

POTENSI NILAI CBR TANAH TIMBUNAN DI ATAS TANAH GAMBUT DENGAN DAN TANPA PERKUATAN

Aazokhi Waruwu¹⁾, Rivaldi Dojen Sitinjak¹⁾, dan Rika Deni Susanti¹⁾

1) Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Medan, Medan, Sumatera Utara

azokhiw@gmail.com

ABSTRACT

Peat soil is one type of subgrade that is not good for road construction. Peat soil has a low bearing capacity which is indicated by a low CBR value. The embankment on peat is needed to increase the CBR value, but compaction and spreading are difficult to do. Therefore, it is necessary to strengthen the combination of bamboo grids and concrete piles. The purpose of this study was to determine the potential for increasing CBR of embankment reinforced on peat soil. The research was conducted through a series of model tests in a test box filled with peat soil with and without bamboo grid reinforcement and a combination of bamboo grid and concrete piles. The CBR test was carried out on the embankment which was differentiated based on the thickness of 0-15 cm. The results showed that reinforcement can increase the CBR value of the embankment soil on peat soil. The results of the analysis for the embankment thickness of 3.93 m, the combination of bamboo grid reinforcement and concrete piles has the potential to increase the CBR value by 183% (from 5% to 14.15%) and bamboo grid reinforcement by 32% (from 5% to 6.6%).

Keywords: peat, bamboo grid, concrete pile, embankment, CBR

ABSTRAK

Tanah gambut merupakan salah satu jenis tanah dasar yang kurang baik untuk konstruksi jalan. Tanah gambut memiliki daya dukung rendah yang ditandai dari nilai CBR (California Bearing Ratio) rendah. Tanah timbunan di atas gambut diperlukan untuk meningkatkan nilai CBR, namun pemadatan dan penghamparan sulit dilaksanakan. Oleh karena itu, diperlukan perkuatan dari kombinasi grid bambu dan tiang beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi peningkatan CBR tanah timbunan yang diberi perkuatan pada tanah gambut. Penelitian dilakukan melalui serangkaian uji model pada bak uji yang diisi tanah gambut dengan dan tanpa perkuatan grid bambu dan kombinasi grid bambu dan tiang beton. Uji CBR dilakukan di atas timbunan yang dibedakan berdasarkan tebal 0-15 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkuatan dapat meningkatkan nilai CBR tanah timbunan di atas tanah gambut. Hasil analisis untuk tebal timbunan 3.93 m, perkuatan kombinasi grid bambu dan tiang beton berpotensi meningkatkan nilai CBR sebesar 183% (dari 5% menjadi 14.15%) dan perkuatan grid bambu sebesar 32% (dari 5% menjadi 6.6%).

Kata kunci: gambut, grid bambu, tiang beton, timbunan, CBR

1 PENDAHULUAN

Pada masa sekarang ini pembangunan sarana infrastruktur semakin berkembang, perkembangan ini juga diiringi dengan semakin meningkatnya kebutuhan lahan. Lahan organik seperti tanah gambut menjadi salah satu alternatif untuk memenuhi kebutuhan lahan. Namun, hal yang perlu diperhatikan ialah tanah organik seperti gambut merupakan tanah yang kurang baik untuk konstruksi bangunan sipil.

Gambut adalah jenis tanah lunak yang terdiri dari bahan organik berserat tinggi yang dihasilkan dari pembusukan dari material-material organik seperti tumbuh-tumbuhan dan pohon-pohonan, umumnya terletak di daerah rawa dan terendam air (Kazemian et al., 2011). Deposit gambut merupakan bagian fragmen dari tumbuhan yang terakumulasi di bawah permukaan air dan umumnya memiliki kandungan organik di atas 50% (Kalantari, 2013). Tanah gambut memiliki sifat dengan daya dukung rendah ketika menerima beban konstruksi di atasnya (Waruwu & Nasution, 2020).

Menurut Kazemian et al. (2011), ada beberapa metode untuk perbaikan tanah seperti penggantian tanah, perkuatan untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan tanah, perbaikan tanah, kolom batu, tiang-

tiang, dan pencampuran bahan kimia seperti semen dan kapur.

Percepatan pemampatan tanah gambut dapat dilakukan dengan metode prapembebanan (*preloading*) dengan menggunakan material timbunan, sedangkan untuk meningkatkan daya dukung dapat menggunakan kombinasi grid bambu dengan tiang bambu (Maulana et al., 2018). Penerapan metode *preloading* dengan tahapan pembebanan dapat meningkatkan daya dukung tanah gambut di bawah beban timbunan (Waruwu, 2021).

Menurut Hardiyatmo (2015), bila tanah dasar mempunyai kapasitas dukung rendah, maka digunakan lapis penutup. Lapis penutup dapat berupa material granuler sebagai timbunan. Material timbunan dapat memberikan beban tambahan pada tanah gambut, sehingga tanah gambut mengalami konsolidasi yang mempengaruhi peningkatan daya dukung dan modulus reaksi tanah dasar (Waruwu, et al., 2020a). Material timbunan dapat juga berfungsi sebagai prapembebanan pada tanah gambut (Susanti et al., 2017).

Tanah dasar yang memiliki nilai CBR kurang dari 2% mengalami kendala saat pemadatan dan penghamparan timbunan dengan alat berat (Hardiyatmo, 2015). Masalah ini dapat diatasi dengan

penggunaan sistem perkuatan. Salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) tanah timbunan di atas tanah gambut adalah dengan penggunaan perkuatan kombinasi grid dan tiang beton. Penggunaan perkuatan dapat meningkatkan daya dukung tanah (Nugroho & Rachman, 2009). Grid bambu dan sel bambu dapat meningkatkan daya dukung *ultimit* tanah hingga 1.3 kali lebih tinggi dari tanah tanpa perkuatan (Hegde & Sitharam, 2015).

Timbunan memerlukan lapisan pendukung yang stabil, seperti bangunan konstruksi pada umumnya. Apabila tanah dasar pendukung timbunan berupa gambut, pembebanan akibat timbunan mengakibatkan penurunan akibat terjadinya konsolidasi pada tanah (Hardiyatmo, 2015). Tiang-tiang dapat berfungsi sebagai penahan timbunan, tiang-tiang dapat meningkatkan daya dukung tanah gambut (Maulana et al., 2018).

Tanah gambut memiliki penurunan yang relatif besar, pemampatan tinggi dan daya dukung rendah, maka perlu dilakukan perbaikan untuk mengatasi masalah tersebut dengan timbunan tanah. Perkuatan tanah gambut pada penelitian menggunakan kombinasi grid bambu dan

tiang beton. Kombinasi perkuatan ini mampu mereduksi penurunan dan lendutan akibat beban timbunan, sehingga kestabilan konstruksi dapat tetap terjaga (Waruwu, et al., 2020b). Tiang-tiang perkuatan yang diikat secara monolit dapat berpengaruh signifikan terhadap stabilitas timbunan (Waruwu et al., 2019).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai CBR pada tanah timbunan di atas tanah gambut tanpa perkuatan, dengan perkuatan grid bambu, dan kombinasi grid bambu dengan tiang beton, selain itu melalui penelitian ini akan diketahui potensi peningkatan nilai CBR untuk tebal timbunan yang lebih tinggi.

2 KAJIAN PUSTAKA

Tanah merupakan salah satu material yang sangat ekonomis dan mudah didapatkan untuk digunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*) jalan, timbunan jalan, bendungan, dan sebagai tanah dasar pada konstruksi. Perkerasan jalan direncanakan di atas permukaan tanah dasar setempat atau tanah timbunan yang dipadatkan untuk mendapatkan daya dukung yang baik (Tenriajeng, 1999).

Tanah pondasi yang secara langsung mendukung beban akibat beban lalu lintas dari suatu sistem perkerasan disebut tanah dasar. Tanah dasar ini merupakan lapisan

tanah yang dipadatkan dan berfungsi sebagai landasan dari sistem perkerasan (Hardiyatmo, 2015). Tanah dasar sebagai pondasi jalan terdiri dari tanah asli atau material timbunan di bawah dasar struktur perkerasan.

Pemadatan timbunan harus memenuhi syarat yang ditentukan dalam spesifikasi teknis, supaya tanah tempat konstruksi didirikan mampu mendukung seluruh berat konstruksi di atasnya. Lapisan pasir yang dipadatkan di atas tanah gambut dapat meningkatkan daya dukung pelat pondasi (Waruwu, 2021).

Daya dukung tanah yang rendah dapat ditingkatkan dengan metode perbaikan tanah dengan menggunakan

perkuatan (Saefudin & Wulandari, 2019). Daya dukung tanah dasar pada perencanaan perkerasan dinyatakan dengan nilai CBR. Peningkatan daya dukung tanah dapat diketahui dari peningkatan nilai CBR tanah tersebut (Waruwu et al., 2021). Pengujian CBR adalah suatu perbandingan beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0.1” atau 0.2” dengan beban yang ditahan batu pecah standar pada penetrasi 0.1” atau 0.2” (Suyuti et al., 2020).

Nilai CBR material tanah pada kondisi muka air tinggi dapat dilihat pada Tabel 1 (Hardiyatmo, 2015). Nilai CBR dari setiap jenis tanah dapat dijadikan acuan untuk memilih jenis tanah timbunan.

Tabel 1. Perkiraan Nilai CBR Tanah

Tanah	PI	Buruk		Sedang		Baik	
		A	B	A	B	A	B
Lempung gemuk	70	1.5	2	2	2	2	2
Lempung gemuk	60	1.5	2	2	2	2	2.5
Lempung gemuk	50	1.5	2	2	2.5	2	2.5
Lempung gemuk	40	2	2.5	2.5	3	2.5	3
Lempung lanau	30	2.5	3.5	3	4	3.5	5
Lempung berpasir	20	2.5	4	4	5	4.5	7
Lempung berpasir	10	1.5	3.5	3	6	3.5	7
Lanau	-	1	1	1	1	2	2
Pasir gradasi buruk	-	-	-	-	-	20	-
Pasir gradasi baik	-	-	-	-	-	40	-
Kerikil berpasir	-	-	-	-	-	60	-

Sumber: Hardiyatmo, 2015

Nilai CBR tanah dasar yang rendah memerlukan perbaikan untuk meningkatkan kekuatan tanah yang ada. Penambahan tanah timbunan merupakan alternatif langkah yang ditempuh untuk

perbaikan tanah dasar. Nilai CBR tanah dasar yang diberi perkuatan dapat ditentukan dengan uji CBR lapangan (Suyuti et al., 2020).

3 METODE PENELITIAN

Bahan penelitian terdiri dari tanah gambut yang diambil dari Bagansiapiapi Riau, tanah timbunan dari Desa Aek Sipitu Dai Samosir, bambu yang dibuat menjadi grid diambil dari Pakkat Humbang Hasundutan, dan tiang beton sebagai perkuatan dengan panjang 25 cm dan diameter 2 cm (Gambar 1). Bambu dari daerah ini merupakan jenis bambu ampel. Sifat-sifat bambu jenis ini antara lain tahan genangan air dan luberan air sungai (Damayanto, 2018). Bambu ini cocok digunakan sebagai perkuatan tanah yang selalu terendam air.

Tanah gambut diayak untuk memisahkan akar-akar serta serat lainnya dari tanah gambut. Tanah gambut yang sudah disiapkan dipadatkan lapis per lapis ke dalam bak uji berukuran panjang 110 cm, panjang 90 cm, dan tinggi 90 cm. Adapun tebal tanah gambut adalah 50 cm dan sisanya diisi dengan lapisan pasir batu yang dipadatkan.

Tanah gambut yang sudah dipadatkan mendekati kepadatan lapangan dijenuhkan dengan mengalirkan air melalui pipa-pipa paralon yang telah dipasang vertikal di setiap pojok bak uji dan dipasang horizontal di dasar bak uji.

Tanah gambut diuji pada kondisi tanpa perkuatan dan dengan perkuatan.

Perkuatan yang digunakan berupa grid bambu berukuran 30 cm x 30 cm. Tipe perkuatan lainnya adalah kombinasi grid bambu yang diperkuat tiang dari bahan beton, ukuran tiang beton adalah panjang 25 cm dan diameter 2 cm. Tiang-tiang dari beton dipancang setiap 10 cm pada tanah gambut dan di atasnya dipasang grid bambu (Gambar 2).

Setelah pemasangan perkuatan, tiang-tiang dibiarkan selama 1 minggu untuk memastikan tiang sudah terpancang dengan sempurna.

Jenis tanah timbunan diketahui melalui pengujian analisa saringan. Tanah timbunan yang digunakan dipadatkan menggunakan pemadatan standard untuk mendapatkan nilai berat isi kering maksimum dan kadar air optimum. Berdasarkan kepadatan dari hasil uji pemadatan, tanah timbunan dipadatkan di atas tanah gambut dengan ketebalan masing-masing 0 cm, 5 cm, 10 cm, dan 15 cm. Luas bidang timbunan adalah 30 cm x 30 cm. Untuk memudahkan dalam pemadatan tanah timbunan, maka tanah timbunan dipadatkan dalam bak kaca berukuran luas 30 cm x 30 cm dengan tebal sekitar 20 cm.

Uji CBR dilakukan di atas permukaan tanah timbunan sesuai variasi ketebalan dan perkuatan yang yang

digunakan (Gambar 3). Berdasarkan uji CBR didapatkan nilai CBR tanah timbunan untuk tebal 5 cm, 10 cm, dan 15 cm tanpa perkuatan, dengan perkuatan grid bambu, perkuatan dari kombinasi grid bambu dan tiang beton. Hubungan tebal timbunan

dengan nilai CBR diperoleh pada tanah gambut dengan dan tanpa perkuatan. Berdasarkan hubungannya ini, maka diperoleh potensi nilai CBR pada timbunan yang lebih tebal.



Gambar 1. Bahan penelitian: (a) Tanah timbunan; (b) Tiang Beton; (c) Grid Bambu



Gambar 2. Model Uji pada Perkuatan Tiang Beton pada Tanah Gambut

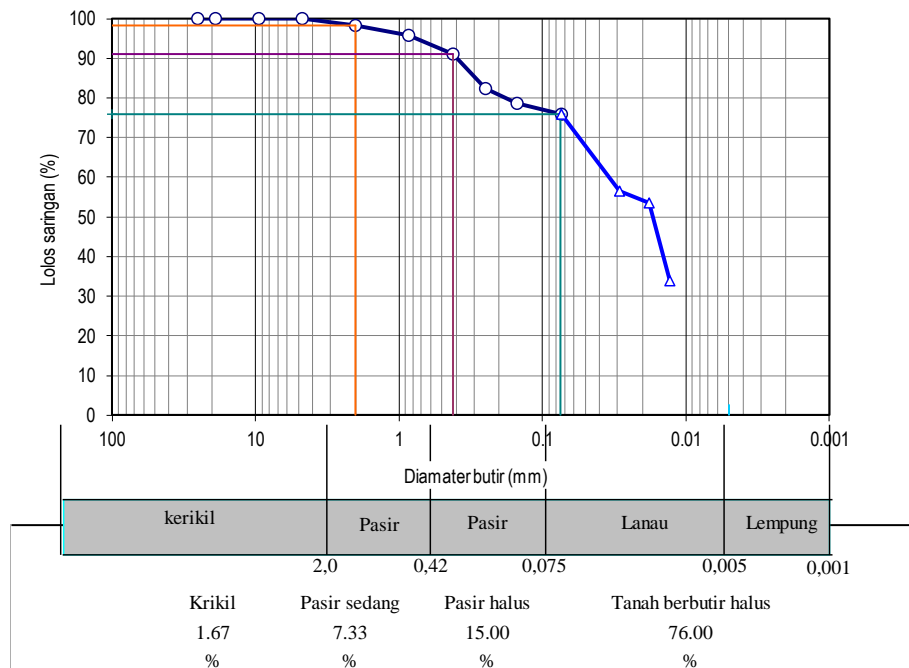


Gambar 3. Uji CBR di atas Tanah Timbunan

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji analisa saringan pada tanah timbunan diperlihatkan pada Gambar 4.

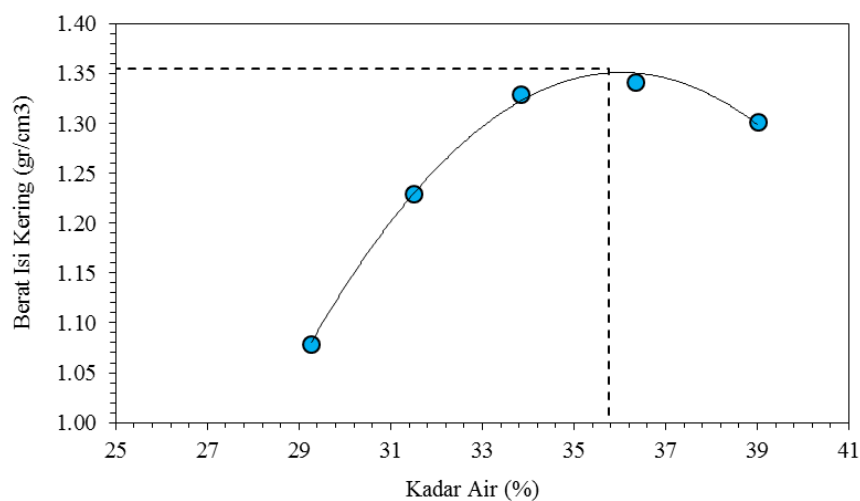
Tanah didominasi dengan tanah lanau dan tanah pasir. Jadi tanah timbunan termasuk sebagai tanah lanau berpasir.



Gambar 4. Hasil Uji Analisa Saringan Tanah Timbunan

Hasil uji pemadatan pada tanah timbunan ditunjukkan pada Gambar 5. Berat isi kering maksimum diperoleh sebesar 1.355 gr/cm^3 dan kadar air optimum sebesar 35.75%. Berdasarkan

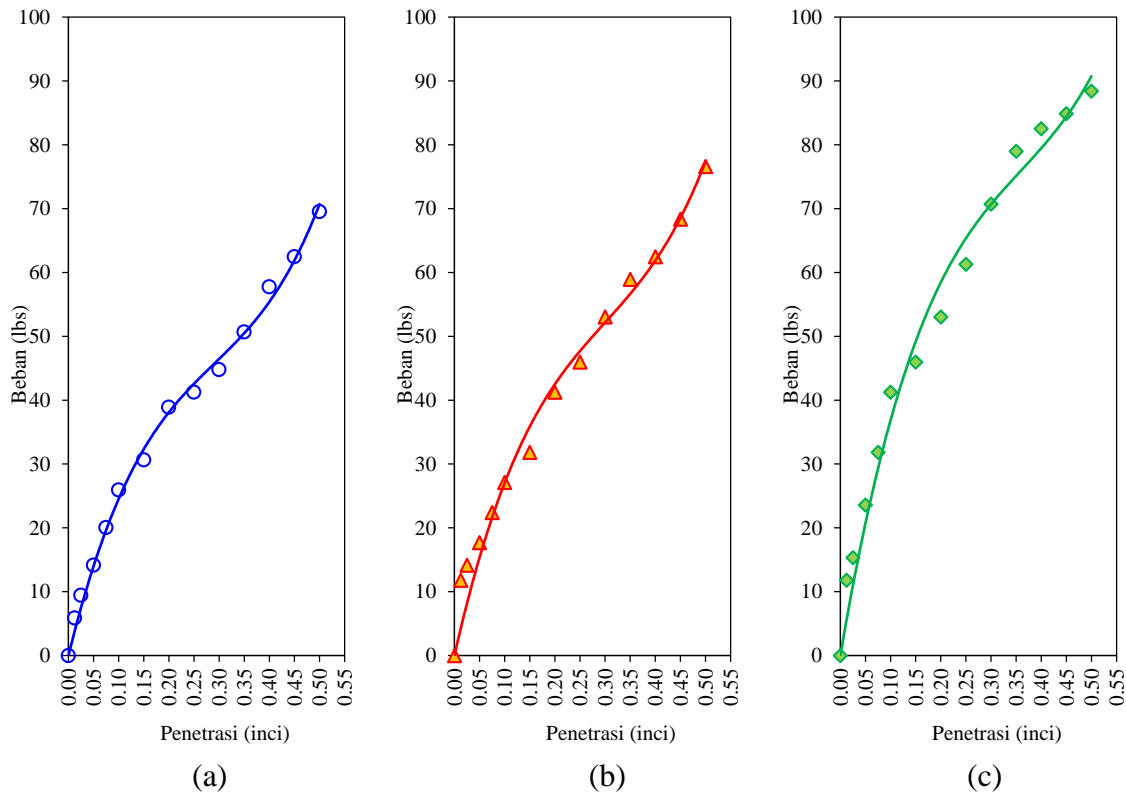
nilai kepadatan timbunan dipadatkan dan dicampur dengan air sebanyak kadar air optimum. Berat tanah disesuaikan dengan volume tanah yang dipadatkan.



Gambar 5. Hasil Uji Pemadatan Tanah Timbunan

Uji CBR dilakukan pada tanah timbunan dengan variasi ketebalan di atas tanah gambut dengan dan tanpa perkuatan. Hasil uji CBR pada tebal timbunan 15 cm ditunjukkan pada Gambar 6. Beban semakin tinggi pada tanah gambut yang

diperkuat dengan grid bambu dan tanah gambut yang diperkuat kombinasi grid bambu dan tiang beton. Perkuatan pada tanah gambut dapat meningkatkan kemampuan tanah dalam memikul beban di atasnya.



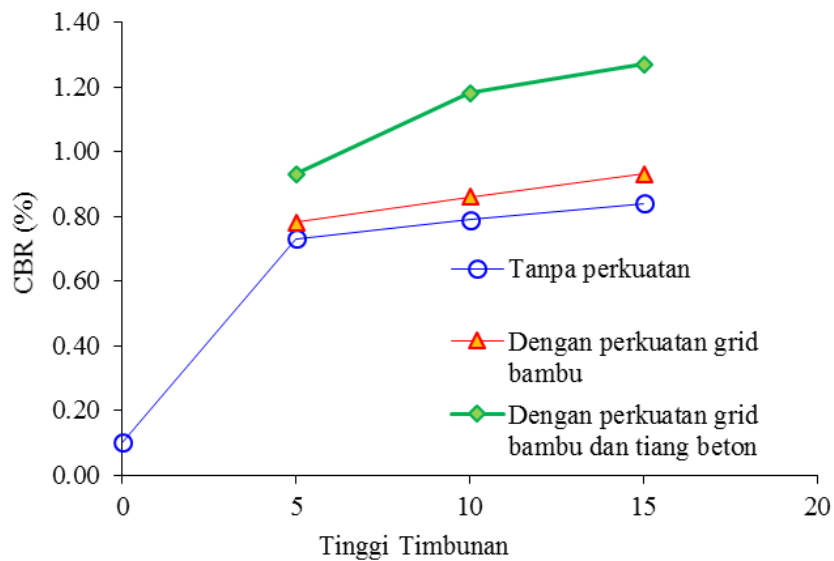
Gambar 6. Hasil Uji CBR: (a) Tanpa Perkuatan; (b) Perkuatan Grid Bambu; (c) Perkuatan Grid Bambu dan Tiang Beton

Hubungan CBR dengan tinggi timbunan pada tanah gambut dengan dan tanpa perkuatan terlihat pada Gambar 7. Tanah gambut tanpa perkuatan dan timbunan memiliki nilai CBR cukup kecil yaitu sebesar 0.10%. Timbunan di atas gambut meningkatkan nilai CBR baik pada tanah gambut tanpa perkuatan maupun tanah gambut dengan perkuatan. Timbunan

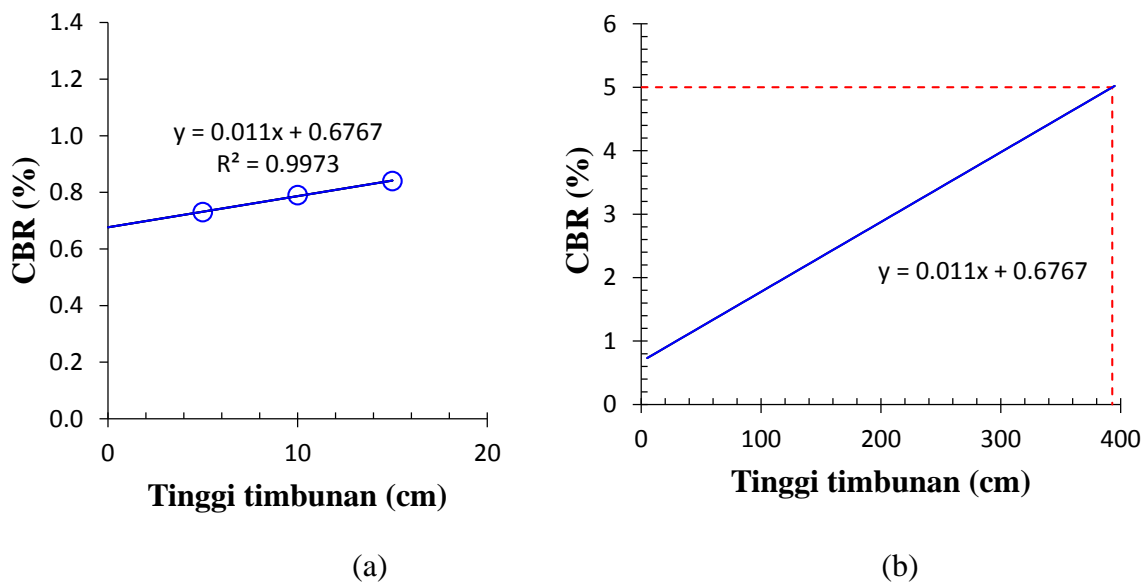
setebal 5 cm dapat meningkatkan nilai CBR dari 0.10% menjadi 0.73% pada tanah gambut tanpa perkuatan (peningkatan sebesar 630%). Disini terlihat bahwa timbunan sangat mempengaruhi nilai CBR tanah gambut. Penambahan tebal timbunan 10 cm dan 15 cm meningkatkan nilai CBR masing-masing 690% dan 740%. Hal yang sama diperoleh

pada penggunaan perkuatan. Perkuatan grid bambu dapat meningkatkan nilai CBR dari 0.10% menjadi 0.93% untuk tebal timbunan 15 cm atau peningkatan 830%, sedangkan penggunaan perkuatan grid bambu diberi perkuatan tiang dari bahan beton, nilai CBR tanah gambut dengan

tebal timbunan 15 cm meningkat dari 0.10% menjadi 1.27% atau peningkatan 1.170%. Perkuatan kombinasi grid bambu dan tiang beton memberikan peningkatan CBR tertinggi dibandingkan perkuatan grid bambu.



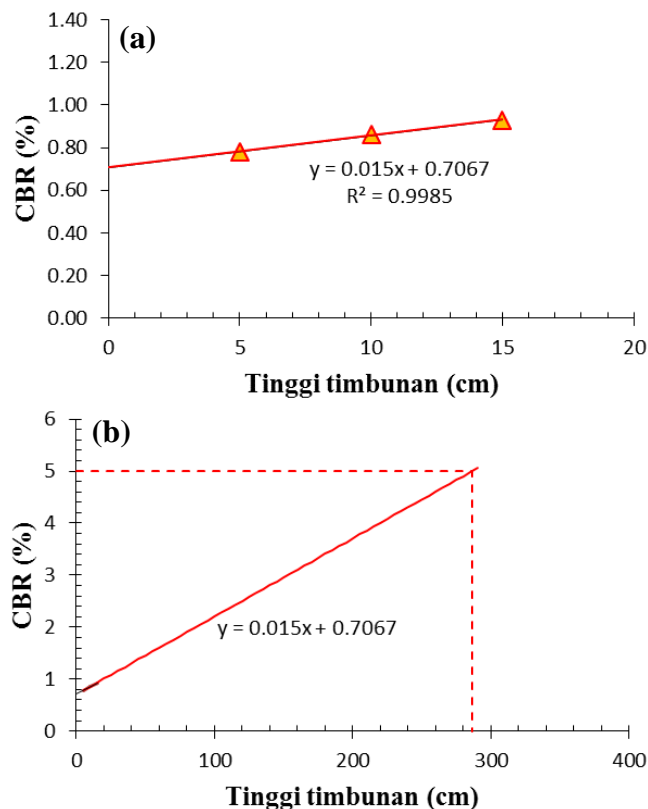
Gambar 7. Hasil Nilai CBR Tanah Gambut dengan dan Tanpa Perkuatan



Gambar 8. Hubungan Tinggi Timbunan dengan Nilai CBR Tanpa Perkuatan

Hubungan tinggi timbunan dengan nilai CBR tanah gambut tanpa perkuatan diperlihatkan pada Gambar 8. Hubungan tebal timbunan dengan nilai CBR berupa garis linier yang dinyatakan dalam persamaan. Apabila nilai CBR dimasukkan sebagai nilai y , maka nilai tebal timbunan dapat diperoleh dari nilai x . Potensi nilai CBR yang baik atau sekitar 5% diperoleh apabila tebal timbunan 393 cm. Tebal timbunan untuk tanah gambut tanpa perkuatan cukup tebal dan sulit untuk dilaksanakan. Oleh karena itu diperlukan perkuatan tambahan untuk dapat mengurangi tebal timbunan yang dibutuhkan.

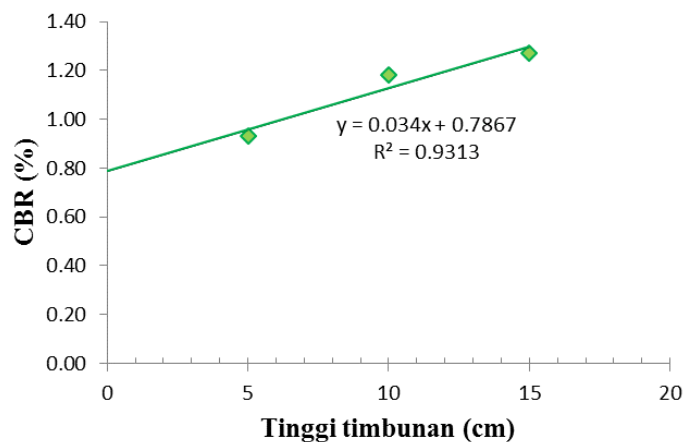
Hubungan tinggi timbunan dengan nilai CBR tanah gambut yang diperkuat grid bambu diperlihatkan pada Gambar 9. Cara analisis yang sama dilakukan pada hubungan tebal timbunan dengan nilai CBR tanah gambut yang diperkuat grid bambu. Potensi nilai CBR yang baik atau sekitar 5% pada tanah gambut yang diperkuat grid bambu diperoleh apabila tebal timbunan 286 cm. Hal ini dapat mengurangi tebal timbunan sebanyak 27% (dari 393 cm menjadi 286 cm). Perkuatan grid bambu dapat mengurangi penggunaan timbunan sebanyak 27%.



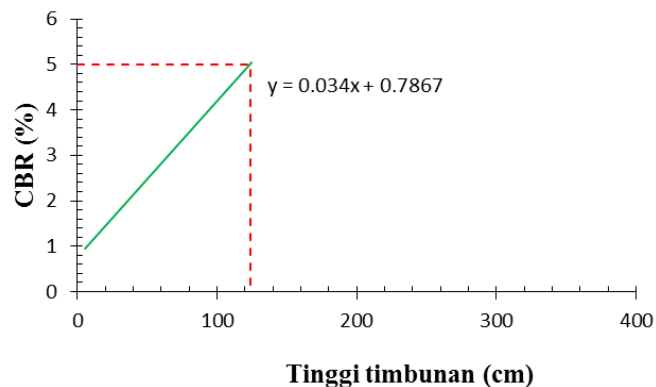
Gambar 9. Hubungan Tinggi Timbunan dengan Nilai CBR pada Perkuatan Grid Bambu

Hubungan tinggi timbunan dengan nilai CBR tanah gambut dengan perkuatan grid bambu dan tiang beton diperlihatkan pada Gambar 10. Nilai CBR sebesar 5% tanah gambut yang diperkuat grid bambu dengan tiang dari beton didapatkan apabila tebal timbunan sebesar 124 cm jauh lebih kecil dibandingkan tebal timbunan pada

tanah gambut tanpa perkuatan dan dengan perkuatan grid bambu. Tebal timbunan dapat berkurang sampai 68% dengan penggunaan kombinasi perkuatan grid bambu dan tiang beton. Perkuatan ini cukup efektif dalam mengurangi penggunaan timbunan.



(a)



(b)

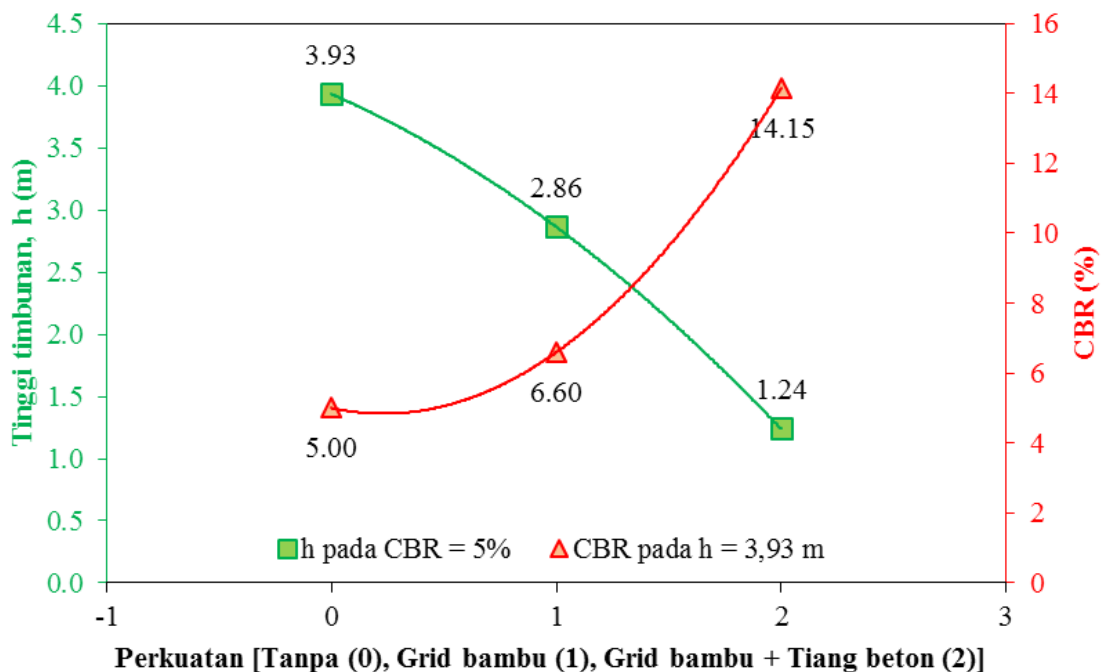
Gambar 10. Hubungan Tinggi Timbunan dengan Nilai CBR pada Perkuatan Grid Bambu dan Tiang Beton

Potensi nilai CBR tanah gambut untuk setiap peningkatan tebal timbunan dapat dilihat pada Gambar 11. Nilai CBR tanah dasar untuk yang standard dapat digunakan sebesar 5%. Berdasarkan hasil

analisis pada penelitian ini, maka diperlukan tebal timbunan untuk tanah gambut tanpa perkuatan sebesar 3.93 m, untuk tanah gambut yang diperkuat grid bambu sebesar 2.86 m, dan untuk tanah

gambut dengan kombinasi perkuatan grid bambu dan tiang dari beton sebesar 1.24 m. Apabila menggunakan tebal timbunan yang sama 3.93 m, maka nilai CBR untuk tanah gambut tanpa perkuatan sebesar 5%, untuk tanah gambut yang diperkuat grid bambu sebesar 6.6%, dan untuk tanah gambut dengan kombinasi perkuatan grid bambu dan tiang dari beton sebesar 14.15%. Tebal timbunan yang sama,

perkuatan kombinasi grid bambu dan tiang beton dapat meningkatkan nilai CBR sebesar 183% dan perkuatan grid bambu sebesar 32%. Peningkatan nilai CBR berdampak baik pada perancangan perkerasan di atas timbunan. Nilai CBR tanah dasar yang semakin tinggi memberikan tebal lapisan perkerasan yang relatif kecil.



Gambar 11. Potensi Nilai CBR Tanah Timbunan di atas Tanah Gambut

5 SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Nilai CBR pada tanah timbunan di atas tanah gambut tanpa perkuatan didapatkan sebesar 0.10%. Nilai ini meningkat menjadi 0.93% atau peningkatan sebesar 830% untuk perkuatan grid bambu pada tebal timbunan

15 cm. Penggunaan perkuatan kombinasi grid bambu dengan tiang beton pada tebal timbunan 15 cm dapat meningkatkan nilai CBR sebesar 1.27% atau peningkatan sebesar 1.170%. Peningkatan nilai CBR tanah timbunan di atas tanah gambut yang diberi perkuatan didapatkan cukup tinggi dan sangat signifikan.

Berdasarkan hasil analisis diperoleh potensi peningkatan nilai CBR untuk tebal timbunan yang lebih tinggi. Tanah gambut tanpa perkuatan memerlukan tebal timbunan setinggi 3.93 m untuk mencapai nilai CBR sebesar 5%. Namun dengan tebal yang sama, nilai CBR tanah gambut dengan perkuatan grid bambu dan kombinasi grid bambu dengan tiang beton diperoleh masing-masing 6.6% dan 14.15% atau meningkat 32% dan 183%.

5.2 Saran

Capaian nilai CBR sebesar 5% didapatkan apabila tinggi timbunan 3.93 m, untuk itu perlu penelitian lanjutan dengan menambahkan tinggi timbunan. Sebaiknya penelitian lanjutan dilakukan pada skala uji yang lebih besar dan apabila menggunakan skala kecil laboratorium dapat diantisipasi dengan penggunaan model timbunan dari material yang lebih berat.

6 DAFTAR PUSTAKA

- Damayanto, I. P. G. P. (2018). Koleksi Bambu Taman Eden 100, Kabupaten Toba Samosir, Sumatera Utara dan Perannya dalam Taman. *Jurnal Arsitektur Lansekap*, 4(2), 210–218.
- Hardiyatmo, H. C. (2015). *Pemeliharaan Jalan Raya*. Gadjah Mada University Press.
- Hegde, A., & Sitharam, T. G. (2015). Use of Bamboo in Soft-Ground Engineering and Its Performance Comparison with Geosynthetics: Experimental Studies. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 27(9), 1–9.
- Kalantari, B. (2013). Civil Engineering Significant of Peat. *Global Journal of Researches In Engineering*, 13(2), 26–28.
- Kazemian, S., Huat, B. B. K., Prasad, A., & Barghchi, M. (2011). A State of Art Review of Peat: Geotechnical Engineering Perspective. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(8), 1974–1981.
- Maulana, Azwar, Susanti, R. D., & Waruwu, A. (2018). Potential of Bamboo Pile as Reinforcement of Peat Soil under Embankment. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(1), 52–56.
- Nugroho, S. A., & Rachman, A. (2009). Pengaruh Perkuatan Geotekstil Terhadap Daya Dukung Tanah Gambut pada Bangunan Ringan dengan Pondasi Dangkal Telapak. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 8(2), 70–76.
- Saefudin, A., & Wulandari, S. (2019). Perbaikan Tanah Lempung Berlanau Menggunakan Kombinasi Perkuatan Anyaman Bambu dan Grid Bambu. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 18(1), 67–79.
- Susanti, R. D., Maulana, & Waruwu, A. (2017). Bearing Capacity Improvement of Peat Soil by Preloading. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(1), 121–124.
- 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 Jurnal*, 10(1), 59–

70.

Tenriajeng, A. T. (1999). *Rekayasa Jalan Raya-2*. Universitas Gunadharma.

Waruwu, A. (2021). *Perbaikan dan Perkuatan Tanah Gambut*. Amerta Media.

Waruwu, A., Hardiyatmo, H. C., & Rifa'i, A. (2019). The Performance of The Nailed Slab System-Supported Embankment on Peat Soil. *International Review of Civil Engineering*, 10(5), 243–248.

Waruwu, A., & Nasution, T. H. (2020). Analisis Penurunan Tanah dengan Timbunan yang Diperkuat Grid bambu dan Tiang Beton. *Jurnal Jalan Jembatan*, 37(1), 15–27.

Waruwu, A., Susanti, R. D., Endriani, D., & Hutagaol, S. (2020). Effect of Loading Stage on Peat Compression and Deflection of Bamboo Grid with Concrete Pile. *International Journal of GEOMATE*, 18(66), 150–155.

Waruwu, A., Susanti, R. D., Sihombing, H. S., & Purba, T. Y. (2020). Pengaruh Susunan Tiang dengan Grid Bambu pada Tanah Gambut Terhadap Lendutan. *Semnastek UISU*, 9–15.

Waruwu, A., Zega, O., Rano, D., Panjaitan, B. M. T., & Harefa, S. (2021). Kajian Nilai California Bearing Ratio (CBR) pada Tanah Lempung Lunak dengan Variasi Tebal Stabilisasi Menggunakan Abu Vulkanik. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 17(2), 116–130.