



ANALISIS DEFORMASI TANAH LEMPUNG DENGAN PERKUATAN MODEL KONFIGURASI BUCKET GEOGRID

Musdalifah

*Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Makassar,
Jl. Perintis Kemerdekaan km.9 No. 29 Makassar, Indonesia 90245*

Email : musdalifah.s.dty@uim-makassar.ac.id

ABSTRAK

Deformasi pada lapisan pondasi dapat menyebabkan kerusakan lapisan beraspal di atasnya, salah satunya dalam bentuk cracking atau retak. Kondisi tanah setempat atau tanah yang ada dilapangan tidak selalu sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis deformasi tanah lempung yang diperkuat dengan konfigurasi bucket geogrid. Pengujian dilakukan dengan beberapa tahap yaitu menguji sifat fisik dan mekanik material tanah dasar lempung dan sirtu menggunakan standar SNI dan ASTM. Pengujian deformasi tanah dilakukan dengan model fisik laboratorium melalui desain yang dibuat menggunakan metode pengujian pelat pembebanan pada bak uji berukuran 180 x 50 x 100 cm yang menggunakan perkuatan konfigurasi bucket geogrid dengan empat variasi model, yaitu tanpa perkuatan, dengan perkuatan bucket geogrid tipe tunggal, sejajar dan interlock. Hasil penelitian menunjukkan tanah timbunan tanpa perkuatan saat dibebani maksimal mengalami keruntuhan sebesar 42,5 kN dan mengalami penurunan yang sebesar 3,7 % dari tinggi lapisan pondasi. Sementara sampel-sampel dengan perkuatan bucket geogrid tipe tunggal, sejajar dan interlock pada beban yang sama mengalami penurunan sebesar 3,5 % ,2,8 % dan 1,91 %. Dengan menggunakan perkuatan bucket geogrid tipe tunggal, sejajar dan interlock dapat mencapai beban ultimit hingga 45 kN, 50 kN, dan 55 kN. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perkuatan dengan konfigurasi bucket geogrid tipe interlock lebih efektif mereduksi penurunan akibat pembebanan yaitu sebesar 1,91% sehingga dapat lebih meningkatkan daya dukung tanah

Kata Kunci: *Deformasi, perkuatan, bucket geogrid*

ABSTRACT

Deformation in the foundation layer can cause damage to the asphalt layer above it, one of which is in the form of cracking or cracks. Local soil conditions or existing soil in the field are not always in accordance with the stipulated requirements. This study aims to analyze the deformation of clay reinforced with a bucket geogrid configuration. The test was carried out in several stages, namely testing the physical and mechanical properties of the clay and gravel subgrade materials using SNI and ASTM standards. Soil deformation testing is carried out with a laboratory physical model through a design made using the loading plate test method in a test tub measuring 180 x 50 x 100 cm using a reinforced geogrid bucket configuration with four variations of the model, namely without reinforcement, with a single type geogrid bucket reinforcement, parallel and interlocks. The results showed that the unreinforced embankment soil when it was maximally loaded experienced a collapse of 42.5 kN and experienced a decrease of 3.7% from the height of the foundation layer. Meanwhile, the samples with single, parallel and interlock type geogrid bucket reinforcement at the same load decreased by 3.5%, 2.8% and 1.91%, respectively. By using a single, parallel and interlock type geogrid bucket reinforcement, it can achieve ultimate loads of up to 45 kN, 50 kN and 55 kN. From the results of the study it can be concluded that the reinforcement with the interlock type bucket geogrid configuration is more effective in reducing the settlement due to loading, which is 1.91% so that it can further increase the bearing capacity of the soil..

Keywords: *Deformation, reinforcement, bucket geogrid*





PENDAHULUAN

Sarana infrastruktur jalan memiliki peran yang sangat penting untuk menunjang pertumbuhan ekonomi masyarakat dalam memenuhi kebutuhan, baik untuk pendistribusian barang maupun jasa. Karena pentingnya peranan jalan maka kondisi jalan yang baik akan sangat mempengaruhi kelancaran dan kenyamanan pengguna. Kondisi jalan yang baik sangat dipengaruhi oleh lapisan-lapisan penyusun jalan itu sendiri. (Sukirman, 1999)

Salah satu lapisan yang mempunyai penting dalam menentukan kualitas jalan adalah lapisan pondasi jalan. Semakin baik kualitas dari pondasi jalan maka semakin baik pula mutu jalan. Salah satu fungsi dari pondasi jalan adalah untuk menjaga stabilitas jalan supaya kondisi jalan tidak mudah mengalami perubahan atau kerusakan misalnya *rutting* dan bergelombang. *Rutting* disebabkan karena pondasi jalan tidak mampu untuk menahan beban yang diterima oleh jalan, sehingga pondasi mengalami *deformasi*. *Deformasi* pada lapisan pondasi dapat menyebabkan kerusakan lapisan beraspal di atasnya, salah satunya dalam bentuk *cracking* atau retak. Kondisi tanah setempat atau tanah yang ada dilapangan tidak selalu sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan. (Ismiadji, 2010)

Pembangunan jalan di daerah yang memiliki jenis tanah lunak memerlukan perlakuan yang khusus berupa konstruksi perkuatan tanah yang tepat. Hal ini disebabkan karena daya dukung tanah di daerah lempung sangat kecil dan tidak memenuhi angka keamanan untuk konstruksi jalan raya. Daya dukung tanah yang kecil menyebabkan terjadinya penurunan tanah baik secara vertikal maupun secara horizontal yang cukup besar. (Hardiyatmo, 2010)

Dengan berkembangnya teknologi konstruksi jalan maka untuk menghindari masalah pada subgrade atau lapis pondasi jalan, maka diperlukan perbaikan tanah yang ditujukan untuk menambah kekuatan dan daya dukung tanah, pada umumnya perbaikan tersebut terdiri dari dua metode yaitu stabilisasi kimiawi dan stabilisasi mekanis. Stabilisasi kimiawi biasanya menggunakan campuran material seperti *fly ash*, kapur, *portland cement*, *asphalt cement* dan lain-lain. Sedangkan Stabilisasi mekanis dilakukan dengan menggunakan metode pemadatan disertai pemakaian geosintetik yaitu menggunakan geotekstil, geogrid, *micropile*, *vertical drain* dan lain sebagainya.

Metode perkuatan tanah (*soil reinforcement*) berkembang dengan pesat dengan digunakannya geosintetik. Salah satunya adalah bahan yang sudah banyak digunakan di Indonesia yakni geogrid. Geogrid adalah perkuatan dengan sistem anyaman. Geogrid berupa lembaran berongga dari bahan *polypropylene*, *polyethylene* dan *polyester* atau material *polymer* yang mempunyai bukaan yang cukup besar, dan kekakuan yang baik. Tanah seperti sirtu atau batu pecah (*gravel*) berukuran tertentu bila dipadukan dengan bahan geosintetik berupa geogrid akan memberikan efek

interlock (saling mengunci). (Direktorat Bina Marga, 2009)

Azadegan (2011) melakukan percobaan Laboratorium untuk memperoleh sifat fisik mekanik serta perilaku tanah granular yang diperkuat dengan Geogrid dan campuran kapur / semen, dari hasil penelitian diperoleh bahwa tidak terjadi penurunan yang konsisten atau terjadi peningkatan kuat tekan terhadap semua sampel.

Olaniyan & Akolade (2014) mengemukakan bahwa penggunaan Geogrid pada tanah dasar yang buruk dengan cara menempatkan Geogrid pada berbagai kedalaman dengan lapisan tunggal dan dalam kondisi tanpa rendaman dapat meningkatkan kekuatan tanah dasar. Pemamfaatan geogrid sebagai bahan perkuatan tanah pada konstruksi jalan pada umumnya dilakukan dengan mekanisme penghamparan, dimana geogrid di gelar di atas lapisan tanah dasar dan sub-base. Niroumand et al (2011), mengemukakan bahwa dengan penggunaan Geogrid jenis *Bi-axial* sebagai bahan pembungkus *stone columns* dapat memberikan efek *interlocking* cukup yang besar.

Perilaku kolom batu tunggal dan berkelompok dengan menggunakan geosintetik sebagai pembungkus juga telah dilakukan penelitian dan didapatkan hasil bahwa kolom batu dengan pembungkus geosintetik dapat meningkatkan kekakuan dari kolom tersebut. (Murugesan, 2010) . Sehingga dicoba untuk melakukan perkuatan dengan model geogrid serupa yang di modelkan menyerupai bentuk keranjang (*bucket geogrid*). Diharapkan dengan model perkuatan tersebut dapat menganalisis deformasi tanah yang telah diperkuat dengan konfigurasi *Bucket geogrid* serta pengaruhnya terhadap daya dukung tanah.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat pengujian sifat fisik dan mekanik tanah dasar dan sirtu, bak pengujian deformasi tanah berukuran 180 x 50 x 100 cm, pelat pembebanan, pompa hidrolis dan dial indikator untuk pembacaan penurunan tanah.

Adapun bahan yang digunakan adalah tanah lempung yang berasal dari tanah asli yang berlokasi di Kelurahan Tamalanrea, Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar. Sirtu yang berasal dari Sungai Bili-bili Kabupaten Gowa. Untuk jenis geogrid yang digunakan adalah geogrid *Bi-Axial*.

Metode

Metode penelitian adalah metode kuantitatif dengan pengambilan dan pengumpulan data dilakukan dilaboratorium dengan metode eksperimen. Sumber data yang diambil adalah sumber data primer dimana data yang diambil secara langsung dari lapangan. Pengujian

dilakukan dengan beberapa tahapan. Tahap pertama menguji sifat fisik dan mekanik dari tanah dasar berupa tanah lempung dan sirtu. Selanjutnya pengujian pola deformasi tanah tanah dengan tanpa perkuatan dan dengan perkuatan konfigurasi bucket geogrid.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Tanah Dasar Uji Model

Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu dilakukan persiapan material tanah dasar yang akan dipakai untuk pengujian.

Berdasarkan hasil pengujian dari laboratorium diperoleh data-data karakteristik fisik dan karakteristik mekanik tanah dasar yang diperlukan untuk mengetahui jenis tanah yang akan digunakan sebagai bahan uji pada penelitian ini.

Tabel 1. Rekapitulasi hasil pemeriksaan karakteristik fisik dan mekanik tanah.

Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan
SIFAT FISIK TANAH DASAR	
Kadar Air (w)	23,64 %
Berat jenis (Gs)	2,71
Pemeriksaan Analisa Saringan	
Berbutir Halus	58,00 %
Berbutir Kasar	42,00 %
Atterberg	
Batas Cair (LL)	54,67 %
Batas Plastis (PL)	43,40 %
Index Plastis (PI)	11,27 %
Batas Susut (SL)	11,65 %
Bobot Isi	1,119 gram/cm ³
Kompaksi Standar	
Maximum Dry Density, gd (MDD)	38,50 gram/cm ³
Optimum Moisture Content (OMC)	1,19 %
CBR (California Bearing Ratio)	
95% Dry Unit Weight	1,13 gram/cm ³
CBR Desain	25,0 %
SIFAT MEKANIK TANAH DASAR	
Berat Isi Tanah Dasar	
Kepadatan	1,76 gram/cm ³
Kuat Tekan Bebas	
Qu	0,495 Kg/cm ²
Modulus Elastisitas	707,14 kN/m ²
Pengujian Geser Langsung	
Cohesi (c)	0,059 Kg/cm ²
Sudut Geser Dalam (Ø)	9,848 °

Dari tabel 1 dapat dijelaskan sifat karakteristik fisik dan mekanis jenis tanah yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Dari hasil pengujian analisa saringan berdasarkan presentase yang lolos saringan No. 200 diperoleh hasil tanah tersebut lebih dari 50 % (> 35 %) sehingga tanah diklasifikasikan dalam kelompok tanah berlanau atau berlempung (A-4, A-5, A-6, A-7).

Berdasarkan batas cair (LL) = 54,67% dan Indeks plastisnya = 11,27 %, maka tanah tersebut masuk dalam kelompok A-7-5. Tanah yang masuk kategori A-7-5 termasuk dalam klasifikasi tanah berlempung dimana indeks plastisitasnya min 11.

2. Karakteristik Sirtu Uji Model

Pengujian karakteristik fisik dan mekanis sirtu dilakukan untuk mengklasifikasi jenis sirtu yang akan digunakan pada penelitian. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh data-data karakteristik fisik dan mekanik sirtu seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi hasil pemeriksaan karakteristik fisik dan mekanik sirtu.

Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan
Kadar Air (w)	23,64 %
Berat jenis (Gs)	2,53
Pemeriksaan Analisa Saringan	
Berbutir Halus	0
Berbutir Sedang	49,52 %
Berbutir Kasar	50,48 %
Kompaksi Standar	
Maximum Dry Density, gd (MDD)	2,06 gram/cm ³
Optimum Moisture Content (OMC)	11,60 %
CBR (California Bearing Ratio)	
95% Dry Unit Weight	1,95 gram/cm ³
CBR Desain	14,5 %

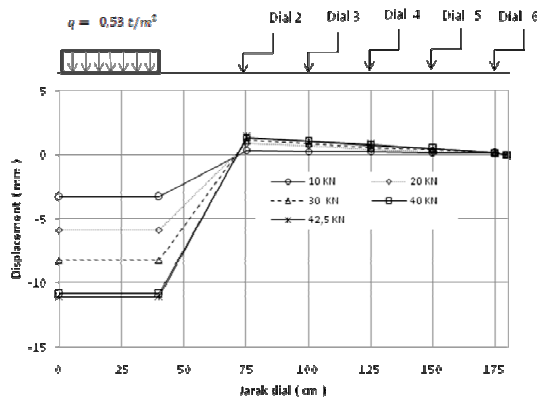
3. Hasil Uji Model Perkuatan Tanah Dengan Konfigurasi Bucket Geogrid

a. Pola Pembebanan Dan Deformasi Tanah Dasar Tanpa Perkuatan bucket geogrid

Pengujian tanah ini dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan dari tanah asli yaitu tanah lempung sebagai parameter pembandingan antara pengujian tanpa perkuatan bucket geogrid dengan pengujian yang menggunakan perkuatan konfigurasi bucket geogrid.

Tabel 3. Hubungan jarak terhadap deformasi tanah dasar tanpa perkuatan hasil uji laboratorium.

Nomor dial	jarak dial (cm)	Deformasi (mm)			
		P : 10 KN	P : 20 KN	P : 30 KN	P : 42,5 KN
0	0	-3,29	-5,85	-8,2	-11,1
1	40	-3,29	-5,85	-8,2	-11,1
2	75	0,29	0,85	1,11	1,34
3	100	0,24	0,73	0,9	1,01
4	125	0,22	0,39	0,5	0,76
5	150	0,16	0,25	0,38	0,48
6	175	0,1	0,12	0,14	0,17



Gambar 1. Grafik hasil uji model hubungan jarak vs deformasi tanah dasar tanpa perkuatan

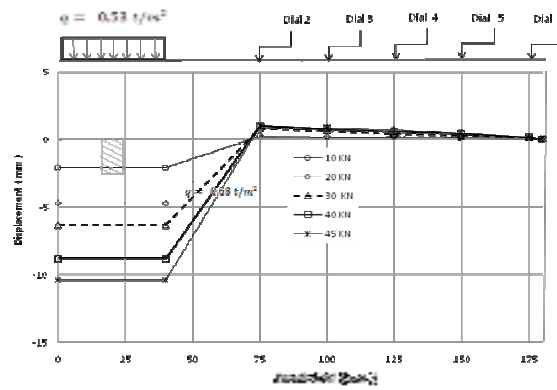
Gambar 1 Menunjukkan deformasi terjadi pada dial 1 yaitu pada tanah yang berada dibawah pelat pembebanan sedangkan pada dial 2 sampai 6 tidak mengalami penurunan. Menurut (Safitri, 2015) deformasi yang terjadi pada tanah juga berkaitan dengan jarak, semakin jauh jarak pembebanan terhadap titik yang ditinjau deformasinya maka akan semakin kecil deformasi yang terjadi.

b. Pola Pembebanan D.an Deformasi Tanah Dasar dengan Perkuatan bucket geogrid tipe tunggal

Hasil pengujian model dengan perkuatan bucket geogrid tipe tunggal dapat dilihat pada tabel 4 dan gambar 2.

Tabel 4. Hubungan jarak terhadap deformasi tanah dasar dengan perkuatan bucket geogrid tipe tunggal.

Nomor dial	jarak dial (cm)	Deformasi (mm)				
		P : 10 KN	P : 20 KN	P : 30 KN	P : 40 KN	P : 45 KN
0	0	-2,04	-4,7	-6,31	-8,81	-10,4
1	40	-2,04	-4,7	-6,31	-8,81	-10,4
2	75	0,25	0,61	0,83	0,97	1,03
3	100	0,23	0,59	0,65	0,77	0,83
4	125	0,21	0,29	0,39	0,58	0,7
5	150	0,14	0,22	0,28	0,42	0,45
6	175	0,1	0,11	0,13	0,16	0,17



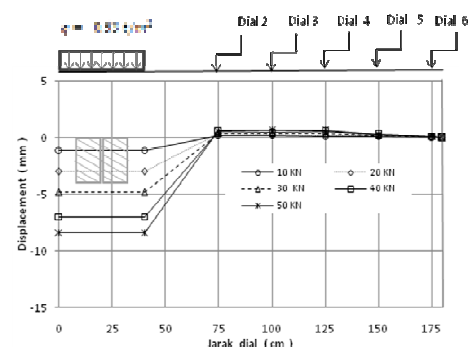
Gambar 2 . Grafik hasil uji model hubungan jarak vs deformasi tanah dasar dengan perkuatan bucket geogrid tipe tunggal.

Gambar 2. Menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi pada perkuatan bucket geogrid dengan tipe tunggal lebih kecil jika dibandingkan dengan tanpa perkuatan (tabel 3) yaitu sebesar 10,4 mm dengan beban maksimal sebesar 45 kN. Menurut (Kurniatullah, D A 2020) Pengaruh geogrid sebagai pembungkus kolom granular dapat meningkatkan daya dukung tanah dan mengurangi deformasi akibat pembebanan.

c. Pola Pembebanan Dan Deformasi Tanah Dasar Dengan Perkuatan Bucket Geogrid Tipe Sejajar.

Tabel 5. Hubungan jarak terhadap deformasi tanah dasar tanpa perkuatan hasil uji laboratorium.

Nomor dial	jarak dial (cm)	Deformasi (mm)				
		P: 10 KN	P: 20 KN	P: 30 KN	P: 40 KN	P: 50 KN
0	0	-1,07	-3	-4,83	-6,97	-8,38
1	40	-1,07	-3	-4,83	-6,97	-8,38
2	75	0,19	0,35	0,42	0,53	0,68
3	100	0,18	0,26	0,4	0,5	0,65
4	125	0,16	0,22	0,36	0,52	0,62
5	150	0,11	0,18	0,24	0,27	0,33
6	175	0,07	0,13	0,14	0,15	0,16



Gambar 3. Grafik hasil uji model hubungan jarak vs deformasi tanah dasar perkuatan bucket geogrid tipe sejajar.

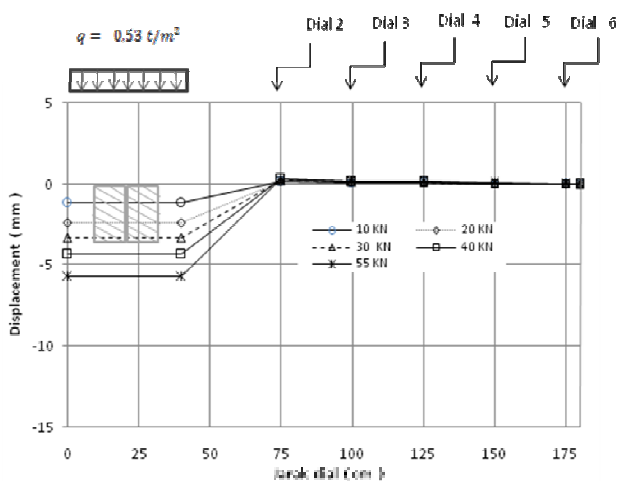
Dari gambar 3. Menunjukkan bahwa hasil pengujian dengan menggunakan perkuatan bucket geogrid tipe sejajar diperoleh besar penurunan 8,38 mm dengan beban maksimal sebesar 50 kN. Nilai penurunan lebih kecil dari tanah dasar tanpa perkuatan. Menurut (Murugesan, 2010) perkuatan kolom batu berbungkus geosintetik yang ditempatkan secara berkelompok memberikan daya dukung yang lebih besar dari kolom individu.

d. Pola Pembebanan Dan Deformasi Tanah Dasar Dengan Perkuatan Bucket Geogrid Tipe Interlock.

Deformasi pada pengujian model dengan perkuatan bucket geogrid tipe interlock dapat dilihat pada tabel 6 yang menunjukkan hubungan antara jarak vs deformasi tanah dasar pada beban sebesar 10 kN, 20 kN, 30 kN, 40 kN, 50 kN dan 55 kN.

Tabel 6. Hubungan jarak terhadap deformasi tanah dasar dengan perkuatan bucket geogrid tipe interlock

Nomor dial	jarak dial (cm)	Deformasi (mm)				
		P: 10 KN	P: 20 KN	P: 30 KN	P: 40 KN	P: 55 KN
0	0	-1,15	-2,4	-3,32	-4,36	-5,74
1	40	-1,15	-2,4	-3,32	-4,36	-5,74
2	75	0,16	0,19	0,24	0,27	0,32
3	100	0,11	0,13	0,14	0,15	0,16
4	125	0,08	0,1	0,11	0,13	0,15
5	150	0,03	0,035	0,035	0,035	0,04
6	175	0,01	0,01	0,02	0,02	0

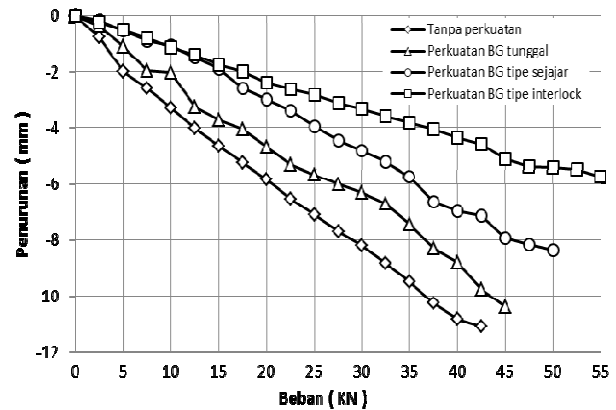


Gambar 4. Grafik hasil uji model hubungan jarak vs deformasi tanah dasar perkuatan bucket geogrid tipe interlock

Dari gambar 4. menunjukkan bahwa pengujian dengan bucket geogrid tipe interlock diperoleh hasil penurunan 5,74 mm dengan beban yang dipikul sebesar 55 kN. Deformasi dari perkuatan ini adalah yang paling kecil dibandingkan perkuatan sebelumnya.

e. Perbandingan pola pembebanan dan deformasi tanah berdasarkan type konfigurasi bucket geogrid

Hasil pengujian model dengan empat pola pengujian dapat dilihat pada gambar 5. Grafik hubungan penurunan vs beban.



Gambar 5. Grafik hasil uji model laboratorium hubungan beban vs penurunan.

Dari hasil pengujian pola pembebanan dapat diinterpretasikan bahwa tanah timbunan tanpa perkuatan saat dibebani maksimal sebesar 42,5 kN dan mengalami penurunan yang sebesar 3,7 % dari tinggi lapisan pondasi. Sementara sampel-sampel dengan perkuatan bucket geogrid tipe tunggal pada beban yang sama mengalami penurunan sebesar 3,5 % dari tinggi lapisan pondasi. Untuk sampel pengujian perkuatan bucket geogrid tipe sejajar pada beban yang sama mengalami penurunan sebesar 2,8 % dan pengujian dengan perkuatan bucket geogrid tipe interlock pada beban yang sama sebesar 1,91 %. Dalam penelitian (Araújo & Pinto, 2009) penggunaan geotekstil sebagai pembungkus pada kolom pasir dapat secara signifikan meningkatkan daya dukung dan mengurangi terjadinya deformasi vertikal.

Dengan menggunakan perkuatan bucket geogrid tipe tunggal, sejajar dan interlock daya dukung tanah semakin meningkat dapat mencapai beban maksimum hingga 45 kN, 50 kN, dan 55 kN.

KESIMPULAN:

1. Pola deformasi tanah lempung yang terjadi dengan adanya perkuatan model *bucket geogrid* tipe tunggal, sejajar dan interlock dapat mereduksi penurunan akibat pembebanan.



2. Tanah timbunan tanpa perkuatan saat dibebani maksimal mengalami keruntuhan sebesar 42,5 kN dan mengalami penurunan yang sebesar 3,7 % dari tinggi lapisan pondasi. Sementara sampel-sampel dengan perkuatan bucket geogrid tipe tunggal pada beban yang sama mengalami penurunan sebesar 3,5 % dari tinggi lapisan pondasi. Untuk sampel pengujian perkuatan bucket geogrid tipe sejajar pada beban yang sama mengalami penurunan sebesar 2,8 % dan pengujian dengan perkuatan bucket geogrid tipe interlock pada beban yang sama sebesar 1,91 %. Dengan menggunakan perkuatan bucket geogrid tipe tunggal, sejajar dan interlock dapat mencapai beban ultimit hingga 45 kN, 50 kN, dan 55 kN.
3. Perkuatan dengan konfigurasi bucket geogrid tipe interlock dinilai lebih efektif karena memberikan nilai deformasi lebih kecil dibandingkan perkuatan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Araújo, G. L. S., & Pinto, R. (2009). *Geosynthetic Encased Columns in a Tropical Collapsible Porous Clay Colonnes renforcée avec Géosynthétiques et argileux tropical poreux effondrable*. 889–892. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-031-5-889>
- Azadegan, O. (2011). Laboratory Study on the Effects of Geogrid Layers on Mechanical Properties of Lime / Cement Treated Granular Soils. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 16, 499–512.
- Direktorat Bina Marga. (2009). *Modul Pelatihan Geosintetik Vol.1 Klasifikasi & Fungsi Geosintetik*.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika tanah II* (ke 3). Gadjah Mada University Press.
- Ismiadji, G. O. (2010). *Investigasi kualitas material pondasi jalan granular kelas A menggunakan alat CBR dan UTM*.
- Kurniatullah, D. A. (2020). Bearing capacity of synthetic granular column encased reinforcement geogrid on soft soil Bearing capacity of synthetic granular column encased reinforcement geogrid on soft soil. *Earth and Environmental Science* 419. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/419/1/012041>
- Murugesan, S. (2010). Studies on the Behavior of Single and Group of Geosynthetic Encased Stone Columns. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(1).
- Niroumand, H., Kassim, K. A., & Yah, C. S. (2011). Soil improvement by reinforced stone columns based on experimental work. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 16 L, 1477–1499.
- Olanayan, O. S., & Akolade, A. S. (2014). Reinforcement of Subgrade Soils with the Use of Geogrids. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3(6), 2579–2584.
- Safitri, O. Z. (2015). Model laboratory dari penggunaan Geocell tipe GC1040 dan Geotekstil yang dimodifikasi sebagai Geocell pada stabilisasi lapis pondasi jalan. *Tugas Akhir*.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova, Bandung.