

**ANALISIS LENDUTAN PADA STRUKTUR JALAN RAYA TERHADAP  
PENGUNAAAAN BATU KAPUR (*LIMESTONE*) SEBAGAI LAPIS  
PONDASI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA**

*ANALYSIS OF DEFLECTION ON THE USE OF LIMESTONE AS A BASE  
COURSE ON HIGHWAY STRUCTURES USING FINITE ELEMENT METHOD*

**SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas Sebelas Maret Surakarta



Disusun oleh :

**FAJAR ANDI BAIHAQI**

**NIM I 0112042**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA**

**2016**





## **PERSEMBAHAN**

*Untuk : Ayahanda Imam Sa'roni,*

*Ibunda Neni Hertini,*

*Sdr. Ichlas Budi Pratama,*

*Sdr. Indra Arief Pribadi,*

*Sdri. Anis Choirunnisa Rachman,*

*Estu Waskita Aji*

*Lukman Fahreza Nuskara*

*Keluarga Besar KBK Geoteknik dan Lab. Mekanika Tanah,*

*Keluarga Besar Teknik Sipil UNS 2012.*

## **MOTTO**

*“Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia”*

-Rasulullah SAW (dalam HR. Tirmidzi)-

## ABSTRAK

FAJAR ANDI BAIHAQI, 2016. Analisis Lendutan pada Struktur Jalan Raya Terhadap Penggunaan Batu Kapur (Limestone) sebagai Lapis Pondasi Menggunakan Metode Elemen Hingga. Skripsi. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Kerusakan pada perkerasan jalan raya menjadi masalah dalam sistem transportasi. Salah satu cara penanganan dengan memperkuat daya dukung pondasi dengan mempertebal lapisan pondasi dan penggunaan geotekstil pada tanah dasar.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pemanfaatan material lokal berupa batu kapur (*limestone*) sebagai material lapisan pondasi perkerasan jalan ditinjau dari nilai lendutan. Lapisan pondasi batu kapur (*limestone*) diteliti dengan variasi ketebalan 5, 10, 15, dan 20 cm pada kondisi tanah dasar yang berbeda, yaitu tanah lunak, tanah lunak dengan geotekstil, dan tanah granuler.

Penelitian ini menggunakan tiga jenis metode perhitungan, yaitu metode elemen hingga dengan batuan program SAP 2000, Plaxis v.8.2 dan rumus Hetenyi (1974). Kondisi jalan diasumsikan dalam kelas III dengan muatan sumbu terberat sebesar 8 ton. Lapisan permukaan merupakan pelat beton dengan dimensi 24 m x 6 m x 0,15 m dengan mutu K350 dan  $f'c$  sebesar 35 MPa.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan ketebalan lapisan pondasi batu kapur (*limestone*) dengan metode SAP 2000, Plaxis v.8.2, dan rumus Hetenyi (1974) dapat menurunkan lendutan sebesar 8,15%, 2,04%, dan 11,06%. Pertambahan geotekstil pada tanah lunak dengan tiga metode dapat menurunkan lendutan sebesar 12,52%, 1,35%, dan 16,92%. Perbandingan jenis tanah granuler dan tanah lunak dengan tiga metode dapat menurunkan sebesar 41,97%, 33,47%, dan 53,09%.

**Kata kunci** : metode elemen hingga, tanah dasar, *limestone*, lendutan.

## **ABSTRACT**

FAJAR ANDI BAIHAQI, 2016. Analysis of Deflection on The Use of Limestone As a Base Course on Highway Structures Using Finite Element Method. Skripsi. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

*Damage to the highway pavement is a problem in the transportation system. Those problem can be solved by strengthening the carrying capacity of the foundation to thicken the base course layer and the use of geotextiles on the subgrade.*

*The purpose of this study was to determine the use of local materials such as limestone as a base course in terms of the value of deflection. limestone as a base course thickness variation studied by 5, 10, 15 and 20 cm on the basis of different subgrade conditions, namely soft soil, soft soil with a geotextile and granular soil.*

*This study uses three different types of calculation methods, the finite element method with SAP 2000, Plaxis v.8.2 , and the formula Hetenyi (1974). Road conditions assumed in road class III with the axis of heaviest load of 8 tons. Coating the surface of a concrete slab with dimensions of 24 m x 6 m x 0.15 m with quality K350 and  $f_c$  of 35 MPa.*

*These results indicate that the addition of the thickness of the base layer of limestone as a base course with SAP 2000, Plaxis v.8.2, and the formula Hetenyi (1974) can reduce deflection of 8.15%, 2.04% and 11.06%. Added geotextile in soft soil with three methods can reduce the deflection of 12.52%, 1.35% and 16.92%. omparison of types of granular soil and soft soil with three methods can decrease by 41.97%, 33.47% and 53.09%.*

*Keywords: finite element method,, subgrade, limestone, deflection.*

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah* rabbil'alamin, puji dan syukur penyusun panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi/tugas akhir dengan judul "***Analisis Lendutan Pada Struktur Jalan Raya Terhadap Penggunaan Batu Kapur (Limestone) Sebagai Lapis Pondasi Menggunakan Metode Elemen Hingga***". Penulisan laporan penelitian ini merupakan salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta pada tahun 2016.

Penulisan laporan penelitian ini dapat berjalan lancar tidak lepas dari bimbingan, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati, penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

1. Segenap Pimpinan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Dr. Bambang Setiawan, S.T., M.T. dan R. Harya Dananjaya H. I. S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing I dan II yang telah membimbing penulis dengan baik dari awal hingga akhir proses pengerjaan tugas akhir ini.
3. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan moral maupun material serta spiritual.
4. Ir. Agus Hari Wahyudi, M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik yang telah mendampingi, mengarahkan serta membimbing penulis selama masa akademik.
5. Yusep Muslih Purwana, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Laboratorium Mekanika Tanah beserta jajaran pengelola laboratorium yang telah memfasilitasi penelitian penulis dengan sangat baik.
6. Rekan-rekan mahasiswa KBK Geoteknik yang telah bekerjasama dengan sangat baik selama penelitian berlangsung.
7. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis mengharap kritik dan saran untuk kemajuan penelitian berikutnya. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat sebesar-besarnya bagi semua pihak.

Surakarta, Oktober 2016

Penyusun



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERSEMBAHAN .....	iv
MOTTO .....	v
ABSTRAK .....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR PUSTAKA .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>4</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	4
2.2 Dasar Teori .....	5
2.2.1. Struktur perkerasan kaku.....	5
2.2.2. Tanah Dasar.....	5
2.2.3. Lapis pondasi atas ( <i>base course</i> ).....	7
2.2.4. Geotekstil .....	7
2.2.5. Beban gandar.....	8
2.2.6. Koefisien reaksi <i>subgrade</i> arah vertikal ( $k_v$ ) .....	9

2.2.7. Modulus elastisitas .....	10
2.2.8. Angka poisson .....	10
2.2.9. Permeabilitas tanah .....	11
2.2.10. Kuat Geser.....	11
2.2.11. Metode elemen hingga .....	12
2.2.12. Program Plaxis v.8.2 .....	13
2.2.13. SAP 2000 v.14 .....	14
2.2.14. Lendutan.....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>18</b>
3.1 Gambaran Umum .....	18
3.1.1. Pengumpulan data .....	18
3.1.2. Dimensi pelat beton.....	20
3.1.3. Pembebanan .....	20
3.2 Pengolahan Data.....	22
3.2.1. Perhitungan metode elemen hingga dengan bantuan program SAP 2000.....	22
3.2.1.1 Pengaturan awal .....	22
3.2.1.2 <i>Input</i> data pelat beton .....	24
3.2.1.3 Pembuatan model .....	25
3.2.1.4 <i>Input</i> parameter modulus reaksi tanah dasar vertikal ( $k_v$ ) .....	26
3.2.1.5 Pembebanan.....	26
3.2.1.6 Tahap analisis .....	27
3.2.1.7 Hasil analisis.....	28
3.2.2. Perhitungan metode elemen hingga dengan bantuan program Plaxis v.8.2 .....	29
3.2.2.1 Pengaturan umum.....	29

3.2.2.2	Pembuatan model .....	30
3.2.2.3	<i>Input</i> parameter data .....	31
3.2.2.4	Pembuatan jaring-jaring elemen.....	32
3.2.2.5	<i>Initial condition</i> .....	33
3.2.2.6	Tahap analisis .....	34
3.2.2.7	Hasil analisis.....	35
3.3	Hipotesis penelitian.....	36
3.4	Alur penelitian .....	37
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>38</b>
4.1	Hasil pengujian awal .....	38
4.1.1.	Hasil pengujian tanah dasar granuer .....	38
4.1.2.	Hasil pengujian material tanah dasar lunak.....	39
4.1.3.	Hasil pengujian material lapisan pondasi.....	39
4.2	Analisis dengan program SAP 2000 .....	40
4.2.1.	Hasil perhitungan .....	41
4.3	Analisis dengan program Plaxis v.8.2.....	45
4.2.1.	Hasil perhitungan .....	47
4.4	Analisis dengan program SAP 2000 .....	51
4.5	Perbandingan hasil analisis .....	53
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>56</b>
5.1	Kesimpulan .....	56
5.2	Saran.....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>ix</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tipikal struktur perkerasan beton semen .....	5
Gambar 2.2. Permukaan pelat tipis lentur .....	13
Gambar 2.3. Elemen <i>shell</i> .....	15
Gambar 2.4. <i>Spring</i> tanah pada model elemen hingga 3D.....	16
Gambar 2.5. Perilaku balok menerus yang dibebani di atas media elastis .....	16
Gambar 2.6. Balok terhingga yang dibebani beban titik sentris .....	17
Gambar 3.1. Dimensi pelat beton.....	20
Gambar 3.2. Distribusi beban gandar oleh lapisan perkerasan .....	21
Gambar 3.3. Pembebanan pada Plaxis v.8.2 .....	21
Gambar 3.4. Pembebanan pada SAP 2000.....	22
Gambar 3.5. Pengaturan awal SAP 2000 .....	23
Gambar 3.6. Layar kerja SAP 2000 .....	23
Gambar 3.7. Jendela untuk mengubah dimensi dan titik acuan pada SAP 2000...24	
Gambar 3.8. <i>Input</i> parameter model pada SAP 2000.....	24
Gambar 3.9. Bentuk model dan jaring-jaring elemen pada SAP 2000 .....	25
Gambar 3.10. <i>Input</i> parameter material <i>spring</i> .....	26
Gambar 3.11. <i>Input</i> beban satuan dalam beban area pada SAP 2000.....	27
Gambar 3.12. Bentuk model dan jaring-jaring elemen pada SAP 2000 .....	27
Gambar 3.13. Persiapan analisis SAP 2000 .....	28
Gambar 3.14. Proses analisis pada SAP 2000.....	28
Gambar 3.15. Hasil analisis SAP 2000 .....	29
Gambar 3.16. Menu <i>project</i> pada pengaturan umum.....	29
Gambar 3.17. Menu <i>dimensions</i> pada pengaturan umum .....	30
Gambar 3.18. Model geometri pada Plaxis v.8.2.....	31

Gambar 3.19. Parameter data untuk tipe <i>soil &amp; interfaces</i> .....	31
Gambar 3.20. Parameter data untuk tipe <i>geogrid</i> .....	32
Gambar 3.21. Jaring-jaring elemen .....	32
Gambar 3.22. Konfigurasi geometri awal .....	33
Gambar 3.23. Tegangan awal pada geometri .....	33
Gambar 3.24. Memasukkan nilai pembebanan .....	34
Gambar 3.25. Tahap proses analisis .....	34
Gambar 3.26. Memasukkan titik tinjauan .....	35
Gambar 3.27. Jendela informasi analisis .....	35
Gambar 3.28. Hasil analisis Plaxis v.8.2 .....	36
Gambar 3.29. Diagram alir penelitian .....	37
Gambar 4.1. Lendutan maksimum pelat terhadap variasi $k_v$ dengan program SAP 2000 .....	42
Gambar 4.2. Lendutan dengan tanah lunak sebagai tanah dasar dengan SAP 2000	43
Gambar 4.3. Lendutan dengan tanah lunak sebagai tanah dasar & geotekstil dengan SAP 2000 .....	44
Gambar 4.4. Lendutan dengan tanah granuler sebagai tanah dasar dengan SAP 2000 .....	44
Gambar 4.5. Lendutan maksimum pelat terhadap variasi $k_v$ dengan program Plaxis v.8.2 .....	48
Gambar 4.6. Lendutan dengan tanah lunak sebagai tanah dasar dengan Plaxis v.8.2 .....	49
Gambar 4.7. Lendutan dengan tanah lunak sebagai tanah dasar & geotekstil dengan Plaxis v.8.2 .....	50
Gambar 4.8. Lendutan dengan tanah granuler sebagai tanah dasar dengan Plaxis v.8.2 .....	50
Gambar 4.9. Lendutan maksimum pelat terhadap variasi $k_v$ dengan program Hetenyi (1974) .....	52

Gambar 4.10. Perbandingan nilai lendutan dengan tanah lunak sebagai tanah dasar	54
Gambar 4.11. Perbandingan nilai lendutan dengan tanah lunak & geotestil sebagai tanah dasar.....	54
Gambar 4.12 Perbandingan nilai lendutan dengan tanah granuler sebagai tanah dasar .....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kalsifikasi muatan sumbu terberat (MST) menurut kelas jalan .....	8
Tabel 2.2. Beban gandar kendaraan .....	8
Tabel 2.3. Hubungan antara jenis tanah dengan angka poisson.....	10
Tabel 2.4. Tipikal nilai permeabilitas ( $k$ ).....	11
Tabel 2.5. Nilai kohesi dan sudut geser batuan.....	12
Tabel 3.1. Variasi ketebalan lapisan pondasi batu kapur ( <i>limestone</i> ) dan jenis tanah dasar.....	19
Tabel 3.2. Matriks pengujian ketebalan lapisan pondasi batu kapur ( <i>limestone</i> ) ..	20
Tabel 4.1. Hasil pengujian material tanah dasar granuler .....	38
Tabel 4.2. Hasil pengujian material tanah dasar lunak .....	39
Tabel 4.3. Hasil pengujian material lapisan pondasi.....	39
Tabel 4.4. Parameter model pada program SAP 2000 .....	40
Tabel 4.5. Lendutan maksimum pelat dengan program SAP 2000 .....	41
Tabel 4.6. Parameter beban dan geotekstil dalam Plaxis v.8.2 .....	45
Tabel 4.7. Nilai konversi CBR menjadi nilai modulus elastisitas lapisan pondasi batu kapur ( <i>limestone</i> ).....	46
Tabel 4.8. Parameter beban dan geotekstil dalam Plaxis v.8.2.....	46
Tabel 4.9. Lendutan maksimum dengan program Plaxis v.8.2.....	47
Tabel 4.10. Lendutan maksimum pelat terhadap variasi $k_v$ dengan metode Hetenyi (1974) .....	51
Tabel 4.11. Perbandingan nilai lendutan antara tiga metode analisis .....	53

## DAFTAR PUSTAKA

- Aji. E.W., 2016, *Penggunaan Material Batu Kapur sebagai Lapisan Subbase Course Perkerasan Jalan pada Subgrade Tanah Lunak dengan Perkuatan Plastik dan Geosintetik*, Surakarta: Universitas Negeri Sebelas Maret.
- Anonim, 2003, *Pd T-14-2003 tentang Perencanaan perkerasan jalan beton semen*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim, 2007, *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan antar Kota*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim, 1993, *Prasarana dan Lalu Lintas Jalan*. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah.
- Bahtiar, S., 2012, *Pengaruh Ketebalan Subbase Course dengan Material Utama Dolomite (limestone) serta Penggunaan Geosintetik terhadap Nilai CBR dan  $k_v$  Struktur Perkerasan Jalan*, Surakarta: Universitas Negeri Sebelas Maret.
- Basuki. I.; Eko. A., 2009, *Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan dengan Microsoft Visual Basic 6.0*, Yogyakarta: Universitas Atma Jaya.
- Brinkgreve. R.B.J.; W. Broere, 2006, *Plaxis 3D Foundation Tutorial Manual version 1.5.*, Netherlands: Delf University of Technology & PLAXIS bv.
- Bowles. J.E., 1991, *Analisa dan Desain Pondasi*, Jakarta: Erlangga.
- Dewobroto. W., 2007, *Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP 2000*, Jakarta: Elex Media Komputindo
- Faheem. H., 2014, *2D Plaxis Finite Element Modeling of Asphalt-Concrete Pavement Reinforced with Geogrid*, Mesir: Assiut University.
- Handoko. S.G., 2007, *Manual Plaxis 2D versi 8*, Belanda: Plaxis b.v.
- Hardiyatmo. H.C, 2009, *Metode Hitungan Lendutan Pelat dengan Menggunakan Modulus Reaksi Tnaah Dasar Ekuivalen untuk Struktur Pelat Fleksibel*, Dinamika Teknik Sipil, Volume 9 Nomor 2, Yogyakarta.
- Hardiyatmo. H.C., 2010, *Mekanika Tanah 1 & 2*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Hartanti. R., 2009, *Analisa Geoteknik pada Proyek Pembangunan Ruas Jalan Trengguli-Jati Kabupaten Kudus*, Semarang: Universitas Dipenogoro.
- Hary. F., 2015, *Analisis Lendtan Perkerasan Lentur pada Tanah Lunak dengan Perkuatan Kolom Soil Cement*, Surakarta: Universitas Negeri Sebelas Maret.
- Mardiyanto. B., 2010, *Studi Perilaku Pelat Beton di Atas Tanah dengan Metode Elemen Hingga (SAP 2000 v.11.0.0) ditinjau pada Variasi Modulus Reaksi Subgrade ( $k_v$ ) dan Mutu Pelat Beton*, Surakarta: Universitas Negeri Sebelas Maret.
- Nuskara. L., 2016, *Penggunaan Material Batu Kapur sebagai Lapisan Subbase Course Perkerasan Jalan pada Subgrade Tanah Granuler*, Surakarta: Universitas Negeri Sebelas Maret.
- Riezky. C., 2012, *Nilai CBR Unsoaked dan  $k_v$  Subbase Course pada Batu Kuning (Dolomite (limestone)) dengan Rasio Perbandingan Agregat Kasar dan Agregat Halus*, Surakarta: Universitas Negeri Sebelas Maret.



- Setiawan. B., 2015, *Perilaku Sistem Cakar Ayam Modifikasi pada Tanah Ekspansif*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Sinaga. H. dan Tambunan. F., 2008, *Analisis Stabilitas dan Penurunan Timbunan pada Tanah Lunak dengan Vertical Drain, Perkuatan Bambu dan Perkuatan Geotextile*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Tay. P.A., 2014, *Analisa Perkuatan Geotekstil pada Timbunan Konstruksi Jalan dengan Plaxis 2D*, Surabaya: Universitas Petra.
- Teguh. M., 2012, *Analisis Struktur Jalan Raya dengan Menggunakan Software Plaxis 3D Foundation ditinjau pada Perkerasan Lentur dan Lentur*, Surakarta: Universitas Negeri Sebelas Maret.
- Wido. A., 2012, *Perilaku Model Tereduksi Struktur Rel Kereta Api dengan Perkuatan Geosintetik dan Cerucuk Kayu di Bawah Ballast dengan Plaxis 3D Foundation v 1.6*, Surakarta: Universitas Negeri Sebelas Maret.
- Wibowo. F., 2016, *Perilaku Penambahan Kolom Batu (Stone Coloumn) sebagai Perkuatan pada Tanah Dasar (Subgrade) Lunak*, Surakarta: Universitas Negeri Sebelas Maret.
- Yanto. F.H., 2015, *Analisis Lendutan Perkerasan Kaku pada Tanah Lunak dengan*