on the CAM system with centric and eccentric loadings. The results showed that the lean concrete can reduce the slab deflection that occurs in the CAM pavement system model. In this study, an analysis was carried out to determine the deflection and moment of the slab of the CAM pavement system model.*

*The slab analysis of the CAM pavement system model used the Beams on Elastic Foundation (BoEF) method by using the "BoEF.xls" version 1.6 program. This program requires an equivalent subgrade reaction modulus ( $k'$ ) which takes into account the subgrade reaction modulus ( $k$ ) and the addition of the subgrade reaction modulus due to the presence of pile/claw ( $\Delta k$ ). The calculation of  $\Delta k$  was done by several methods, namely the Hardiyatmo method, the Hardiyatmo Modification method and based on the Puri's Graph. The data used refers to previous researcher (Hamdan, 2019). Deflection and moment analysis with the BoEF program was carried out with loading in the middle (A) and at the edges (B) of the slab, using variations of the lean concrete, namely without a lean concrete (0 cm) and with a lean concrete of 1,5 cm. In addition to the variation of the lean concrete, an analysis was also carried out by taking into account the influence of the end bearing resistance of the pile/claw ( $Q_b$ ).*

*The results of the analysis show that the largest deflection occurs at the load point, the effect of the load decreases as it moves away from the load point. Due to the edge load (B), the unloaded end of the plate is reversed. The pile end bearing resistance ( $Q_b$ ) has no significant effect on the calculated deflection on the CAM pavement system model slab, this is indicated by a small deflection difference when  $Q_b = 0$  and  $Q_b > 0$ . Lean concrete can reduce the calculated deflection, the average ability of 1,5 cm lean concrete to reduce deflection is about 12,71% at load A and 8,34% at load B. Variations of  $k'$ , lean concrete and  $Q_b$  have no significant effect on calculated moment on the CAM pavement system model using the BoEF program, it can be seen that the moment value is relatively the same and increases with increasing load.*

**Keywords:** *Modified Cakar Ayam, peat, soft soil, equivalent subgrade reaction modulus, lean concrete, deflection.*



## BAB I PENDAHULUAN

---

Perpustakaan Universitas Islam Riau

Dokumen ini adalah Arsip Miik :



**NOPRIADI – 153110551**

---

**Analisis Lendutan Dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Gambut Menggunakan Metode *Beams On Elastic Foundation***

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori dan jalan kabel (Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006).

Perkerasan jalan merupakan konstruksi jalan yang diperuntukkan bagi jalan lalu lintas yang terletak di atas tanah dasar, dan pada umumnya terdiri dari lapisan pondasi bawah, pondasi atas dan lapis permukaan.

Dalam penerapan konstruksi perkerasan jalan ada hal-hal yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah kondisi tanah. Kondisi tanah yang baik akan membuat umur rencana jalan dapat tercapai. Tetapi tidak untuk kondisi tanah yang kurang mendukung, misalnya pada tanah lunak, hal ini perlu dilakukan upaya untuk mengatasi masalah tersebut. Begitu banyak usaha yang dapat dilakukan diantaranya dengan menerapkan perkerasan jalan Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) pada konstruksi perkerasan jalan tersebut.

Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) merupakan pengembangan dari Sistem Cakar Ayam (CA) Sedyatmo (1961), pengembangan ini diusulkan oleh Ir. Maryadi Darmokumoro (Suhendro, 2006) dengan menggantikan pipa beton diameter 120 cm – 150 cm, tebal 8 cm dan panjang 150 cm menjadi pipa baja galvanis tahan karat dan tahan gores dengan diameter 80 cm, tebal 1,4 mm dan panjang 120 cm sehingga berat awal untuk tiap fondasi CA sekitar 1 ton menjadi lebih ringan dengan bobot 35 kg, namun tetap memiliki kekuatan yang setara.

Pada Sistem CAM terdapat pelat yang didukung oleh pipa-pipa pendek, pelat tersebut diharapkan mampu menahan beban yang bekerja di atasnya. Pelat

akan mengalami lendutan dan momen akibat beban yang bekerja di tengah dan di tepi pelat Sistem CAM. Untuk mengetahui lendutan dan momen yang terjadi pada pelat beton akibat beban yang bekerja maka dibutuhkan metode untuk menghitung lendutan dan momen pelat tersebut. Metode yang dapat digunakan diantaranya metode *Beams on Elastic Foundation* (BoEF).

*Beams on Elastic Foundation* (BoEF) merupakan suatu program yang mengacu pada persamaan-persamaan Hetenyi (1974), digunakan untuk kepentingan analisis dengan mengansumsikan bahwa pelat dianggap sebagai balok lurus yang didukung oleh media elastis di sepanjang bentangnya.

Analisis lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem CAM dengan metode BoEF mengacu pada pengamatan Hamdan (2019) dengan Sistem CAM model laboratorium skala 1:10. Pada pengamatan Hamdan (2019), Sistem CAM didukung oleh tanah gambut, menggunakan variasi lantai kerja mulai dari ketebalan 0 cm, 1 cm, 1,5 cm dan 2 cm, sedangkan pembebanan dilakukan secara sentris dan eksentris. Variasi lantai kerja yang digunakan dalam analisis ini yaitu tanpa lantai kerja (0 cm) dan dengan lantai kerja 1,5 cm. Selain variasi lantai kerja, pelat model perkerasan Sistem CAM juga dianalisis dengan memperhitungkan pengaruh tahanan ujung tiang/cakar ( $Q_b$ ) dengan tujuan agar analisis lebih aman.

Analisis lendutan dan momen pelat dengan metode BoEF pada model perkerasan Sistem CAM memerlukan nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ). Untuk menentukan nilai  $k'$  diperlukan nilai modulus reaksi *subgrade* ( $k$ ) dan kenaikan modulus reaksi *subgrade* akibat pengaruh cakar ( $\Delta k$ ). Nilai  $k$  diperoleh dari grafik hubungan antara  $k$  dan CBR. Sedangkan nilai  $\Delta k$  diperoleh dengan beberapa metode yaitu metode Hardiyatmo, metode Hardiyatmo Modifikasi, dan berdasarkan Grafik Puri. Perhitungan  $\Delta k$  dilakukan saat tahanan ujung cakar diabaikan ( $Q_b = 0$ ) dan saat tahanan ujung cakar diperhitungkan ( $Q_b > 0$ ). Analisis lendutan dan momen dengan metode BoEF dilakukan dengan bantuan program "*BoEF.xls*" versi 1.6.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi  $k'$  terhadap lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem CAM?
2. Bagaimana pengaruh tahanan ujung cakar ( $Q_b$ ) terhadap lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem CAM?
3. Bagaimana pengaruh ketebalan lantai kerja terhadap lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem CAM?
4. Bagaimana pengaruh posisi beban terhadap lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem CAM?
5. Bagaimana perbandingan lendutan hitungan pada pelat model perkerasan Sistem CAM terhadap lendutan pengamatan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Mengacu pada rumusan masalah di atas, adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui pengaruh variasi  $k'$  terhadap lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem CAM?
2. Mengetahui pengaruh tahanan ujung cakar ( $Q_b$ ) terhadap lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem CAM?
3. Mengetahui pengaruh ketebalan lantai kerja terhadap lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem CAM?
4. Mengetahui pengaruh posisi beban terhadap lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem CAM?
5. Mengetahui perbandingan lendutan hitungan pada pelat model perkerasan Sistem CAM terhadap lendutan pengamatan?

## 1.4 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat di antaranya adalah:

1. Memberikan informasi tentang perilaku Sistem CAM pada tanah gambut.
2. Mendapat pengetahuan tentang pengaruh modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ) dalam perhitungan lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem CAM di atas tanah gambut.
3. Mengetahui pola lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem CAM akibat pengaruh lantai kerja ( $LC$ ) dan tahanan ujung cakar ( $Q_b$ ).
4. Mengenalkan dan mengaplikasikan program “*BoEF.xls*” versi 1.6 di bidang geoteknik sebagai alat bantu dalam perhitungan lendutan dan momen pada model perkerasan Sistem CAM.
5. Memberi tambahan informasi lebih lanjut serta dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian bagi peneliti lain.

### 1.5 Batasan Masalah

Agar penulisan penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari pokok permasalahan, maka diambil batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan diambil dari penelitian Hamdan (2019) tentang “Pengaruh Lantai Kerja Terhadap Lendutan Pelat Perkerasan Sistem Cakar Ayam Pada Tanah Gambut” Universitas Islam Riau.
2. Variasi ketebalan lantai kerja ( $LC$ ) yang digunakan adalah 0 cm dan 1,5 cm, ketebalan lantai kerja 1 cm dan 2 cm tidak diperhitungkan.
3. Variasi pembebanan dan posisi beban mengacu pada data yang digunakan pada penelitian Hamdan (2019).
4. Analisis dilakukan hanya terhadap lendutan dan momen.
5. Pengaruh kembang susut gambut, pengaruh temperatur, konsolidasi dan pengaruh gempa diabaikan.
6. Tidak membahas biaya dan metode pelaksanaan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

---

Perpustakaan Universitas Islam Riau

Dokumen ini adalah Arsip Miik :



**NOPRIADI – 153110551**

---

**Analisis Lendutan Dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Gambut Menggunakan Metode *Beams On Elastic Foundation***

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Umum

Dalam penulisan tugas akhir ini, beberapa penelitian-penelitian terdahulu dijadikan sebagai referensi. Referensi berupa disertasi, tesis, skripsi dan jurnal-jurnal yang berhubungan dengan penelitian ini.

### 2.2 Penelitian Terdahulu

Hamdan (2019), “Pengaruh Lantai Kerja Terhadap Lendutan Pelat Sistem Cakar Ayam Pada Tanah Gambut”. Mengingat kondisi tanah di Riau sebagian besar berupa tanah gambut, perkerasan Sistem Cakar Ayam dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif. Namun pada proses pelaksanaannya sistem ini melakukan pengecoran di tempat, sehingga akan menghasilkan pekerjaan yang kotor dan kesulitan dalam penulangannya akibat kondisi tanah gambut tersebut, untuk itu dilakukan suatu metode dengan menggunakan lantai kerja. Pengujian model laboratorium Sistem Cakar Ayam dengan variasi ketebalan lantai kerja (0 cm, 1 cm, 1,5 cm dan 2 cm) pada gambut dengan skala 1:10 menunjukkan hasil bahwa semakin tebal lantai kerja maka lendutan yang terjadi juga semakin kecil, hal ini berlaku untuk posisi beban di titik A (tengah) dan di titik B (tepi). Pola distribusi lendutan yang terjadi pada sepanjang pelat akibat beban A menunjukkan lendutan terbesar terjadi posisi titik beban, seluruh pelat tetap kontak dengan tanah, berbeda halnya dengan akibat beban B, sisi pelat yang jauh dari titik beban mengalami jungkitan.

Oktavia (2019), “Analisis Variasi Faktor Aman Modulus Reaksi Tanah Dasar Sistem Pelat Terpaku Tiang Mini Beton Masif Tunggal Pada Lempung Lunak”. Perkerasan Sistem Pelat Terpaku merupakan pengembangan Sistem Cakar Ayam yang berfungsi sebagai salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan konstruksi jalan pada tanah lunak. Sistem pelat terpaku menggunakan *pile cap* tipis berupa perkerasan beton bertulang dan di bagian

bawah pelat perkerasan terdapat tiang-tiang makro pendek. Interaksi tanah-tiang-pelat membuat pelat lebih kaku sehingga mengurangi penurunan permukaan perkerasan yang tidak seragam. Pada penelitian ini analisis dilakukan untuk mengetahui perilaku lendutan pada Pelat Terpaku tiang tunggal, tiang yang digunakan yaitu tiang mini beton masif tunggal dengan variasi penampang tiang (20 cm x 20 cm, 25 cm x 25 cm, 28 cm x 28 cm, 32 cm x 32 cm) dan variasi panjang tiang (1,2 m; 1,5 m; 1,7 m; 2,0 m). Nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen dihitung dengan metode Hardiyatmo Modifikasi, dengan variasi faktor aman (1,0; 2,0; 2,5; 3,0) serta pengaruh tahanan ujung tiang ( $Q_b$ ) terhadap lendutan Sistem Pelat Terpaku. Analisis dilakukan dengan metode *Beams on Elastic Foundation* dengan bantuan program “BoEF.xls” versi 1.4. Hasil analisis menunjukkan bahwa lendutan hitungan meningkat dengan peningkatan faktor aman, lendutan hitungan semakin kecil dengan ukuran *mini pile* yang semakin besar, serta lendutan hitungan semakin kecil dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ( $Q_b > 0$ ) dibandingkan dengan mengabaikan tahanan ujung tiang ( $Q_b = 0$ ). Variasi *SF* dan variasi penampang tiang tidak begitu berpengaruh signifikan terhadap momen pelat.

Afriliyani (2017), “Perhitungan Lendutan Pelat Terhadap Model Skala Penuh Perkerasan Jalan Sistem Cakar Ayam Modifikasi Menggunakan Modulus Reaksi *Subgrade* Ekuivalen Metode Hardiyatmo & Metode Hardiyatmo Modifikasi”. Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) merupakan pengembangan lebih lanjut dari Sistem Cakar Ayam (CA) Sedyatmo. Sistem ini merupakan salah satu alternatif metode untuk meningkatkan kinerja perkerasan kaku di atas tanah lunak dan dapat membantu mereduksi lendutan yang terjadi pada pelat. Analisis perkerasan Sistem CAM menuntut ketelitian, kerumitan dalam perhitungan mekanika dan perilaku pelat atas permukaan tanah yang mendapat beban vertikal membuat banyak variabel yang harus disederhanakan. Program BoEF (*Beams on Elastic Foundation*) adalah salah satu program yang dapat menyederhanakan analisis perilaku pelat dalam menerima beban. Pada penelitian ini menyajikan hasil analisa BoEF terhadap lendutan pelat pada perkerasan Sistem CAM berdasarkan nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ) yang diperoleh



menggunakan metode Hardiyatmo (2011) dan Hardiyatmo Modifikasi (2012). Hasil lendutan perhitungan divalidasikan dengan hasil lendutan pengamatan (Setiawan, 2015). Analisa dilakukan terhadap dimensi perkerasan Sistem CAM model skala penuh dengan lebar perkerasan 6 m, tebal pelat beton 15 cm, menggunakan pipa baja sebagai cakar dengan ketebalan 1,4 mm, diameter 0,72 m dan tinggi 1,07 m. Hasil analisa menunjukkan bahwa penggunaan formula modulus reaksi *subgrade* ekuivalen pada Sistem CAM menghasilkan lendutan pada titik beban yang cenderung *over-estimated* terhadap pengamatan. Dengan memperhitungkan  $Q_b$  (tahanan ujung ultimit cakar) dibandingkan dengan tidak memperhitungkan  $Q_b$  pada metode Hardiyatmo Modifikasi menghasilkan nilai lendutan dengan selisih lendutan sebesar 32,51% pada beban di tengah, akan tetapi untuk pola dan selisih hasil lendutan hitungan masih berbeda dari pengamatan, hasil lendutan tidak bisa langsung digunakan dalam perancangan Sistem CAM, hasil lendutan harus dikoreksi dengan memperhitungkan faktor koreksi ( $f_k$ ) yang telah ditentukan agar diperoleh kesesuaian perancangan yang baik, sehingga perencanaan kekerasan nantinya tidak melebihi/mengurangi dimensi perkerasan yang seharusnya (diperlukan).

Agustin (2017), "Perhitungan Lendutan Pelat Model Perkerasan Jalan Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) Menggunakan Nilai Modulus Reaksi *Subgrade* Ekuivalen Metode Hardiyatmo Modifikasi Dengan Variasi Faktor Aman". Salah satu solusi untuk mengatasi masalah perkerasan jalan di atas tanah lunak atau ekspansif yaitu dengan Sistem Cakar Ayam Modifikasi dan perkerasan Sistem Pelat Terpaku yang merupakan pengembangan dari Sistem Cakar Ayam (CA) Sedyatmo (1961). Dalam perencanaannya Sistem CAM digunakan nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen untuk menghitung lendutan. Metode yang digunakan untuk memperoleh nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen yaitu metode Hardiyatmo Modifikasi dengan lendutan izin maksimum ( $\delta_a = 5$  mm) dan variasi faktor aman (1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0), serta tahanan ujung cakar juga diperhitungkan ( $Q_b \neq 0$ ). Dalam menghitung lendutan digunakan metode BoEF dengan menggunakan bantuan program "*BoEF.xls*" versi 1.4. Kemudian lendutan hitungan akan divalidasikan dengan lendutan pengamatan penelitian terdahulu

(Setiawan, 2015). Hasil analisis berdasarkan  $\delta_a = 5$  mm menunjukkan penggunaan faktor aman 1,0 memiliki pola lendutan yang lebih mendekati lendutan pengamatan dan merupakan faktor aman minimal jika diterapkan pada perkerasan Sistem CAM. Dengan memperhitungkan tahanan ujung cakar dalam modulus reaksi *subgrade* ekuivalen perkerasan Sistem CAM berdasarkan  $\delta_a = 5$  mm dapat mereduksi lendutan hingga 44%. Melihat lebih lanjut pola lendutan sepanjang pelat sedikit berbeda baik berdasarkan  $\delta_a = \delta_s$  dan  $\delta_a = 5$  mm, maka digunakan faktor koreksi pada hasil lendutan perhitungan, dengan demikian hasil hitungan pada zona aman, sehingga modulus reaksi *subgrade* ekuivalen metode Hardiyatmo Modifikasi dapat diterapkan pada perkerasan Sistem CAM.

Setiawan (2015), “Perilaku Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Ekspansif”. Penelitian ini membahas perilaku Sistem CAM pada tanah dasar ekspansif dengan model skala kecil di laboratorium, skala kecil di lapangan dan skala penuh. Peneliti menganalisis dengan menggunakan persamaan yang berlaku dan terkait. Model Sistem CAM dengan skala penuh di lapangan berukuran 6 m x 6 m, tebal pelat beton bertulang 0,15 m, dengan 9 pipa cakar yang terbuat dari pelat baja. Hubungan pelat beton dengan cakar adalah monolit, pelat berada di atas permukaan tanah dasar dan cakar tertanam vertikal di bawah pelat beton. Cakar berfungsi sebagai angkur (paku) dan pemberat, sehingga pelat akan tertahan pada saat proses pengembangan tanah dasar. Pengamatan dilakukan saat tanah dasar ekspansif mengembang, sedangkan kondisi saat susut tidak dibahas. Tinjauan yang dilakukan berupa tekanan (pembebanan) dengan cara repetitif dan *monotonic*, sedangkan posisi titik uji mewakili di tengah, ujung, tepi pelat dan di antara cakar. Analisis dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan program SAP2000 v.11 sebagai verifikasi terhadap hasil pengamatan. Perilaku Sistem CAM pada tanah dasar ekspansif saat basah (jenuh) adalah sama dengan perilaku pada tanah lunak. Proses pengembangan membuat tanah mengalami perlemahan, lunak dan menjadi jenuh. Dari hasil pengamatan, Sistem CAM memberikan kontribusi yang baik, Sistem CAM dapat mereduksi perpindahan vertikal akibat pengembangan tanah dasar ekspansif dan juga mereduksi lendutan. Zona pengaruh lendutan berkisar 3 hingga 4 kali diameter cakar dari titik

pembebanan, sehingga dapat disimpulkan bahwa Sistem CAM ini dapat digunakan sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan badan jalan pada tanah dasar ekspansif.

Puri, dkk (2013), “Penerapan Metode Analisis Lendutan Pelat Terpaku pada Model Skala Penuh dan Komparasi Dengan Uji Pembebanan”. Sistem pelat terpaku bukanlah metode perbaikan tanah, melainkan salah satu alternatif metode untuk mengatasi permasalahan konstruksi jalan di atas tanah lunak. Sistem ini terdiri atas pelat beton bertulang dengan tiang-tiang mikro yang dipasang di bawah pelat beton. Hubungan pelat dan tiang dibuat monolit. Tiang-tiang yang dipasang di bawah pelat berfungsi sebagai pengaku pelat sehingga beban dapat disebar lebih luas ke tanah lunak (Puri, dkk., 2013c). Selain itu, tiang juga berfungsi sebagai ankur yang membuat pelat tetap kontak dengan tanah sehingga *pumping* bisa dihindari dan durabilitas perkerasan menjadi lebih panjang. Pada bagian ujung pelat dapat diperkuat dengan pelat koperan (*vertical concrete wall barrier*) yang fungsi utamanya untuk mereduksi lendutan akibat beban di pinggir perkerasan. Pada makalah ini disajikan perhitungan semi *manual* dengan model skala penuh Pelat Terpaku ukuran 6 m x 3,6 m x 0,15 m, dengan 15 tiang diameter 0,2 m, panjang 1,5 m, dimana 1 baris terdapat 5 buah tiang dengan jarak 1,2 m. Kolam uji berukuran 7 m x 3,7 m x 2,5 m, tinggi koperan 0,5 m dengan tebal 0,125 m. Selanjutnya divalidasikan dengan hasil uji pembebanan. Untuk menghitung lendutan pelat digunakan teori balok di atas fondasi elastis (*Beams on Elastic Foundation*) dengan menggunakan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ). Penelitian ini ada dua tinjauan yaitu tinjauan 1 baris tiang dimana lebar pelat sama dengan jarak antar tiang dan tinjauan 3 baris tiang sesuai dengan rencana untuk 3 baris tiang. Hasil hitungan lendutan ini dibandingkan dengan hitungan metode elemen hingga dan pengamatan. Perencanaan awal model skala penuh Pelat Terpaku dan pelaksanaan konstruksi beserta uji pembebanannya yang telah dilakukan, menghasilkan beberapa hal penting yang disimpulkan berdasarkan hasil hitungan dan pengamatan, yaitu bahwa metode penentuan tambahan modulus reaksi *subgrade* dan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen dapat digunakan untuk perencanaan Pelat Terpaku dengan hasil desain pada zona aman, lebih

praktis dalam penggunaannya dan tidak memakan banyak waktu. Langkah hitungan yang telah diberikan dapat diterapkan pada *preliminary design* (perencanaan awal) Pelat Terpaku. Untuk Pelat Terpaku yang menggunakan koperan, modulus reaksi *subgrade* ekuivalen untuk beban ujung dapat diberikan faktor penyesuaian sebesar 1,5. Tulangan pelat dapat ditentukan dengan menggunakan 50% momen hasil hitungan untuk satu baris tiang, namun tetap memperhatikan luasan dan jarak tulangan minimum.

### 2.3 Keaslian Penelitian

Penelitian mengenai pelat yang didukung oleh tiang/cakar sudah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu. Namun penelitian tersebut memiliki sisi permasalahan yang berbeda.

Penelitian ini merupakan lanjutan dari rangkaian penelitian Sistem Cakar Ayam Modifikasi yang pernah dilakukan oleh peneliti terdahulu (Hamdan, 2019). Kesamaan penelitian yang dilakukan dengan penelitian sebelumnya adalah menggunakan model perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi pada tanah gambut, serta beban kerja terletak di tengah dan di tepi pelat. Adapun perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah:

1. Dalam analisis lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem CAM pada gambut dengan metode BoEF membutuhkan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k^?$ ), dimana dalam hal ini diperlukan tambahan modulus reaksi *subgrade* akibat adanya cakar ( $\Delta k$ ),  $\Delta k$  diperoleh dengan beberapa metode yaitu metode Hardiyatmo, metode Hardiyatmo Modifikasi dan berdasarkan Grafik Puri.
2. Analisis lendutan dan momen pelat dilakukan dengan memperhitungkan pengaruh tahanan ujung tiang/cakar ( $Q_b$ ) menggunakan bantuan program “BoEF.xls” versi 1.6.

Pada penelitian ini disajikan analisis lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi menggunakan metode BoEF, kemudian hasil hitungan akan dibandingkan dengan hasil pengamatan (Hamdan, 2019).

Oleh karena itu, berdasarkan pertimbangan dan referensi yang diperoleh maka penelitian tentang Analisis Lendutan dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi pada Tanah Gambut Menggunakan Metode *Beams on Elastic Foundation* dapat dinyatakan belum pernah dilakukan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada ilmu pengetahuan tentang Sistem Cakar Ayam Modifikasi khususnya di program studi Teknik Sipil Universitas Islam Riau.



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

## BAB III LANDASAN TEORI

---

Perpustakaan Universitas Islam Riau

Dokumen ini adalah Arsip Miik :



**NOPRIADI – 153110551**

---

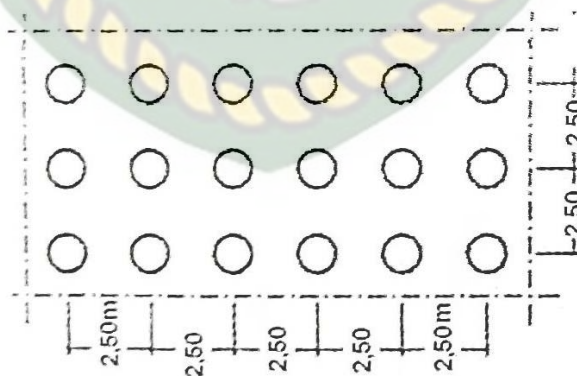
**Analisis Lendutan Dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Gambut Menggunakan Metode *Beams On Elastic Foundation***

## BAB III LANDASAN TEORI

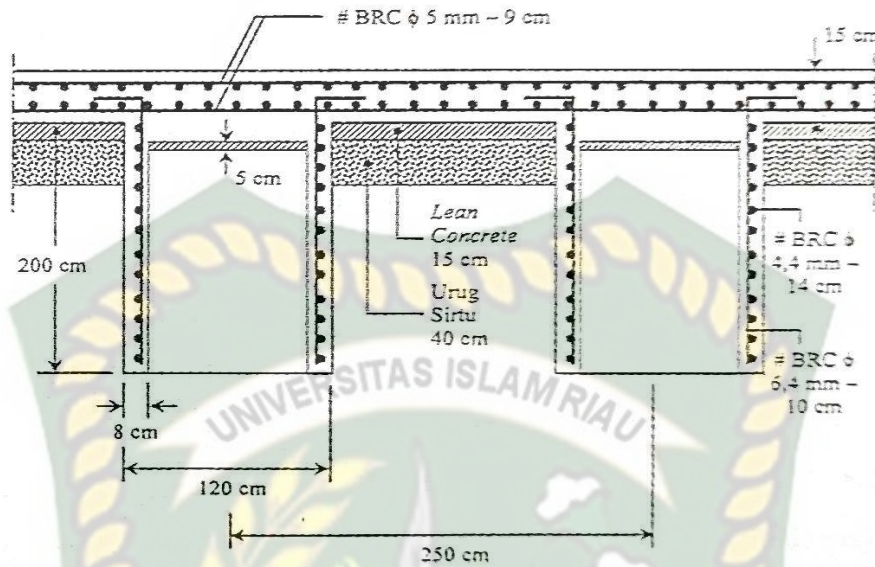
### 3.1 Sistem Cakar Ayam Prof. Sedyatmo

Sitem Cakar Ayam (CA) ditemukan pertama kali pada tahun 1961 oleh Prof. Ir. Sedyatmo dan pertama kali digunakan sebagai fondasi untuk bangunan menara listrik bertegangan tinggi di Ancol yang kondisi tanahnya berupa rawa-rawa. Selain itu, Sistem CA juga banyak digunakan sebagai fondasi bangunan dan perkerasan jalan (Hardiyatmo, 2018).

Fondasi Sistem Cakar Ayam (CA) terdiri dari pelat tipis beton bertulang dengan tebal 10 -17 cm yang didukung dengan pipa-pipa beton dengan diameter 120 cm, tebal 8 cm dan panjang 150 – 200 cm, jarak antar pipa berkisar 2,0 – 2,50 m, adapun hubungan antara pelat beton dengan pipa dibuat monolit. Pipa-pipa yang mendukung pelat tersebut merupakan cakar yang tertanam di dalam tanah. Kerjasama sistem antara pelat-cakar-tanah tersebut menghasilkan pelat yang lebih kaku dan tahan terhadap beban dan penurunan yang tidak seragam (Hardiyatmo, 2018). Untuk lebih jelasnya, tipikal dari Sistem Cakar Ayam Prof. Sedyatmo dapat dilihat pada Gambar 3.1.



(a) Denah



(b) Potongan

**Gambar 3.1** Sistem Cakar Ayam Prof. Sedyatmo 1961 (Hardiyatmo, 2010)

### 3.2 Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM)

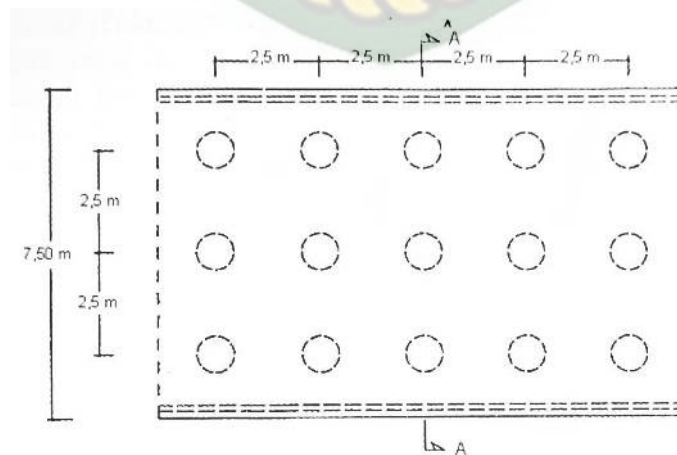
Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) merupakan pengembangan lebih lanjut dari Sistem Cakar Ayam (CA) Prof. Sedyatmo dan telah dikembangkan secara intensif sejak tahun 1990 oleh tim pengembangan Sistem Cakar Ayam Modifikasi. Adapun pengembangan yang dilakukan adalah perubahan bahan cakar yang awalnya dari pipa beton bertulang diameter 1,20 m, panjang 2 m dan tebal 8 cm kemudian digantikan dengan pipa baja *galvanized* diameter 0,60 – 0,80 m, panjang 1,0 – 1,2 m dan tebal 1,4 mm, dilapisi dengan bahan pelindung anti karat. Bahan cakar dari baja ini sangat ringan dengan berat sekitar 35kg sehingga mempermudah dan mempercepat pelaksanaan. Pengembangan juga dilakukan pada metode analisis, perancangan, pelaksanaan dan metode evaluasi pekerjaan. Sistem CAM ini diaplikasikan pada perkerasam jalan yang mempunyai tanah dasar yang mudah mengalami kembang susut. Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) telah dipatentkan oleh Prof. Ir. Bambang Suhendro, M.Sc., Ph.D., Prof. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng., DEA., dan Ir. Maryadi Darmokumoro (Hardiyatmo, 2018).



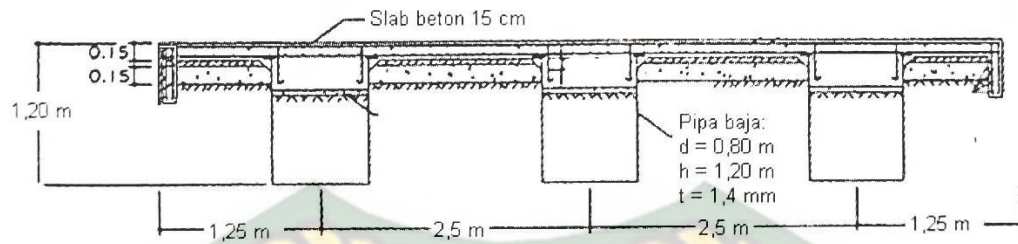
Dalam Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM), bahan pipa cakar tidak harus berupa pelat baja, tapi juga dapat berupa pipa beton pejal (seperti fondasi sumuran dangkal) maupun pipa beton berlubang yang diisi tanah padat. Untuk menjaga kinerja jangka panjang Sistem CAM, permukaan pelat beton perlu ditutup dengan lapis permukaan beraspal dengan ketebalan sekitar 4 cm. Lapisan beraspal ini bisa mengurangi proses berkaratnya tulangan akibat air yang masuk ke dalam retakan. Bagian tepi dari Sistem CAM juga dilengkapi dengan koperan, yaitu pelat penutup tepi vertikal dengan tebal 10 cm – 12 cm dan tinggi 40 cm – 50 cm. Koperan berfungsi sebagai perkuatan tepi dan pencegah *pumping* tanah dasar akibat beban kendaraan di bagian tepi. Perlu diketahui bahwa beban kritis pada Sistem CAM adalah ketika beban berada di tepi atau ujung pelat (Hardiyatmo, 2018).

Perubahan dan pengembangan tidak hanya terletak pada bahan cakar, tapi juga terletak pada geometri secara keseluruhan dan cara perancangan yang berbeda dari Prof. Sedyatmo. Bentuk pola penempatan cakar dapat berupa susunan segitiga sama sisi maupun bujur sangkar. Biasanya pola bujur sangkar lebih disukai karena mudah dalam penempatannya. Adapun pola segitiga sama sisi berguna untuk mengurangi kemungkinan terjadinya retak memanjang searah lalu lintas (Hardiyatmo 2018).

Tipikal Sistem CAM untuk aplikasi perkerasan jalan beton dapat dilihat pada Gambar 3.2.



(a) Denah



(b) Potongan A-A

**Gambar 3.2** Sistem Cakar Ayam Modifikasi untuk aplikasi perkerasan jalan beton (Hardiyatmo, 2010)

### 3.3 Sistem Pelat Terpaku

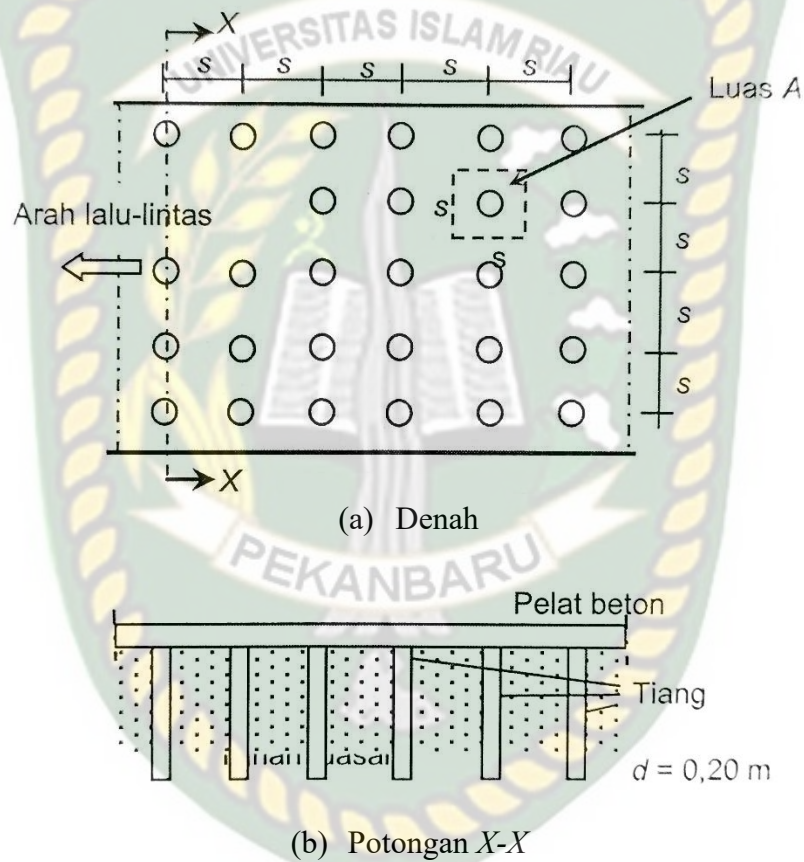
Hardiyatmo (2008 dalam Hardiyatmo, 2018) mengusulkan perkerasan beton Sistem Pelat Terpaku (*Nailed Slab System*), sistem ini merupakan pengembangan dari Sistem Cakar Ayam. Sistem Pelat Terpaku terdiri dari perkerasan beton bertulang (tebal antara 12 – 20 cm) yang didukung oleh tiang-tiang beton mini (panjang 150 – 200 cm dan diameter 15 – 20 cm). Tiang-tiang dan pelat beton terhubung secara monolit dengan bantuan tulangan-tulangan sehingga hubungan antara pelat-tiang-tanah disekitar membuat perkerasan lebih kaku dan lebih tahan terhadap deformasi tanah dasar.

Menurut Hardiyatmo (2018), tiang-tiang Sistem Pelat Terpaku berfungsi untuk meningkatkan kapasitas dukung tanah dasar, serta untuk menjaga agar pelat beton tetap kontak dengan tanah dasar dibawahnya, sehingga dapat mencegah timbulnya rongga-rongga di bawah pelat beton yang dapat mengurangi kekuatan struktur perkerasan. Peningkatan kapasitas dukung tanah dasar akibat pengaruh tiang pada pelat akan mengurangi kebutuhan tebal perkerasan beton dan memperkaku sistem perkerasan. Perlu diketahui bahwa Sistem Pelat Terpaku bukanlah metode perbaikan tanah melainkan salah satu alternatif metode untuk meningkatkan kinerja perkerasan kaku pada tanah lunak (Puri, dkk., 2013).

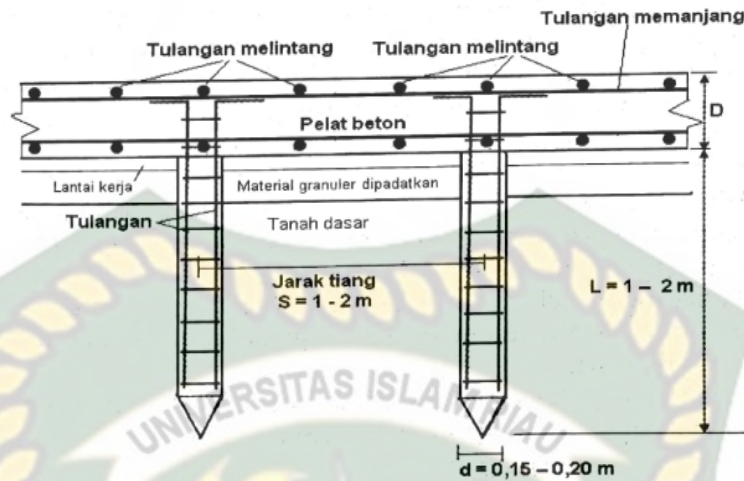
Berdasarkan pengujian beban siklik yang telah dilakukan oleh Hardiyatmo (2009 dalam Hardiyatmo, 2018) terhadap pelat yang didukung tiang, menunjukkan adanya reduksi penurunan yang signifikan akibat pemasangan tiang

yang memaku pelat ke tanah dasar. Tiang yang terpasang secara monolit pada pelat beton juga menaikkan modulus reaksi tanah dasar ( $k$ ).

Tipikal konstruksi Sistem Pelat Terpaku dapat dilihat pada Gambar 3.3. Tiang-tiang dipasang berbaris pada arah lebar dan panjang perkerasan. Tiang-tiang tersebut berada di bawah pelat beton dan terhubung secara monolit (Gambar 3.4).



**Gambar 3.3** Perkerasan beton dengan Sistem Pelat Terpaku Hary Christady Hardiyatmo 2008 (Hardiyatmo, 2018)



**Gambar 3.4** Tampang Sistem Pelat Terpaku dirancang untuk beban berat dan tanah dasar bermasalah (Hardiyatmo, 2008 dalam Hardiyatmo, 2018)

Puri, dkk. (2013) mengusulkan cara analisis Sistem Pelat Terpaku untuk perancangan tebal perkerasan kaku berdasarkan uji tunggal dengan metode analisis lendutan pelat fleksibel menggunakan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen. Modulus reaksi *subgrade* ekuivalen adalah modulus reaksi yang memperhitungkan akibat adanya tiang-tiang dan pelat. Penggunaan modulus reaksi tanah dasar ekuivalen dalam analisis pelat fleksibel berdasarkan teori balok pada fondasi elastis (BoEF) memberikan hasil yang memuaskan jika dibandingkan dengan hasil pengukuran (Hardiyatmo, 2009 dalam Puri, dkk., 2015).

### 3.4 Gambut

Menurut ASTM D4427-92 (2002 dalam Hamdan, 2019) tanah gambut merupakan tanah yang mempunyai kandungan organik tinggi yang terjadi atas dekomposisi material tumbuhan dan dibedakan dari material tanah organik lainnya dari kandungan abunya <25% abu dari berat keringnya.

ASTM D4427-92 (2002) mengklasifikasikan tanah gambut berdasarkan kandungan serat, kandungan abu, tingkat keasaman dan tingkat absorbnsinya. Sedangkan ASTM D5715-00 mengklasifikasikan tanah gambut berdasarkan tingkat humifikasinya. Tingkat humifikasi yang dimaksud disini adalah besarnya tingkat kebusukan gambut yang dapat dilihat pada kadar seratnya. Gambut yang

belum membusuk berwarna jernih dan tidak ada material amorf (kadar serat), sedangkan gambut yang telah membusuk berwarna gelap dan ada material amorf (tanah gambut Von Post dalam Hamdan, 2019).

Gambut dan tanah lempung dengan kadar organik yang tinggi sangat berbeda dengan lempung organik, hal ini dipengaruhi oleh jumlah material organik serta proses terbentuknya. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi perilaku gambut adalah berat jenis, batas cair, kompresibilitas dan permeabilitas (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2001).

Pusat Litbang Prasarana Transportasi (2001) menyebutkan bahwa nilai kadar air gambut berkisar 200% hingga 900%. Hamdan (2019) telah melakukan pengujian karakteristik sifat-sifat fisik dan mekanik tanah pada tanah gambut dari daerah Langgam provinsi Riau, hasil menunjukkan bahwa gambut dari Langgam memiliki berat jenis ( $G_s$ ) sebesar 1,53 dan kadar air sebesar 351,092%.

### 3.5 Modulus Reaksi *Subgrade*

Menurut Hardiyatmo (2018), dalam perancangan perkerasan beton dengan sistem pelat yang didukung oleh tiang/cakar, diperlukan nilai modulus reaksi *subgrade*. Modulus reaksi *subgrade* ( $k$ ) atau disebut juga dengan koefisien reaksi tanah dasar adalah rasio antara tekanan ( $p$ ) pada suatu pelat kaku terhadap lendutan ( $\delta$ ). Modulus reaksi *subgrade* didefinisikan sebagai:

$$k = \frac{p}{\delta} \quad (3.1)$$

dengan,

$p$  = beban persatuan luas pada pelat ( $\text{kN/m}^2$ )

$\delta$  = defleksi atau penurunan rata-rata pelat (m)

Untuk menentukan nilai modulus reaksi *subgrade* ( $k$ ), maka bisa dilakukan dengan uji beban pelat (*plate load test*) pada permukaan tanah dasar. Pada perancangan perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi ataupun Sistem Pelat Terpaku, modulus reaksi *subgrade* ( $k$ ) harus dikoreksi terhadap ukuran dan bentuk pelat perkerasan (Puri, dkk, 2012). Koreksi ukuran dan bentuk pelat mengacu pada metode Das (2011) dalam Puri (2015).

Koreksi terhadap ukuran pelat dinyatakan sebagai:

$$k = k_{0,3} + \left[ \frac{0,3}{B} \right] \quad (3.2)$$

Koreksi terhadap bentuk pelat dinyatakan sebagai:

$$k = \frac{k_{(B \times B)} \left( 1 + \frac{0,5 B}{L} \right)}{1,5} \quad (3.3)$$

dengan,

$k$  = modulus reaksi tanah dasar dengan lebar  $B$  ( $\text{kN/m}^3$ )

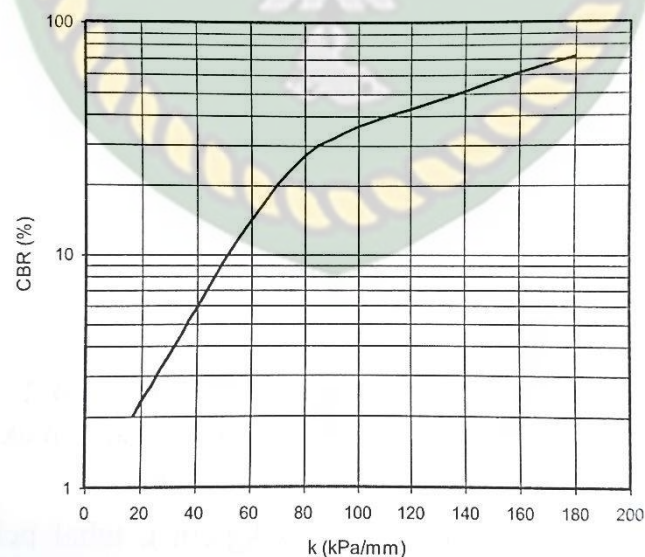
$k_{0,3}$  = modulus reaksi tanah dasar pelat beban  $0,3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}$  ( $\text{kN/m}^3$ )

$B$  = lebar pelat (m)

$k_{(B \times B)}$  = modulus reaksi tanah dasar pelat beban  $B \times B$  ( $\text{kN/m}^3$ )

$L$  = panjang pelat (m)

Menurut Hardiyatmo (2018), nilai modulus reaksi *subgrade* ( $k$ ) secara pendekatan dapat ditentukan secara empiris dengan nilai CBR. Nilai CBR dan nilai  $k$  selalu berbanding lurus karena semakin besar nilai CBR maka semakin besar pula nilai  $k$  (Alfianda, dkk., 2019). Hubungan CBR dan  $k$  dapat dilihat pada Gambar 3.5 yang disarankan oleh Austroads (1997) dan FAA (1995).



**Gambar 3.5** Hubungan antara  $k$  dan CBR (Austroads, 1997; FAA, 1995)  
(1  $\text{kPa/mm} = 1000 \text{ kN/m}^3$ )

### 3.5.1 Modulus Reaksi *Subgrade* Ekuivalen

Modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ) merupakan modulus reaksi *subgrade* yang memperhatikan kontribusi tiang/cakar dalam menahan gerakan perpindahan vertikal pelat. Dalam perancangan Sistem CAM atau Sistem Pelat Terpaku dengan metode yang menganggap tiang-tiang sebagai perkuatan tanah, dibutuhkan nilai modulus reaksi tanah dasar akibat pengaruh dukungan tiang/cakar ( $\Delta k$ ). Nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ) ini diperoleh dengan menjumlahkan nilai modulus reaksi tanah dasar ( $k$ ) dan nilai kenaikan modulus reaksi tanah dasar akibat pengaruh tiang/cakar ( $\Delta k$ ).

Modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ) dinyatakan dengan persamaan Hardiyatmo (2011):

$$k' = k + \Delta k \quad (3.4)$$

dengan,

$k'$  = modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (kN/m<sup>3</sup>)

$k$  = modulus reaksi *subgrade* (kN/m<sup>3</sup>)

$\Delta k$  = kenaikan modulus reaksi *subgrade* akibat adanya tiang/cakar (kN/m<sup>3</sup>)

### 3.5.2 Tambahan Modulus Reaksi *Subgrade* Akibat Adanya Cakar ( $\Delta k$ ) Metode Hardiyatmo (2011)

Menurut Hardiyatmo (2011) dalam Hardiyatmo (2018), dalam melakukan analisis kenaikan modulus reaksi *subgrade* akibat pengaruh tiang/cakar, meninjau keseimbangan gaya-gaya yang bekerja pada pelat beban bulat yang didukung oleh sebuah tiang, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6, tambahan kekuatan tanah oleh tiang bergantung pada tahanan tiang yang termobilisasi.

Kapasitas dukung ultimit tiang dinyatakan dengan persamaan:

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \quad (3.5)$$

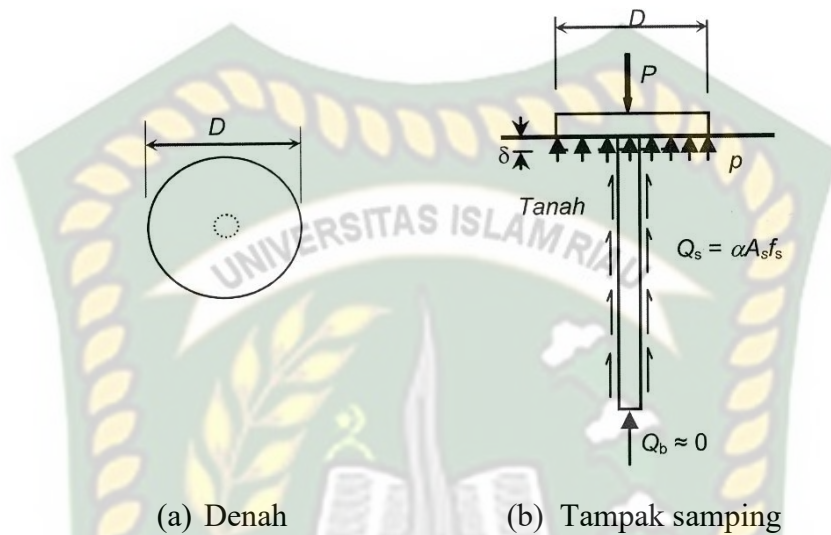
dengan,

$Q_u$  = kapasitas dukung ultimit tiang (kN)

$Q_b$  = tahanan ujung ultimit (kN)

$Q_s$  = tahanan gesek ultimit (kN)

$W_p$  = berat tiang (kN)



**Gambar 3.6** Kenaikan modulus reaksi tanah dasar oleh pengaruh dukungan tiang (Hardiyatmo, 2011 dalam Hardiyatmo, 2018)

Menurut Hardiyatmo (2011), karena diameter tiang yang digunakan untuk mendukung pelat beton relatif kecil, maka dapat dianggap tahanan ujung ultimit  $Q_b = 0$ .

Tahanan gesek ultimit dinyatakan dengan persamaan:

$$Q_s = A_s f_s \quad (3.6)$$

dengan  $f_s$  adalah tahanan gesek ultimit per satuan luas yang dinyatakan dengan persamaan:

$$f_s = a_d c + p_o K_d \text{tg } \phi_d \quad (3.7)$$

dengan,

$f_s$  = tahanan gesek ultimit per satuan luas (kPa)

$A_s$  = luas selimut tiang ( $\text{m}^2$ )

$a_d$  = faktor adhesi

$c$  = kohesi (kPa)

$p_o$  = tekanan *overburden* rata-rata ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )



$K_d$  = koefisien tekanan tanah lateral di sekitar tiang

$\varphi_d$  = sudut gesek antara tanah dan tiang (derajat)

Menurut Hardiyatmo (2018), pada perpindahan vertikal kecil, penurunan pelat beban lebih besar daripada penurunan/perpindahan relatif antara tanah dan tiang. Hal ini disebabkan ketika pelat turun, tanah di sekitar tiang ikut turun. Namun, turunnya tiang lebih besar dibandingkan turunnya tanah di sekitarnya. Karena penurunan relatif antara tanah dan tiang kecil, maka tahanan gesek tiang belum sepenuhnya mencapai ultimit. Tahanan gesek termobilisasi dinyatakan dengan persamaan:

$$Q_s = \alpha A_s f_s \quad (3.8)$$

Tahanan gesek satuan yang termobilisasi dinyatakan dengan persamaan:

$$R_s = \alpha f_s \quad (3.9)$$

dengan  $\alpha$  = faktor perpindahan tiang. Nilai  $\alpha$  bergantung pada perbandingan perpindahan relatif antara tanah terhadap tiang ( $\delta_o$ ) dan penurunan pelat ( $\delta$ ) di atasnya. Nilai  $\alpha$  dinyatakan dengan:

$$\alpha = \delta_o / \delta \quad (3.10)$$

Kombinasi Persamaan (3.9), (3.10) dan (3.7) dapat diperoleh:

$$R_s = \frac{\delta_o}{\delta} (a_d c_u + p_o K_d \operatorname{tg} \varphi_d) \quad (3.11)$$

Modulus gesek tiang ( $k_t$ ) didefinisikan sebagai besarnya reaksi perlawanan tiang yang termobilisasi pada penurunan tertentu, dinyatakan dengan persamaan:

$$k_t = \frac{R_s}{\delta} \quad (3.12)$$

dengan,

$R_s$  = tahanan gesek tiang termobilisasi per satuan luas ( $\text{kN/m}^2$ )

$\delta$  = penurunan pelat (m)

Dalam perkerasan Sistem Pelat Terpaku, satu tiang dianggap mendukung area seluas  $A$  (Gambar 3.3). Dengan asumsi tersebut, maka dapat dibuat persamaan:

$$\Delta k = k_t \frac{A_s}{A} = R_s \frac{A_s}{A\delta} \quad (3.13)$$

Dari Persamaan (3.4) dan (3.13), dapat diperoleh:

$$k' = k + k_t \frac{A_s}{A} = k + R_s \frac{A_s}{A\delta} \quad (3.14)$$

Dengan substitusi nilai  $R_s$ , sehingga:

$$k' = k + \frac{\alpha A_s}{A\delta} f_s \quad (3.15)$$

Karena  $\alpha = \delta_o/\delta$ , maka:

$$k' = k + \frac{\delta_o A_s}{\delta^2 A} f_s \quad (3.16)$$

Dalam Persamaan (3.16), suku kedua adalah  $\Delta k$ , dengan:

$$\Delta k = \frac{\delta_o A_s}{\delta^2 A} f_s \quad (3.17)$$

Dengan substitusi nilai  $f_s$  dari Persamaan (3.7), maka dapat ditulis kembali menjadi:

$$\Delta k = \frac{\delta_o A_s}{\delta^2 A} (a_d c_u + p_o K_d \operatorname{tg} \varphi_d) \quad (3.18)$$

Persamaan (3.18) tersebut digunakan untuk menghitung  $\Delta k$  tanpa memperhitungkan tahanan ujung tiang/cakar ( $Q_b = 0$ ). Sedangkan untuk  $\Delta k$  dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang/cakar ( $Q_b > 0$ ) dihitung dengan persamaan:

$$\Delta k = \frac{\delta_o (f_s A_s + f_b A_b)}{\delta^2 A} \quad (3.19)$$

dengan,

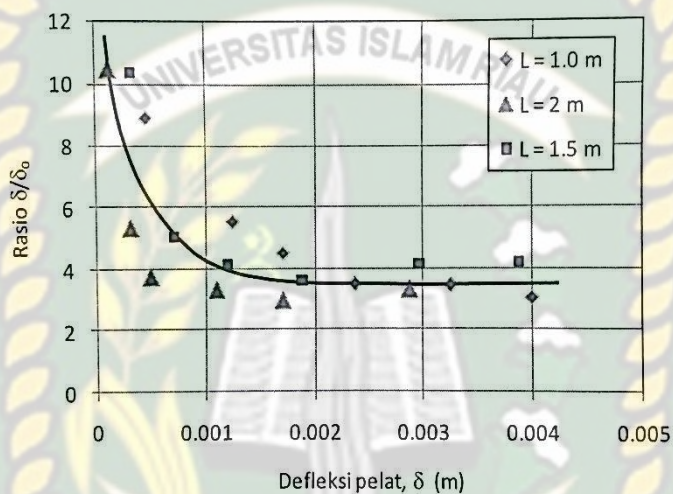
$f_b$  = tahanan ujung satuan tiang/cakar (kN/m<sup>2</sup>)

$A_b$  = luas ujung tiang/cakar (m<sup>2</sup>)

Untuk nilai  $k'$  dihitung dengan Persamaan 3.4. Perlu diperhatikan bahwa dalam aplikasinya, luas zona yang didukung satu tiang adalah berupa bujur sangkar dengan sisi  $s$ , maka  $A = s^2$ . Bila jarak tiang arah memanjang dan

melintang berbeda, maka luasan  $A$  akan persegi panjang, atau  $A =$  jarak tiang arah memanjang ( $s_L$ ) dikalikan jarak tiang arah melebar ( $s_B$ ).

Untuk menentukan kenaikan modulus reaksi tanah dasar akibat adanya tiang ( $\Delta k$ ), Hardiyatmo (2011) mengusulkan hubungan penurunan pelat dengan rasio  $\delta/\delta_0$ , seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7** Hubungan antara defleksi pelat ( $\delta$ ) dengan rasio  $\delta/\delta_0$  untuk tiang dengan panjang  $L = 1, 1,5$  dan  $2$  m (Hardiyatmo, 2011)

Berdasarkan Gambar 3.7 terlihat bahwa pada defleksi pelat sekitar  $0,002$  m ( $2$  mm), rasio  $\delta/\delta_0$  mendekati konstan sebesar  $3,25$ . Untuk beban yang relatif berat, umumnya pelat beton akan mengalami lendutan lebih besar dari  $2$  mm. Oleh sebab itu, dalam menentukan kenaikan modulus reaksi tanah dasar dengan Persamaan (3.18), maka digunakan rasio  $\delta/\delta_0=3,25$  (Hardiyatmo, 2018).

### 3.5.3 Tambahan Modulus Reaksi *Subgrade* Akibat Adanya Cakar ( $\Delta k$ ) Metode Hardiyatmo Modifikasi (Puri, dkk., 2012)

Metode Hardiyatmo Modifikasi (2012) merupakan modifikasi dari metode Hardiyatmo (2011), metode ini merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menentukan tambahan modulus reaksi *subgrade* ( $\Delta k$ ). Metode Hardiyatmo (2011) menggunakan pendekatan reduksi tahanan tiang dalam penentuan  $\Delta k$ . Menurut Puri, dkk (2015), penentuan reduksi tahanan tiang untuk keperluan

desain praktis sulit dilakukan. Oleh sebab itu, Puri, dkk, (2012) mengusulkan suatu pendekatan untuk menentukan tambahan modulus reaksi *subgrade* dengan menggunakan penurunan izin/toleransi pelat perkerasan.

Menurut Puri, dkk (2012), mobilisasi perlawanan gesek tiang masih dalam zona elastis. Dalam menentukan kapasitas dukung tiang yang diizinkan biasanya diambil pada 1/2,5 kapasitas ultimit. Maka, tambahan modulus reaksi *subgrade* akibat adanya tiang di bawah pelat ditentukan sebagai berikut (Puri, dkk, 2012):

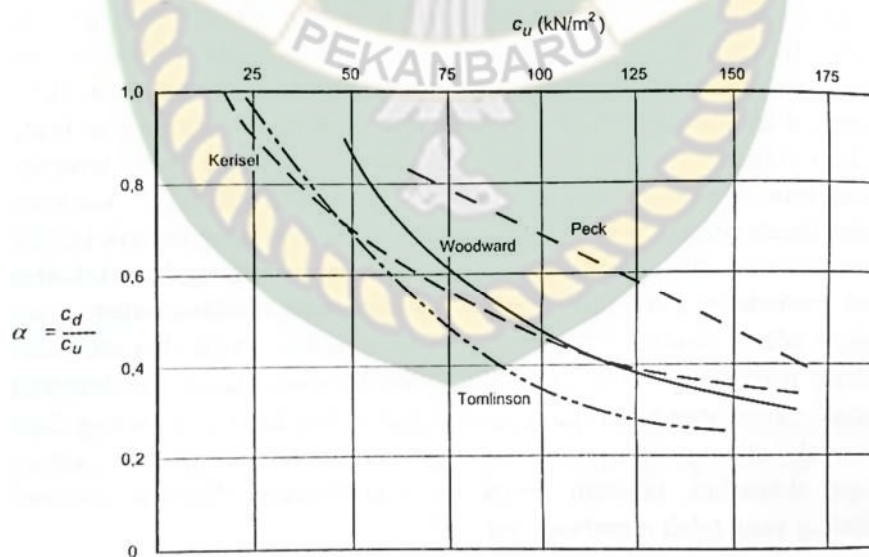
$$\Delta k = \frac{0,4 f_s A_s}{\delta_a A_{ps}} \quad (3.20)$$

dengan,

$\delta_a$  = toleransi penurunan pelat perkerasan kaku (m)

$A_{ps}$  = luasan zona pelat yang didukung oleh satu tiang ( $m^2$ ),  $A_{ps} = s^2$

Pada tanah lempung lunak atau lempung terkonsolidasi normal, faktor adhesi ( $a_d$ ) dapat ditentukan berdasarkan kurva Tomlinson pada grafik McClelland (1974) menggunakan nilai  $c_u$ , dapat dilihat pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8** Faktor adhesi untuk tiang pancang pada lempung (McClelland, 1974)

Persamaan (3.19) menggunakan faktor aman ( $SF$ ) sebesar 2,5 yang lazim digunakan pada pondasi tiang. Maka persamaan (3.19) dapat ditulis kembali menjadi:

$$\Delta k = \frac{f_s A_s}{2,5 \delta_a A_{ps}} \quad (3.21)$$

Kemudian persamaan (3.20) ditulis menjadi (Puri, 2015):

$$\Delta k = \frac{f_s A_s}{SF \delta_a A_{ps}} \quad (3.22)$$

Perhitungan akibat pengaruh adanya tahanan ujung tiang ( $Q_b$ ) dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$Q_u = Q_s + Q_b \quad (3.23)$$

Tahanan ujung tiang dinyatakan dengan:

$$Q_b = f_b A_b \quad (3.24)$$

Sedangkan tambahan modulus reaksi *subgrade* akibat adanya tiang dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ( $Q_b > 0$ ) dinyatakan dengan persamaan:

$$\Delta k = \frac{Q_u}{SF \delta_a A_{ps}} \quad (3.25)$$

Kemudian Persamaan (3.22) disubstitusikan dengan Persamaan (3.24), sehingga menjadi:

$$\Delta k = \frac{Q_s + Q_b}{SF \delta_a A_{ps}} \quad (3.26)$$

Maka Persamaan (3.25) dapat ditulis kembali menjadi:

$$\Delta k = \frac{f_s A_s + f_b A_b}{SF \delta_a A_{ps}} \quad (3.27)$$

Sehingga modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ) dengan memperhitungkan tahanan ujung tiang ( $Q_b$ ) dapat dihitung dengan persamaan:

$$k' = k + \frac{f_s A_s + f_b A_b}{SF \delta_a A_{ps}} \quad (3.28)$$

dengan,

$A_b$  = luas ujung tiang/cakar ( $m^2$ )

$f_b$  = tahanan ujung satuan tiang ( $\text{kN/m}^2$ ),  $f_b = c_u N_c$

$c_u$  = *undrained* kohesi ( $\text{kN/m}^2$ )

$N_c$  = faktor kapasitas dukung tiang, pada tanah lunak  $N_c = 9$  (Skempton, 1959)

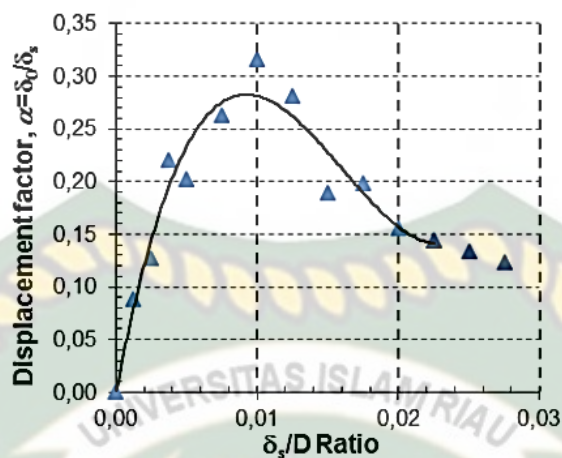
### 3.5.4 Tambahan Modulus Reaksi *Subgrade* Akibat Adanya Cakar ( $\Delta k$ ) Berdasarkan Grafik Puri (2017)

Hardiyatmo (2011) mengusulkan grafik faktor perpindahan berupa hubungan antara penurunan pelat dengan rasio  $\delta/\delta_0$  untuk menentukan kenaikan modulus reaksi tanah dasar akibat adanya tiang/cakar ( $\Delta k$ ), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7. Hardiyatmo (2011b) mengembangkan grafik rasio  $\delta/\delta_0$  berdasarkan pengujian skala penuh dari tiang tunggal pada lempung kaku, dimana tiang dan pelat terhubung oleh baut. Grafik rasio  $\delta/\delta_0$  mendekati konstan sebesar 3,25 pada defleksi pelat sekitar 0,002 m.

Puri (2017) melakukan pengembangan terhadap grafik faktor perpindahan menggunakan metode Hardiyatmo. Grafik faktor perpindahan diperoleh berdasarkan pengujian skala penuh dari Pelat Terpaku tiang tunggal telah dikembangkan pada lempung lunak, dimana tiang dan pelat terhubung secara monolit. Faktor perpindahan adalah rasio antara perpindahan relatif tiang dan tanah dengan kepala tiang (*pile head*). Faktor perpindahan tiang ( $\alpha$ ) dinyatakan dengan Persamaan (3.10), maka Persamaan (3.18) dapat dibuat (Puri, 2017):

$$\frac{\delta_0}{\delta_s} = \frac{\Delta k \delta_s A}{A_s f_s} \quad (3.29)$$

Menurut Puri (2017), untuk menemukan faktor perpindahan, Persamaan (3.20) digunakan dengan mengansumsi penurunan kepala tiang (*pile head*) sama dengan perpindahan permukaan pelat. Grafik rasio  $\delta_s/\delta_0$  Puri (2017) dapat dilihat pada Gambar 3.9.

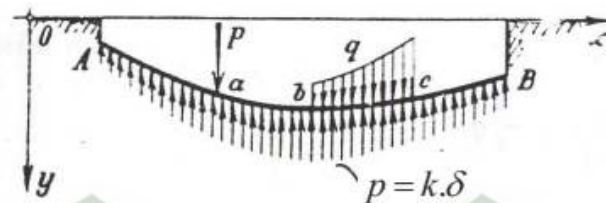


Gambar 3.9 Grafik Puri (2017)

Pada Gambar 3.9 terlihat grafik hubungan antara faktor perpindahan tiang ( $\alpha$ ) dengan  $\delta_s/D$ .  $D$  adalah diameter tiang. Rasio  $\delta_o/\delta_s$  yang merupakan *inverse* dari  $\delta_s/\delta_o$  memiliki nilai maksimum pada perpindahan maksimum 2 mm ( $\delta_s/D = 0,10$ ). Selanjutnya rasio  $\delta_o/\delta_s$  Puri (2017) dapat digunakan untuk menentukan nilai tambahan modulus reaksi *subgrade* ( $\Delta k$ ) tanpa memperhitungkan tahanan ujung cakar ( $Q_b = 0$ ) menggunakan Persamaan (3.18), sedangkan pada saat memperhitungkan tahanan ujung cakar ( $Q_b > 0$ ) menggunakan Persamaan (3.19). Untuk menentukan nilai  $k'$  dapat menggunakan Persamaan 3.4.

### 3.6 *Beams on Elastic Foundation* (BoEF)

Analisis metode BoEF mengansumsikan pelat sebagai balok yang mempunyai faktor kekakuan tertentu, sedangkan tanah sebagai media pendukung yang berperilaku sebagai pegas-pegas individual yang bekerja pada titik tak terhingga dan tidak saling mempengaruhi, dengan mengansumsikan pegas-pegas tersebut mampu mendukung gaya tarik maupun gaya tekan. Akibat beban, gaya reaksi pada setiap titik akan proporsional dengan nilai defleksi pada titik tersebut. Asumsi ini pertama kali digunakan oleh Winkler pada tahun 1867 (Hetenyi, 1975 dalam Firdaus, 2010). Perilaku balok menerus yang dibebani di atas media elastis dapat dilihat pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** Perilaku balok menerus yang dibebani di atas media elastis (Hetenyi, 1974 dalam Firdaus, 2010)

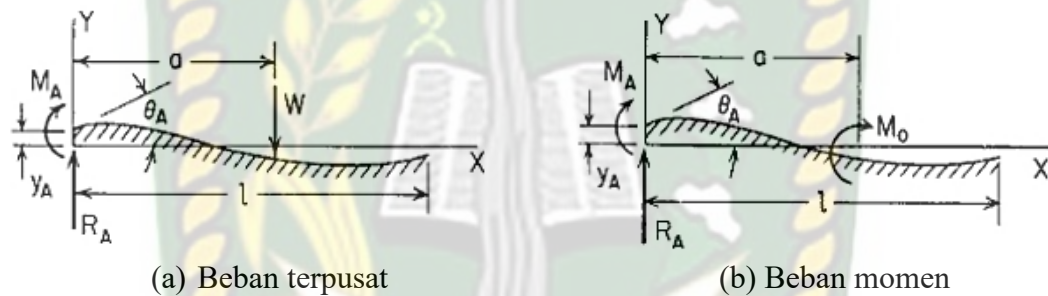
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10, terlihat bahwa balok mengalami lendutan yang diakibatkan oleh gaya-gaya vertikal, akibat gaya-gaya tersebut tanah memberikan reaksi gaya-gaya yang tersebar di seluruh pendukungnya. Dengan asumsi dasar bahwa besarnya  $P$  pada setiap titik berbanding lurus dengan defleksi balok  $\delta$  pada titik tersebut, sehingga dapat dirumuskan besarnya tekanan  $P$  sama dengan perkalian nilai modulus reaksi  $k$  dengan defleksi balok  $\delta$ . Gaya reaksi diasumsikan bekerja secara vertikal dan memiliki arah gaya yang berlawanan dengan arah defleksi balok. Ketika terdefleksi ke bawah, akan terjadi reaksi gaya tekanan dari media pendukungnya (tanah), sebaliknya jika terjadi defleksi ke atas akan terjadi reaksi gaya tarikan pada media pendukung. Sehingga dapat diasumsikan bahwa media pendukung dapat menahan gaya tarikan.

Menurut Hardiyatmo (2009), pelat beton untuk perkerasan kaku umumnya akan berperilaku sebagai struktur fleksibel. Untuk menghitung lendutan dengan teori BoEF maka diperlukan nilai modulus reaksi *subgrade* ( $k$ ). Apabila pelat didukung oleh kelompok tiang/cakar, maka dalam analisis lendutan digunakan nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ) yang memperhitungkan pengaruh kelompok tiang/cakar. Penggunaan konstanta pegas  $k'$  untuk analisis Pelat Terpaku menggunakan BoEF secara umum sudah memadai, untuk peningkatan kekakuan pelat akibat adanya tiang/cakar dapat dinyatakan dengan tambahan modulus reaksi tanah dasar ( $\Delta k$ ) (Puri, dkk., 2015). Maka dalam hal ini, nilai modulus reaksi *subgrade* ( $k$ ) yang dikombinasikan dengan nilai tambahan modulus reaksi *subgrade* ( $\Delta k$ ) menjadi nilai *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ) atau nilai



*subgrade* ( $k$ ) pada program BoEF yang diasumsikan menjadi media pendukung yang berperilaku sebagai pegas-pegas.

*Beams on Elastic Foundation* (BoEF) program adalah suatu program yang digunakan untuk kepentingan analisis dengan mengansumsikan bahwa pelat dianggap sebagai balok lurus dengan panjang terbatas (*Finite Beam*) yang didukung oleh media elastis di sepanjang bentangnya. Analisis program BoEF mengacu pada teori balok di atas fondasi elastis (BoEF). Pembebanan balok di atas fondasi elastis dengan beban terpusat dan beban momen dihitung dengan formula-formula Roark seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11.



**Gambar 3.11** Balok di atas fondasi elastis dengan panjang terbatas (Young dan Budynas, 2002 dalam Puri, dkk., 2013)

Defleksi akibat beban terpusat (Gambar 3.11a) bila dihitung dengan formula Roark (Young dan Budynas, 2002 dalam Puri, dkk., 2013) untuk balok di atas fondasi elastis dengan panjang terbatas adalah sebagai berikut:

$$y = y_A F_1 + \frac{\theta_A}{2\beta} F_2 + \frac{M_A}{2EI\beta^2} F_3 + \frac{R_A}{4EI\beta^3} F_4 - \frac{W}{4EI\beta^3} F_{a4} \quad (3.30)$$

Dimana untuk kedua ujung bebas,  $R_A = 0$  dan  $M_A = 0$  dan nilai  $\theta_A$  dan  $y_A$  adalah:

$$\theta_A = \frac{W}{2EI\beta^2} \frac{C_2 C_{a2} - 2C_3 C_{a1}}{C_{11}} \quad (3.31)$$

$$y_A = \frac{W}{2EI\beta^3} \frac{C_4 C_{a1} - C_3 C_{a2}}{C_{11}} \quad (3.32)$$

Sedangkan defleksi akibat beban momen (Gambar 3.10b) adalah:

$$y = y_A F_1 + \frac{\theta_A}{2\beta} F_2 + \frac{M_A}{2EI\beta^2} F_3 + \frac{R_A}{4EI\beta^3} F_4 + \frac{M_0}{2EI\beta^2} F_{a3} \quad (3.33)$$

Dimana untuk kedua ujung bebas,  $R_A = 0$  dan  $M_A = 0$  dan nilai  $\theta_A$  dan  $y_A$  adalah:

$$\theta_A = \frac{-M_0}{EI\beta} \frac{C_3 C_{a4} - C_2 C_{a1}}{C_{11}} \quad (3.34)$$

$$y_A = \frac{M_0}{2EI\beta^2} \frac{2C_3 C_{a1} - C_4 C_{a4}}{C_{11}} \quad (3.35)$$

Adapun untuk Persamaan (3.29) sampai dengan (3.34), nilai-nilai lainnya adalah:

$$F_1 = \cosh \beta x \cos \beta x \quad (3.36a)$$

$$F_2 = \cosh \beta x \sin \beta x + \sinh \beta x \cos \beta x \quad (3.36b)$$

$$F_3 = \sinh \beta x \cos \beta x \quad (3.36c)$$

$$F_4 = \cosh \beta x \sin \beta x - \sinh \beta x \cos \beta x \quad (3.36d)$$

$$F_{a3} = \sinh \beta(x - a) \sin \beta(x - a) \quad (3.36e)$$

$$F_{a4} = \cosh \beta(x - a) \sin \beta(x - a) - \sinh \beta(x - a) \cos \beta(x - a) \quad (3.36f)$$

$$C_2 = \cosh \beta l \sin \beta l + \sinh \beta l \cos \beta l \quad (3.36g)$$

$$C_3 = \sinh \beta l \cos \beta l \quad (3.36h)$$

$$C_4 = \cosh \beta l \sin \beta l - \sinh \beta l \cos \beta l \quad (3.36i)$$

$$C_{a1} = \cosh \beta(l - a) \cos \beta(l - a) \quad (3.36j)$$

$$C_{a2} = \cosh \beta(l - a) \sin \beta(l - a) + \sinh \beta(l - a) \cos \beta(l - a) \quad (3.36k)$$

$$C_{a4} = \cosh \beta(l - a) \sin \beta(l - a) - \sinh \beta(l - a) \cos \beta(l - a) \quad (3.36l)$$

$$C_{11} = \sinh^2 \beta l - \sin^2 \beta l \quad (3.36m)$$

dengan,

$W$  = beban terpusat (kN)

$\beta$  = fleksibilitas balok,  $\beta = \sqrt[4]{\frac{Bk}{4EI}}$

$k$  = modulus reaksi *subgrade* (kN/m<sup>3</sup>)

$E$  = kekakuan pelat (kN/m<sup>2</sup>)

$I$  = momen inersia pelat (m<sup>4</sup>)

$a$  = jarak beban terhadap tepi kiri balok (m)

$x$  = jarak titik yang ditinjau terhadap tepi kiri balok (m)

$l$  = panjang balok (m)

Program BoEF merupakan program yang mudah digunakan, proses analisis yang cepat serta output yang diperoleh lebih lengkap dengan grafiknya

berupa hubungan antara jarak dengan lendutan, momen dan gaya lintang pada pelat. Namun program ini hanya digunakan sebagai pendekatan analisis pada model 2D.



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

## BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

---

Perpustakaan Universitas Islam Riau

Dokumen ini adalah Arsip Miik :



**NOPRIADI – 153110551**

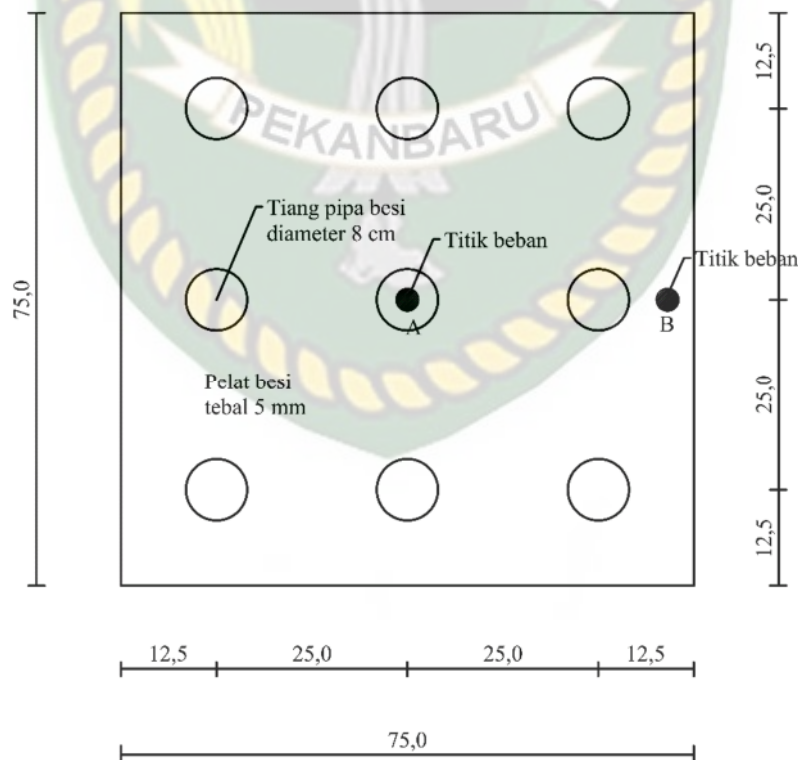
---

**Analisis Lendutan Dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Gambut Menggunakan Metode *Beams On Elastic Foundation***

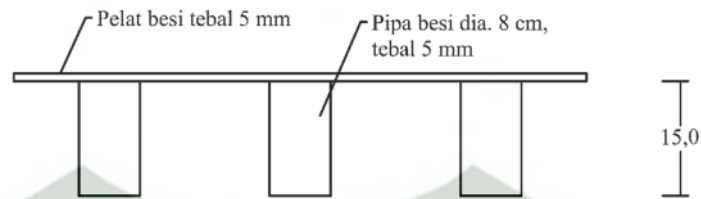
## BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

### 4.1 Objek Penelitian

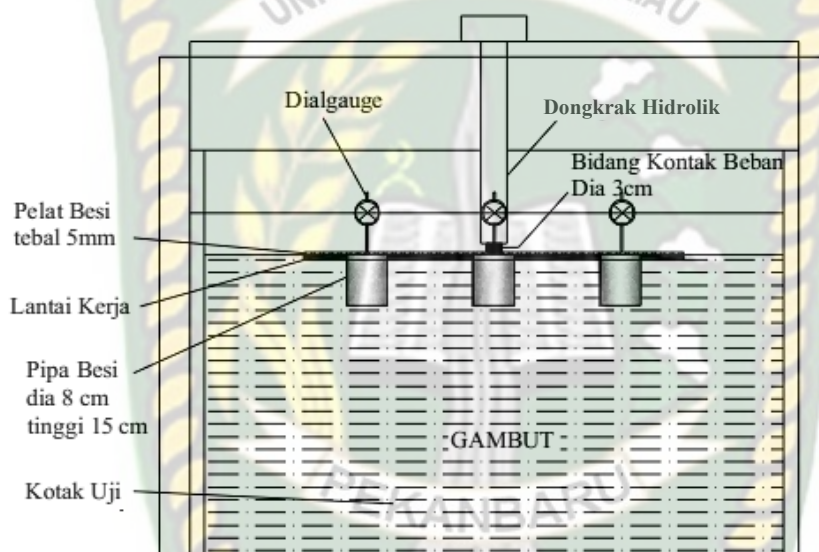
Objek yang digunakan pada penelitian ini adalah model perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) pada tanah gambut dengan ukuran pelat model 75 cm x 75 cm x 0,5 cm, didukung oleh cakar dengan diameter 8 cm dan tinggi 15 cm. Pelat dan cakar terbuat dari baja tebal 5 mm dan disambung dengan cara dilas. Variasi lantai kerja yang digunakan dalam analisis adalah lantai kerja 0 cm (tanpa lantai kerja) dan lantai kerja 1,5 cm, lantai kerja terbuat dari mortar  $f_c'$  14 Mpa. Pembebanan terletak di tengah bentang pelat (titik A) dan di tepi pelat (titik B) dengan diameter bidang kontak beban 3 cm. Objek penelitian model perkerasan Sistem CAM dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



(a) Denah



(b) Tampak

**Gambar 4.1** Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi (Hamdan, 2019)**Gambar 4.2** Skema pembebanan Sistem Cakar Ayam Modifikasi (Hamdan, 2019)

## 4.2 Tahapan Penelitian

Tahap-tahap penelitian pada penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### 1. Pengumpulan data

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data sekunder hasil uji model Sistem CAM pada gambut (Hamdan, 2019). Data-data yang dibutuhkan berupa:

- a. Data tanah dan beton
- b. Dimensi model perkerasan
- c. Pembebanan

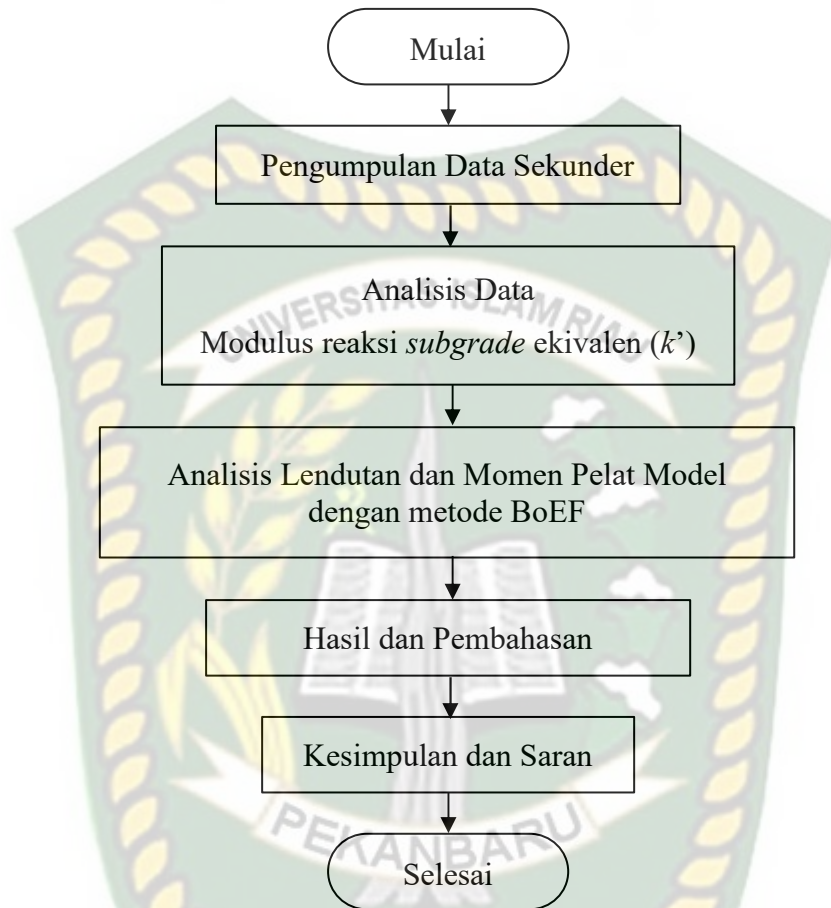
- d. Hasil lendutan pengamatan
- e. Data-data pendukung lainnya

## 2. Analisis Data

Pada penelitian ini analisis data dibagi atas dua bagian, yaitu:

- a. Perhitungan tambahan modulus reaksi *subgrade* akibat adanya cakar ( $\Delta k$ ) menggunakan metode Hardiyatmo, metode Hardiyatmo Modifikasi dan berdasarkan Grafik Puri untuk memperoleh nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ) dengan menggunakan lendutan pengamatan ( $\delta_s$ ) sebagai lendutan rencana ( $\delta_a$ ) serta memperhitungkan tahanan ujung cakar ( $Q_b$ ) agar analisis lebih aman.
  - b. Perhitungan lendutan dan momen pelat menggunakan metode BoEF (*Beams on Elastic Foundation*) dengan bantuan program “BoEF.xls” versi 1.6 yang dibuat oleh Alex Tomanovich, P.E. Perhitungan dilakukan dengan memasukkan nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ) berdasarkan masing-masing metode, dimensi pelat, modulus elastisitas pelat, berat sendiri pelat dan nilai beban serta posisi beban.
- ## 3. Hasil dan Pembahasan
- Membahas hasil-hasil analisis yang telah dilakukan dan disederhanakan dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil analisis merupakan lendutan dan momen pelat yang dipengaruhi oleh variasi ketebalan lantai kerja, beban dan pengaruh tahanan ujung cakar.
- ## 4. Kesimpulan
- Menyimpulkan pola lendutan dan momen akibat penerapan  $k'$  metode Hardiyatmo, metode Hardiyatmo Modifikasi, dan berdasarkan Grafik Puri dengan analisis BoEF. Kemudian membandingkan lendutan perhitungan dengan lendutan pengamatan berdasarkan variasi ketebalan lantai kerja, serta membandingkan pola lendutan dan momen saat  $Q_b = 0$  dan  $Q_b > 0$ .

Lebih jelasnya tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Bagan alir penelitian

### 4.3 Cara Analisis

Analisis pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode BoEF. Analisis dengan metode BoEF dilakukan secara semi-manual, perhitungan  $k'$  dan  $\Delta k$  dilakukan secara manual. Perhitungan  $\Delta k$  menggunakan teori metode Hardiyatmo, metode Hardiyatmo Modifikasi dan berdasarkan Grafik Puri, sedangkan perhitungan lendutan dan momen pelat dilakukan dengan bantuan program “BoEF.xls” versi 1.6 yang dibuat oleh Alex Tomanovich, P.E.

Perhitungan  $\Delta k$  pada model perkerasan Sistem CAM membutuhkan data cakar yang digunakan, seperti ukuran penampang dan panjang cakar. Perhitungan dilakukan dengan memperhitungkan pengaruh tahanan ujung cakar ( $Q_b = 0$  dan  $Q_b$



> 0). Selanjutnya, dilakukan perhitungan  $k'$  dengan menjumlahkan nilai modulus reaksi *subgrade* ( $k$ ) dan  $\Delta k$ . Nilai  $k$  diperoleh dari grafik hubungan antara  $k$  dan CBR (Austroads, 1997; FAA, 1995), dapat dilihat pada Gambar 3.5, kemudian dilakukan koreksi nilai  $k$  terhadap ukuran pelat menggunakan metode Das (2011).

Perhitungan lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem CAM dihitung dengan variasi ketebalan lantai kerja ( $LC = 0$  cm; 1,5 cm), dimana lantai kerja dianggap sebagai pelat yang komposit dengan pelat model perkerasan Sistem CAM, sehingga berat sendiri pelat ( $w$ ) akan dihitung berdasarkan berat jenis material yang akan digunakan pada model Sistem CAM tersebut.

Berikut merupakan tampilan *input* data dari program BoEF berbasis *Microsoft Excel* yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.

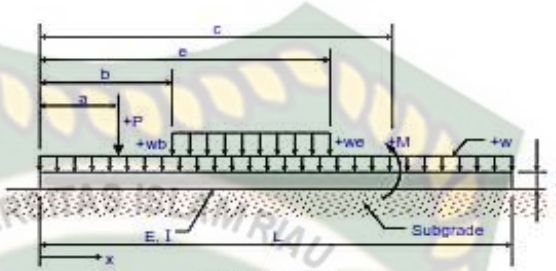
**BEAM ON ELASTIC FOUNDATION ANALYSIS**  
For Soil Supported Beam, Combined Footing, Slab Strip or Mat Strip  
of Assumed Finite Length with Both Ends Free

Job Name:	Tugas Akhir	Subject:	Model Pelat Sistem CAM
Job Number:	Tanpa Lantai Kerja; Beban Sentris	Originator:	Checker:

**Input Data:**

**Beam Data:**

Length, L = 0,7500 m  
Width, B = 0,2500 m  
Thickness, T = 0,0050 m  
Modulus, E = 200000 MPa  
Subgrade,  $k_s$  = 1358,012 kN/m<sup>3</sup>



**Beam Loadings:**

Full Uniform:  $w = 0,0981$  kN/m

Distributed:	Start		End	
	b (m)	Wb (kN/m)	B (m)	We (kN/m)
#1:				
#2:				
#3:				
#4:				
#5:				
#6:				

Point Loads:	a (m)	P (kN)
	#1:	0,3750
#2:		
#3:		
#4:		
#5:		
#6:		
#7:		
#8:		
#9:		
#10:		
#11:		
#12:		

Moments:	C (m)	M (kN-m)
	#1:	
#2:		
#3:		
#4:		

**Nomenclature**

**Results:**

**Beam Flexibility Criteria:**  
for  $\beta^*L \leq \pi/4$  beam is rigid  
for  $\pi/4 < \beta^*L < \pi$  beam is semi-rigid  
for  $\beta^*L \geq \pi$  beam is flexible  
for  $\beta^*L \geq 6$  beam is semi-infinite long

Inertia,  $I = 0,00000$  m<sup>4</sup>  $I = B^3T^3/12$   
 $\beta = 3,573$   $\beta = ((k_s \cdot B)/(4 \cdot E \cdot I))^{1/4}$   
 $\beta^*L = 2,680$   $\beta^*L = \text{Flexibility Factor}$

**Beam is semi-rigid**

**Max. Shears and Locations:**  
 $+V_{(max)} = 0,11$  kN @  $X = 0,38$  m  
 $-V_{(max)} = -0,11$  kN @  $X = 0,38$  m

**Max. Moments and Locations:**  
 $+M_{(max)} = 0,02$  kN-m @  $X = 0,38$  m  
 $-M_{(max)} = 0,00$  kN-m @  $X = 0,00$  m

**Max. Deflection and Location:**  
 $\Delta_{(max)} = -1,538$  mm @  $X = 0,38$  m

**Soil Pressures, Locations, and %Brg. Area:**  
 $Q_{(max)} = 2,089$  kPa @  $X = 0,38$  m  
 $Q_{(min)} = 0,769$  kPa @  $X = 0,00$  m  
%Brg. Area = 100,00 %

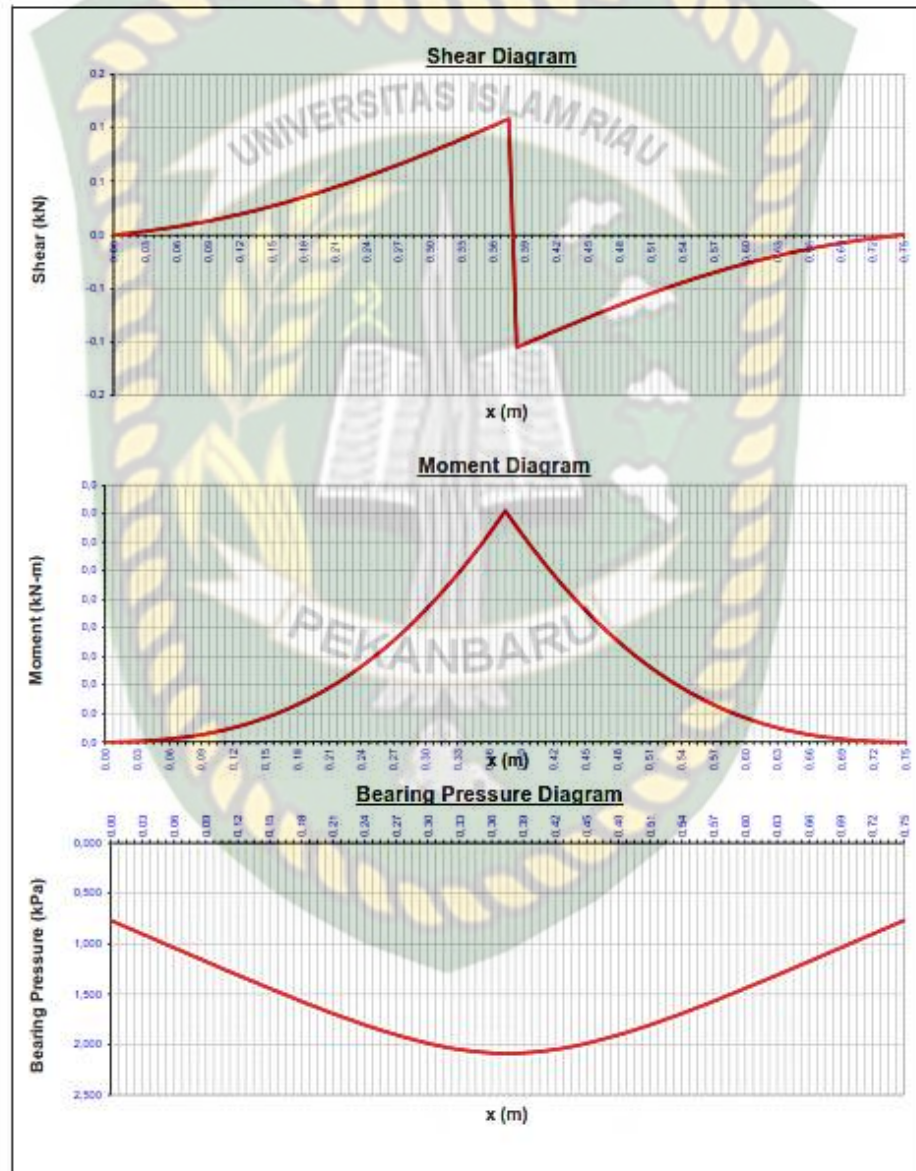
**Comments:**

**Gambar 4.4** Tampilan input data program BoEF dalam Ms. Excel

Dari Gambar 4.4 diketahui parameter data yang di-input pada program "BoEF.xls" versi 1.6 yaitu panjang pelat, lebar pelat, tebal pelat, modulus elastisitas ( $E$ ), nilai modulus *subgrade* ( $k$ ) yang diproyeksikan dengan nilai modulus reaksi *subgrade* ekivalen ( $k'$ ), berat sendiri pelat ( $w$ ) serta jumlah beban dan titik yang akan dihitung (*point loads*). Pada penelitian ini perhitungan

lendutan dan momen pelat dilakukan dengan beban 0,0542 kN; 0,1084 kN; 0,1626 kN; 0,2168 kN; 0,271 kN di titik A dan titik B.

Selanjutnya tampilan *output* dari program BoEF berbasis *Miscrosoft Excel* yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.



(a)

**Gambar 4.5** Tampilan *output* program BoEF dalam *Ms. Excel*

(a) *Output* grafik, (b) *Output* tabel

Tabulation of Beam Shear, Moment, Deflection, and Bearing Pressure for 100 Equal Segments					
Point #	x (m)	Shear (kN)	Moment (kN-m)	Deflection (mm)	Bearing Pressure (kPa)
1	0,0000	0,00	0,00	-0,5660	0,769
2	0,0075	0,00	0,00	-0,5910	0,803
3	0,0150	0,00	0,00	-0,6160	0,837
4	0,0225	0,00	0,00	-0,6410	0,870
5	0,0300	0,00	0,00	-0,6660	0,904
6	0,0375	0,00	0,00	-0,6910	0,938
7	0,0450	0,01	0,00	-0,7160	0,972
8	0,0525	0,01	0,00	-0,7410	1,006
9	0,0600	0,01	0,00	-0,7660	1,040
10	0,0675	0,01	0,00	-0,7910	1,074
11	0,0750	0,01	0,00	-0,8160	1,108
12	0,0825	0,01	0,00	-0,8410	1,142
13	0,0900	0,01	0,00	-0,8660	1,176
14	0,0975	0,01	0,00	-0,8910	1,210
15	0,1050	0,02	0,00	-0,9160	1,244
16	0,1125	0,02	0,00	-0,9400	1,277
17	0,1200	0,02	0,00	-0,9650	1,310
18	0,1275	0,02	0,00	-0,9890	1,343
19	0,1350	0,02	0,00	-1,0140	1,377
20	0,1425	0,02	0,00	-1,0380	1,410
21	0,1500	0,03	0,00	-1,0620	1,442
22	0,1575	0,03	0,00	-1,0860	1,475
23	0,1650	0,03	0,00	-1,1090	1,506
24	0,1725	0,03	0,00	-1,1330	1,539
25	0,1800	0,04	0,00	-1,1560	1,570
26	0,1875	0,04	0,00	-1,1790	1,601
27	0,1950	0,04	0,00	-1,2020	1,632
28	0,2025	0,04	0,00	-1,2240	1,662
29	0,2100	0,04	0,00	-1,2460	1,692
30	0,2175	0,05	0,00	-1,2670	1,721
31	0,2250	0,05	0,00	-1,2880	1,749
32	0,2325	0,05	0,00	-1,3090	1,778
33	0,2400	0,05	0,01	-1,3290	1,805
34	0,2475	0,06	0,01	-1,3480	1,831
35	0,2550	0,06	0,01	-1,3670	1,856
36	0,2625	0,06	0,01	-1,3850	1,881
37	0,2700	0,07	0,01	-1,4020	1,904
38	0,2775	0,07	0,01	-1,4190	1,927
39	0,2850	0,07	0,01	-1,4350	1,949
40	0,2925	0,07	0,01	-1,4500	1,969
41	0,3000	0,08	0,01	-1,4640	1,988
42	0,3075	0,08	0,01	-1,4770	2,006
43	0,3150	0,08	0,01	-1,4890	2,022
44	0,3225	0,09	0,01	-1,5000	2,037
45	0,3300	0,09	0,01	-1,5090	2,049
46	0,3375	0,09	0,01	-1,5180	2,061
47	0,3450	0,10	0,01	-1,5250	2,071
48	0,3525	0,10	0,01	-1,5300	2,078
49	0,3600	0,10	0,01	-1,5340	2,083
50	0,3675	0,11	0,02	-1,5370	2,087
51	0,3750	0,11	0,02	-1,5380	2,089
52	0,3825	-0,11	0,02	-1,5370	2,087
53	0,3900	-0,10	0,01	-1,5340	2,083
54	0,3975	-0,10	0,01	-1,5300	2,078
55	0,4050	-0,10	0,01	-1,5250	2,071
56	0,4125	-0,09	0,01	-1,5180	2,061
57	0,4200	-0,09	0,01	-1,5090	2,049
58	0,4275	-0,09	0,01	-1,5000	2,037
59	0,4350	-0,08	0,01	-1,4890	2,022
60	0,4425	-0,08	0,01	-1,4770	2,006
61	0,4500	-0,08	0,01	-1,4640	1,988
62	0,4575	-0,07	0,01	-1,4500	1,969
63	0,4650	-0,07	0,01	-1,4350	1,949
64	0,4725	-0,07	0,01	-1,4190	1,927
65	0,4800	-0,07	0,01	-1,4020	1,904
66	0,4875	-0,06	0,01	-1,3850	1,881

(b)

Gambar 4.5 Lanjutan

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dilihat *output* dari program ini berupa grafik dan tabel. Gambar 4.5a merupakan tampilan *output* grafik yang menunjukkan *Shear Diagram*, *Momen Diagram* dan *Bearing Pressure Diagram*. Sedangkan Gambar 4.5b merupakan tampilan *output* tabel nilai geser (kN), momen (kNm), lendutan (mm) dan gaya dukung tanah (kPa). Pada penelitian ini, nilai yang akan diambil hanya *output* tabel berupa nilai lendutan dan nilai momen yang kemudian nilai tersebut akan disusun berdasarkan variabel yang divariasikan. *Output* data lendutan yang dihasilkan dari program ini ditampilkan dengan nilai negatif (-), nilai negatif diasumsikan ke bawah, sehingga grafik lendutan mengarah ke bawah. Sedangkan *output* data momen yang dihasilkan ditampilkan dengan nilai positif (+) akibat beban tengah dan nilai negatif (-) akibat beban tepi.

Hasil lendutan perhitungan kemudian dibandingkan dengan lendutan pengamatan guna melihat pengaruh variasi ketebalan lantai kerja ( $LC = 0$  cm; 1,5 cm) dan pengaruh tahanan ujung cakar ( $Q_b$ ) terhadap pola lendutan pelat model perkerasan Sistem CAM. Hasil momen perhitungan juga dilihat berdasarkan variasi ketebalan lantai kerja dan pengaruh tahanan ujung cakar.

Tahapan analisis yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Bagan alir analisis

## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

---

Perpustakaan Universitas Islam Riau

Dokumen ini adalah Arsip Miik :



**NOPRIADI – 153110551**

---

**Analisis Lendutan Dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Gambut Menggunakan Metode *Beams On Elastic Foundation***

## BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Deskripsi Umum

Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) merupakan salah satu alternatif metode untuk meningkatkan kinerja perkerasan kaku pada tanah lunak. Tiang-tiang pendek (cakar) yang dipasang di bawah pelat berfungsi untuk memberikan kekakuan pada pelat, hubungan antara pelat-tiang-tanah di sekitarnya menciptakan perkerasan yang lebih kaku dan lebih tahan terhadap deformasi tanah.

Pada perancangan Sistem CAM sebagai perkerasan kaku (*rigid pavement*), diperlukan nilai lendutan dan momen pelat yang dapat dianalisis dengan metode *Beams on Elastic Foundation* (BoEF). Analisis dengan metode BoEF membutuhkan modulus reaksi tanah dasar (*subgrade*) ekuivalen ( $k'$ ) yang diperoleh dengan menjumlahkan modulus reaksi *subgrade* ( $k$ ) dan tambahan modulus reaksi *subgrade* akibat adanya cakar ( $\Delta k$ ). Dalam perhitungan  $\Delta k$  digunakan beberapa metode yaitu metode Hardiyatmo, metode Hardiyatmo Modifikasi dan berdasarkan Grafik Puri. Dalam menentukan tambahan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen, tahanan ujung cakar diabaikan ( $Q_b = 0$ ) dikarenakan diameter ujung cakar yang kecil dan terletak pada tanah lunak, namun untuk mengetahui akibat pengaruh tahanan ujung cakar, maka perhitungan juga dilakukan dengan memperhitungkan tahanan ujung cakar ( $Q_b > 0$ ) sebagai perbandingan, hal ini juga bertujuan agar analisis lebih aman. Dalam analisis dengan metode BoEF akan ditinjau dengan variasi ketebalan lantai kerja yaitu tanpa lantai kerja ( $LC = 0$  cm) dan dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$  cm).

### 5.2 Data Acuan Penelitian

Data acuan penelitian yang digunakan yaitu data sekunder hasil uji laboratorium model Sistem Cakar Ayam Modifikasi pada tanah gambut (Hamdan, 2019) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Berdasarkan Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa model Sistem CAM memiliki ukuran pelat 75 cm x 75 cm x 0,5 cm yang didukung oleh cakar diameter 8 cm dengan tinggi 15 cm. Model Sistem CAM terletak di dalam bak pengujian berukuran 120 cm x 120 cm x 120 cm yang diisi dengan tanah gambut. Cakar dan pelat terbuat dari baja dengan ketebalan 0,5 cm yang terhubung secara monolit dengan cara di-las.

### 5.2.1 Klasifikasi Tanah dan Beton

Pada penelitian ini, klasifikasi objek diambil dari penelitian terdahulu (Hamdan, 2019). Tanah gambut yang diambil berasal dari daerah Langgam provinsi Riau. Sifat tanah gambut yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.1.

**Tabel 5.1** Sifat-sifat tanah gambut (Hamdan, 2019)

No.	Parameter	Besaran	Satuan
1.	Berat Spesifikasi, $G_s$	1,53	-
2.	Kadar Air, $w$	351,092	%
3.	Berat Volume Basah, $\gamma$	15,47	kN/m <sup>3</sup>
4.	Berat Kolume Kering, $\gamma_d$	3,43	kN/m <sup>3</sup>
5.	Kuat Geser <i>Undrained</i> , $S_u$	15	kN/m <sup>2</sup>
6.	<i>CBR</i>	1,45	%

Pembuatan lantai kerja pada model sistem CAM menggunakan mutu beton  $f_c'$  14 Mpa yang diperoleh dengan cara *trial* dari pengujian sampel berupa kubus berukuran 5 cm x 5 cm, menggunakan material pasir lokal dan semen PCC (*Portland Pozzolanic Cement*) yang dicampur dengan air dengan perbandingan berat antara 1:2, 1:3 dan 1:4. Dengan menggunakan campuran 1:3, diperoleh hasil seperti pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.2** Hasil uji kuat tekan beton 5 cm x 5 cm (Hamdan, 2019)

No. Uji	Umur Uji (hari)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	BeratVolume (gr/cm <sup>3</sup> )	Beban (kN)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>3</sup> )	$f_c'$ (Mpa)
1.	28	25	2,2	41	167,18	13,88
2.	28	25	2,208	43	175,34	14,55
3.	28	25	2,232	44	179,41	14,89

### 5.2.2 Pembebanan

Titik beban kerja bervariasi yaitu beban tengah bentang pelat (beban A) dan beban tepi pelat (beban B) dengan diameter titik beban 3 cm. Jarak beban A dari tepi kiri pelat yaitu 37,5 cm, sedangkan jarak beban B dari tepi kiri pelat yaitu 68,5 cm. Beban kerja yang digunakan adalah 0,0542 kN; 0,1084 kN; 0,1626 kN; 0,2168 kN; dan 0,271 kN. Pembebanan mengikuti ASTM D 1143 81 *Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load*, sesuai dengan beban yang ditinjau pada penelitian terdahulu (Hamdan, 2019). Data pembebanan dapat dilihat pada Lampiran C.

### 5.3 Pengaruh Tahanan Ujung Cakar terhadap Perhitungan $\Delta k$ dan $k'$

Seperti yang telah diuraikan pada bab IV, ukuran model pelat adalah 75 cm x 75 cm dengan ketebalan 0,5 cm terbuat dari baja yang didukung oleh 3 baris cakar dengan diameter 8 cm dan tinggi 15 cm. Namun untuk kebutuhan analisis, yang tinjau hanya 1 baris cakar, sehingga ukuran pelat model perkerasan sistem CAM menjadi 75 cm x 25 cm.

Perhitungan lendutan dan momen pelat model perkerasan Sistem CAM dengan metode BoEF membutuhkan nilai  $k'$  yang diperoleh dengan menjumlahkan modulus reaksi *subgrade* ( $k$ ) dan tambahan modulus reaksi *subgrade* akibat adanya cakar ( $\Delta k$ ). Nilai  $k$  diperoleh dari grafik hubungan antara  $k$  dan CBR (Austroads, 1997) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5, sehingga dengan CBR = 1,45% diperoleh nilai  $k$  sebesar 8,5875 kPa/mm atau 8587,5 kN/m<sup>3</sup>. Kemudian dilakukan koreksi nilai  $k$  terhadap ukuran pelat dengan Persamaan 3.2 (mengacu pada metode Das, 2011), maka nilai  $k$  untuk pelat model sistem Cakar Ayam Modifikasi dengan  $B = 0,25$  m adalah 257,625 kN/m<sup>3</sup>.

Perhitungan tambahan modulus reaksi *subgrade* ( $\Delta k$ ) menggunakan beberapa metode yaitu metode Hardiyatmo, metode Hardiyatmo Modifikasi dan berdasarkan Grafik Puri dengan  $\delta_a = \delta_s$ . Dalam perhitungan  $\Delta k$  dan  $k'$  dibutuhkan data dan besaran yang disajikan pada Tabel 5.3.

**Tabel 5.3** Data dan besaran perhitungan  $\Delta k$  dan  $k'$ 

No.	Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
1.	Dimensi pelat model baja,			
a.	Panjang pelat, ( $L$ )	0,75	m	
b.	Lebar pelat, ( $B$ )	0,25	m	Perhitungan ditinjau pada satu baris cakar, sehingga $B = 0,25$ m
c.	Tebal, ( $T$ )	0,005	m	
2.	Dimensi tiang/cakar,			
a.	Diameter, ( $D$ )	0,08	m	Lendutan rencana yang digunakan sama dengan lendutan pengamatan, $\delta_a = \delta_s = 0,00258$ m
b.	Panjang, ( $L_p$ )	0,15	m	
c.	Jarak antar cakar, ( $s$ )	0,25	m	
3.	Kohesi <i>undrained</i> , ( $c_u$ )	15	kN/m <sup>2</sup>	
4.	$k_v$	8587,5	kN/m <sup>3</sup>	Berdasarkan grafik Austroads (1997) dengan CBR = 1,45%
5.	Modulus reaksi <i>subgrade</i> , ( $k$ )	257,625	kN/m <sup>3</sup>	Koreksi $k_v$ terhadap ukuran pelat dengan metode Das (2011), kemudian dikalikan dengan $B$
6.	Tahanan satuan ultimit,			
a.	Tahanan gesek satuan ultimit, ( $f_s$ )	15,0626	kN/m <sup>2</sup>	Berdasarkan kurva Tomlinson pada grafik McClelland (1974), dengan $c_u = 15$ kN/m <sup>2</sup> diperoleh faktor adhesi ( $a_d$ ) = 1,0. Maka $f_s = a_d c_u + p_o' K_a \text{tg } \delta$
b.	Tahanan ujung satuan ultimit, ( $f_b$ )	135	kN/m <sup>2</sup>	Menurut Skempton (1959), faktor kapasitas dukung tiang pada tanah lunak ( $N_c$ ) = 9. Maka $f_b = c_u N_c$
7.	Luas pelat yang didukung cakar, ( $A_{ps}$ )	0,063	m <sup>2</sup>	$A_{ps} = s^2$
8.	Luas selimut cakar, ( $A_s$ )	0,038	m <sup>2</sup>	$A_s = \pi D L_p$
9.	Luas penampang ujung cakar, ( $A_b$ )	0,00005024	m <sup>2</sup>	$A_b = \pi r^2$

Berdasarkan Tabel 5.3 diketahui nilai luas selimut cakar ( $A_s$ ) dan luas penampang ujung cakar ( $A_b$ ), serta nilai tahanan gesek satuan ultimit cakar ( $f_s$ ) dan tahanan ujung satuan ultimit cakar ( $f_b$ ) yang digunakan untuk menghitung  $\Delta k$  pada saat  $Q_b = 0$  dan  $Q_b > 0$ . Hasil perhitungan  $\Delta k$  dan  $k'$  dengan metode Hardiyatmo, metode Hardiyatmo Modifikasi dan berdasarkan Grafik Puri disajikan dalam bentuk tabel pada Lampiran A-9, sedangkan perhitungan lebih lengkap disajikan pada Lampiran A-4 sampai A-8. Dari hasil perhitungan  $\Delta k$  dan  $k'$  menunjukkan

bahwa metode-metode yang digunakan untuk perhitungan  $\Delta k$  berpengaruh terhadap nilai  $\Delta k$  dan  $k'$  yang dihasilkan. Untuk  $\Delta k$  yang diperoleh berdasarkan Grafik Puri, nilai yang diperoleh lebih rendah dari metode yang lainnya, sehingga  $k'$  juga rendah. Menurut Puri (2017), khusus untuk memperhitungkan lendutan dan momen pelat akibat beban tepi,  $k'$  yang dihasilkan berdasarkan Grafik Puri dapat dikalikan dengan faktor penyesuaian sebesar 1,0 s.d 2,0.

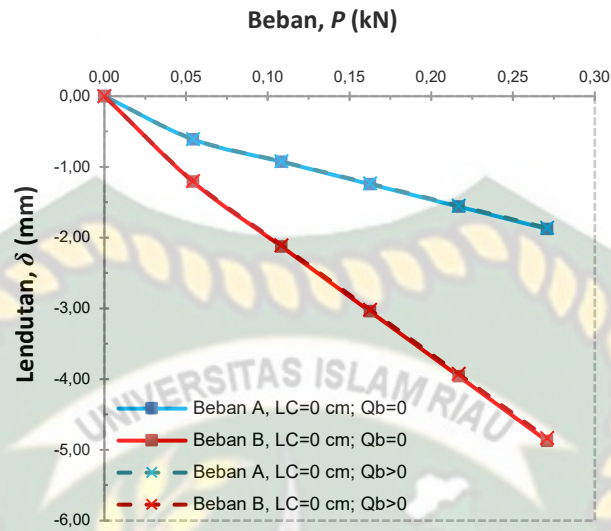
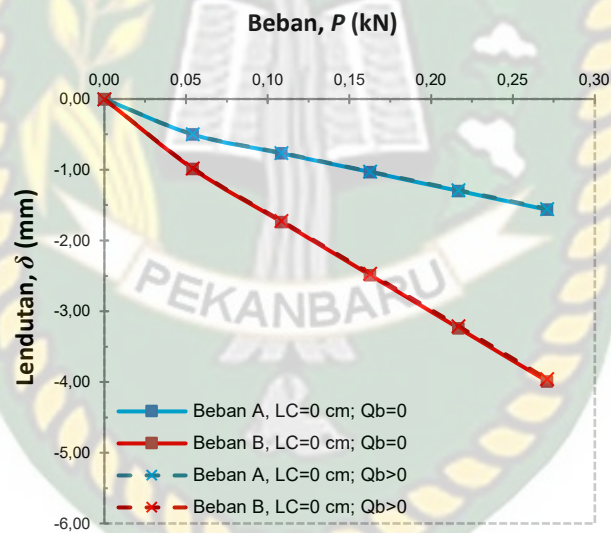
Selain penerapan variasi  $k'$  pada model perkerasan Sistem CAM dalam perhitungan BoEF, analisis juga disertai dengan variasi ketebalan lantai kerja ( $LC = 0$  cm dan  $LC = 1,5$  cm).

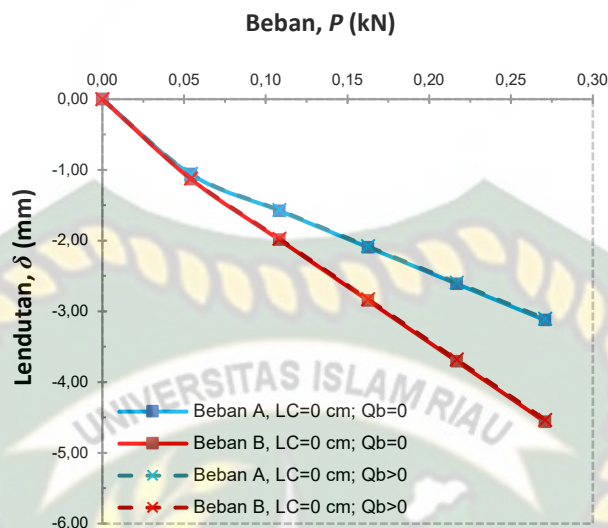
#### **5.4 Lendutan dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi dengan Analisis Metode BoEF**

##### **5.4.1 Pelat Model Tanpa Lantai Kerja**

Model perkerasan Sistem CAM tanpa lantai kerja memiliki ukuran pelat 75 cm x 75 cm dengan tebal 0,5 cm dari bahan baja. Perhitungan pada pelat model tanpa lantai kerja ( $LC = 0$  cm) ditinjau dengan beban 0,0542 kN; 0,1084 kN; 0,1626 kN; 0,2168 kN; 0,271 kN di tengah pelat (beban A) dan di tepi pelat (beban B).

Berikut hubungan beban dan lendutan pada pelat model sistem CAM tanpa lantai kerja ( $LC = 0$  cm) yang diperoleh dari perhitungan program *BoEF.xls* dengan pembebanan di tengah (titik A) dan di tepi (titik B) berdasarkan variasi  $k'$ , seperti disajikan pada Gambar 5.1.

(a) Dengan  $k'$  metode Hardiyatmo(b) Dengan  $k'$  metode Hardiyatmo Modifikasi



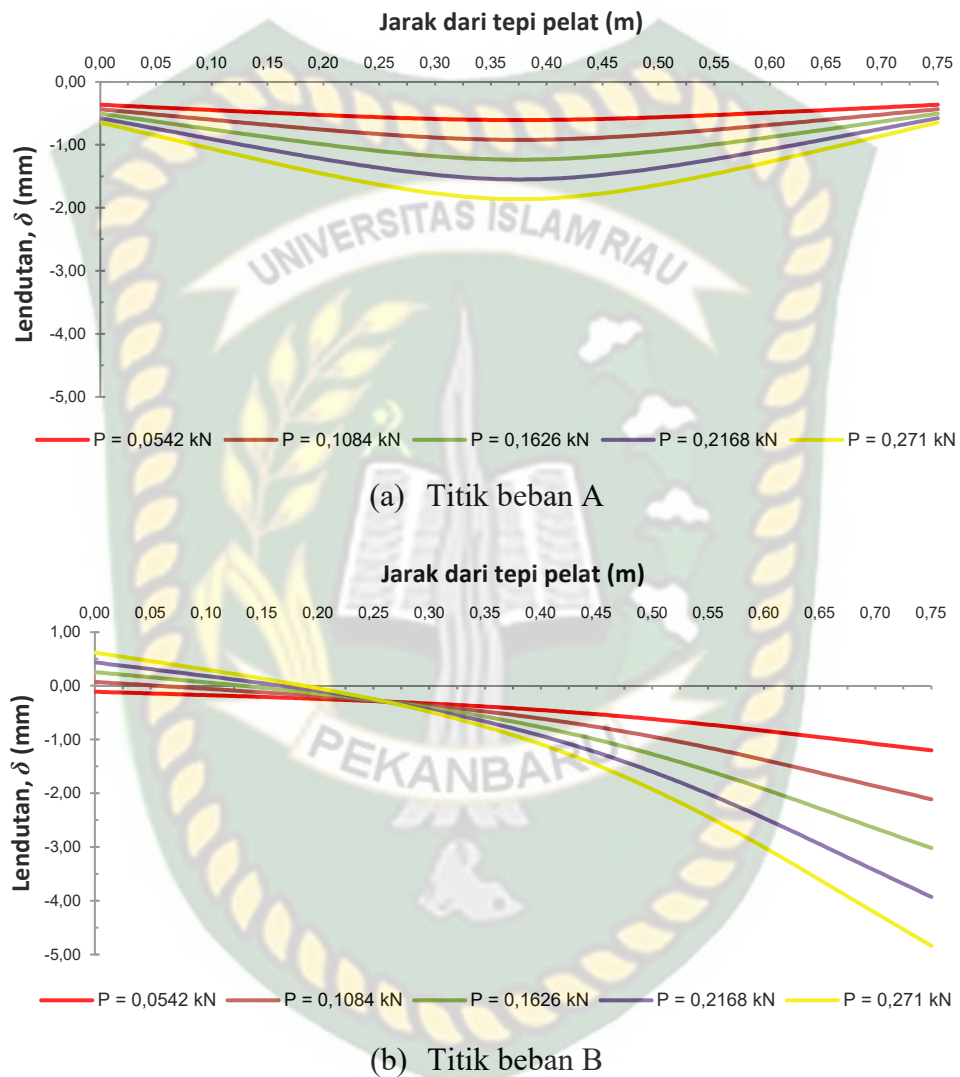
(c) Dengan  $k'$  berdasarkan Grafik Puri

**Gambar 5.1** Hubungan  $P$ - $\delta$  pada pelat tanpa lantai kerja dengan variasi nilai  $k'$

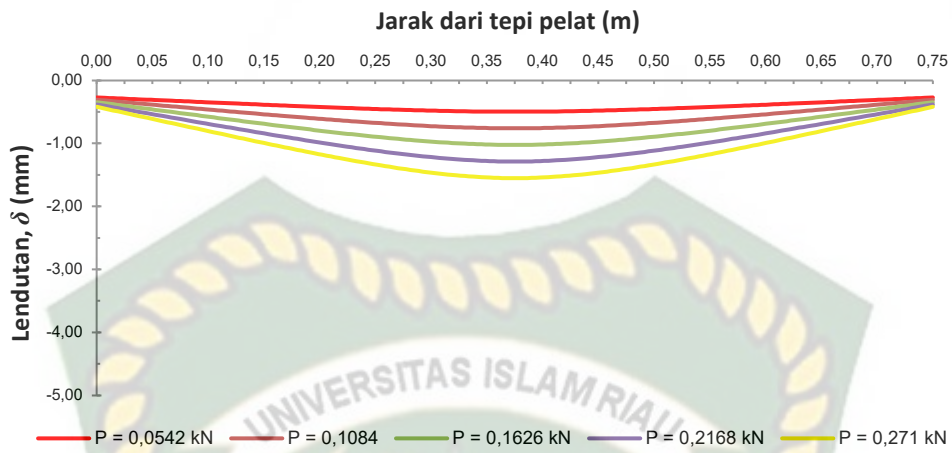
Hubungan  $P$ - $\delta$  terhadap pelat model tanpa lantai kerja berdasarkan variasi nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ) seperti pada Gambar 5.1 terlihat bahwa  $k'$  yang digunakan baik pada saat tahanan ujung cakar diabaikan ( $Q_b = 0$ ) atau saat tahanan ujung cakar diperhitungkan ( $Q_b > 0$ ) tidak berpengaruh signifikan terhadap lendutan yang dihasilkan. Berdasarkan perbandingan yang telah dilakukan,  $Q_b$  hanya mereduksi lendutan sebesar 0,6 % sampai 1%. Untuk selisih lendutan yang dihasilkan dengan analisis BoEF saat  $Q_b = 0$  dan  $Q_b > 0$  dapat dilihat pada tabel Lampiran A-18 sampai A-20. Maka untuk analisis selanjutnya akan digunakan  $k'$  saat  $Q_b > 0$ . Kemudian untuk pengaruh posisi beban kerja pada pelat model perkerasan Sistem CAM, analisis menunjukkan perhitungan dengan beban di tepi pelat (beban B) menghasilkan lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan beban di tengah pelat (beban A). Sehingga lendutan akibat beban B sangat penting untuk diperhitungkan dalam perencanaan perkerasan sistem CAM. Hasil perhitungan lendutan lebih lengkap dapat dilihat pada tabel Lampiran A-10 dan A-13.

Distribusi lendutan sepanjang pelat model perkerasan sistem CAM tanpa lantai kerja ( $LC = 0$  cm) yang diperoleh dari perhitungan program *BoEF.xls*

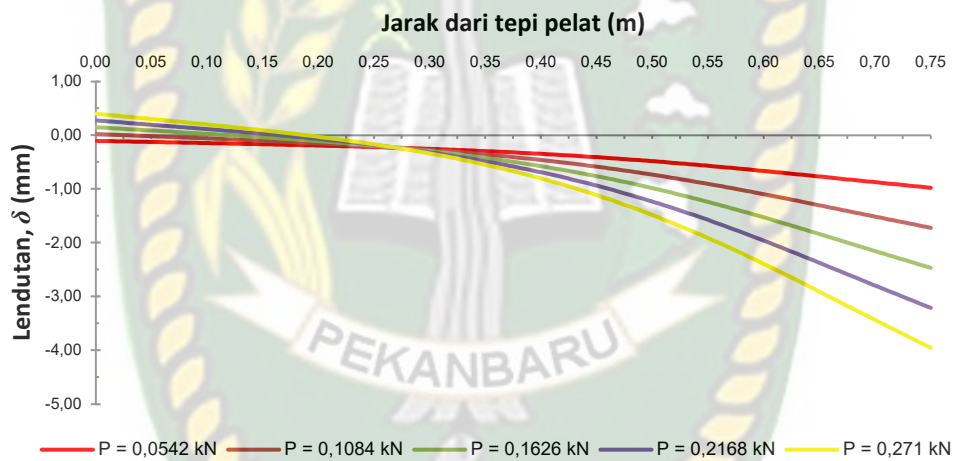
dengan pembebanan di tengah (titik A) dan di tepi (titik B) berdasarkan variasi  $k'$  disajikan pada Gambar 5.2 sampai Gambar 5.4.



**Gambar 5.2** Distribusi lendutan pelat tanpa lantai kerja dengan  $k'$  metode Hardiyatmo



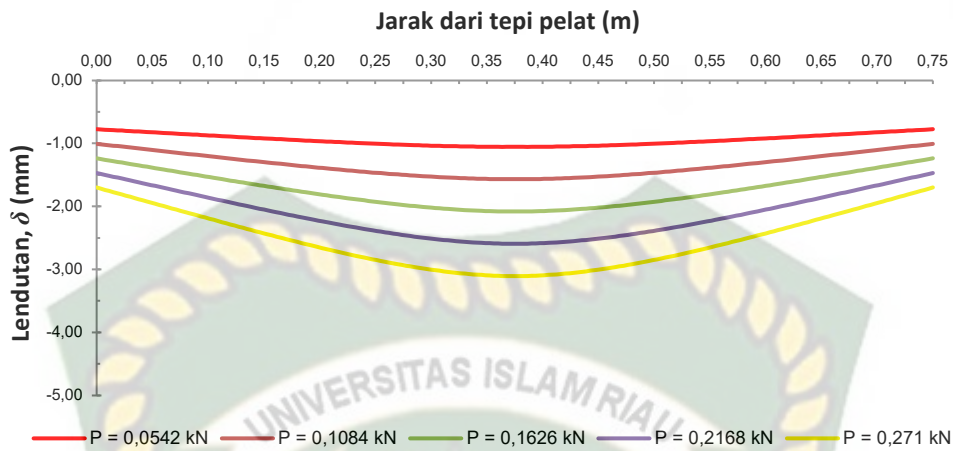
(a) Titik beban A



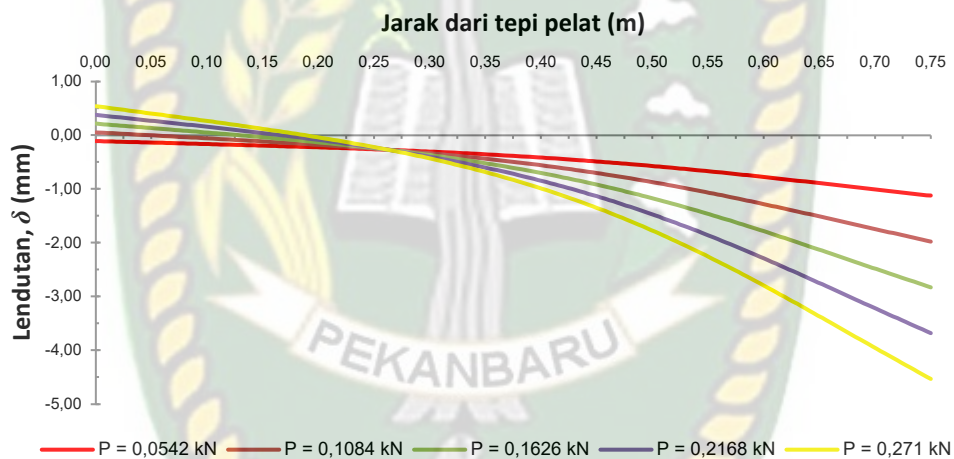
(b) Titik beban B

**Gambar 5.3** Distribusi lendutan pelat tanpa lantai kerja dengan  $k'$  metode Hardiyatmo Modifikasi





(a) Titik beban A

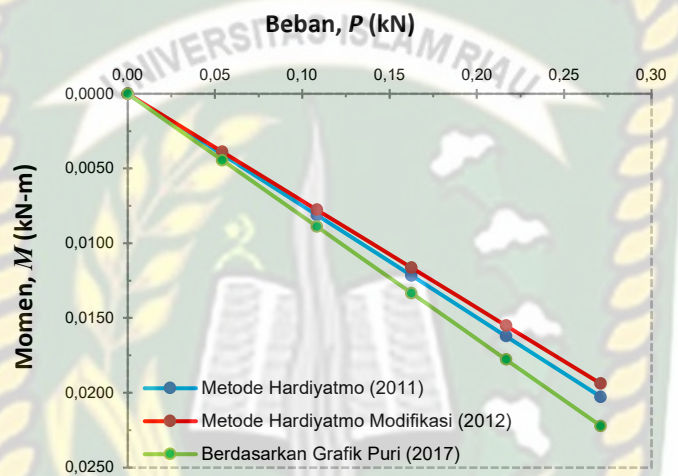


(b) Titik beban B

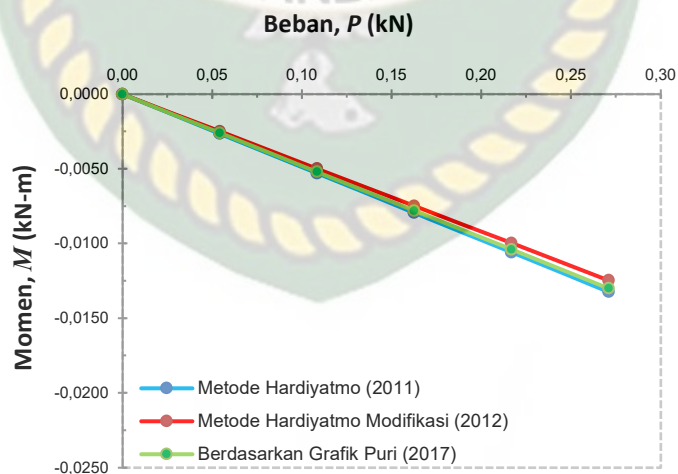
**Gambar 5.4** Distribusi lendutan pelat tanpa lantai kerja dengan  $k'$  berdasarkan Grafik Puri

Distribusi lendutan sepanjang pelat tanpa lantai kerja seperti pada Gambar 5.2 sampai 5.4 menunjukkan perilaku yang sama. Lendutan terbesar terjadi pada titik beban kerja, dan lendutan semakin berkurang seiring menjauhi titik beban kerja. Akibat beban A, terlihat pelat melengkung ke bawah seperti mangkok. Sementara akibat beban B, pelat mengalami jungkitan pada sisi ujung yang tidak diberi beban. Hal ini penting untuk diperhatikan dalam kebutuhan perancangan. Hasil lebih lengkap disajikan pada tabel Lampiran A-25 sampai A-54.

Momen pelat yang diperoleh dengan analisis BoEF menunjukkan hasil momen maksimum positif (+) akibat beban A dan momen maksimum negatif (-) akibat beban B. Hubungan beban dan momen pada pelat model perkerasan sistem CAM tanpa lantai kerja ( $LC = 0$  cm) yang diperoleh dari perhitungan program *BoEF.xls* dengan pembebanan di tengah (titik A) dan di tepi (titik B) berdasarkan variasi  $k'$  disajikan pada Gambar 5.5.



(a) Momen positif maksimum akibat beban A



(b) Momen negatif maksimum akibat beban B

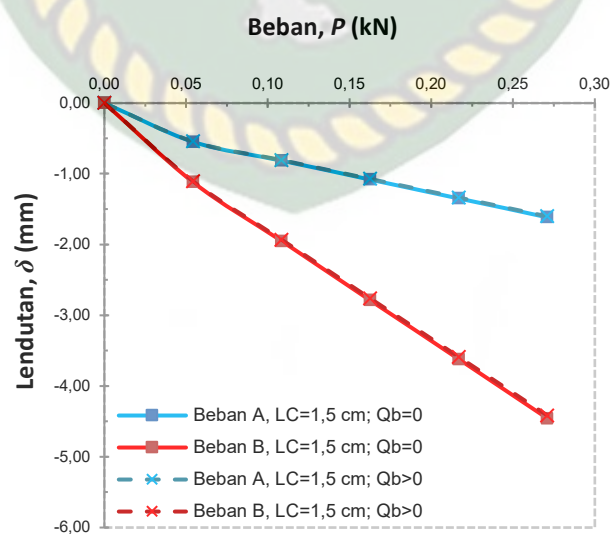
**Gambar 5.5** Pengaruh variasi nilai  $k'$  terhadap momen pelat tanpa lantai kerja

Berdasarkan Gambar 5.5 terlihat bahwa variasi  $k'$  yang digunakan tidak berpengaruh signifikan karena momen yang dihasilkan relatif sama, semakin berat beban maka semakin besar momen yang dihasilkan. Hasil perhitungan momen dapat dilihat pada tabel Lampiran A-11 sampai A-14.

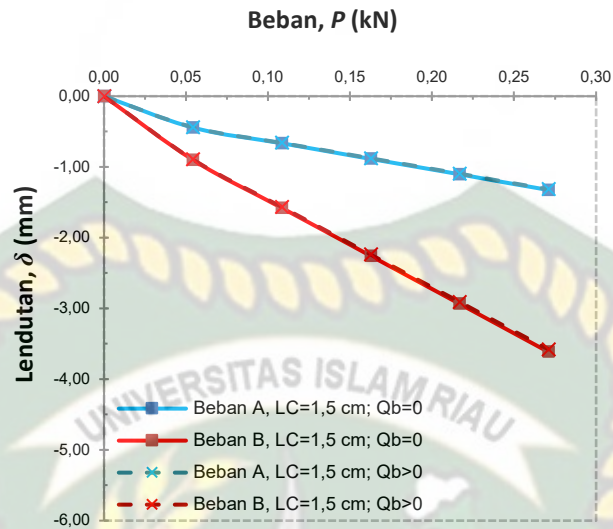
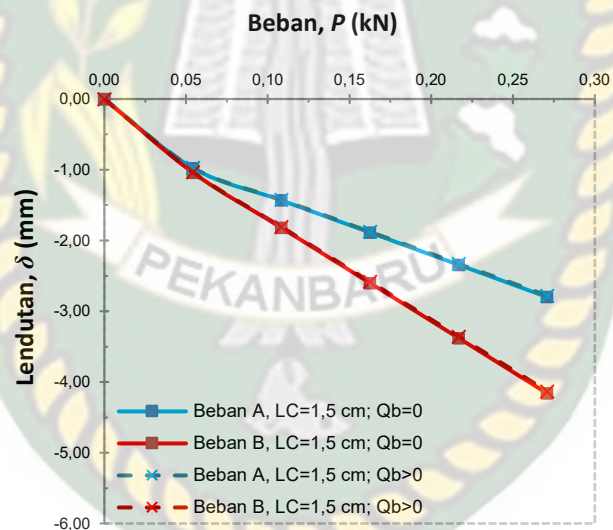
#### 5.4.2 Pelat Model dengan Lantai Kerja 1,5 cm

Model perkerasan Sistem CAM dengan lantai kerja 1,5 cm memiliki ukuran pelat yang sama dengan model tanpa lantai kerja yaitu 75 cm x 75 cm dengan tebal 0,5 cm dari bahan baja. Seperti yang telah dijelaskan pada BAB IV dimana lantai kerja dianggap sebagai pelat yang komposit dengan pelat model perkerasan Sistem CAM, sehingga berat sendiri pelat ( $w$ ) akan dihitung berdasarkan berat jenis material yang digunakan pada model Sistem CAM. Perhitungan pada pelat model perkerasan dengan lantai kerja 1,5 cm ditinjau dengan beban 0,0542 kN; 0,1084 kN; 0,1626 kN; 0,2168 kN; 0,271 kN di tengah pelat (beban A) dan di tepi pelat (beban B).

Hubungan beban dan lendutan pada pelat model sistem CAM dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$  cm) yang diperoleh dari perhitungan program *BoEF.xls* dengan pembebanan di tengah (titik A) dan di tepi (titik B) berdasarkan variasi  $k'$  disajikan pada Gambar 5.6.



(a) Dengan  $k'$  metode Hardiyatmo

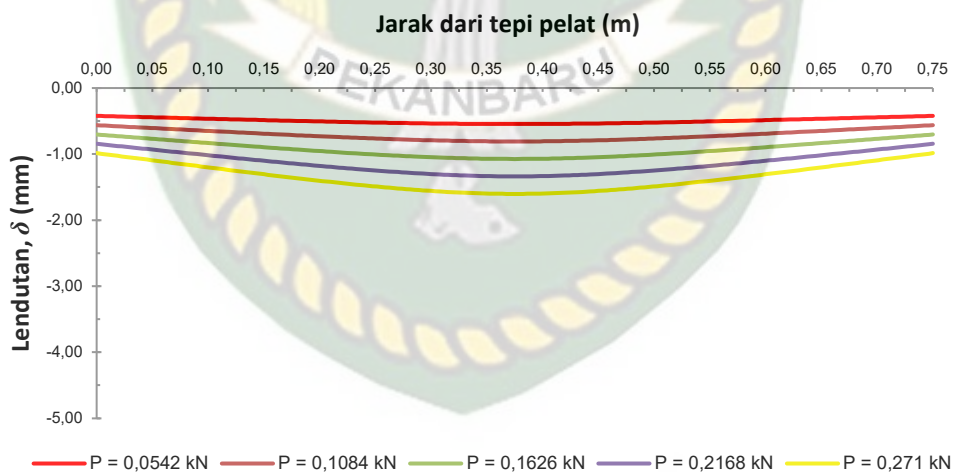
(b) Dengan  $k'$  metode Hardiyatmo Modifikasi(c) Dengan  $k'$  berdasarkan Grafik Puri

**Gambar 5.6** Hubungan  $P$ - $\delta$  pada pelat dengan rantai kerja 1,5 cm berdasarkan variasi nilai  $k'$

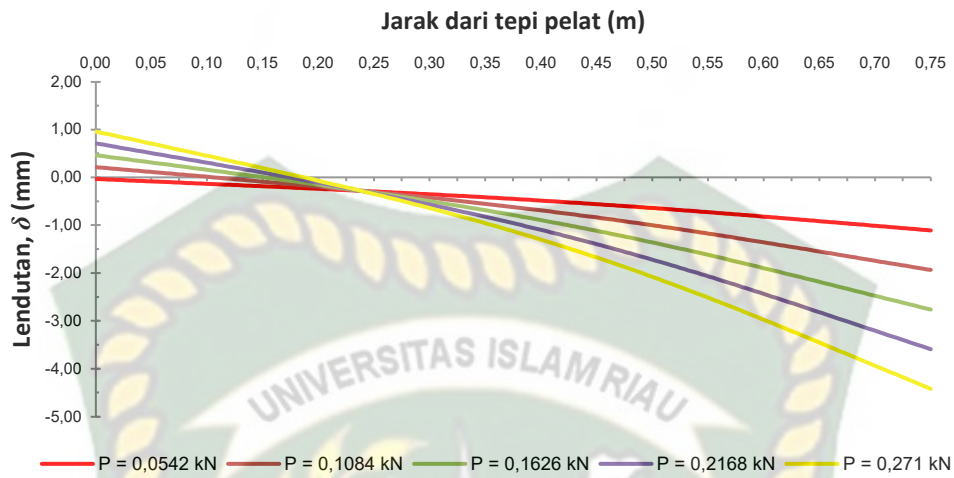
Hubungan  $P$ - $\delta$  terhadap pelat model dengan rantai kerja 1,5 cm berdasarkan variasi nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ) seperti pada Gambar 5.6 menunjukkan terlihat bahwa  $k'$  yang digunakan baik pada saat tahanan ujung cakar diabaikan ( $Q_b = 0$ ) atau saat tahanan ujung cakar diperhitungkan ( $Q_b > 0$ ) tidak berpengaruh signifikan terhadap lendutan yang

dihasilkan. Berdasarkan perbandingan yang telah dilakukan,  $Q_b$  hanya mereduksi lendutan sebesar 0,6 % sampai 1%. Untuk selisih lendutan yang dihasilkan dengan analisis BoEF saat  $Q_b = 0$  dan  $Q_b > 0$  dapat dilihat pada tabel Lampiran A-20 sampai A-21. Maka untuk analisis selanjutnya akan digunakan  $k'$  saat  $Q_b > 0$ . Kemudian untuk pengaruh posisi beban kerja pada pelat model perkerasan Sistem CAM, analisis menunjukkan perhitungan dengan beban di tepi pelat (beban B) menghasilkan lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan beban di tengah pelat (beban A). Sehingga dalam perencanaan perkerasan sistem CAM akibat beban B sangat penting untuk diperhitungkan. Hasil perhitungan lendutan lebih lengkap dapat dilihat pada tabel Lampiran A-14 dan A-17.

Distribusi lendutan sepanjang pelat model perkerasan sistem CAM dengan lantai kerja ( $LC = 1,5$  cm) yang diperoleh dari perhitungan program *BoEF.xls* dengan pembebanan di tengah (titik A) dan di tepi (titik B) berdasarkan variasi  $k'$  disajikan pada Gambar 5.7 sampai Gambar 5.9.

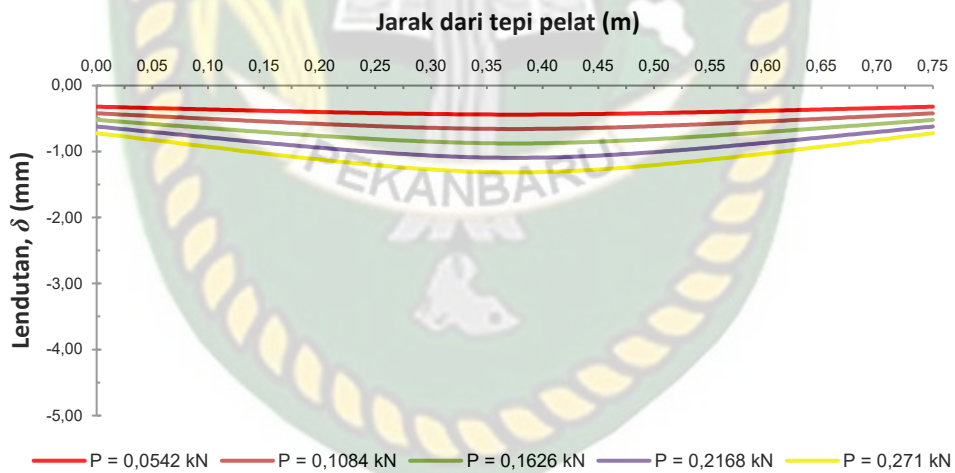


(a) Titik beban A

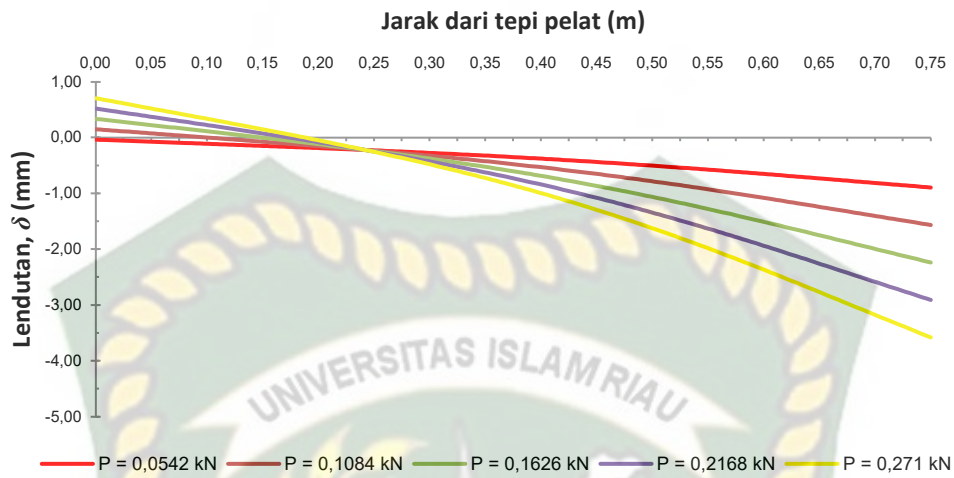


(b) Titik beban B

**Gambar 5.7** Distribusi lendutan pelat tanpa lantai kerja dengan  $k'$  metode Hardiyatmo

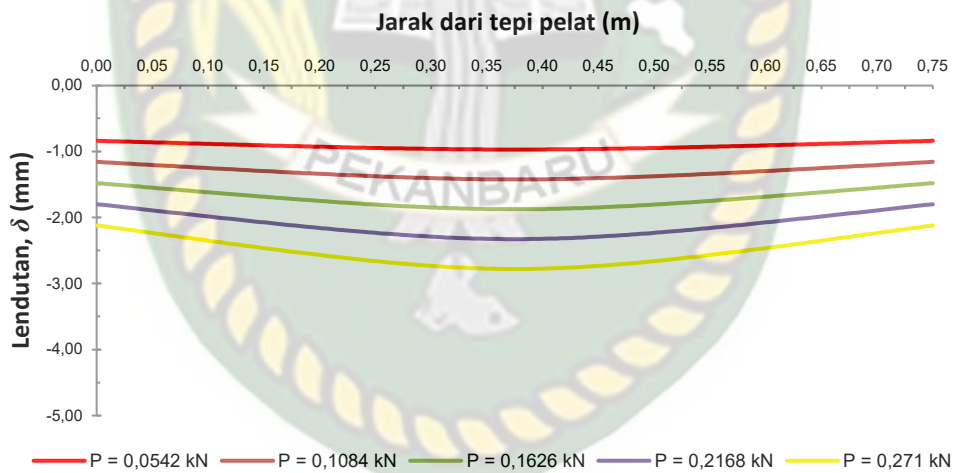


(a) Titik beban A

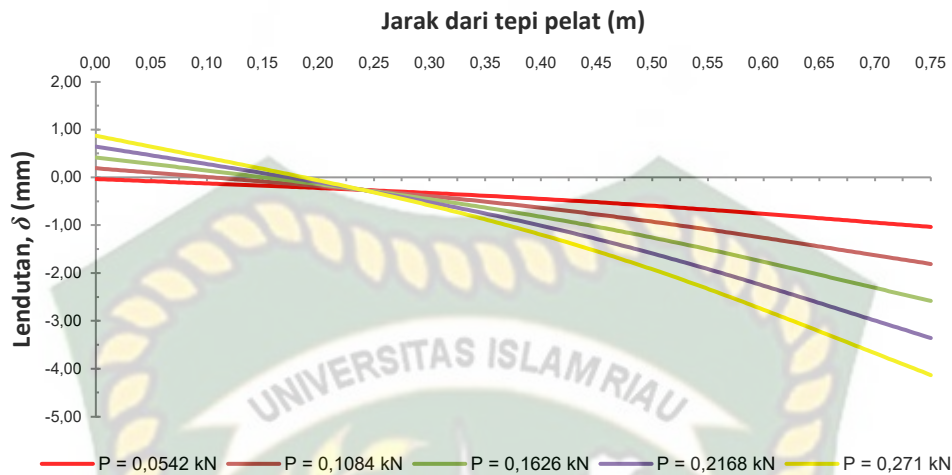


(b) Titik beban B

**Gambar 5.8** Distribusi lendutan pelat tanpa lantai kerja dengan  $k'$  metode Hardiyatmo Modifikasi



(a) Titik beban A



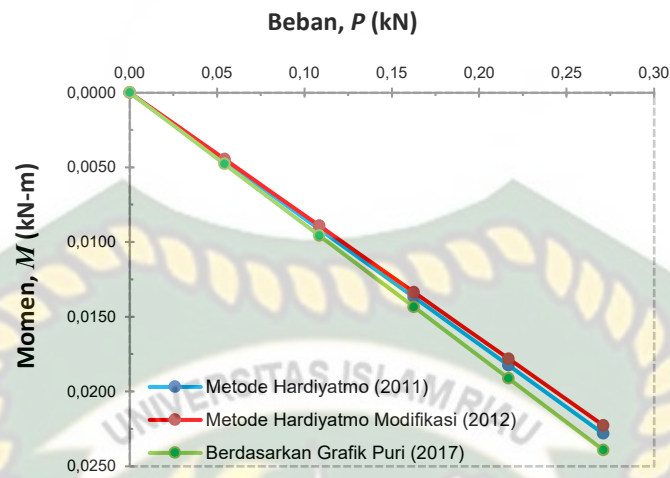
(b) Titik beban B

**Gambar 5.9** Distribusi lendutan pelat tanpa lantai kerja dengan  $k'$  berdasarkan Grafik Puri (2017)

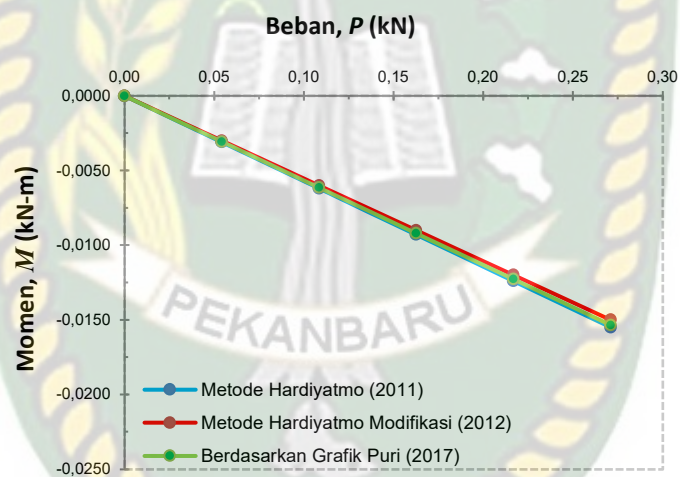
Distribusi lendutan sepanjang pelat dengan lantai kerja 1,5 cm seperti pada Gambar 5.7 sampai 5.9 menunjukkan perilaku yang sama. Lendutan terbesar terjadi pada titik beban kerja, dan lendutan semakin berkurang seiring menjauhi titik beban kerja. Akibat beban A, terlihat pelat melengkung ke bawah seperti mangkok. Sementara akibat beban B, pelat mengalami jungkitan pada sisi ujung yang tidak diberi beban. Hal ini penting untuk diperhatikan dalam kebutuhan perancangan perkerasan sistem CAM. Hasil lendutan sepanjang pelat disajikan pada tabel Lampiran A-55 sampai A-84.

Momen pelat model perkerasan Sistem CAM dengan lantai kerja 1,5 cm yang diperoleh dengan analisis BoEF menunjukkan hasil momen maksimum positif (+) akibat beban A dan momen maksimum negatif (-) akibat beban B. Hubungan beban dan momen pelat model perkerasan sistem CAM dengan kerja ( $LC = 1,5$  cm) yang diperoleh dari perhitungan program *BoEF.xls* dengan pembebanan di tengah (titik A) dan di tepi (titik B) berdasarkan variasi  $k'$  disajikan pada Gambar 5.10.





(a) Momen positif maksimum akibat beban A



(b) Momen negatif maksimum akibat beban B

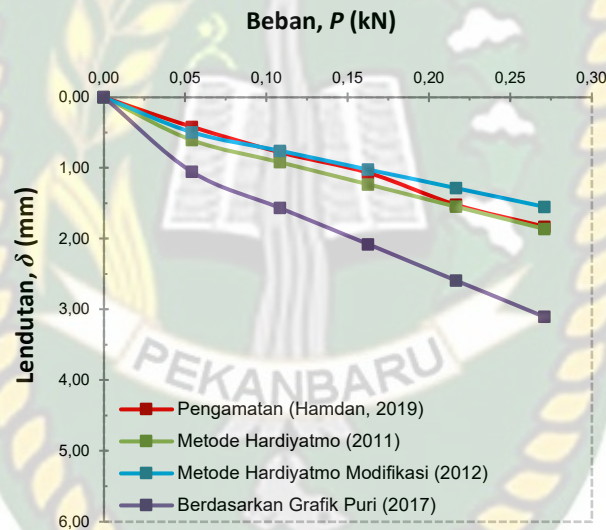
**Gambar 5.10** Pengaruh variasi nilai  $k'$  terhadap momen pelat tanpa lantai kerja

Berdasarkan Gambar 5.10 terlihat bahwa variasi  $k'$  yang digunakan tidak berpengaruh signifikan karena momen yang dihasilkan relatif sama, semakin berat beban maka semakin besar momen yang dihasilkan. Hasil perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada tabel Lampiran A-15 sampai A-18.

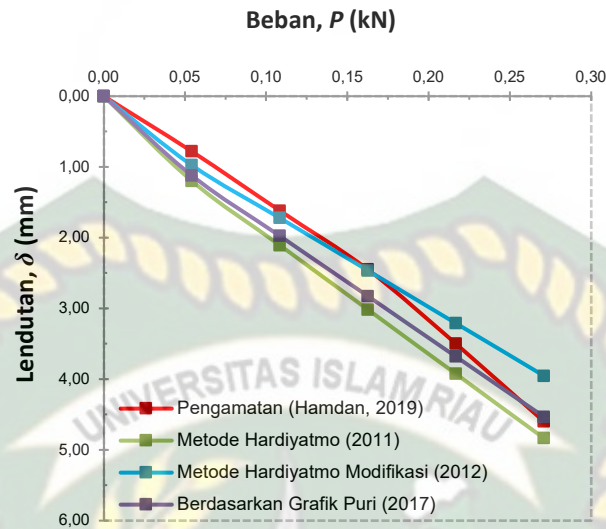
### 5.5 Perbandingan Lentutan Hitungan dengan Lentutan Pengamatan pada Pelat model perkerasan Sistem CAM

Hasil perhitungan lentutan yang diperoleh dengan analisis BoEF akan dibandingkan dengan lentutan pengamatan (Hamdan, 2019) untuk memperoleh selisih perbedaan lentutan dan mengetahui metode perhitungan  $\Delta k$  mana yang lebih mendekati hasil pengamatan berdasarkan variasi  $k'$ .

Perbandingan lentutan hasil perhitungan BoEF pada pelat model Sistem CAM tanpa lantai kerja terhadap lentutan pengamatan disajikan pada Gambar 5.11.



(a) Beban A

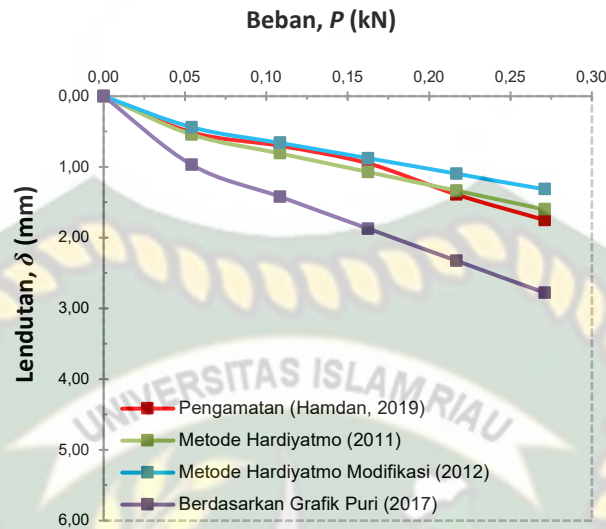


(b) Beban B

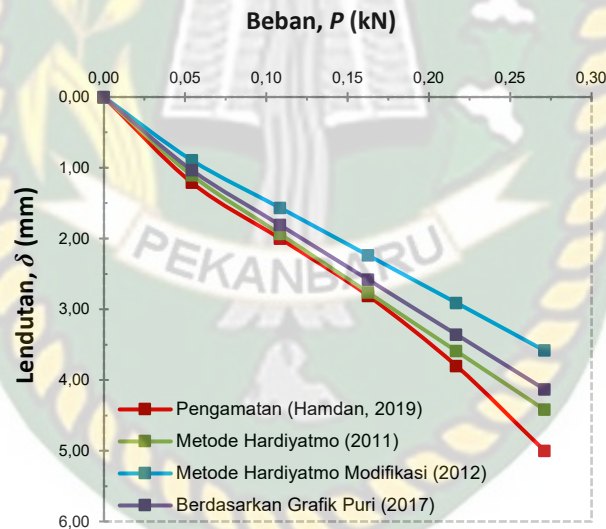
**Gambar 5.11** Lentutan maksimum pelat model Sistem CAM tanpa rantai kerja

Gambar 5.11 menunjukkan bahwa variasi  $k'$  mempengaruhi lentutan yang terjadi pada pelat model perkerasan Sistem CAM, karena semakin kecil  $k'$  maka daya dukung tanah semakin rendah dan lentutan yang dihasilkan akan semakin besar. Pada titik beban A dan beban B lentutan hitungan dengan  $k'$  metode Hardiyatmo dan Hardiyatmo Modifikasi mendekati lentutan pengamatan. Sementara untuk  $k'$  berdasarkan Grafik Puri lentutan hitungan pada titik beban A jauh dari lentutan pengamatan, namun pada titik beban B lentutan hitungan mendekati lentutan pengamatan. Hal ini terjadi karena  $k'$  yang diperoleh berdasarkan Grafik Puri untuk analisis pada beban tepi (B) telah dikalikan dengan faktor penyesuaian sebesar 2,0, sedangkan pada beban tengah (A) tidak demikian. Perbandingan lentutan lebih lengkap dapat dilihat pada tabel Lampiran A.85 dan A.86.

Perbandingan hasil perhitungan BoEF pada pelat model Sistem CAM dengan rantai kerja 1,5 cm terhadap lentutan pengamatan disajikan pada Gambar 5.12.



(a) Beban A



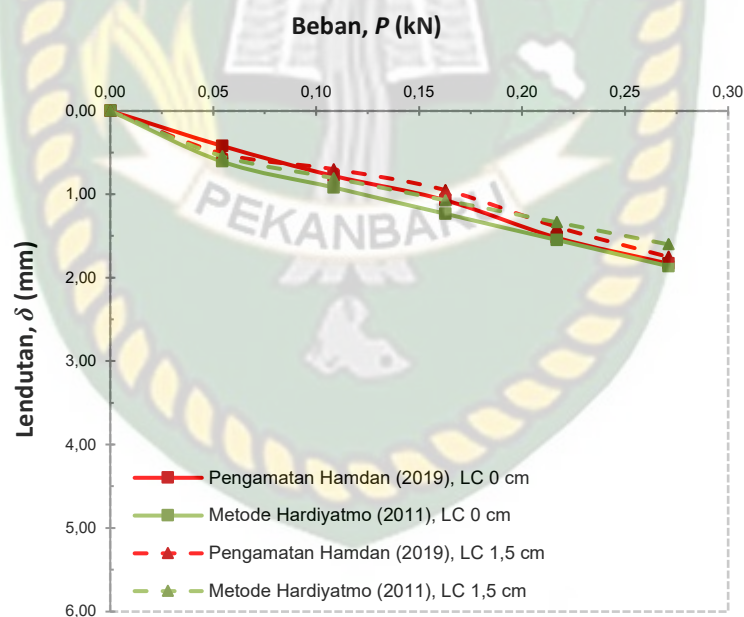
(b) Beban B

**Gambar 5.12** Lentutan maksimum pelat model Sistem CAM dengan lantai kerja 1,5 cm

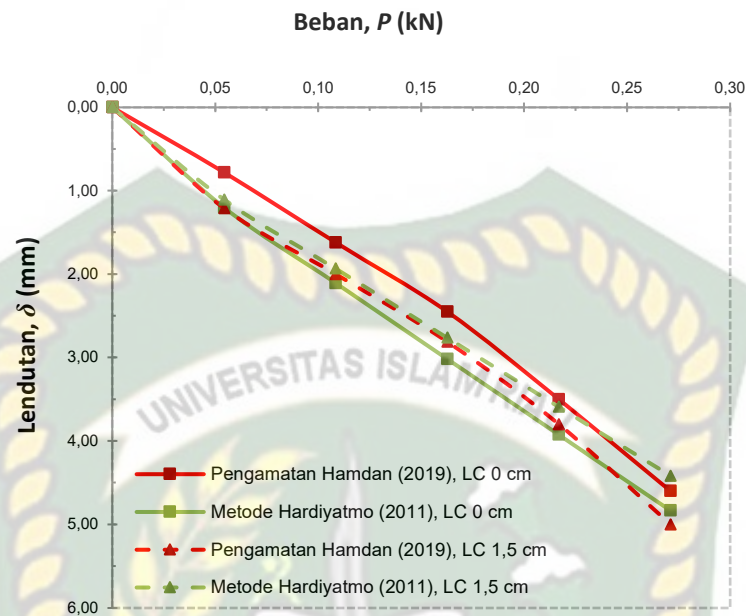
Hubungan  $P$ - $\delta$  pada pelat model perkerasan Sistem CAM dengan lantai kerja 1,5 cm seperti pada Gambar 5.12 menunjukkan perilaku yang sama dengan pelat model perkerasan Sistem CAM tanpa lantai kerja. Di mana pada titik beban A dan beban B lentutan hitungan dengan  $k'$  metode Hardiyatmo dan Hardiyatmo Modifikasi mendekati lentutan pengamatan, sedangkan untuk  $k'$  berdasarkan

Grafik Puri lendutan hitungan pada titik beban A jauh dari lendutan pengamatan, namun pada titik beban B lendutan hitungan mendekati lendutan pengamatan. Selain itu, lantai kerja 1,5 cm dapat mereduksi lendutan yang terjadi pada pelat model Sistem CAM. Perbandingan lendutan lebih lengkap dapat dilihat pada tabel Lampiran A.86 dan A.87.

Terlihat dari semua grafik pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 diketahui bahwa  $k'$  dengan metode Hardiyatmo menghasilkan lendutan sedikit lebih besar dan tidak jauh dari lendutan pengamatan, sehingga lebih aman digunakan untuk kebutuhan perancangan perkerasan Sistem CAM. Perbandingan lendutan hitungan dengan  $k'$  metode Hardiyatmo terhadap lendutan pengamatan pada pelat model Sistem CAM tanpa lantai kerja dan dengan lantai kerja dapat dilihat pada Gambar 5.13.



(a) Beban A



(b) Beban B

**Gambar 5.13** Hubungan  $P$ - $\delta$  tanpa lantai kerja dan dengan lantai kerja 1,5 cm

Pada beban  $P = 0,1084$  kN, besarnya lendutan yang terjadi pada pelat tanpa lantai kerja di titik A adalah 0,92 mm dan untuk pelat dengan lantai kerja 1,5 cm besarnya lendutan adalah 0,81 mm. Pada titik B dengan beban yang sama besarnya lendutan yang terjadi pada pelat tanpa lantai kerja adalah 2,00 mm dan untuk pelat dengan lantai kerja 1,5 cm besarnya lendutan adalah 1,93 mm. Dengan demikian menunjukkan bahwa ketebalan lantai kerja 1,5 cm dapat mereduksi lendutan pelat yang dihasilkan dengan  $k'$  metode Hardiyatmo seperti pada Gambar 5.13. Adapun selisih perbandingan antara lendutan hitungan dengan lendutan pengamatan pada pelat tanpa lantai kerja dengan beban  $P = 0,1084$  kN adalah sebesar 15% di titik A dan 23% di titik B. Sedangkan pada pelat dengan lantai kerja 1,5 cm menggunakan beban yang sama selisih perbandingan lendutan hitungan dengan lendutan pengamatan adalah sebesar 13% di titik A dan 3% di titik B. Untuk selisih perbandingan lebih lengkap dapat dilihat pada tabel Lampiran A.88 sampai A.91.

## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

---

Perpustakaan Universitas Islam Riau

Dokumen ini adalah Arsip Miik :



**NOPRIADI – 153110551**

---

**Analisis Lendutan Dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Gambut Menggunakan Metode *Beams On Elastic Foundation***

## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang sudah dilakukan penulis tentang Analisis Lendutan dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi pada Tanah Gambut Menggunakan Metode *Beams on Elastic Foundation* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dalam perhitungan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen ( $k'$ ) pada model Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM), tahanan ujung cakar ( $Q_b$ ) tidak berpengaruh signifikan terhadap perhitungan tambahan modulus reaksi *subgrade* akibat adanya cakar ( $\Delta k$ ) baik pada metode Hardiyatmo, metode Hardiyatmo Modifikasi dan berdasarkan Grafik Puri. Sehingga lendutan yang dihasilkan dengan metode BoEF berdasarkan variasi  $k'$  yang digunakan saat  $Q_b = 0$  dan  $Q_b > 0$  tidak jauh berbeda, adapun selisihnya hanya sebesar 0,64 % sampai 1%. Namun agar analisis lebih aman, maka digunakan  $k'$  yang memperhitungkan tahanan ujung cakar ( $Q_b$ ).
2. Variasi  $k'$  mempengaruhi lendutan pelat model Sistem CAM, semakin kecil  $k'$  maka daya dukung tanah semakin rendah dan lendutan yang dihasilkan akan semakin besar. Lendutan terbesar terjadi pada  $k'$  berdasarkan Grafik Puri dengan titik beban A, sementara untuk titik beban B lendutan yang dihasilkan tidak jauh dengan metode Hardiyatmo dan metode Hardiyatmo Modifikasi. Hal ini dikarenakan  $k'$  berdasarkan Grafik Puri untuk analisis beban tepi (B) telah dikalikan dengan faktor penyesuaian sebesar 2,0, sementara untuk analisis beban tengah (A) tidak demikian. Jika untuk analisis beban A juga dikalikan dengan faktor penyesuaian, maka hasil lendutan pada titik A tidak akan jauh dengan metode Hardiyatmo dan metode Hardiyatmo Modifikasi.
3. Posisi beban mempengaruhi lendutan pelat, lendutan terbesar terjadi pada titik beban, pengaruh beban semakin berkurang seiring menjauhi titik



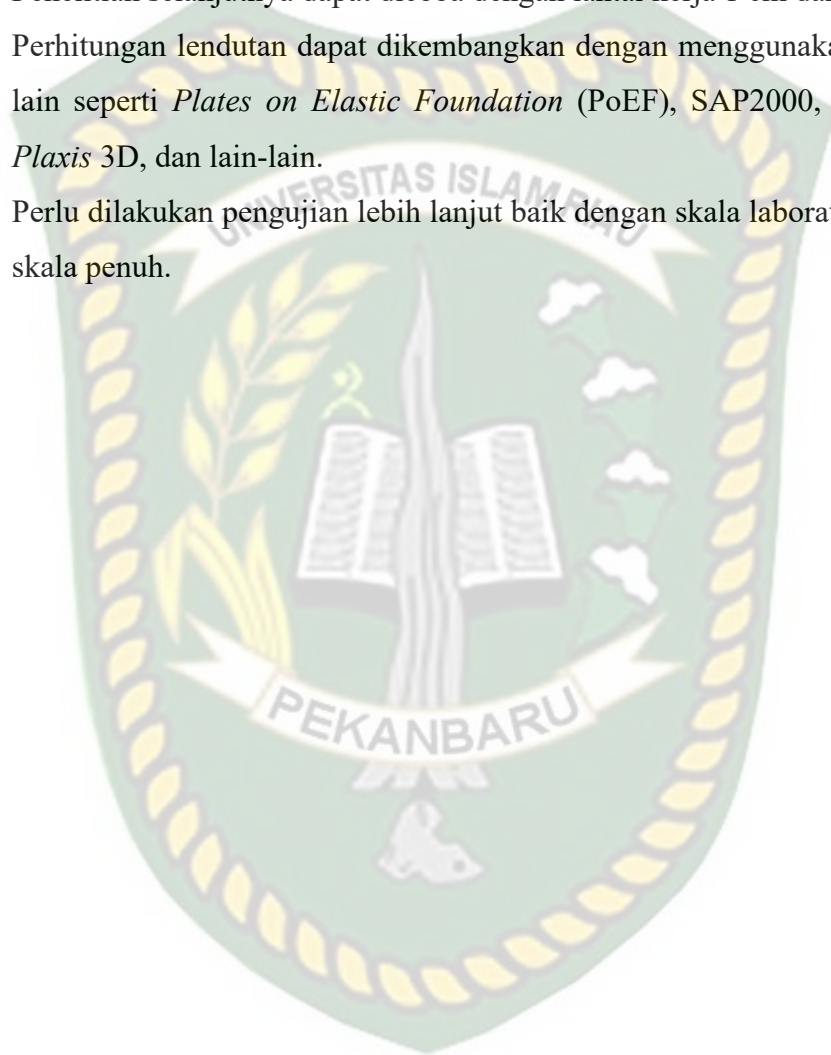
beban. Beban tepi (B) menghasilkan lendutan yang lebih besar dibandingkan beban tengah (A). Akibat beban B, bagian ujung pelat yang tidak diberi beban mengalami jungkitan.

4. Hasil perhitungan momen dengan metode BoEF menunjukkan bahwa momen meningkat seiring bertambahnya beban, dengan variasi  $k'$  baik saat  $Q_b = 0$  dan  $Q_b > 0$  menghasilkan momen yang relatif sama terhadap pelat model perkerasan Sistem CAM tanpa lantai kerja maupun dengan lantai kerja 1,5 cm. Sehingga variasi  $k'$ , lantai kerja dan  $Q_b$  tidak berpengaruh signifikan terhadap perhitungan momen pelat model perkerasan Sistem CAM menggunakan program BoEF. Akibat beban A menghasilkan momen maksimum positif (+) dan akibat beban B menghasilkan momen maksimum negatif (-).
5. Berdasarkan uji model perkerasan Sistem CAM, analisis BoEF menunjukkan lantai kerja mempengaruhi lendutan pelat, lantai kerja 1,5 cm dapat mereduksi lendutan pada pelat. Besarnya kemampuan rata-rata lantai kerja 1,5 cm untuk mereduksi lendutan dibandingkan pelat model tanpa lantai kerja adalah sebesar 12,71% pada beban A dan 8,34% pada beban B. Adapun pada kasus lain, belum tentu lantai kerja berperilaku demikian.
6. Variasi  $k'$  yang digunakan dalam analisis lendutan metode BoEF memberi hasil lendutan pelat yang berbeda-beda, namun jika dibandingkan dengan lendutan pengamatan (Hamdan, 2019), maka  $k'$  dengan metode Hardiyatmo menghasilkan lendutan sedikit lebih besar dan tidak jauh dari lendutan pengamatan baik pada beban A maupun beban B, sehingga lebih aman digunakan untuk kebutuhan perancangan perkerasan Sistem CAM. Adapun selisih perbandingan lendutan hitungan menggunakan  $k'$  metode Hardiyatmo terhadap lendutan pengamatan yaitu, pada pelat model tanpa lantai kerja rata-rata sebesar 13% di titik A dan 19% di titik B, sedangkan pada pelat model dengan lantai kerja 1,5 cm rata-rata sebesar 9% di titik A dan 6% di titik B.

## 6.2 Saran

Berikut beberapa saran yang dapat diambil sebagai bahan pertimbangan untuk kepentingan yang berhubungan dengan penelitian ini:

1. Penelitian selanjutnya dapat dicoba dengan lantai kerja 1 cm dan 2 cm.
2. Perhitungan lendutan dapat dikembangkan dengan menggunakan program lain seperti *Plates on Elastic Foundation* (PoEF), SAP2000, *Plaxis* 2D, *Plaxis* 3D, dan lain-lain.
3. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut baik dengan skala laboratorium atau skala penuh.



## DAFTAR PUSTAKA

---

Perpustakaan Universitas Islam Riau

Dokumen ini adalah Arsip Miik :



**NOPRIADI – 153110551**

---

**Analisis Lendutan Dan Momen Pelat Model Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Gambut Menggunakan Metode *Beams On Elastic Foundation***

## DAFTAR PUSTAKA

- Afriliyani, N., Puri, A., Ardiansyah, R., 2017, "Penerapan Modulus Reaksi *Subgrade* Ekvivalen Metode Puri, dkk (2012) dalam Perhitungan Lendutan Pelat pada Perkerasan Sistem Cakar Ayam Modifikasi", *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP) 2017*, Pekanbaru, pp. 29-35.
- Agustin, D. R., Puri, A., Ardiansyah, R., 2017, "Perhitungan Lendutan Perkerasan Jalan Sistem Cakar Ayam Modifikasi dengan Variasi Faktor Aman pada Tambahan Modulus Reaksi *Subgrade*", *Jurnal Saintis*, Volume 17 Nomor 1, pp. 15-23.
- Alfianda, Widodo, S., Sulandari, E., 2019, "Estimasi Nilai Modulus Reaksi Tanah Dasar (Nilai  $k$ ) pada Material Pasir di Kota Pontianak", Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Caniggia, Y., Hardiyatmo, H. C., & Fathani, T. F., 2019, "Pengaruh Lapisan Penutup Pada Lendutan Pelat yang didukung Tiang dalam Uji Dua Dimensi", *Jurnal Tekno Global*, Volume 8 Nomor 1, pp. 28-34.
- Hamdan, 2019, "Pengaruh Lantai Kerja Terhadap Lendutan Pelat Sistem Cakar Ayam pada Tanah Gambut", *Tesis*, Program Pasca Sarjana Magister Teknik, Universitas Islam Riau, Pekanbaru.
- Hardiyatmo, H. C., 2009, "Metoda Hitungan Lendutan Pelat dengan Menggunakan Modulus Reaksi Tanah Dasar Ekvivalen untuk Struktur Pelat Fleksibel", *Dinamika Teknik Sipil*, Volume 9 Nomor 2, pp. 149-154.
- Hardiyatmo, H. C., 2010, "Metode Hitungan Lendutan, Momen dan Gaya Lintang Sistem Cakar Ayam untuk Perancangan Perkerasan Jalan Beton", *Dinamika Teknik Sipil*, Volume 10 Nomor 1, pp. 27-23.
- Hardiyatmo, H. C., 2010, "Perancangan Sistem Cakar Ayam Modifikasi Untuk Perkerasan Jalan Raya", Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C., 2011, "Method to Analyze the Deflection of the Nailed Slab System", *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, Volume 11 Nomor 04, pp. 22-28.
- Hardiyatmo, H. C., 2016, "Alternatif Solusi Pembangunan Perkerasan Jalan pada Subgrade Berdaya Dukung Rendah", *Prosiding Seminar Nasional Geoteknik*, Program Studi Teknik Sipil Unlam, Banjarmasin.

- Hardiyatmo, H. C., 2018. “Analisis dan Perancangan Fondasi II”, Edisi Keempat, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Oktavia, F., 2019, “Analisis Variasi Faktor Aman Modulus Reaksi Tanah Dasar Sistem Pelat Terpaku Tiang Mini Beton Masif Tunggal pada Lempung Lunak”, *Tugas Akhir*, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Riau, Pekanbaru.
- Pemerintah Indonesia, 2006, “Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 Tentang Jalan”, Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2006 Nomor 86, Sekretariat Negara, Jakarta.
- Puri, A., dkk., 2012a, “Determining Additional Modulus of Subgrade Reaction Based on Tolerable Settlement for the Nailed-slab System Resting on Soft Clay”, *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, Volume 12 Number 03, pp. 32-40.
- Puri, A., dkk., 2012b, “Application of the Additional Modulus of Subgrade Reaction to Predict the Deflection of Nailed-slab System Resting on Soft Clay Due to Repetitive Loadings”, 16th Annual Scientific Meeting, Jakarta, pp. 217-222.
- Puri, A., dkk., 2013, “Penerapan Metode Analisis Lendutan Pelat Terpaku Pada Model Skala Penuh dan Komparasi dengan Uji Pembebanan”, Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTeKS7), Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta, pp. G201-211.
- Puri, A., dkk., 2015, “Perilaku Perkerasan Sitem Pelat Terpaku Pada Tanah Dasar Lempung Lunak”, *Prosiding Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) 2015*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, ISSN 2477-0086, pp. 7-17.
- Puri, A., 2017, “Effect of Safety Factors on the Calculated Deflection of 1-Pile Row Full Scale Nailed-Slab Pavement System Resting on Soft Clay Due to Concentric Loadings”, *Proceeding 1st International Conference of Science Engineering Technology (ICoSET)*, Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM), Universitas Islam Riau, Pekanbaru, pp. 118-124.
- Puri, A., 2017, “Developing the Curve of Displacement Factor for Determination The Additional Modulus of Subgrade Reaction on Nailed-slab Pavement System”, *International Journal of Technology (IJTech)*, ISSN 2086-9614, pp. 122-131.
- Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2001, “Panduan Geoteknik 1”, Edisi Pertama, Bandung, Indonesia.

Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2001, “Panduan Geoteknik 3”, Edisi Pertama, Bandung, Indonesia.

Setiawan, B., 2015, “Perilaku Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Ekspansif”, *Disertasi*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta.



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau