

ANALISIS METODE ELEMEN HINGGA PADA LENDUTAN STRUKTUR JALAN RAYA TERHADAP PENGGUNAAN BATU KAPUR (*LIMESTONE*)

Fajar Andi Baihaqi¹⁾, Bambang Setiawan²⁾, R. Harya Dananjaya H.I.³⁾

¹⁾Mahasiswa Program S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

^{2) 3)}Pengajar Program studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir.Sutami No.36A Surakarta 57126.Telp.0271647069. Email : fajarandib@gmail.com

Abstract

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.

Abstrak

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 cm, 10 cm, 15 cm, 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.

PENDAHULUAN

Perencanaan dalam struktur perkerasan jalan harus diperhitungkan dengan baik. Oglesby dan Hicks (1982) dalam Basuki dan Aprianto (2001) menyebutkan bahwa perencanaan perkerasan adalah memilih kombinasi material dan tebal lapisan yang memenuhi syarat pelayanan dengan biaya termurah dan dalam jangka panjang. Aji (2016) menyebutkan bahwa batu kapur (*limestone*) dapat digunakan sebagai material pada lapisan pondasi dan perkuatan geotekstil untuk tanah lunak sebagai peningkatan daya dukung tanah dasar. Menurut Nuskara (2016), batu kapur (*limestone*) dari Desa Soko, Kecamatan Miri, Kabupaten Sragen dapat digunakan sebagai bahan *subbase* pada kondisi tanah granuler sebagai tanah dasar. Analisa dari sistem perkerasan jalan tersebut dapat menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan program. Taufik, dkk. dalam Raharjo (2005) menyebutkan bahwa penelitian tentang konstruksi jalan pada tanah lunak di Indonesia dengan metode elemen hingga menggunakan program Plaxis 8.2. Setiawan (2015) meneliti sistem CAM dengan pelat beton dimodelkan sebagai elemen frame

2D, sedangkan tanah di bawah pelat dimodelkan dengan tumpuan elastik berupa elemen *spring* dengan pembebanan yang diwakili oleh *midsurface* pada *slab* beton.

LANDASAN TEORI

Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku menggunakan slab beton sebagai penahan beban pada lapisan penutup atas (*wearing course*). Daya dukung perkerasan pada perkerasan kaku diperoleh dari pelat beton. Sifat, daya dukung dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan perkerasan beton semen. Perkerasan kaku dapat dikelompokkan kedalam:

- Perkerasan beton semen yaitu perkerasan kaku dengan beton sebagai lapisan aus, terdapat 4 jenis perkerasan beton semen
- Perkerasan komposit yaitu perkerasan kaku dengan pelat beton semen sebagai lapisan pondasi dan aspal beton sebagai lapis permukaan.

Tanah Dasar

Tanah dasar atau *subgrade* merupakan permukaan terbawah suatu konstruksi perkerasan jalan raya atau landasan pacu pesawat terbang. Tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dapat dipadatkan jika tanah aslinya baik, tanah yang didatangkan dari tempat lain kemudian dipadatkan, atau tanah yang distabilisasi dengan bahan tambah (*addictive*). Persoalan tanah dasar yang sering ditemui antara lain :

- perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) akibat beban lalu lintas,
- daya dukung tanah tidak merata,
- lendutan dan lendutan balik selama dan sesudah pembebanan lalu-lintas untuk jenis tanah tertentu,
- tambahan pemadatan akibat pembebanan lalu lintas dan penurunan yang diakibatkannya.

Lapis Pondasi (*Base course*)

Lapis pondasi atas merupakan lapisan yang terletak langsung di bawah lapisan permukaan perkerasan jalan. Bahan lapis ini dapat berupa bahan berbutir, beton giling padat, dan campuran beton kurus. Bahan-bahan untuk lapis pondasi harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan pondasi, hendaknya dilakukan penyelidikan dan pertimbangan sebaik-baiknya sehubungan dengan persyaratan teknik. Fungsi lapis pondasi atas antara lain:

- sebagai bagian konstruksi perkerasan yang menahan beban roda,
- sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Geotekstil

Geotekstil adalah suatu produk buatan pabrik dari bahan *polymer* yang digunakan dalam sistem atau struktur yang berhubungan dengan tanah, batuan, atau bahan rekayasa geoteknik lainnya. Fungsi geotekstil pada struktur perkerasan jalan adalah sebagai berikut:

- penyaring (*filter*),
- media pemisah (*separation*),
- perkuatan (*reinforcement*).

Beban Gandar

Beban gandar adalah beban total yang diberikan kendaraan terhadap struktur perkerasan jalan. Beban tersebut dipengaruhi oleh muatan sumbu terberat (MST) suatu kendaraan yang merupakan jumlah tekanan maksimum roda terhadap jalan. Muatan Sumbu Terberat (Mst) di Indonesia berdasarkan PP No. 43 Th. 1993 tentang Prasarana dan Lalu Lintas Jalan.

MST > 10 Ton : Untuk Jalan Kelas I

MST = 10 Ton : Untuk Jalan Kelas II

MST = 8 Ton : Untuk Jalan Kelas IIIA, IIIB, IIIC

Reaksi Tanah Dasar

Pembebanan yang terjadi pada struktur perkerasan, menimbulkan reaksi pada lapisan tanah dasar yang dapat berupa nilai koefisien *subgrade* tanah (k_v) dan modulus elastisitas (E_s). Pengertian koefisien reaksi *subgrade* arah vertikal tanah menurut Mardiyanto (2010) adalah nilai perbandingan tekanan tanah dengan penurunan yang

terjadi. Hardiyatmo, dkk. (2000) menggunakan perhitungan nilai koefisien *subgrade* tanah (k_v) untuk pelat kaku. Modulus elastisitas adalah perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai modulus elastisitas (E_s) dapat ditentukan melalui korelasi dengan nilai *california bearing ratio* (CBR) menggunakan rumus NAASRA (1950).

Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah cara pendekatan solusi analisis struktur secara numerik dimana struktur kontinum dengan derajat kebebasan tak hingga disederhanakan dengan diskretasi kontinum dalam elemen-elemen kecil yang umumnya memiliki geometri lebih sederhana dengan derajat kebebasan tertentu (berhingga), sehingga lebih mudah dianalisis (Sinaga dan Tambunan, 2008). Penggunaan metode elemen hingga dapat menggunakan bantuan program SAP 2000 dan Plaxis v.8.2.

Lendutan

Lendutan (δ) merupakan perilaku yang terjadi pada suatu objek berupa perubahan bentuk yang merupakan reaksi dari objek tersebut menerima beban. Perhitungan lendutan pada pelat menurut Yanto (2015) dapat dilakukan dengan menganggap pelat sebagai balok lurus yang didukung oleh media elastik di seluruh bentangnya. Menurut Hetenyi (1974) dalam Hardiyatmo (2009), untuk menghitung pelat dengan panjang terbatas yang dibebani beban terpusat di sembarang titik, digunakan persamaan dari teori balok pada pondasi elastik untuk mengetahui perilaku lendutan.

METODE PENELITIAN

Data

Metode pengumpulan data pada penelitian ini terdiri dari pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh berdasarkan hasil uji di Laboratorium Mekanika Tanah (Berat volume kering, berat volume basah, nilai kohesi dan sudut geser untuk tanah lunak dan tanah granuler) dan Laboratorium Bahan Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta {Parameter batu kapur (*limestone*)}. Data sekunder berupa beban, parameter material beton, parameter geotekstil, nilai *California Bearing Ratio* (CBR) dan modulus koefisien tanah dasar vertikal (k_v) untuk parameter variasi penelitian.

Variasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan variasi yang mengacu kepada penelitian Aji (2016) dan Nuskara (2016) berupa jenis tanah dasar (tanah lunak, tanah lunak dengan geotekstil, dan tanah granuler), ketebalan lapisan pondasi batu kapur (*limestone*) sebesar 5, 10, 15, dan 20 cm. Variasi ketebalan tersebut juga diwakili dengan nilai modulus elastisitas dari nilai CBR untuk pemodelan Plaxis v.8.2, nilai k_v untuk pemodelan SAP 2000 dan rumus Hetenyi (1974). Variasi penelitian ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut:

Tabel 1. Variasi ketebalan lapisan pondasi batu kapur (*limestone*) dan jenis tanah dasar (Aji, 2016 dan Nuskara, 2016)

Jenis Tanah Dasar	Tebal Lapisan Batu Kapur (<i>Limestone</i>) (cm)	Nilai CBR (%)	Nilai k_v (kN/m ² .m ⁻¹)
Tanah Lunak	5	2,87	23.696,68
	10	2,97	26.455,03
	15	3,82	32.679,74
	20	4,11	34.482,76
Tanah Lunak dengan Perkuatan Geosintetik	5	3,26	28.901,73
	10	3,82	32.679,74
	15	4,95	38.759,69
	20	9,42	52.631,58
Tanah Granuler	5	25,99	80.645,161
	10	30,13	87.719,298
	15	41,80	121.951,220
	20	43,20	128.205,128

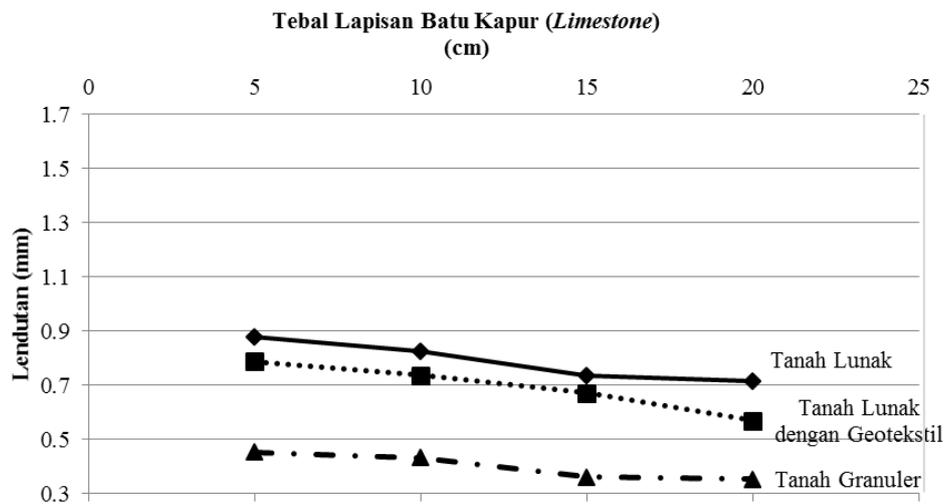
Pembebanan

Struktur perkerasan jalan diasumsikan kedalam Jalan Kelas III dengan MST sebesar 8 ton di atas pelat beton dengan 24 m x 6 m x 0,15 m dan mutu K350 ; f_c sebesar 35 MPa. Pembebanan pada program SAP 2000 dan Plaxis v.8.2 berada ditengah-tengah bentang pelat beton dengan panjang bidang kontak beban area sebesar 40 cm. Beban pada Plaxis v.8.2 menggunakan beban merata dan pada SAP 2000 menggunakan beban area dengan bidang kontak diameter 40 cm. *Slab* beton akan menyalurkan beban dan diwakili oleh *midsurface*, dan luasan kontak akan membesar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan SAP 2000

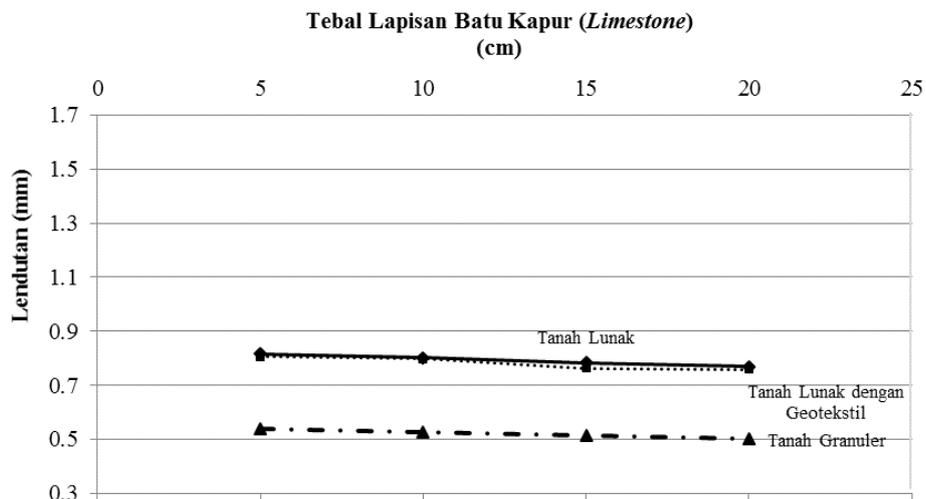
Perhitungan SAP 2000 menggunakan beban kontak area dengan diameter 40 cm, elemen *shell* sebagai pelat beton, dan elemen *spring* sebagai kombinasi lapisan pondasi batu kapur (*limestone*) dengan tanah dasar. Nilai lendutan hasil perhitungan dengan bantuan program SAP 2000 ditampilkan pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Lendutan maksimum pelat dengan program SAP 2000

Hasil Perhitungan Plaxis v.8.2

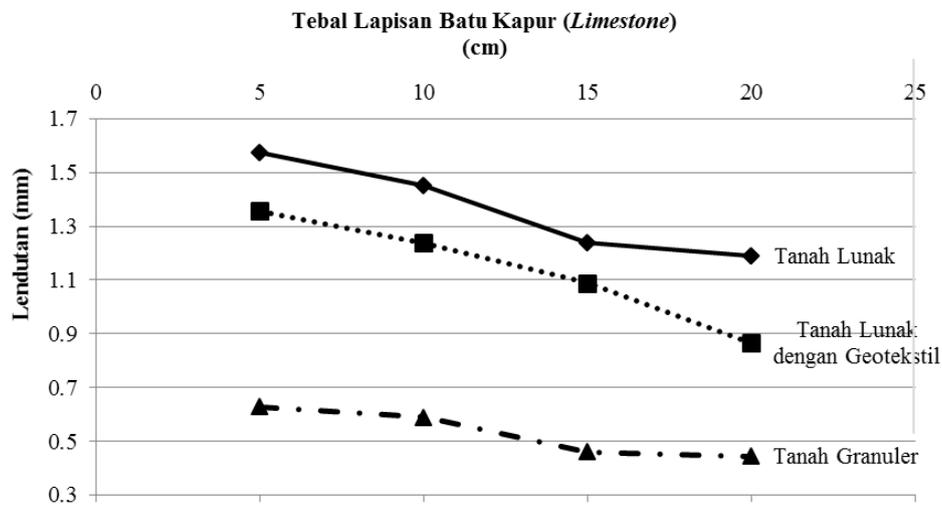
Perhitungan Plaxis 8.2 menggunakan model *plainstrain* dengan bentang 6 m. Pemodelan menggunakan material *moir-coloumb* sebagai tanah dan batu kapur (*limestone*), *linier-elastic* sebagai beton, dan tipe geogrid sebagai geotekstil. Nilai lendutan hasil perhitungan dengan bantuan program Plaxis v.8.2 ditampilkan pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Lendutan maksimum pelat dengan program Plaxis v.8.2

Hasil Perhitungan dengan Rumus Hetenyi (1974)

Metode rumus Hetenyi (1974) mengasumsikan lapisan pondasi batu kapur *limestone* dan tanah dasar sebagai satu lapisan dengan parameter kekuatan berupa koefisien reaksi tanah dasar vertikal (k_v). Nilai lendutan berdasarkan perhitungan dengan metode Hetenyi (1974) ditampilkan dalam Gambar 3 berikut:



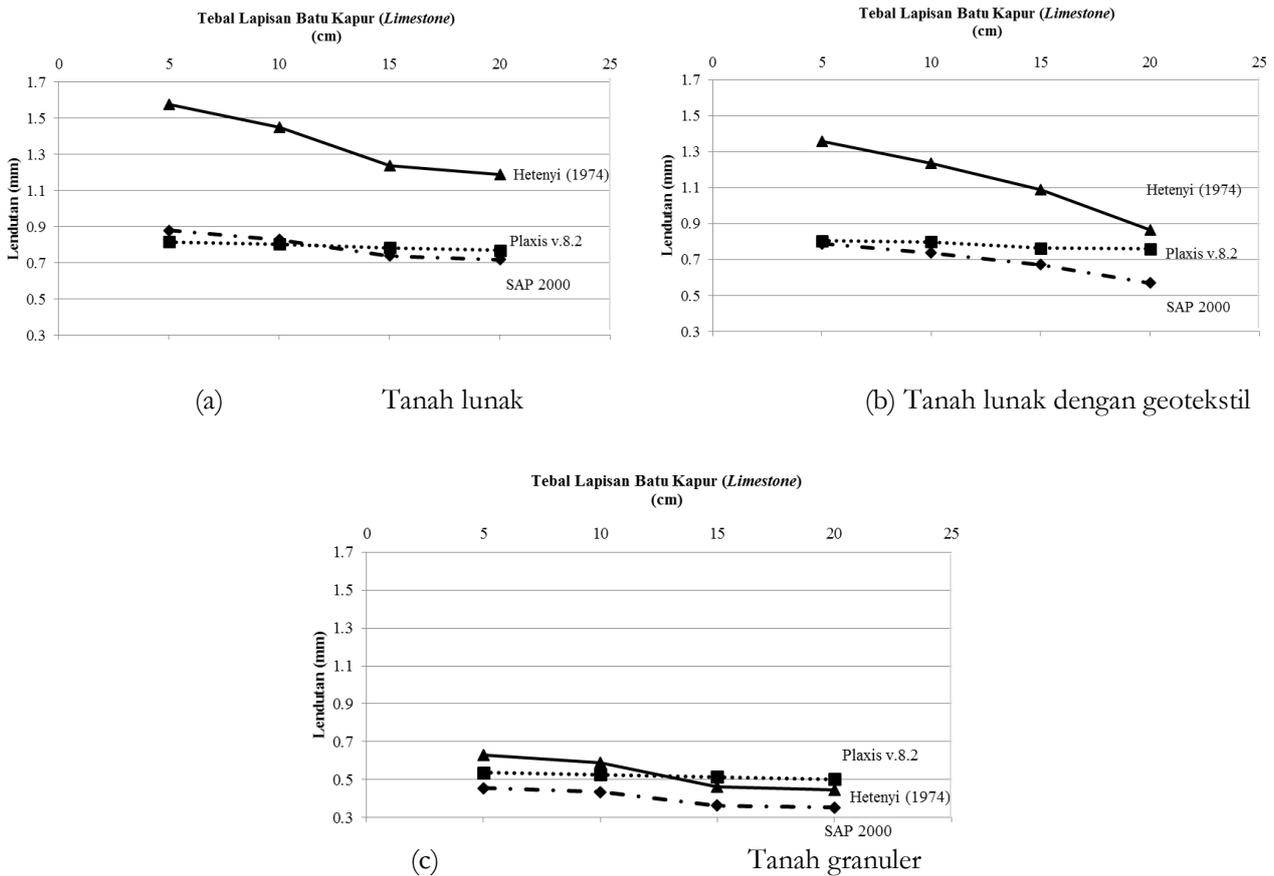
Gambar 3. Lendutan maksimum pelat dengan rumus Hetenyi (1974)

Perbandingan Hasil Analisis

Perbandingan nilai lendutan (δ) dari metode perhitungan dengan SAP 2000, Plaxis v.8.2, dan rumus Hetenyi (1974) ditampilkan dalam Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Perbandingan nilai lendutan (δ)

Jenis Tanah Dasar	Tebal Lapis Pondasi (cm)	δ SAP 2000 (mm)	Penurunan δ SAP 2000 (%)	δ Plaxis v.8.2 (mm)	Penurunan δ Plaxis v.8.2 (%)	δ Hetenyi (1974) (mm)	Penurunan δ Hetenyi (1974) (%)
Tanah Lunak	5	0,878	-	0,8157	-	1,5748	-
	10	0,827	5,81	0,8026	1,61	1,4500	7,92
	15	0,738	10,76	0,7827	2,48	1,2375	14,66
	20	0,717	2,85	0,7692	1,72	1,1886	3,95
Tanah Lunak dengan Perkuatan Geotekstil	5	0,789	-	0,8058	-	1,3569	-
	10	0,738	6,46	0,7982	0,94	1,2375	8,80
	15	0,673	8,81	0,7638	4,31	1,0888	12,02
	20	0,571	15,16	0,7597	0,54	0,8656	20,50
Tanah Granuler	5	0,454	-	0,5371	-	0,6285	-
	10	0,434	4,41	0,5270	1,88	0,5901	6,11
	15	0,363	16,36	0,5149	2,30	0,4609	21,89
	20	0,353	2,75	0,5015	2,60	0,4439	3,69



Gambar 4. Perbandingan nilai lendutan dari tiga jenis metode perhitungan

Pembahasan

Hasil dari tiga metode analisis menunjukkan perilaku yang sama, yaitu penambahan ketebalan lapisan pondasi batu kapur (*limestone*) dapat mengurangi nilai lendutan pada perkerasan jalan dan lendutan pada kondisi tanah granuler sebagai tanah dasar lebih kecil dibandingkan dengan tanah lunak dengan geotekstil dan tanah lunak. Hasil perhitungan dengan program SAP 2000 menunjukkan penurunan rata-rata nilai lendutan pada kondisi tanah lunak, tanah lunak dengan geotekstil, dan tanah granuler sebagai tanah dasar berturut-turut dengan nilai sebesar 6,47%, 10,14%, dan 7,84%. Penambahan geotekstil pada tanah lunak menurunkan nilai rata-rata lendutan sebesar 12,52%, dan selisih penurunan pada kondisi tanah granuler sebagai tanah dasar dengan tanah lunak & tanah lunak dengan geotekstil berturut-turut dengan nilai sensor 41,97% dan 50,74%.

Hasil perhitungan dengan program Plaxis v.8.2 menunjukkan penurunan rata-rata nilai lendutan pada kondisi tanah lunak, tanah lunak dengan geotekstil, dan tanah granuler sebagai tanah dasar berturut-turut dengan nilai sebesar 1,94%, 1,93%, dan 2,26%. Penambahan geotekstil pada tanah lunak menurunkan nilai rata-rata lendutan sebesar 1,35%, dan selisih penurunan pada kondisi tanah granuler sebagai tanah dasar dengan tanah lunak & tanah lunak dengan geotekstil berturut-turut dengan nilai sensor 33,47% dan 34,49%.

Hasil perhitungan dengan rumus Hetenyi (1974) menunjukkan penurunan rata-rata nilai lendutan pada kondisi tanah lunak, tanah lunak dengan geotekstil, dan tanah granuler sebagai tanah dasar berturut-turut dengan nilai sebesar 8,84%, 13,77%, dan 10,56%. Penambahan geotekstil pada tanah lunak menurunkan nilai rata-rata lendutan sebesar 16,92%, dan selisih penurunan pada kondisi tanah granuler sebagai tanah dasar dengan tanah lunak & tanah lunak dengan geotekstil berturut-turut dengan nilai sensor 53,09% dan 63,74%.

Perbandingan hasil perhitungan ketiga metode menunjukkan selisih sebesar 13,07% untuk hasil dari program SAP 2000 dan Plaxis v.8.2, sedangkan selisih hasil rumus Hetenyi (1974) dengan hasil program SAP 2000 dan Plaxis v.8.2 berturut-turut sebesar 34,80% dan 27,52%.

KESIMPULAN

1. Pertambahan lapisan pondasi batu kapur (*limestone*) mampu mereduksi lendutan yang dihasilkan oleh pembebanan dengan rata-rata penurunan sebesar 8,15% hasil SAP 2000, 2,04% hasil Plaxis v.8.2, dan 11,06% hasil rumus Hetenyi (1974),
2. Pertambahan geotekstil pada tanah lunak mampu mereduksi lendutan yang dihasilkan oleh pembebanan dengan rata-rata penurunan sebesar 12,52% hasil SAP 2000, 1,35% hasil Plaxis v.8.2, dan 16,92% hasil rumus Hetenyi (1974),
3. Tanah granuler memiliki daya dukung yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah lunak dan tanah lunak dengan geotekstil dengan selisih rata-rata 46,36% hasil SAP 2000, 33,98% hasil Plaxis v.8.2, dan 58,28% hasil rumus Hetenyi (1974),
4. Perhitungan dengan metode elemen hingga dengan bantuan program SAP 2000 dan Plaxis v.8.2 memiliki nilai yang mirip dengan selisih 13,07%. Rumus Hetenyi (1974) menghasilkan selisih 34,80% dengan program SAP 2000 dan 27,52% dengan program Plaxis v.8.2.

REFERENSI

- 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, 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.
- Hardiyatmo. H.C, 2009, *Metode Hitungan Lendutan Pelat dengan Menggunakan Modulus Reaksi Tnaah Dasar Ekvivalen untuk Struktur Pelat Fleksibel*, Dinamika Teknik Sipil, Volume 9 Nomor 2, Yogyakarta.
- 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.
- 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.
- Yanto. F.H., 2015, *Analisis Lendutan Perkerasan Kaku pada Tanah Lunak dengan Perkuatan Kolom Soil Cement*, Surakarta: Universitas Sebelas Maret.