



ANALISIS STABILITAS *FRONTAGE FLYOVER* SEKIP UJUNG, PALEMBANG, SUMATERA SELATAN

STABILITY ANALYSIS OF *FRONTAGE FLYOVER* SEKIP UJUNG, PALEMBANG, SOUTH SUMATERA

M.Sang Gumilar^{1*}, Nita Anggraini², dan Akhmad Mirza³

^(1,2,3)Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Sriwijaya

*Corresponding author: sanggumilar@polsri.ac.id

Abstrak

Pada penelitian ini, dilakukan analisis kekuatan tanah dasar untuk konstruksi frontage atau jalan samping Flyover Sekip Ujung di Palembang. Telah dilakukan penyelidikan tanah dasar menggunakan metode Cone Penetrometer Test (Sondir) pada 4 titik di sebelah kanan dan kiri frontage. Hasil pengujian CPT menunjukkan bahwa tanah dasar pada kedalaman tertentu terdiri dari lapisan tanah lempung dengan konsistensi sangat lunak, sedang, dan kaku. Dalam analisis stabilitas frontage, digunakan metode elemen hingga untuk menghitung angka keamanan (FK) dari desain frontage. Setelah dilakukan analisis untuk kondisi tanpa kekuatan tanah dasar diketahui FK Frontage sisi kiri FK=1,14. Sedangkan untuk FK Frontage sisi kanan 1,23. Sedangkan Setelah dilakukan dengan penggantian tanah dasar dan pemancangan cerucuk gelam sedalam 1,5 m maka diketahui untuk FK Frontage sisi kiri FK =1,58 dengan displacement/penurunan = $30,27 \times 10^{-3}$ m. Untuk FK Frontage sisi kanan =1,72 dengan displacement/penurunannya = $27,16 \times 10^{-3}$ m.

Kata Kunci: Frontage, Flyover, Tanah Dasar, Perkuatan Tanah

Abstract

In this study, an analysis of subgrade soil reinforcement was conducted for the construction of the frontage or side road of the Sekip Ujung Flyover in Palembang. Soil investigation was carried out using the Cone Penetration Test (CPT) method at 4 points on both the left and right sides of the frontage. The CPT results indicated that the subgrade soil at a certain depth consisted of clay soil layers with very soft, medium, and stiff consistencies. In the stability analysis of the frontage, the finite element method was used to calculate the Safety factor (FS) for the frontage design. After analyzing the condition without subgrade soil reinforcement, it was found that the FS for the left side frontage was 1.14. Meanwhile, for the right-side frontage the FS was 1.23. After implementing subgrade soil replacement and piling cerucuk gelam to a depth of 1.5 meters, it was determined that the FS for the left side frontage was 1.58 with a displacement/settlement of 30.27×10^{-3} meters. For the right-side frontage, the FS was 1.72 with a displacement/settlement of 27.16×10^{-3} meters.

Keywords: Frontage, Flyover, Subgrade Soil, Soil Reinforcement

PENDAHULUAN

Dalam proses pekerjaan konstruksi, salah satu hal yang mesti diperhatikan adalah kondisi tanah dasar. Tanah dasar akan mempengaruhi banyak hal dalam proyek konstruksi, salah satunya adalah menentukan jenis fondasi yang akan digunakan. Proyek Flyover Sekip Ujung di Palembang misalnya, setelah dilakukan soil investigation diketahui bahwa tanah dasar di lokasi pekerjaan merupakan tanah lunak. Tanah di lokasi tersebut memiliki nilai CBR < 4% yang artinya tanah tersebut merupakan tanah lunak. Tanah lunak adalah jenis tanah kohesif yang sebagian besar terdiri dari butiran dengan ukuran sangat kecil, baik tanah lempung maupun tanah lanau. Lempung terdiri dari butiran yang sangat kecil dan memiliki sifat kohesif dan plastisitas yang

tinggi (Wesley dalam waruwu,2021). Tanah dasar adalah tanah dibawah pondasi guna mendukung beban secara langsung berupa berat lapisan perkerasan dan beban kendaraan di atas permukaan jalan. Daya dukung tanah dasar sangat menentukan kekuatan konstruksi jalan dalam menjamin kestabilannya. Lapisan perkerasan dan permukaan jalan sebagai pelindung untuk tanah dasar berfungsi untuk mendistribusikan beban roda kendaraan ke tanah dasar. Tanpa dukungan yang cukup dari tanah dasar, perkerasan akan mudah mengalami kerusakan dan penurunan. Dukungan tanah dasar pada perkerasan dipengaruhi oleh karakteristiknya. Tanah dasar yang dipilih seharusnya memiliki karakteristik yang memadai dan memenuhi syarat dan ketentuan. Namun masih banyak tanah dasar yang mempunyai

(*)Corresponding author
Telp : 085271042666
E-mail : sanggumilar@polsri.ac.id

<http://doi.org/xxx>

Received 12 September 2023; Accepted 14 September Tahun; Available online 31 Oktober 2023

E-ISSN: 2614-4344 P-ISSN: 2476-8928

karakteristik kurang baik sebagai tanah dasar (Waruwu,2021). Maka dalam penelitian akan dibahas tahapan desain dalam upaya perkuatan tanah dasar agar konstruksi di atasnya berupa frontage atau jalan samping berupa lapis perkerasan kaku dari Flyover Sekip Ujung memiliki spesifikasi teknis yang memenuhi syarat ketentuan teknis yang berlaku.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah lunak adalah agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam kondisi kering tanah akan sangat keras dan tak mudah terkelupas. Permeabilitas tanah lempung sangat rendah. Tanah lunak juga mempunyai kuat geser yang rendah, kemampuan kompresibilitas yang tinggi, daya dukung yang rendah. Oleh karena itu Perlu dilakukan penyelidikan supaya tidak terjadi permasalahan ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang dapat mengakibatkan kerusakan pada konstruksi di atasnya. Salah satu permasalahan yang dapat terjadi pada tanah lunak adalah penurunan yang sangat besar ketika tanah dibebani. Untuk menanggulangi masalah tersebut, maka perlu dilakukan perbaikan tanah (Dimas pra-bu,2019). Prabu menjelaskan bahwa ada beberapa cara untuk melakukan perbaikan tanah pada tanah lunak:

- a. Perkuatan menggunakan Geotekstil
- b. *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)
- c. Perkuatan dengan Lapisan batu /*Stone Mattress*
- d. Perkuatan tanah dengan Cerucuk gelam
- e. Perbaikan tanah dengan *Vacuum Preloading* atau Vertikal Drain

Cerucuk gelam adalah suatu tiang yang terbuat dari kayu gelam dengan panjang relatif pendek yaitu 3-4 m. Kekakuan tiang tergantung dari jenis bahan tiang. Cerucuk gelam yang mempunyai nama latin *Melaleuca Leucaden-dron*, termasuk jenis *Melaleuca* dari keluarga *Myr-taceae* yang mempunyai sifat batang yang terbungkus kulit berlapis-lapis, keras dan berat. Kayu gelam ini banyak tumbuh di Kalimantan dan har-ganya pun relatif murah (Dimas prabu,2019). Penggunaan cerucuk gelam dapat meningkatkan kekuatan daya dukung pada tanah timbunan sebesar 11,413% (Hamdi,dkk, 2013). Menurut Soedarsono (1985) karakteristik yang perlu diketahui pada tanah dasar jalan adalah nilai CBR (Kepadatan tanah) Permasalahan yang sering dijumpai pada tanah dasar jalan adalah masalah daya dukung tanah rendah yang ditandai dengan rendahnya nilai CBR. Nilai CBR yang biasa digunakan untuk tanah dasar minimal 6%, agar

lapisan perkerasan tidak mudah mengalami retak runtuh, penurunan. Menurut Bowles (1992), tanah dengan nilai CBR :

1. CBR < 3% diklasifikasikan sebagai tanah lunak
2. CBR 3-7% diklasifikasikan sebagai tanah sedang
3. CBR 7-20% diklasifikasikan sebagai tanah kaku
4. CBR 20% diklasifikasikan sebagai tanah kaku.

Penelitian ini akan dianalisis menggunakan Metode elemen hingga. Metode elemen hingga (Plaxis) adalah metode perhitungan atau software yang didasarkan pada konsep diskretisasi, yaitu pembagian suatu sistem struktur, massa atau benda padat menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Metode elemen hingga juga merupakan metode pendekatan, semakin kecil pembagian elemen-elemen kecil semakin akurat perhitungan pendekatan melalui metode elemen hingga. Metode ini juga dapat digunakan untuk mengetahui deformasi ataupun tegangan yang terjadi pada suatu elemen yang disebabkan oleh distribusi beban atau gaya. Plaxis adalah program analisis geoteknik yang sering digunakan, terutama untuk analisis stabilitas dan penurunan tanah berbasis metode elemen hingga, dan mampu melakukan analisis yang dapat mendekati perilaku sebenarnya. (Atamini,2018).

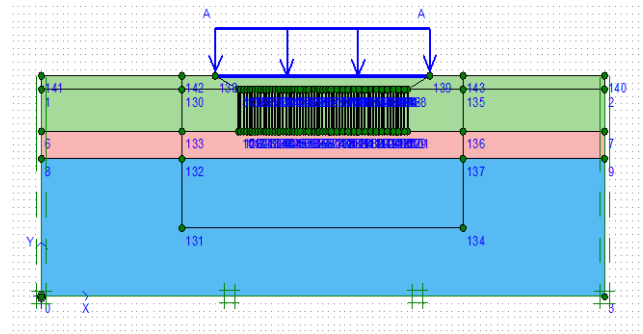
METODE

Hal penting dalam analisis perkuatan tanah dasar dalam mengetahui daya dukung tanah existing. Dari data tersebut maka akan dilakukan analisis berikutnya dalam upaya perkuatan tanah. Dalam penelitian ini setelah semua data didapat maka dianalisis menggunakan metode elemen hingga dengan membandingkan faktor keamanan desain rencana existing frontage dan desain rencana perkuatan frontage rencana. Jika nilai $FK \geq 1,5$ maka desain tersebut aman untuk digunakan namun sebaliknya jika $FK \leq 1,5$ maka akan dianalisis ulang sehingga $FK \geq 1,5$ (SNI Geoteknik 8460, 2017)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat dua (2) sisi frontage yang akan dianalisis pada penelitian ini, yaitu sisi frontage sebelah kanan dan frontage sebelah kiri. Penyelidikan tanah di lokasi sekitar frontage adalah pengujian Cone Penetrometer Test (CPT Test) sebanyak empat (4) titik, yaitu dua (2) titik di frontage sebelah kanan dan dua (2) titik di frontage sebelah kiri. Hasil pengujian CPT menunjukkan bahwa pada sisi sebelah kanan dan sebelah kiri frontage memiliki kondisi lapisan tanah yang serupa. Kondisi tanah dasar lapis pertama pada kedalaman 0 sampai 4 meter adalah tanah lempung dengan konsistensi sangat lunak dengan nilai tahanan ujung konus $q_c = 3 - 5 \text{ kg/cm}^2$. Lapisan kedua pada kedalaman 4 sampai 7 meter

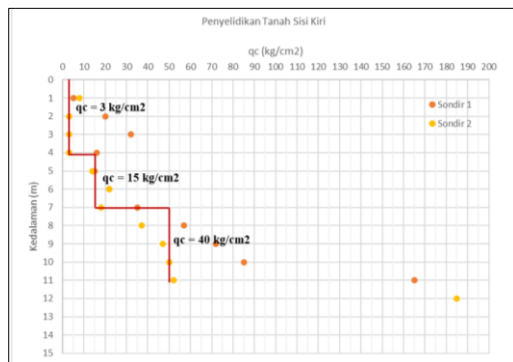
adalah tanah lempung dengan konsistensi sedang dengan nilai tahanan ujung konus, $q_c = 15-20 \text{ kg/cm}^2$. Dan lapisan ketiga pada kedalaman 7 sampai 12 meter adalah tanah lempung kaku dengan nilai tahanan ujung konus, $q_c > 40 \text{ kg/cm}^2$. Pada kedalaman lebih dari 12 m terdapat tanah lempung dengan konsistensi sangat kaku dengan nilai q_c yang sudah mencapai lebih dari 150 kg/cm^2 . Berikut ini adalah gambar distribusi nilai tahanan ujung konus, q_c per kedalaman dari empat hasil pengujian CPT (2 CPT di sebelah kanan dan 2 CPT di sebelah kiri).



Gambar 3. Pemodelan Geometri *Frontage*



Gambar 1. Hasil CPT *Frontage* Sebelah Kanan



Gambar 2. Hasil CPT *Frontage* Sebelah Kiri

Analisis stabilitas *frontage* pada penelitian ini menggunakan metode elemen hingga (finite element method) dengan menghitung besarnya angka keamanan dari desain *frontage*. Desain *frontage* sebelah kanan dan kiri sama. Desain awal *frontage* adalah melakukan pekerjaan perkerasan jalan langsung di atas tanah dasar tanpa dilakukan perkuatan. Jika angka keamanan dari desain awal *frontage* tidak memenuhi ketentuan SNI, maka analisis stabilitas *frontage* akan dilakukan kembali dengan menambahkan desain perkuatan pada tanah dasar dengan menggunakan cerucuk gelam.

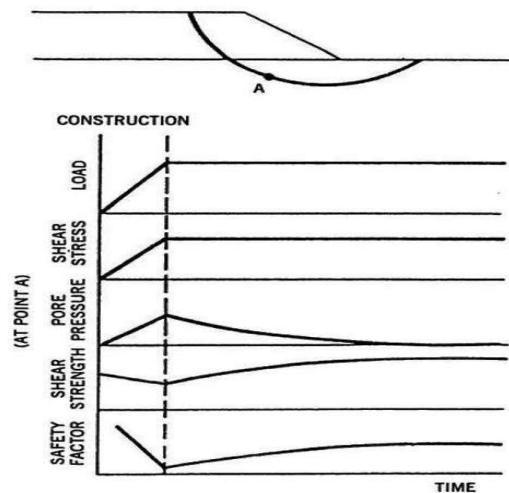
Berikut ini pemodelan geometri untuk menganalisis stabilitas *frontage* dengan menggunakan program elemen hingga.

Dalam penentuan parameter tanah terdapat dua (2) pendekatan yang digunakan dalam analisis geoteknik, yaitu: (1) Pendekatan total stress dan (2) Pendekatan effective stress.

Penentuan parameter tanah dengan pendekatan total stress adalah penentuan parameter kuat geser tanah pada kondisi dimana air belum terdesipasi, sehingga parameter tanah yang digunakan dalam pendekatan total stress adalah parameter tanah kondisi undrained. Parameter kuat geser tanah dalam kondisi undrained adalah nilai kuat geser tanah tak terdrainase (S_u). Nilai S_u bisa didapat dari hasil pengujian triaxial UU (Unconsolidated Undrained). Untuk tanah normally consolidated, nilai sudut geser tanah tak terdrainase (ϕ_u) adalah nol.

Selanjutnya, penentuan parameter tanah dengan pendekatan effective stress adalah penentuan parameter kuat geser tanah pada kondisi dimana air telah terdesipasi. Pada kondisi ini akan terjadi kenaikan tegangan air pori sehingga parameter kuat geser menjadi parameter kuat geser tanah terdrainase. Pada pendekatan ini parameter yang digunakan adalah parameter pada kondisi efektif yaitu c' dan ϕ' . Parameter c' dan ϕ' bisa didapat dari hasil pengujian triaxial CU (consolidated undrained) dengan pengukuran tekanan air pori atau triaxial CD (consolidated drained).

Menurut (Bishop dan Bjerrum, 1960), kondisi stabilitas timbunan akan semakin besar angka keamanannya seiring dengan waktu. Sehingga, kondisi kritis untuk stabilitas timbunan adalah kondisi jangka pendek (short-term condition atau end of construction). Sehingga, pada kasus analisis stabilitas *frontage*, analisis dilakukan dengan memodelkan perilaku tanah pada kondisi tanah tak terdrainase dengan menggunakan pendekatan effective stress (method B).



Gambar 4. Kondisi Stabilitas untuk Timbunan (Bishop dan Bjerrum, 1960)

Pemodelan perilaku tanah tak terdrainase dengan metode B pada tanah dasar frontage, nilai parameter kuat geser tanah adalah parameter kuat geser total ($c = Su$ dan $\phi = 0$) dan nilai parameter kekakuan efektif (E' dan v').

Nilai kuat geser tanah tak terdrainase (Su) pada analisis stabilitas frontage didapat dari hasil korelasi antara nilai tahanan ujung konus (q_c) terhadap nilai Su .

Korelasi antara nilai q_c dan Su dirumuskan oleh Terzaghi, 1943 yaitu:

$$Su = \frac{(q_c - \sigma_{vo})}{N_k}$$

$\sigma_{vo} = \gamma \cdot h$ (h adalah kedalaman penetrasi konus dan γ adalah berat volume tanah). Nilai N_k berkisar 10-20 untuk tanah lempung normally consolidated (Lunne et al, 1997).

(Jamiolkowski, 1979) mengusulkan bahwa nilai perbandingan modulus kekakuan tanah dengan parameter kuat geser tanah pada kondisi undrained (Eu/Su) bergantung terhadap nilai OCR dan indeks plastisitas tanah. Untuk tanah lempung normally consolidated dengan PI lebih dari 50% maka Eu/Su berkisar 250 dan nilai modulus kekakuan efektif (E') sebesar $2/3$ dari modulus kekakuan total (Eu). Di bawah ini adalah tabel parameter tanah dasar untuk menganalisis stabilitas pada frontage sebelah kanan dan kiri.

Tabel 1. Parameter Tanah *Frontage* Sebelah Kanan

Layer	Kedalaman (meter)	Konsistensi tanah	q_c (kg/cm ²)	Su (kPa)	Eu (kPa)	E' (kPa)	v'
1	0 - 4	Sangat Lunak	5	20	5000	3333	0,33
2	4 - 7	Sedang	20	100	25000	16667	0,33
3	7 - 12	Kaku	50	200	50000	33333	0,33

Sumber: Editor, 2023

Tabel 2. Parameter Tanah *Frontage* Sebelah Kiri

Layer	Kedalaman (meter)	Konsistensi tanah	q_c (kg/cm ²)	Su (kPa)	Eu (kPa)	E' (kPa)	v'
1	0 - 4	Sangat Lunak	5	10	2500	1667	0,33
2	4 - 7	Sedang	20	75	18750	12500	0,33
3	7 - 12	Kaku	50	200	50000	33333	0,33

Sumber: Editor, 2023

Desain frontage flyover sekop menggunakan geotextile dengan tipe maxmat 250p. Geotextile akan dimodelkan sebagai geogrid pada program elemen hingga. Tipe maxmat 250p memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 55 kN/m dengan nilai elongation sebesar 6% serta memiliki ketebalan sebesar 0,81 mm. Dari spesifikasi geotextile tipe maxmat 250p ini, didapat nilai EA sebesar 916,67 kN.

Untuk perkerasan jalan, frontage menggunakan rigid pavement dengan tebal 50 cm. Rigid pavement akan dimodelkan sebagai plate pada program elemen hingga. Rigid pavement memiliki nilai $f'c = 25$ Mpa dan modulus kekakuan sebesar 23500000 kN/m². Sehingga didapat nilai EA = 11750000 kN dan EI = 244792 kN.m².

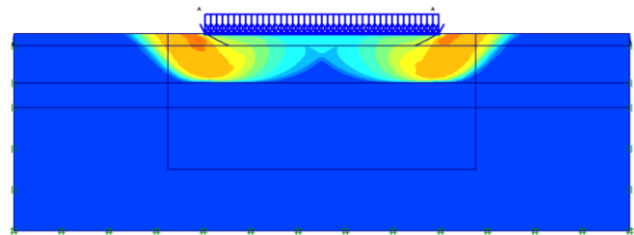
Untuk desain perkuatan tanah, frontage menggunakan cerucuk gelam dengan diameter 8-10 cm. Cerucuk gelam akan dimodelkan sebagai node to node anchor. Cerucuk gelam akan dipasang dengan jarak spasi 50 cm. Kapasitas daya dukung cerucuk gelam dihitung dengan persamaan daya dukung fondasi dalam, yaitu:

$$Q_{ult} = q_p \cdot A_p + q_s \cdot A_s$$

q_p adalah nilai unit end bearing pada cerucuk gelam yang nilainya adalah $q_p = Su \cdot N_c$ (nilai N_c adalah faktor daya dukung, untuk $\phi = 0$ maka $N_c = 9$). q_s adalah nilai unit skin friction pada cerucuk gelam yang nilainya adalah $q_s = \alpha \cdot Su$ (untuk $Su = 10$ kPa, maka nilai $\alpha = 1,0$). Dari rumus di atas, didapat nilai daya dukung ultimate untuk cerucuk gelam dengan kedalaman 6,0 meter adalah 20 kN. Nilai EA pada cerucuk gelam adalah $EA = k \cdot L$. k adalah nilai konstanta pegas yang merupakan perbandingan antara Q_{ult} dengan deformasi pada saat Q_{ult} termobilisir ($\delta = 0,01$ m) dan L adalah panjang cerucuk gelam tertanam.

Analisis Stabilitas Frontage tanpa Perkuatan Cerucuk Gelam

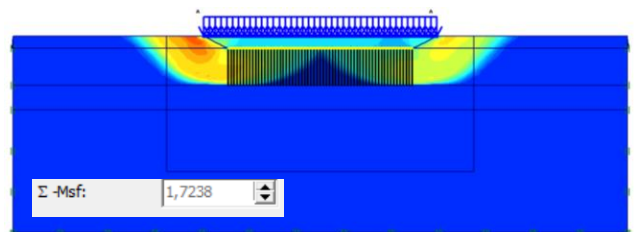
Tahapan analisis stabilitas frontage tanpa perkuatan adalah (1). Pekerjaan rigid pavement di atas tanah dasar; (2). Pembebanan sebesar 15 kPa; (3). Perhitungan nilai angka keamanan. Hasil analisis stabilitas frontage tanpa perkuatan tanah dasar adalah nilai angka keamanan sebesar 1,14. Angka keamanan ini masih lebih kecil dari angka keamanan yang disyaratkan ($SF = 1,5$).



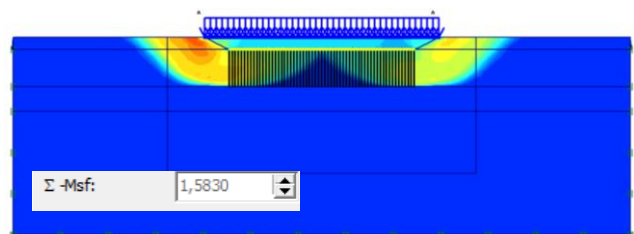
Gambar 5. Output Analisis Stabilitas Frontage Tanpa Perkuatan Tanah

Analisis Stabilitas Frontage dengan Perkuatan Cerucuk Gelam

Tahapan analisis stabilitas frontage dengan perkuatan tanah dasar adalah (1). Galian sedalam 1,5 meter; (2). Instalasi cerucuk gelam dan geotex-tile; (3). Penimbunan tanah kembali setinggi 1,5 meter; (4). Pekerjaan rigid pavement; (5). Pembebanan sebesar 15 kPa; (6). Perhitungan nilai angka keamanan.



Gambar 6. Output Analisis Stabilitas Frontage sebelah kanan dengan Perkuatan Tanah



Gambar 7. Output Analisis Stabilitas Frontage sebelah kiri dengan Perkuatan Tanah

Hasil analisis stabilitas frontage dengan perkuatan tanah menunjukkan nilai angka keamanan yang lebih besar dibandingkan dengan frontage tanpa perkuatan. Besarnya angka keamanan pada frontage sebelah kanan adalah 1,72 dan angka keamanan pada frontage sebelah kiri adalah 1,58. Hal ini karena Pada frontage sisi kanan, lapisan tanah pertama memiliki nilai kuat geser tanah yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan frontage sisi kiri, yaitu dengan $q_c = 5$ kg/cm². Namun, tetap perlu dilakukan replacement tanah dan perkuatan cerucuk gelam pada frontage sisi kanan. Nilai angka keamanan dengan perkuatan tanah ini telah memenuhi syarat angka keamanan minimum untuk

stabilitas timbunan (sesuai dengan SNI Geoteknik 8640-2017).

KESIMPULAN

Dalam analisis stabilitas frontage, kondisi kritis suatu timbunan adalah sesaat setelah selesai konstruksi (*end of construction*). Oleh karena itu, penentuan parameter tanah dilakukan dengan pendekatan *effective stress* dengan memodelkan perilaku tanah pada kondisi *undrained* atau pada kondisi *short-term*.

Hasil analisis stabilitas frontage, angka keamanan sebelum dilakukan perkuatan tanah dasar adalah sebesar 1,14. Setelah dilakukan perkuatan dengan cerucuk gelam pada tanah dasar, angka keamanan naik menjadi 1,58 untuk frontage sebelah kiri dengan *displacement*/penurunan = $30,27 \times 10^{-3}$ m. dan 1,72 untuk frontage sebelah kanan dengan *displacement*/penurunannya = $27,16 \times 10^{-3}$ m. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa kriteria angka keamanan minimum untuk kasus timbunan 1,5 dapat dicapai setelah dilakukan perkuatan dengan cerucuk gelam pada tanah dasar di bawah konstruksi frontage.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Sriwijaya dan Tim PT.Waskita Karya, khususnya Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan artikel ini.

REFRENSI

Abramson, L., Lee, T., Sharma, S., & Boyce, G. (2002). *Slope Stability and Stabilization Methods*. United State of America: John Wiley & Sons.

Akpila, S., & Omunguye, I. (2014). *Soil Modulus and Undrained Cohesion of Clayey Soils from Stress-Strain Models*. Canadian Journal of Pure and Applied Sciences, 3155-3161.

Atamini, H., & Moestafa, B. (2018). *Evaluasi Stabilitas dan Penurunan antara Timbunan Ringan Mortar Busa Dibandingkan dengan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan (Studi Kasus: Flyover Antapani, Kota Bandung)*. RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil, 4(1), 90.

Chai, J.-C., Sakajo, S., & Miura, N. (1994). *Stability Analysis of Embankment on Soft Ground (A Case Study)*. Soils and Foundation Vol.34 No.2, 107-114.

Gumilar, S. (2020). *Tanah Longsor Dan Upaya Pencegahannya*. Sukoharjo: Media Sarana Sejahtera.

Hamdi, H., & Sudarmadji, S. (2013). *Pengaruh Penggunaan Cerucuk Terhadap Daya Dukung Tanah Timbunan Pada Lapis Tanah Dasar (Studi Kasus Jalan Soekarno-Hatta Palembang)*. PILAR, 8 (1).

HATTI, B. P. (2017). *SNI Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Pranata, D. P., Marshush, I. F., Karlinasari, R., & Adi, H. P. (2020). *Perbaikan Tanah Lunak Berdasarkan Waktu Dan Biaya Konstruksi Studi Kasus Jalan Tol Pemalang-Batang*. Prosiding Konstelasi Ilmiah Mahasiswa Unissula (KIMU) Klaster Engineering.

Waruwu, dkk. (2021). *Kajian nilai california bearing ratio (CBR) pada tanah lempung lunak dengan variasi tebal stabilisasi menggunakan abu vulkanik*. Jurnal Rekayasa Sipil, 17(2), 116-130.