

## PEMANFAATAN MATRAS BAMBUN PADA PERBAIKAN NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) TANAH LEMPUNG

Aazokhi WARUWU<sup>1\*</sup>, Memotani ZEGA<sup>2</sup>, Debby ENDRIANI<sup>3</sup>, Rika Deni SUSANTI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pelita Harapan

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Medan

<sup>3,4</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Amir Hamzah

\*Email korespondensi: azokhiw@gmail.com

[diterima: 8 Agustus 2021, disetujui: 12 April 2022]

### ABSTRACT

Clay soil has low bearing capacity, stability, and CBR (California Bearing Ratio). Subgrade with low CBR needs reinforcement to improve mechanical properties and increase bearing capacity when compacting and spreading soil with heavy equipment and when the vehicle load is working on the road surface. Bamboo material has the potential to be used as reinforcement for clay soil. This study aims to determine the effect of woven and non-woven bamboo mat reinforcement and the effect of the number of layers of reinforcement on the CBR value. The reinforcement of bamboo mats is distinguished by 3 and 5 layers of woven and non-woven types, with the number of strokes on the laboratory CBR specimen being as many as 25 blows and 56 blows. The laboratory CBR test was conducted on unreinforced and reinforced clay. The CBR value of soil reinforced with non-woven bamboo mats was obtained at 4.4-5.06%, while the CBR value for soils with reinforced woven bamboo mats was 4.56-5.30%. The arrangement of the woven bamboo mats is closer and tied to each other, making it more sturdy and stable in accepting the load. The number of layers of reinforcement with closer vertical spacing results in a higher CBR value than the number of layers of reinforcement that are less. Closer vertical spacing can expand the pressure contact area, so that the load that can be carried is higher. For road construction, woven bamboo mats with more layers were found to have good performance in increasing the CBR value of subgrade.

**Key words:** Clay, bamboo mat, woven, non-woven, CBR value.

### INTISARI

Tanah lempung memiliki daya dukung, stabilitas, dan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) yang rendah. Tanah dasar dengan CBR rendah perlu perkuatan untuk memperbaiki sifat mekanis dan meningkatkan daya dukung ketika pelaksanaan pemadatan dan penghamparan tanah dengan alat berat dan saat beban kendaraan bekerja di atas permukaan jalan. Material bambu berpotensi digunakan sebagai perkuatan tanah lempung. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perkuatan matras bambu tipe anyam dan nir-anyam dan pengaruh jumlah lapis perkuatan terhadap nilai CBR. Perkuatan matras bambu dibedakan tipe anyam dan nir-anyam sebanyak 3 dan 5 lapis dengan jumlah pukulan pada benda uji CBR laboratorium sebanyak 25 dan 56 pukulan. Uji CBR laboratorium dilakukan pada lempung tanpa perkuatan dan dengan perkuatan. Nilai CBR tanah yang diperkuat matras bambu nir-anyam didapatkan sebesar 4,4-5,06%, sedangkan nilai CBR untuk tanah dengan perkuatan matras bambu anyam sebesar 4,56-5,30%. Susunan matras bambu tipe anyam lebih rapat dan terikat satu sama lain, sehingga lebih kokoh dan stabil dalam menerima beban. Jumlah lapis perkuatan dengan spasi vertikal yang lebih rapat menghasilkan nilai CBR yang lebih tinggi dari jumlah lapis perkuatan yang lebih sedikit. Spasi vertikal yang lebih rapat dapat memperluas bidang kontak tekanan, sehingga beban yang dapat dipikul semakin tinggi. Matras bambu tipe anyam dengan jumlah lapis lebih banyak didapatkan memiliki kinerja yang baik dalam meningkatkan nilai CBR tanah dasar untuk konstruksi jalan.

**Kata kunci:** Lempung, matras bambu, anyam, nir-anyam, nilai CBR.

## PENDAHULUAN

Tanah lempung terdiri dari butiran yang sangat halus dengan sifat-sifat yang dimiliki adalah sifat kohesi dan plastisitas. Sifat kohesi berarti saling menempel antara butirannya dan sifat plastisitas berarti tanah dapat berubah bentuk tanpa perubahan volume dan tanpa adanya retak (Wesley, 2017).

Tanah lempung termasuk dalam kelompok tanah bermasalah karena gaya geser yang rendah, daya dukung rendah, permeabilitas rendah, stabilitasnya rendah, dan pemampatan tinggi (Oktary and Apriyanti, 2017; Naibaho and Waruwu, 2021). Tanah lempung lunak merupakan salah satu tipe tanah yang kurang baik apabila digunakan sebagai tanah dasar konstruksi (Darmawandi et al., 2020). Jenis tanah lempung lunak tidak dapat digunakan sebagai tanah dasar konstruksi, karena memiliki nilai CBR dan kuat tekan yang rendah (Waruwu et al., 2021b). Lapisan tanah lempung lunak

Hidayatussa'diah et al. (2020) melakukan penambahan limbah abu cangkang sawit untuk stabilisasi tanah lempung. Nilai CBR tanah yang distabilisasi dengan 5-10% abu cangkang sawit dapat meningkatkan nilai CBR di atas 7%. Batu pecah dapat digunakan untuk meningkatkan nilai CBR tanah lempung (Oktary and Apriyanti, 2017).

Stabilisasi tanah dengan penambahan material lainnya kurang efektif untuk lapisan tanah yang cukup tebal. Hal yang sama apabila tanah memiliki nilai CBR kurang dari 2%, daya dukung tanah tidak cukup kuat dalam menahan beban alat berat saat melakukan penghamparan dan pemadatan tanah (Hardiyatmo, 2015).

Menurut Darwis (2017), perbaikan tanah berhubungan dengan stabilisasi sifat kimia dan stabilisasi sifat fisik, sedangkan perkuatan tanah berhubungan dengan stabilisasi sifat mekanis. Perkuatan tanah merupakan salah satu metode yang efektif dalam teknik perbaikan tanah (Akhil et al., 2019a).

Tanah dasar dengan CBR sangat rendah lebih baik dibongkar dan diganti dengan material lainnya, atau diberi lapisan penutup dari material granuler, namun saat penghamparan dan pemadatan diperlukan perkuatan untuk memisahkan tanah dasar dengan material lapis penutup (Hardiyatmo, 2015).

Suyuti et al. (2020) meneliti penggunaan geo-bambu di atas perkuatan tiang-tiang bambu. Hasil penelitian ini didapatkan bahwa nilai CBR rata-rata tanah di atas sistem perkuatan didapatkan sebesar 4,9%, nilai ini memenuhi syarat stabilitas timbunan dengan angka keamanan 1,30.

Menurut Hegde and Sitharam (2015), bambu memiliki kuat tarik dan kekasaran permukaan yang lebih tinggi dari material geosel. Grid bambu dapat dikombinasi dengan tiang beton untuk meningkatkan daya dukung tanah akibat beban timbunan (Waruwu et al., 2020a). Perkuatan grid bambu memberikan kinerja yang baik dalam mereduksi penurunan dan meningkatkan daya dukung tanah (Waruwu, 2014; Waruwu and Susanti, 2015; Waruwu et al., 2019; Waruwu et al., 2020b; Waruwu et al., 2021a).

Batang bambu dan grid bambu telah digunakan sebagai material perkuatan tanah. Penggunaan material ini dapat meningkatkan daya dukung tanah tanpa perkuatan dan mereduksi penurunan sekitar 20-30% (Chacko and Joseph, 2016). Hasil penelitian Waruwu et al. (2019), grid bambu dapat mengurangi penurunan sekitar 54-68% tergantung dari jumlah lapis perkuatan yang digunakan. Selain penurunan yang berkurang, perkuatan grid bambu dapat meningkatkan modulus reaksi dan modulus geser tanah dasar (Waruwu et al., 2018).

Batang bambu dapat dibentuk seperti grid atau matras. Matras bambu yang dibentuk dari batang bambu dengan lebar lajur 1,2 cm disusun menyerupai tikar telah diteliti penggunaannya sebagai perkuatan tanah pasir bergradasi buruk oleh (Akhil et al., 2019a).

Matras bambu dapat meningkatkan daya dukung tanah dan mereduksi penurunan tanah bergradasi buruk secara signifikan (Akhil et al., 2019b). Penggunaan yang optimum didapatkan pada lebar matras bambu sebesar tiga kali lebar pondasi. Menurut Shirazi et al. (2020), efektivitas perkuatan geotekstil termasuk bambu dipengaruhi oleh letak lapis pertama, jarak vertikal antara lapis perkuatan, jumlah perkuatan, dan panjang perkuatan. Kekasaran permukaan matras bambu mengakibatkan sudut gesek antarmuka bambu dengan tanah mendekati sama dengan sudut geser tanah pasir (Waruwu and Waruwu, 2021).

Penelitian ini mengkaji penggunaan matras bambu tipe anyam dan nir-anyam sebanyak 3 dan 5 lapis dengan jarak vertikal yang sama sebagai perkuatan tanah lempung melalui uji CBR laboratorium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai CBR pada tanah lempung yang diberi perkuatan matras bambu, untuk mengetahui pengaruh jumlah lapis matras bambu, dan pengaruh anyaman matras bambu pada perubahan nilai CBR.

### CBR Tanah Dasar Jalan

Tanah dasar (*subgrade*) adalah tanah pondasi yang secara langsung memikul beban kendaraan dari perkerasan jalan (Hardiyatmo, 2015). Tanah dasar jalan merupakan lapisan tanah yang dipadatkan dan memiliki fungsi sebagai landasan perkerasan jalan.

Perkerasan jalan merupakan lapis permukaan pelindung untuk tanah dasar yang memiliki fungsi untuk mendistribusikan beban roda kendaraan ke tanah dasar di bawahnya. Tanpa dukungan yang cukup baik dari tanah dasar, perkerasan jalan akan mudah mengalami kerusakan.

Pengelompokan kondisi tanah dasar berdasarkan nilai CBR diuraikan dalam Tabel 1 (Bowles, 1992). Perkiraan kapasitas dukung tanah dasar pada perancangan tebal perkerasan memerlukan nilai CBR tanah dasar dari hasil uji CBR. Uji CBR laboratorium dilakukan pada

tanah yang akan dipadatkan sebagai tanah dasar, sedangkan uji CBR lapangan diperlukan untuk mengetahui nilai CBR sebenarnya yang diperoleh dari tanah dasar di lapangan.

Tabel 1. Nilai CBR tanah (Bowles, 1992).

Klasifikasi	Nilai CBR (%)
Sangat rendah	0-3
Rendah sampai sedang	3-7
Sedang	7-20
Baik	20-50
Sangat baik	> 50

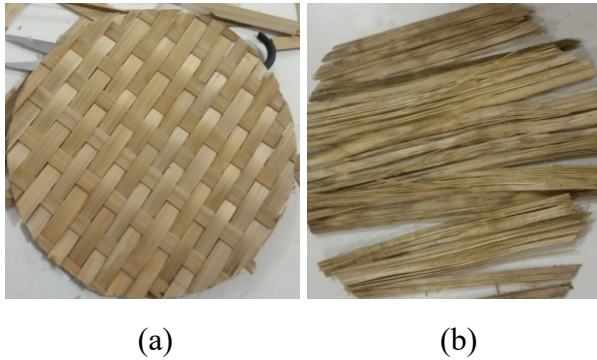
Nilai CBR ditentukan dari perbandingan beban yang dibutuhkan untuk penetrasi benda uji tanah sebesar 0,1” atau 0,2” dengan beban standar pada penetrasi yang sama. Berdasarkan hasil uji CBR didapatkan nilai CBR dari nilai terbesar antara penetrasi 0,1” atau 0,2”. Perbaikan sifat mekanis berupa nilai CBR tanah dasar yang rendah dapat dilakukan melalui penggunaan perkuatan tanah (Darwis, 2017).

### METODE PENELITIAN

Tanah yang digunakan dalam penelitian adalah tanah lempung yang diambil di daerah Pantai Labu Kabupaten Deli Serdang Provinsi Sumatera Utara. Material perkuatan dari bambu diambil dari daerah Sibolangit Kabupaten Deli Serdang Provinsi Sumatera Utara.

Sifat-sifat tanah lempung diuji dengan beberapa uji di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Medan. Sifat-sifat yang diuji di antaranya kadar air, berat jenis, batas-batas *Atterberg*, analisa saringan, hidrometer, dan pemadatan standar. Metode pelaksanaan uji CBR laboratorium dilakukan menurut standar SNI 1744:2012 revisi dari SNI 03-1744-1989.

Matras bambu dibentuk dalam dua tipe yaitu matras bambu anyaman dan matras bambu nir-anyam. Bentuknya seperti terlihat pada Gambar 1. Ukuran diameter matras bambu disesuaikan dengan diameter mold CBR.



Gambar 1. Matras bambu: (a) Anyam; (b) Nir-anyam

Matras bambu anyam atau nir-anyam disisipkan di antara lapisan tanah yang dipadatkan dalam mold CBR. Kadar air yang digunakan untuk dicampur pada tanah mengikuti kadar air optimum dari hasil uji pemadatan standar.

Uji utama dalam penelitian ini adalah uji CBR laboratorium seperti terlihat pada Gambar 2. Jumlah specimen untuk setiap variasi masing-masing 3 (tiga) sampel. Uji CBR dilakukan pada tanah lempung tanpa perkuatan (L), tanah lempung dengan perkuatan matras bambu nir-anyam (L-NA), dan tanah lempung dengan perkuatan matras bambu anyam (L-A). Jumlah lapisan perkuatan dibedakan 3 (tiga) dan 5 (lima) lapis. Jumlah pukulan yang digunakan masing-masing 25 dan 56 pukulan.



Gambar 2. Uji CBR laboratorium

Berdasarkan hasil uji CBR laboratorium didapatkan nilai CBR tanah lempung tanpa perkuatan dan CBR tanah dengan perkuatan. Perbaikan nilai CBR tanah dapat diketahui dari peningkatan nilai CBR tanah lempung akibat

pemasangan perkuatan di antara lapisan lempung.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

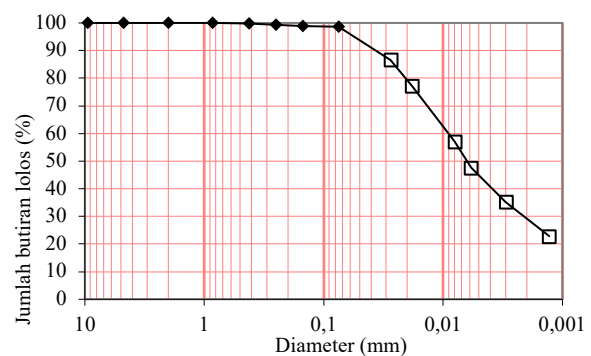
### Sifat-sifat Tanah Lempung

Hasil uji sifat-sifat tanah lempung diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat-sifat tanah lempung

Parameter	Satuan	Nilai
Kadar air, $w$	%	83,17
Berat jenis, $G_s$	-	2,65
Batas cair, $LL$	%	60,96
Batas plastis, $PL$	%	39,17
Indeks plastisitas, $IP$	%	21,79
Lolos saringan No. 200	%	98,64
Kadar air optimum, $w_{opt}$	%	31,8
Berat volume maksimum, $\gamma_d \text{ max}$	gr/cm <sup>3</sup>	1,316

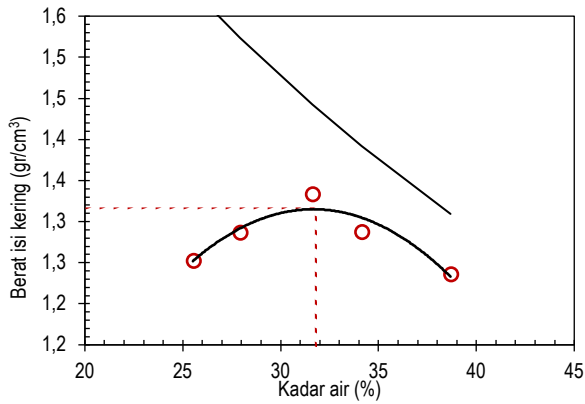
Berdasarkan Tabel 2, didapatkan bahwa tanah lempung yang diteliti memiliki kadar air 83,17%, batas cair 60,96%, batas plastis 39,17%, indeks plastisitas 21,79%, dan lolos saringan No. 200 sebanyak 98,64%. Apabila diklasifikasikan menggunakan klasifikasi AASHTO, maka tanah ini tergolong sebagai tanah berlempung dengan kelompok A-7-5. Distribusi ukuran tanah lempung dari hasil uji analisa saringan dan hidrometer ditunjukkan pada Gambar 3. Sebagian besar tanah terdiri dari 98,96 % fraksi halus, hanya sebagian kecil ukuran butir > 0,075 mm. Ini menunjukkan bahwa sebagian besar tanah ini terdiri dari tanah lempung dan sebagiannya lagi lanau.



Gambar 3. Distribusi ukuran butir tanah lempung

Hasil uji pemadatan standar ditunjukkan pada Gambar 4. Kadar air optimum dan berat isi

kering maksimum didapatkan masing-masing 31,8% dan 1,316 gr/cm<sup>3</sup>. Nilai kadar optimum digunakan sebagai dasar penambahan air untuk campuran tanah pada uji CBR laboratorium.



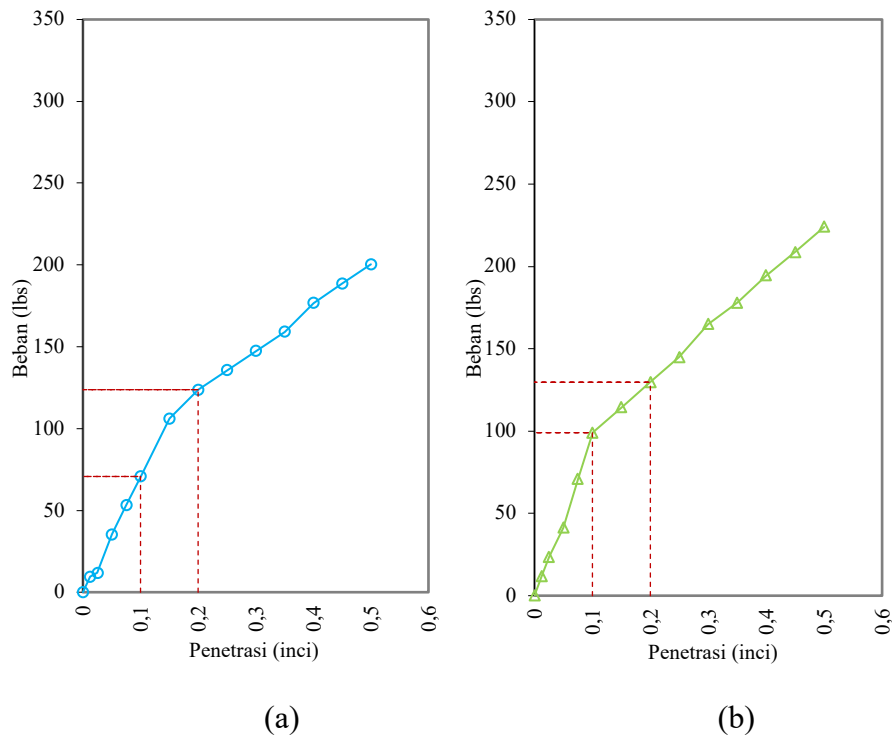
Gambar 4. Hasil uji pematatan standar

### Hasil Uji CBR Laboratorium

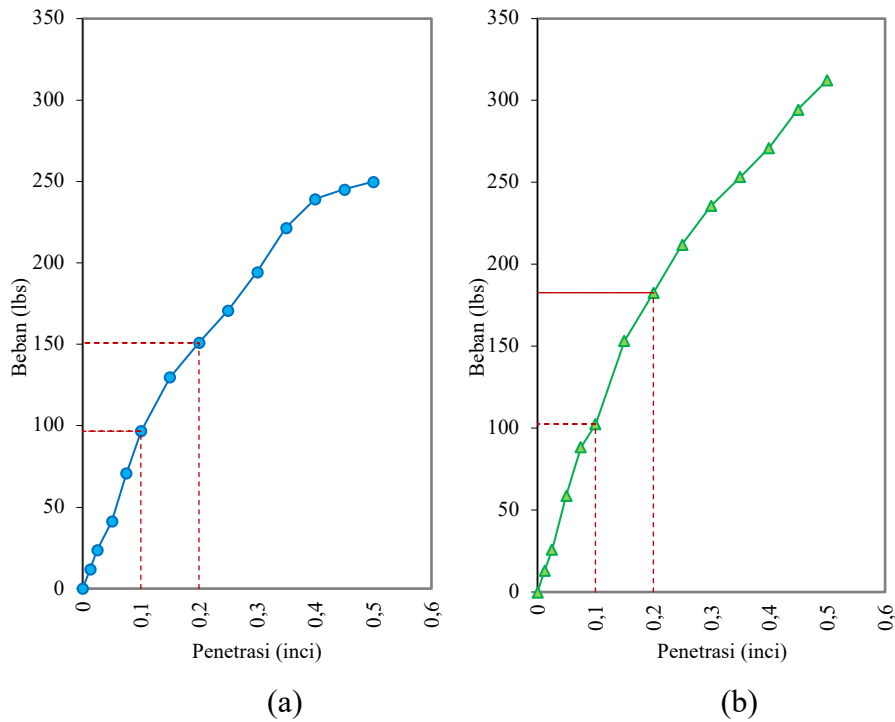
Hasil uji CBR pada tanah lempung (L) tanpa perkuatan dan lempung dengan 3 (tiga) lapis perkuatan matras bambu anyam (L-A) ditunjukkan pada Gambar 5. Penggunaan 5 (lima) lapis perkuatan matras bambu ditunjukkan pada Gambar 6.

Beban yang mampu dipikul oleh tanah yang diberi perkuatan terlihat meningkat, baik untuk 3 (tiga) lapis perkuatan maupun 5 (lima) lapis perkuatan. Ini menunjukkan bahwa perkuatan berkontribusi untuk menahan beban. Beban pada deformasi 0,1” dan 0,2” terlihat meningkat pada L-A, dengan demikian nilai CBR untuk L-A lebih tinggi dibandingkan CBR untuk L.

Hasil penelitian menunjukkan nilai CBR pada tanah yang diberi perkuatan lebih tinggi dari nilai CBR tanah lempung tanpa perkuatan. Hal ini terjadi pada kedua tipe matras bambu (L-NA dan L-A) dan kedua jumlah lapis, baik untuk 3 (tiga) lapis maupun 5 (lima) lapis perkuatan. Nilai CBR untuk 3 (tiga) lapis perkuatan didapatkan sebesar 4,40% dan 4,56% masing-masing L-NA dan L-A, sedangkan untuk 5 (lima) perkuatan didapatkan sebesar 5,06% dan 5,30% masing-masing L-NA dan L-A.



Gambar 5. Hasil uji CBR 3 lapis: (a) L; (b) L-A



Gambar 6. Hasil uji CBR 5 lapis: (a) L; (b) L-A

Berdasarkan beban pada penetrasi 0,1” dan 0,2” didapatkan nilai CBR maksimum pada semua benda uji. Nilai CBR dari masing-masing jenis perkuatan tanah (L-NA dan L-A) dan nilai CBR tanah lempung tanpa perkuatan (L) ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Nilai CBR pada setiap jenis perkuatan

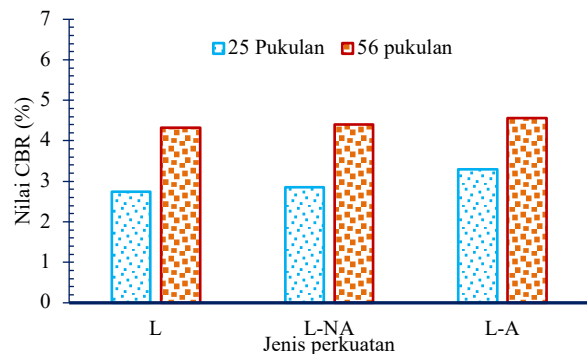
Jenis perkuatan	CBR 3 Lapis (%)		CBR 5 Lapis (%)	
	25 Pukulan	56 Pukulan	25 Pukulan	56 Pukulan
	L	2,75	4,32	3,35
L-NA	2,85	4,40	3,46	5,06
L-A	3,30	4,56	4,06	5,30

**Pengaruh Perkuatan Matras Bambu Terhadap Nilai CBR**

Pengaruh 3 (tiga) lapis perkuatan matras bambu nir-anyam (L-NA) dan perkuatan matras bambu anyam (L-A) terhadap nilai CBR tanah lempung (L) diperlihatkan pada Gambar 7. Penggunaan 3 (tiga) lapis perkuatan pada tanah lempung memperlihatkan peningkatan nilai CBR pada tanah lempung tanah perkuatan baik untuk 25 pukulan maupun 56 pukulan. Nilai CBR 56 pukulan terlihat lebih tinggi dari 25 pukulan. Ini menunjukkan kepadatan tanah

memberikan pengaruh pada nilai CBR, untuk 25 pukulan didapatkan kepadatan tanah dari berat volume kering sebesar 1,30 gr/cm<sup>3</sup> meningkat menjadi 1,32 gr/cm<sup>3</sup> untuk 56 pukulan.

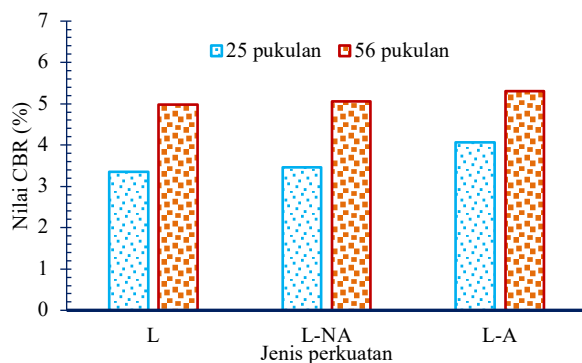
Pengaruh 5 (lima) lapis perkuatan matras bambu nir-anyam (L-NA) dan perkuatan matras bambu anyam (L-A) terhadap nilai CBR tanah lempung (L) diperlihatkan pada Gambar 8. Sama halnya dengan 3 (tiga) lapis perkuatan, nilai CBR untuk 5 (lima) lapis perkuatan terlihat lebih tinggi dari lempung tanpa perkuatan, baik pada perkuatan matras bambu anyam maupun nir-anyam.



Gambar 7. Nilai CBR untuk 3 lapis perkuatan

Jumlah lapis perkuatan yang digunakan berpengaruh pada peningkatan nilai CBR. Terlihat bahwa nilai CBR untuk 5 (lima) lapis perkuatan lebih tinggi dari nilai CBR 3 (tiga) lapis perkuatan. Selain karena faktor jumlah lapis perkuatan, juga spasi vertikal untuk 5 (lima) lapis perkuatan lebih rapat dibandingkan 3 (tiga) lapis perkuatan. Luas bidang kontak tekanan semakin besar pada spasi vertikal yang lebih rapat, sehingga beban yang dapat dipikul semakin tinggi. Hal inilah yang menyebabkan nilai CBR tanah semakin meningkat.

Jarak lapis pertama perkuatan dari permukaan tanah berpengaruh terhadap peningkatan nilai CBR tanah. Jarak perkuatan yang lebih dekat dengan permukaan memberikan peningkatan signifikan pada nilai CBR. Jarak vertikal perkuatan pada penelitian ini masing-masing 1/3 dan 1/5 tinggi mold. Menurut Akhil et al. (2019a), jarak lapis pertama yang menghasilkan daya dukung yang tinggi didapatkan pada jarak 0,3 dari lebar pelat beban. Untuk jarak di atas 0,4 dari pelat beban memperlihatkan pengaruh yang kurang signifikan pada peningkatan daya dukung dan pengurangan penurunan.



Gambar 8. Nilai CBR untuk 5 lapis perkuatan

Tipe matras bambu yang digunakan berpengaruh pada peningkatan nilai CBR. Perkuatan matras bambu tipe anyam (L-A) memperlihatkan nilai CBR yang lebih tinggi dari nilai CBR tanah yang diperkuat matras bambu tipe nir-anyam (L-NA). Susunan matras yang lebih rapat dan terikat satu sama lain semakin memperkuat sistem perkuatan,

sehingga mampu menerima beban yang lebih tinggi. Hal ini terjadi pada matras bambu tipe anyam, kemampuan menerima beban yang semakin tinggi berpengaruh pada semakin tingginya nilai CBR tanah.

Nilai CBR maksimum tanah dengan perkuatan matras bambu yang didapatkan pada penelitian ini sekitar 5,30%, masih tergolong sebagai tanah dengan CBR rendah sampai sedang (Bowles, 1992). Namun sebagai tanah dasar untuk jalan dapat dianggap memenuhi syarat, karena lebih tinggi dari 5%. Menurut Suyuti et al. (2020), nilai ini memenuhi syarat stabilitas timbunan dengan angka keamanan 1,30.

## KESIMPULAN

Nilai CBR pada tanah lempung yang diberi perkuatan matras bambu didapatkan 4,4-5,06% untuk tipe nir-anyam dan 4,56-5,30% untuk tipe anyam. Nilai CBR ini merupakan nilai tertinggi yang didapatkan dari kedua model jumlah pukulan yang dilakukan pada penelitian ini.

Jumlah lapis perkuatan matras bambu berpengaruh pada nilai CBR tanah yang didapatkan. Nilai CBR untuk 5 (lima) lapis perkuatan lebih tinggi dari nilai CBR 3 (tiga) lapis perkuatan, baik untuk tipe anyam maupun nir-anyam. Faktor spasi vertikal yang lebih rapat dapat menjadi penyebab semakin tingginya nilai CBR untuk 5 (lima) lapis perkuatan. Spasi vertikal yang lebih rapat dapat memperluas bidang kontak tekanan, sehingga beban yang dapat dipikul semakin tinggi.

Tipe anyaman pada matras bambu berpengaruh pada nilai CBR. Tipe anyam menghasilkan nilai CBR yang lebih tinggi dibandingkan tipe nir-anyam. Susunan matras tipe anyam lebih rapat dan terikat satu sama lain, sehingga lebih kokoh dan stabil dalam menerima beban. Beban yang semakin tinggi berpengaruh pada semakin tingginya nilai CBR tanah.

Nilai CBR tanah yang diberi perkuatan dipengaruhi oleh jumlah perkuatan, spasi

vertikal perkuatan, dan tipe matras bambu yang digunakan.

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan, maka disarankan untuk menggunakan matras bambu tipe anyam dengan spasi vertikal yang lebih rapat. Rasio spasi vertikal dengan lebar perkuatan perlu diteliti lebih lanjut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Bersama ini tim penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada teknisi dan kepala Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Medan yang telah berkontribusi dalam menyelesaikan penelitian ini.

## REFERENSI

- Akhil, K.S., Sankar, N., Chandrakaran, S., 2019a. Behaviour of Model Footing on Bamboo Mat-Reinforced Sand Beds. *Soils Found.* 59, 1324–1335.
- Akhil, K.S., Sankar, N., Chandrakaran, S., 2019b. *Behaviour of Bamboo Mat Reinforced Sand Beds under Different Density Conditions. In: Symposium on Recent Advances in Sustainable Geotechnics.* Kanpur, India.
- Bowles, J.E., 1992. *Engineering properties of soil and their measurement.* McGraw-Hill Book Company Limited, England.
- Chacko, S.S., Joseph, S.A., 2016. Experimental Investigation on Soil Reinforced with Bitumen Coated Bamboo. *Int. Res. J. Eng. Technol.* 3, 66–68.
- Darmawandi, A., Waruwu, A., Halawa, T., Harianto, D., Muammar, 2020. *Karakteristik Tanah Lunak Sumatera Utara Berdasarkan Pengujian Kuat Tekan Bebas.* In: Semnastek UISU. UISU Press, Medan, pp. 16–20.
- Darwis, 2017. *Dasar-dasar teknik perbaikan tanah.* Pustaka AQ.
- Hardiyatmo, H.C., 2015. *Pemeliharaan Jalan Raya.* Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hegde, A., Sitharam, T.G., 2015. Use of Bamboo in Soft-Ground Engineering and Its Performance Comparison with Geosynthetics: Experimental Studies. *J. Mater. Civ. Eng.* 27, 1–9.
- Hidayatussa'diah, Apriyanti, Y., Fahriani, F., 2020. Pengaruh Penambahan Limbah Abu Cangkang Sawit (Pofa) Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR) Untuk Stabilisasi Tanah Lempung. *FROPIL (Forum Prof. Tek. Sipil)* 8, 102–109.
- Naibaho, A.G., Waruwu, A., 2021. Kajian Kapasitas Kelompok Tiang pada Tanah Lunak Menggunakan Skala Kecil Laboratorium 27, 179–186.
- Oktary, R., Apriyanti, Y., 2017. Analisis Peningkatan Nilai CBR pada Campuran Tanah Lempung dengan Batu Pecah. *J. Fropil* 5, 96–108.
- Shirazi, M.G., Rashid, A.S., Nazir, R., Rashid, A.H., Moayedi, H., Horpibulsuk, S., Samingthong, W., 2020. *Sustainable Soil Bearing Capacity Improvement Using Natural Limited Life Geotextile Reinforcement-A Review.* *Minerals* 10, 1–22.
- Suyuti, Rizal, M., Damayanti, Y., 2020. *Prediksi CBR-Lapangan pada Pondasi Matras di Atas Tanah Lunak Diperkuat Tiang-tiang Bambu Menggunakan Formula Klasif Terzaghi.* *Teras J.* 10, 59–70.
- Waruwu, A., 2014. Bamboo Reinforcement in Shallow Foundation on the Peat Soil. *J. Civ. Eng. Res.* 2014, 96–102.
- Waruwu, A., Halim, H., Nasution, T., Hanova, Y., 2018. Bamboo Grid Reinforcement on Peat Soil under Repeated Loading. *J. Eng. Appl. Sci.* 13, 2190–2196.
- Waruwu, A., Susanti, R.D., 2015. Behavior of Soil Peat with Reinforcement of Bamboo Grid. *IOSR J. Eng.* www.iosrjen.org ISSN 5, 29–36.
- Waruwu, A., Susanti, R.D., Buulolo, J.A.P.,

2019. Effect of Dynamic Loads on The Compressibility Behavior of Peat Soil Reinforced by Bamboo Grids. *J. Appl. Eng. Sci.* 17, 157–162.
- Waruwu, A., Susanti, R.D., Endriani, D., Hutagaol, S., 2020a. Effect of Loading Stage on Peat Compression and Deflection of Bamboo Grid with Concrete Pile. *Int. J. GEOMATE* 18, 150–155.
- Waruwu, A., Susanti, R.D., Napitupulu, N., Sihombing, J.O., 2021a. The Combination of Bamboo Grid and Concrete Pile as Soil Reinforcement under The Embankment. *Mag. Civ. Eng.* 106.
- Waruwu, A., Susanti, R.D., Sihombing, H.S., Purba, T.Y., 2020b. *Pengaruh Susunan Tiang dengan Grid Bambu pada Tanah Gambut Terhadap Lendutan. In: Semnastek UISU.* UISU Press, Medan, pp. 9–15.
- Waruwu, A., Waruwu, E.M., 2021. *Kajian Interaksi Tanah-Bambu Ditinjau Dari Parameter Kuat Geser.* *J. Ilm. Desain Konstr.* 20, 150–160.
- Waruwu, A., Zega, O., Rano, D., Panjaitan, B.M.T., Harefa, S., 2021b. Kajian Nilai California Bearing Ratio (CBR) pada Tanah Lempung Lunak dengan Variasi Tebal Stabilisasi Menggunakan Abu Vulkanik. *J. Rekayasa Sipil* 17, 116–130.
- Wesley, L.D., 2017. *Mekanika tanah.* Penerbit Andi, Yogyakarta.