

SIMULASI PERILAKU PELAT BETON SEBAGAI PERKERASAN KAKU DI ATAS TANAH SUBGRADESARADAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Rizal Raissa Hilyanto¹⁾, Bambang Setiawan²⁾, Niken Silmi Surjandari³⁾

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret,

^{2),3)}Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret.

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: rizal_raisa@yahoo.com.

Abstract

Rigid pavement is the right solution to solve the problematic subgrade. However, if the thickness and quality of concrete cannot be calculated properly, it can provide deflection very much, thus causing cracking, also causing pumping and faulting at slab joint. Plaxis 3D is one alternative to analyze deflection and total stress result from analysis at the interior, corner, and edge loading. Slab model has dimension of 6x3 m, while the thickness varied from 15, 25, and 35 cm and f_c used in this experiments are assumed to be 20, 25 and 30 MPa. The soil samples were taken from Saradan quarry. Maximum deflection and subgrade total stress occurred at the corner loading. The increase in f_c resulting the deflection reduced about 4%-12% and the subgrade total stress reduced about 2%-11%. The adding of slab thickness reducing deflection value significantly, about 47%-62% at interior loading, 52%-70% at edge loading, and 57%-74% at corner loading, also reducing subgrade total stress value about 27%-36% at interior loading, 38%-53% at edge loading, and 47%-62% at corner loading.

Keywords: *plaxis 3d, the problematic soils, cracking, pumping, faulting, deflection, total stress*

Abstrak

Perkerasan kaku adalah solusi tepat dalam menangani tanah dasar yang bermasalah. Namun jika tebal dan mutu beton tidak diperhitungkan dengan tepat, akan menghasilkan lendutan yang sangat besar, sehingga menyebabkan cracking, serta pumping dan faulting pada sambungan. Plaxis 3D adalah salah satu alternatif dalam menganalisis besarnya lendutan dan tegangan total tanah akibat pembebanan pusat, ujung, dan tepi pelat. Model pelat berukuran 6x3 m dengan ketebalan 15, 25, dan 35 cm dan mutu beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah f_c 20, 25 dan 30 MPa. Sampel tanah berasal dari Quarry Saradan. Posisi pembebanan ujung pelat menghasilkan nilai lendutan dan tegangan total tanah terbesar. Peningkatan mutu beton mengakibatkan penurunan nilai lendutan sebesar 4%-12% dan tegangan total sebesar 2%-11%. Penambahan ketebalan pelat menghasilkan penurunan yang signifikan, mencapai 47%-62% pada *interior loading*, 52%-70% pada *edge loading*, dan 57%-74% pada *corner loading*, serta mengalami penurunan nilai tegangan total tanah sebesar 27%-36% pada *interior loading*, 38%-53% pada *edge loading*, dan 47%-62% pada *corner loading*.

Kata kunci: *plaxis 3d, tanah bermasalah, cracking, pumping, faulting, lendutan, tegangan total*

PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap jalan raya untuk pemerataan dan distribusi pembangunan ke setiap daerah membuat pelaksanaan konstruksi perkerasan jalan diatas tanah yang bermasalah tidak dapat dihindarkan lagi, permasalahan tersebut timbul apabila perkerasan dibangun diatas tanah yang memiliki daya dukung rendah seperti tanah lunak atau ekspansif. Perletakan pelat diatas tanah bergantung pada kekuatan pelat, kapasitas dukung tanah dasar dan interaksi antara pelat dan tanah dasar dalam mendukung beban. Namun apabila tidak diperhitungkan secara tepat dalam perencanaan tebal pelat dan mutu beton, ketika menerima beban yang besar akan menghasilkan lendutan yang besar, sementara tanah bermasalah hanya menghasilkan tegangan total yang kecil, sehingga berpotensi terjadinya *cracking* dan *pumping* maupun *faulting* pada sambungan pelat.

LANDASAN TEORI

Perkerasan Kaku

Perkerasan kaku adalah perkerasan yang menggunakan beton semen sebagai bahan utama. Perkerasan kaku dapat dikelompokkan kedalam:

- a. Perkerasan beton semen yaitu perkerasan kaku dengan beton sebagai lapisan aus, terdapat 4 jenis perkerasan beton semen yaitu :
 - Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan,
 - Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan,
 - Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan,
 - Perkerasan beton semen prategang.
- b. Perkerasan komposit yaitu perkerasan kaku dengan pelat beton semen sebagai lapisan pondasi dan aspal beton sebagai lapis permukaan.

Muatan Sumbu Terberat (MST) Kendaraan

Muatan sumbu terberat adalah beban gandar maksimum yang diijinkan pada jalan raya. 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

Tanah Lunak

Tanah lunak merupakan tanah kohesif yang mempunyai kuat geser rendah dan kompresibilitas tinggi yang dapat menimbulkan penurunan dan ketidakstabilan konstruksi akibat sifat-sifat yang ada pada tanah tersebut. Jenis tanah ini banyak dijumpai di Indonesia meliputi lempung (organik dan anorganik) dan gambut. Ciri-ciri dari tanah lunak menurut Sasanti (2008) antara lain mempunyai kadar air yang tinggi ($\geq 40\%$), indeks plastisitas sedang-tinggi, ($>20\%$), dan nilai $S_u < 25$ kPa. Indikator-indikator tentang tanah lunak yang lain dijelaskan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Indikator kuat geser tak terdrainase lempung lunak (Litbang, 2001)

No	Konsistensi	Indikasi Lapangan
1	Lunak	Bisa dibentuk dengan mudah dengan jari tangan
2	Sangat Lunak	Keluar diantara jari tangan jika diremas dalam kepalan tangan

Tabel 2. Kuat geser lempung lunak (Litbang, 2001)

No	Konsistensi	Kuat Geser kN/m ²
1	Lunak	12,5 – 25
2	Sangat Lunak	< 12,5

Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem ini membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Indeks kelompok (*group index*) (GI) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan :

$$GI = (F-35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (PI - 10)$$

dengan,

GI = Indeks kelompok (group index)

F = Persen butiran lolos saringan No. 200 (0,075 mm)

LL = Batas cair

PI = Indeks Plastisitas

Terdapat beberapa aturan untuk menggunakan nilai GI, yaitu:

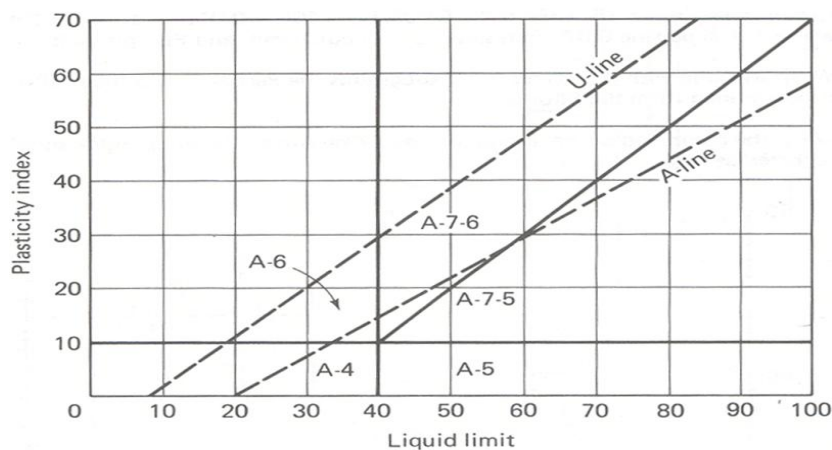
1. Bila $GI < 0$, maka dianggap $GI = 0$
2. Nilai GI yang dihitung dari Persamaan (2.1), dibulatkan pada angka yang terdekat.
3. Nilai GI untuk kelompok tanah A-1a, A-1b, A-2-4, A-2-5, dan A-3 selalu nol
4. Untuk kelompok tanah A-2-6 dan A-2-7 hanya bagian dari persamaan indeks kelompok yang digunakan :
 $GI = 0,01 (F-15) (PI-10)$
5. Tidak ada batas atas nilai GI (maksimum nilainya 20)

Tabel 3. Sistem klasifikasi AASHTO

General Classification	Granular Materials (35% or less passing 0.075 mm)							Silt-Clay Materials (More than 35% passing 0.075 mm)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Group classification	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
Sieve analysis, percent passing:											
2.00 mm (No. 10)	50 max.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.425 mm (No. 40)	30 max.	50 max.	51 min.	—	—	—	—	—	—	—	—
0.075 mm (No. 200)	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing 0.425 mm (No. 40):											
Liquid limit	—	—	—	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.	—	NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel, and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand				Silty soils		Clayey soils	
General rating as subgrade	Excellent to good							Fair to Poor			

*©American Association of State Highway and Transportation Officials, 1978. Used by permission.

†Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL minus 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL minus 30 (see Fig. 3.5).



Grafik1. Batas-batas Atterberg untuk sub kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7 (AASHTO,1978)

Software Plaxis 3D Foundation

Plaxis 3D Foundation dikembangkan di *Delft University of Technology* pada tahun 1987. Terdiri dari tiga sub-program pada *user interface* yaitu *input*, *output*, dan *curves* dengan masing-masing kegunaan. *Input* digunakan untuk mengatur geometri, parameter model, dan fase perhitungan. *Output* digunakan untuk menampilkan hasil perhitungan secara tiga dimensi maupun secara potongan melintang. *Curves* berfungsi untuk melakukan plot grafik angka hasil perhitungan berdasarkan titik tinjauan geometri yang telah ditetapkan. *Toolbar* pada *user interface* digunakan untuk membantu dalam menggunakan masing-masing fitur program.

Metode Elemen Hingga

- Model Tanah
Model perhitungan pada geomekanik sering kali menggunakan analisis non-linear. Secara garis besar, model tanah dibagi menjadi dua kategori : yaitu model dengan perilaku tegangan-regangan tanpa memperhatikan variabel waktu dan model dengan memperhatikan variabel waktu.
- Analisis Metode Elemen Hingga
Analisis metode elemen hingga mendiskretisasi sebuah kontinum menjadi beberapa elemen dan di setiap elemen dipilih fungsi sederhana untuk memperkirakan variasi dari variabel lapangan seperti perpindahan dan tekanan pori
- Elemen Isoparametric

Kondisi 'isoparametric' digunakan karena terdapat kesamaan fungsi (fungsi bentuk) yang dipakai untuk menentukan variasi perpindahan dan geometri dari elemen. Dua jenis elemen yang dipakai tersebut adalah segitiga enam noda dan kuadrilateral delapan noda.

d. Tegangan dan Regangan Elemen

Bila $\{\epsilon\}$ adalah vektor komponen regangan dari sebuah titik yang berubah-ubah dalam elemen hingga, persamaan regangan-perpindahan dan model perpindahan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\{\epsilon\} = [B] \{u_i\}$$

Jika $\{\sigma\}$ adalah vektor dari tegangan yang berhubungan dengan regangan, $\{\epsilon\}$, maka :

$$\{\sigma\} = [D] \{\epsilon\}$$

e. Integrasi Numerik untuk Mendapatkan Kekakuan Elemen

Sebuah aturan kuadratur yang umum digunakan merupakan integrasi Gaussian yang mengevaluasi sebuah integral dengan mengevaluasi fungsi untuk diintegrasikan pada sebuah nomor titik yang dipilih (titik Gauss) dan mengkalikannya dengan faktor beban tertentu.

f. Analisis Metode Non-Linear

Metode solusi non-linear secara garis besar dibagi menjadi tiga, yaitu : prosedur peningkatan, prosedur iterasi, dan prosedur gabungan.

Dimensi Pelat

Penentuan dimensi pelat mengacu pada buku petunjuk perencanaan perkerasan kaku yang meliputi penentuan panjang pelat, lebar pelat, dan tebal pelat.

Material Beton

Klasifikasi dan rujukan mutu beton mengacu pada persyaratan – persyaratan Peraturan Beton Bertulang Indonesia – PBI tahun 1971. Kuat lentur rencana beton 90 hari dianggap estimasi paling baik digunakan untuk menentukan tebal perkerasan.

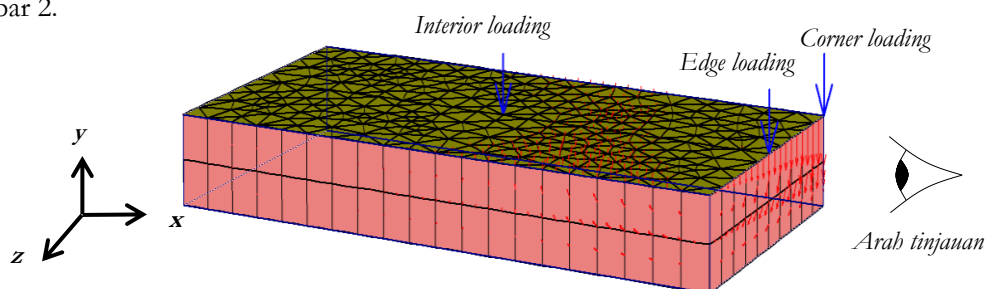
METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah analisis deskriptif kuantitatif menggunakan pemodelan dengan program Plaxis 3D untuk mendapatkan nilai defleksi dan tegangan pada tiga titik pembebanan utama yaitu *Edge Loading*, *Corner Loading*, dan *Interior Loading*. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer hasil uji pendahuluan di Laboratorium Mekanika Tanah UNS berupa indeks properties, parameter geser, dan koefisien konsolidasi. Data sekunder berupa data *properties* tanah dasar dan beton (nilai E , ν , dan γ) dari perhitungan empiris, ketebalan pelat, dan pembebanan dari kendaraan.

Tahapan penelitian ini yaitu dengan melakukan sampling tanah lunak untuk kemudian dilakukan uji parameter tanah yang digunakan untuk mengidentifikasi tanah, klasifikasi menggunakan acuan Sasanti (2008), Bjerrum (1972) dan Litbang (2001), kemudian dilakukan analisis dengan membuat model pada program Plaxis 3D v.1.1. dengan dilakukan variasi mutu beton dan tebal pelat, pembebanan 100kN. Output berupa besarnya lendutan dan tegangan total tanah. Pada bagian akhir dilakukan studi komparasi untuk mengetahui perilaku tegangan dan lendutan pada setiap pembebanan terhadap variasi penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

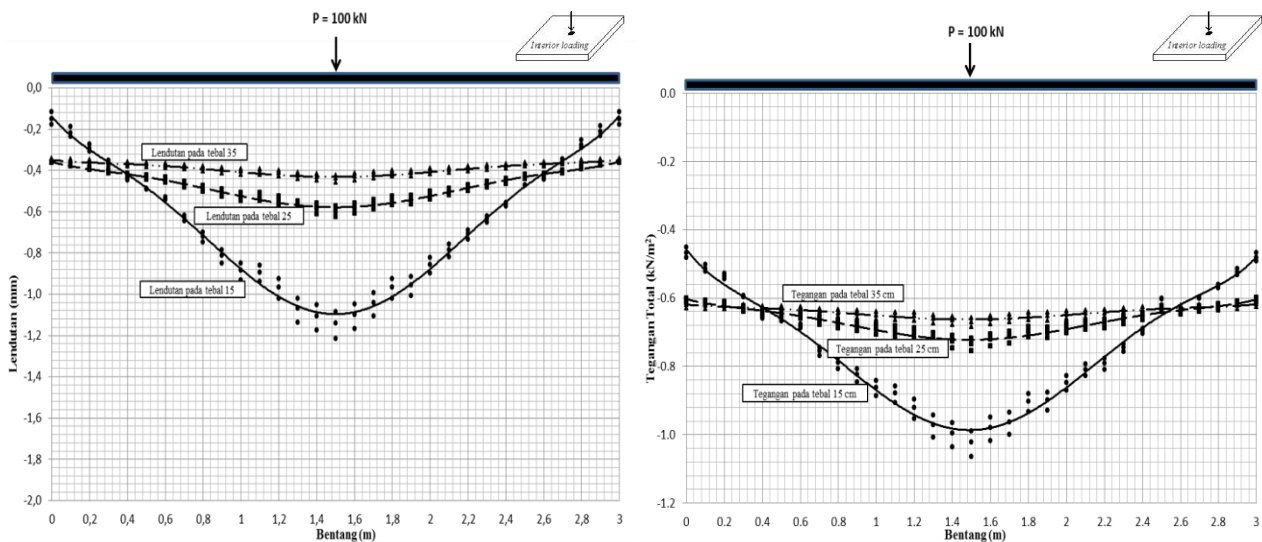
Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini berupa grafik hasil lendutan dan tegangan total tanah pada potongan melintang pelat akibat dari tiga posisi pembebanan dengan variasi tebal pelat (15, 25, dan 35 cm) dan hasil regresi variasi mutu bahan (F_c 20, 25, dan 30 MPa) pada *subgrade* Saradan. Gambar penampang model 3D disajikan dalam Gambar 2.



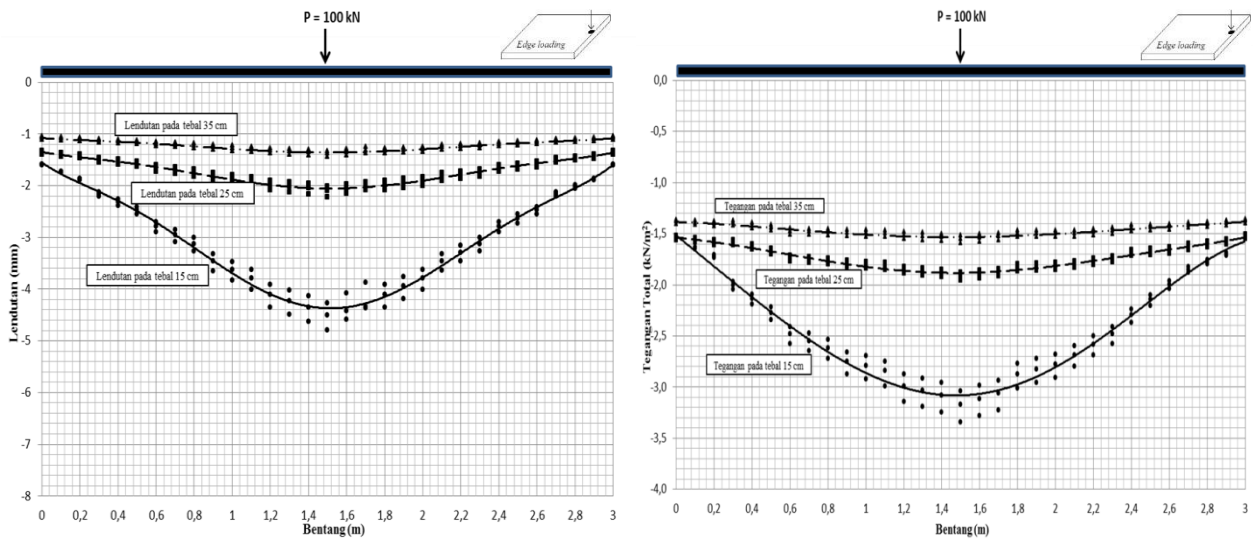
Gambar 1. Model 3D dan Posisi Titik Uji

Tabel 4. Rekapitulasi penurunan nilai lendutan dan tegangan total dengan variasi tebal pelat *Quarry* Saradan

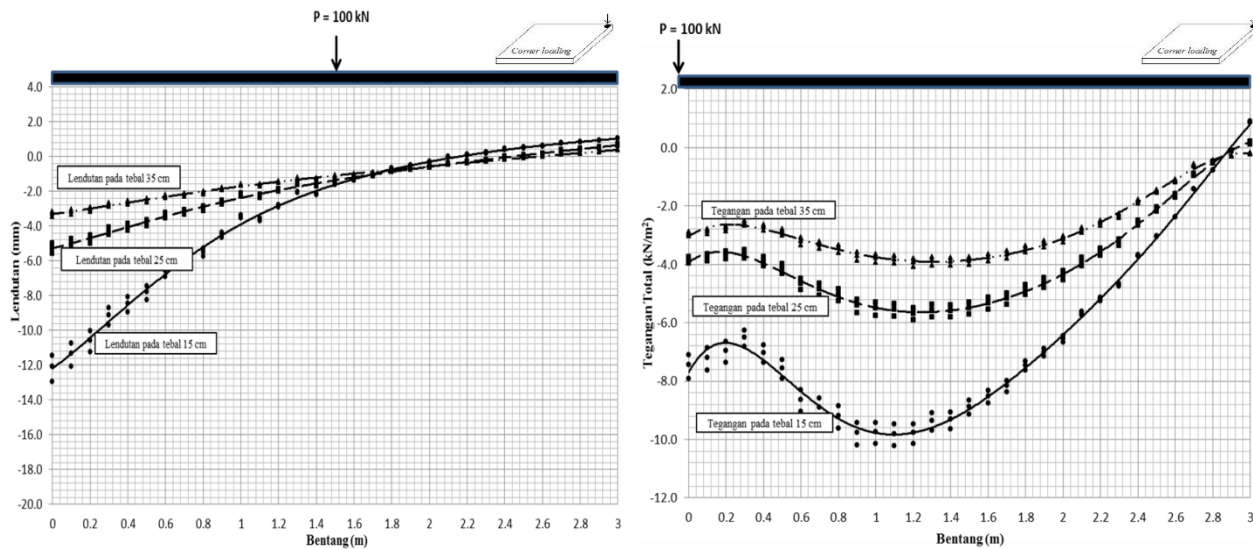
Quarry	Posisi Beban	Tebal (cm)	f'c (Mpa)	δ Maks (mm)	σ Maks (kN/m ²)	% Penurunan δ	% Penurunan σ	
Saradan	Interior Loading	20	15	-1,2147	-1,0642	-	-	
			25	-0,6259	-0,7555	48,48	29,00	
			35	-0,4605	-0,6841	62,09	35,71	
		25	15	-1,1407	-1,0212	-	-	
			25	-0,5962	-0,7350	47,73	28,03	
			35	-0,4417	-0,6693	61,28	34,46	
		30	15	-1,0848	-0,9886	-	-	
			25	-0,5733	-0,7189	47,15	27,28	
			35	-0,4272	-0,6578	60,62	33,46	
		Edge Loading	20	15	-4,7989	-3,3426	-	-
				25	-2,2180	-1,9544	53,78	41,53
				35	-1,4535	-1,5966	69,71	52,24
	25		15	-4,4993	-3,1679	-	-	
			25	-2,1010	-1,9153	53,30	39,54	
			35	-1,3863	-1,5528	69,19	50,98	
	Corner Loading	30	15	-4,2717	-3,0354	-	-	
			25	-2,0112	-1,8797	52,92	38,08	
			35	-1,3349	-1,5192	68,75	49,95	
		20	15	-12,9373	-10,1509	-	-	
			25	-5,5749	-5,9086	56,91	41,79	
			35	-3,4727	-4,0784	73,16	59,82	
	25	15	-12,0953	-9,7719	-	-		
		25	-5,2526	-5,6765	56,57	41,91		
		35	-3,3007	-3,9185	72,71	59,90		
30	15	-11,4557	-9,4729	-	-			
	25	-5,0072	-5,4870	56,29	42,08			
	35	-3,1707	-3,7970	72,32	59,92			



Grafik2. Hasil Lendutan dan Tegangan Total *Subgrade* Akibat *Interior Loading* *Quarry* Saradan dengan Variasi Ketebalan Pelat Beton.



Grafik3. Hasil Lendutan dan Tegangan Total *Subgrade* Akibat *Edge Loading* Quarry Saradandengan Variasi Ketebalan Pelat Beton.



Grafik 4. Hasil Lendutan dan Tegangan Total *Subgrade* Akibat *Corner Loading* Quarry Saradandengan Variasi Ketebalan Pelat Beton.

Pembahasan

Posisi pembebanan pusat, menghasilkan lendutan dan tegangan total tanah terbesar pada tengah bentang (1,5 meter arah sumbu z), begitu juga pada edge loading namun hasil lendutan dan tegangan total tanahnya lebih besar, dikarenakan tanah dasar yang menahan pelat saat edge loading hanya sumbu z dan sumbu x negatif, sedangkan pada interior loading tanah dasar sumbu x dan sumbu z menahan semua. Lain halnya saat *corner loading*, lendutan terbesar berada pada 0 meter sumbu z atau pada ujung pelat karena pelat beton ujung hanya ditahan oleh tanah dasar pada sumbu x negatif dan sumbu z positif.

Pengaruh Lokasi Pembebanan

Lokasi pembebanan memberikan pengaruh yang sangat besar, diantara ketigaposisi pembebanan secara keseluruhan pembebanan pada pusat pelat memberikan nilai defleksi dan tegangan total tanah yang terkecil sedangkan untuk defleksi dan tegangan total tanah terbesar berada pada pembebanan ujung (*corner loading*).

Pengaruh Mutu Pelat

Mutu beton pelat yang digunakan dalam analisis ini adalah 20MPa, 25MPa, dan 30MPa. Hasil dari perhitungan menunjukkan bahwa peningkatan mutu beton pada pelat yang diwakili oleh nilai f_c mampu mengurangi lendutan pelat namun tidak terlalu besar, semakin bagus mutu beton maka nilai f_c akan semakin tinggi dan mempengaruhi besarnya Modulus Young Pelat yang mampu menahan pelat sehingga lendutan semakin kecil. Nilai penurunan lendutan yang terjadi berkisar antara 4% - 11% pembebanan pusat pelat, untuk pembebanan pada tepi sebesar 4% - 11% dan untuk pembebanan ujung 5% - 12%.

Hasil perhitungan tegangan dapat disimpulkan bahwa ketebalan mempengaruhi penurunan dari nilai tegangan yaitu sebesar 2% - 7% untuk pembebanan pusat pelat, kemudian untuk pembebanan tepi sebesar 2% - 9% serta untuk pembebanan ujung didapatkan penurunan nilai tegangan sebesar 3% - 11%. Karena terlalu kecil pengaruhnya, maka variasi mutu beton dijadikan regresi dalam penelitian ini.

Pengaruh Ketebalan Pelat

Tebal pelat yang digunakan dalam analisis ini adalah 15 cm, 25 cm, dan 35 cm. Hasil dari perhitungan menunjukkan bahwa penambahan ketebalan pelat mampu mengurangi lendutan pelat yang sangat signifikan, semakin tebal pelat maka kekakuan akan semakin tinggi sehingga lendutan mengecil. Nilai penurunan lendutan yang terjadi berkisar antara 47% - 62% pembebanan pusat pelat, untuk pembebanan pada tepi sebesar 53% - 70% dan untuk pembebanan ujung 56% - 73%.

Hasil perhitungan tegangan juga dapat disimpulkan bahwa ketebalan mempengaruhi penurunan dari nilai tegangan yaitu sebesar 27% - 36% untuk pembebanan pusat pelat, kemudian untuk pembebanan tepi sebesar 38% - 53% serta untuk pembebanan ujung didapatkan penurunan nilai tegangan sebesar 47% - 61%.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan ketebalan pelat beton pada tanah bermasalah lebih berpengaruh pada berkurangnya nilai defleksi, penurunan lendutan yang terjadi berkisar 47% - 62% pada pembebanan pusat (*interior loading*), untuk pembebanan tepi (*edge loading*) sebesar 52% - 70%, serta pembebanan ujung (*corner loading*) menghasilkan penurunan lendutan yang paling besar, yaitu mencapai 57% - 74%.
2. Penambahan ketebalan pelat beton juga menghasilkan penurunan tegangan total *subgrade* yang signifikan, dimana pada pembebanan pusat (*interior loading*) terjadi penurunan sebesar 27% - 36%, begitu juga pada pembebanan tepi (*edge loading*) terjadi penurunan nilai tegangan sekitar 38% - 53%, dan penurunan nilai tegangan yang paling besar terjadi pada pembebanan ujung (*corner loading*) yaitu berkisar 47% - 62%.
3. Penambahan mutu pelat terhadap ketebalan yang sama menghasilkan penurunan lendutan yang sangat kecil, yaitu berkisar 4% - 12%, dan juga menghasilkan penurunan tegangan total *subgrade* hanya berkisar 2% - 11%.
4. Analisis pemodelan menggunakan pembebanan 100 kN disimpulkan bahwa pembebanan pada pusat pelat (*interior load*) memberikan nilai defleksi dan tegangan total *subgrade* yang terkecil sedangkan untuk lendutan dan tegangan total *subgrade* terbesar berada pada pembebanan ujung (*corner loading*).

REKOMENDASI

1. Penelitian ini dapat dikembangkan lagi dengan memodelkan beban sesuai dengan kondisi lapangan, dan juga dapat ditinjau lebih dalam mengenai gaya dalam pelat beton tersebut.
2. Hasil penelitian ini perlu diverifikasi dengan pengujian *prototype* yang berukuran sesuai dengan modelnya.
3. Perlu untuk dilakukan analisis mengenai kondisi tanah *subgrade* sesuai dengan kondisi lapangan dan pengujian laboratorium harus lebih teliti agar diperoleh nilai parameter tanah yang akurat.
4. Perlu dilakukan analisis menggunakan software SAP2000 atau perhitungan numerik dengan *Westergard Solution* untuk memverifikasi data dan hasil percobaan, sehingga parameter daya dukung tanah, serta nilai CBR dan nilai k_v juga turut diperhitungkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih pertamaditujukan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan nikmatnya. Yang kedua kepada segenap pimpinan dan dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UNS, selanjutnya kepada Bambang Setiawan, S.T., M.T. dan Dr. Niken Silmi S. S.T., M.T. selaku dosen pembimbing,serta rekan – rekan sipil 2009 UNS dan juga seluruh civitas akademika Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil.

REFERENSI

- Abdurrachman, H., Irsyam, M., dan Rustini, S. 2003. *Stabilisasi Lereng Menggunakan Sistem Geosintetik Diangkur*. 2003. Proc. Konperensi Geoteknik Indonesia – IV dan Pertemuan Ilmiah Tahunan – VII. Jakarta.
- Agrensa, F.D. 2012. *Perilaku Model Tereduksi di Laboratorium Struktur Rel Kereta Api dengan Perkuatan Cerucuk Kayu Ditinjau dari Pola Lendutan Akibat Pembebanan Statif Repetitif Divalidasi Analisis Plaxis 3D*. 2012. Tugas Akhir S1. Surakarta : Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Al-Nasra, M. 1997. *Finite Element Analysis of Floor Slabs under Warping Effect*, *Engineering and Structures*, 19 (7): 533-539
- Anonim. 1992. *Annual Book of ASTM Standards Volume 04.02*.
- Anonim. 2005. *Aplikasi Program Plaxis*. Jakarta : PT Reka Griya Sarana.
- Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum. Pedoman Stabilisasi Dangkal Tanah Lunak untuk Konstruksi Timbunan Jalan (Pd T-11-2005-B).
- Bjerrum, L, 1972, *Embankment on Soft Ground*, Proc. Spec. Conf. Performance of Earth and Earth Supported Structure, Lafayette, Ind. Pp. 1-54.
- Bowles, J.E., *Foundation and Analysis Design*. Jakarta: Erlangga.
- Burke, John Josep. 1983. *A Nonlinear Finite Element Analysis of Soil Deformation*. Loughborough University of Technology.
- Firdaus. W. 2010. *Prediksi Perilaku Plat Beton Di Atas Tanah Lunak Menggunakan Metode Boef (Beam On Elastic Foundation) Ditinjau Pada Variasi Teabl Pelat Beton Dan Nilai Pembebanan. Skripsi S1. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UNS Surakarta*.
- Hardiyatmo, H.C., 2006, *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Irsyam, M., Susila, E., Himawan, A. 2009. *Slope Failure of An Embankment on Clay Shale at KM 97+500 of The Cipularang Toll Road and The Selected Solution*. Bangkok : International Symposium on Geotechnical Engineering, Ground Improvement, and Geosynthetics for Human Security and Enviromental Preservation.
- Loannides, A. M., et al. 1985. *Westergard Solutions Reconsidered*. Transportation Research Record, 1043 Transportation Research Board.
- Mardianto, 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_s) dan Mutu Pelat Beton*. Tugas Akhir S1. Surakarta : Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.
- Puslitbang Prasarana Transportasi. 2001. *Timbunan Jalan di Atas Tanah Lunak, Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Tanah Lunak, Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Tanah Lunak, Konsep Panduan Geoteknik 1-3*.
- Sasanti, N.M. 2008. *Pengetahuan Engineering untuk Kontraktor.Materi Pelatihan Angkatan XII*. Jakarta : PT. Pembangunan Perumahan.
- Setiawan, B. 2007. *Clay Mineralogi*.Tugas. Program Studi Pasca Sarjana, Jurusan Ilmu Teknik, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Syahril, 2000. *Studi Perbandingan Analisis Kestabilan Konstruksi Lereng/Timbunan di atas Tanah Lunak dengan Metoda Geo-design dan Plaxis*, Unikom.Bandung.