

EVALUASI DESAIN PERKUATAN TANAH PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALUR GANDA JALAN KA LINTAS SELATAN JAWA PADA KM 45+150 SD KM 48+000 ANTARA MOJOKERTO SEPANJANG LINTAS SURABAYA-SOLO DENGAN PROGRAM PLAXIS 2D

Retno Rahmawati^{1*}, Senja Rum Harnaeni¹

¹Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

JL. A. Yani, Mendungan, Pabelan, Surakarta, 57102

*Email: d100190013@student.ums.ac.id

Abstrak

Sebagian besar kondisi tanah dasar di Indonesia memiliki jenis tanah lunak, sehingga pada proyek pembangunan jalur ganda diperlukan perbaikan dan perkuatan pada tanah dasar. Pada proyek ini material perbaikan dan perkuatan tanah yang dipakai menggunakan batu kapur sebagai penggantinya dan material berbutir dibungkus geotextile sebagai perkuatan tanah dasarnya. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai Safety Factor (SF) dari timbunan sebelum dan sesudah ditambahkan perbaikan dan perkuatan tanah, juga untuk mengetahui ketebalan perkuatan dan perbaikan tanah yang dipakai pada proyek pembangunan jalur ganda dengan bantuan program Plaxis 2D. Manfaat penelitian ini untuk menambah pengetahuan dan referensi mengenai pemodelan perkuatan dan perbaikan tanah pada struktur tanah timbunan dengan bantuan program Plaxis 2D. Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai SF sebelum ditambahkan perkuatan dan perbaikan tanah yaitu $SF < 1$ sehingga belum mencapai SF yang telah ditentukan sebesar 1,5. Setelah ditambahkan perkuatan material berbutir dibungkus geotextile dan perbaikan tanah menggunakan batu kapur SF segmen 1 (KM 45+150 s.d KM 48+000) sebesar $1,823 > 1,5$ dengan ketebalan geotextile sebesar 0,6 m dan batu kapur 0,8 m dan segmen 2 (KM 47+000 s.d KM 47+250) sebesar $1,946 > 1,5$ dengan ketebalan batu kapur 0,8 m.

Kata kunci : plaxis, geotextile, batu kapur (limestone), safety factor

Abstract

Most of the subgrade conditions in Indonesia have soft soil types, so that the double track development project requires improvement and strengthening of the subgrade soil. In this project the soil improvement and strengthening materials used are limestone as a substitute and granular material wrapped in geotextile as subsoil reinforcement. The purpose of this study was to determine the Safety Factor (SF) value of the embankment before and after the soil improvement and reinforcement was added, as well as to determine the thickness of the soil reinforcement and improvement used in the double track development project with the help of the Plaxis 2D program. The benefit of this research is to increase knowledge and reference regarding modeling of reinforcement and soil improvement in soil embankment structures with the help of the Plaxis 2D program. The results of this study obtained the SF value before adding soil reinforcement and improvement, namely $SF < 1$ so that it had not reached the predetermined SF of 1,5. After adding granular material reinforcement wrapped in geotextile and soil improvement using segment 1 SF limestone (KM 45+150 to KM 48+000) of $1.823 > 1,5$ with a geotextile thickness of 0,6 m and limestone 0,8 m and segments 2 (KM 47+000 to KM 47+250) of $1.946 > 1,5$ with a limestone thickness of 0,8 m.

Keywords : plaxis, geotextile, limestone, safety factor

1. PENDAHULUAN

Pertambahan penduduk yang terus meningkat mengakibatkan banyaknya aktivitas perpindahan yang dilakukan oleh manusia. Perpindahan dari tempat satu ke tempat lainnya tidak lepas dari suatu moda transportasi, fasilitas yang dimiliki suatu moda transportasi menjadi salah satu faktor untuk penumpang dalam menentukan transportasi yang akan digunakan.

Transportasi dengan waktu tempuh yang cepat, biaya yang relative murah, dan menampung jumlah penumpang dalam kapasitas yang cukup banyak membuat para penumpang memilih menggunakan

transportasi kereta api (Nafis, Setyawan and Mohammad Musthofa, 2021). Di Indonesia mengalami peningkatan pengguna jasa kereta api setiap tahunnya, hal ini dapat dilihat pada Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (RIPNAS) bahwa pada tahun 2030 diperkirakan akan terjadi peningkatan jumlah perjalanan orang menggunakan moda kereta api di Pulau Jawa sebanyak 858,5 juta orang/tahun (Utomo and Estikhamah, 2020).

Hal ini juga dibuktikan dengan adanya data jumlah penumpang yang dapat dilihat melalui Badan Pusat Statistik (2021) bahwa jumlah penumpang kereta api di pulau jawa pada tahun 2021 sebesar

147.521 ribu orang dan mengalami peningkatan pada tahun 2022 sesuai dengan Badan Pusat Statistik (2022) yaitu sebesar 272.419 ribu orang. Maka dari itu untuk mengimbangi adanya peningkatan penumpang kereta api pemerintah berencana mengembangkan jaringan jalan rel kereta api dari jalur tunggal (*single track*) menjadi jalur ganda (*double track*) (Adi, Sukmajati and Hardiyati, 2013). Salah satu jaringan jalan rel kereta api yang akan dikembangkan yaitu jalur kereta api lintas selatan jawa pada KM 45+150 sd KM 48+000 antara Mojokerto sepanjang lintas Surabaya-solo.

Pada pembangunan jalur ganda diperlukan adanya sebuah timbunan konstruksi tubuh baan, yang nantinya akan dilalui oleh beban yang sangat berat di atasnya. Oleh karena itu perlunya dilakukan sebuah peninjauan untuk mengetahui kondisi tanah pada lokasi yang akan dibangun. Sebagian besar kondisi tanah dasar di Indonesia memiliki jenis tanah yang lunak, sehingga sering kali menjadi masalah pada saat pembangunan konstruksi bangunan. Hal ini dikarenakan jenis tanah lunak memiliki sifat-sifat antara lain mudah memampat, tahanan geser tanah yang rendah, dan daya dukung tanah yang rendah (Bella, 2011).

Lokasi pada KM 45+150 s.d KM 48+000 menjadi lokasi dilakukannya pengujian tanah menggunakan alat sondir, guna untuk mengetahui kondisi tanah pada lokasi tersebut. Hasil dari pengujian sondir yang dilakukan yaitu didapatkan bahwa kondisi tanah pada lokasi tersebut memiliki jenis tanah yang lunak, karena memiliki nilai $FR > 3\%$ yang berada pada lapisan atas tanah dasar, sehingga akan menyebabkan adanya kelongsoran. Daya dukung tanah yang kecil menjadi salah satu permasalahan yang sering terjadi pada tanah lunak dan terletak dibawah tanah dasar (Amran and Prasetyo, 2022). Kecilnya daya dukung tanah ini disebabkan oleh ketahanan yang dimiliki tanah dasar lebih kecil dibandingkan dengan beban struktur yang berada di atasnya, sehingga mengakibatkan struktur bangunan di atasnya akan mengalami kegagalan struktur (*sliding*).

Salah satu solusi untuk mengatasi kondisi tanah dasar yang lunak yaitu dengan memberikan perbaikan dan penguatan pada tanah dasar. Perbaikan tanah dasar adalah suatu upaya memperbaiki kondisi tanah dasar dengan cara mengambil seluruh material tanah dasar yang buruk dan digantikan dengan material tanah yang lebih baik atau bisa disebut dengan *replacement*. Sedangkan Penguatan tanah dasar yaitu

perkuatan tanah yang dilakukan dengan cara memberikan tambahan material yang memiliki nilai kekuatan tertentu untuk menambah kekuatan yang dimiliki oleh tanah dasar (Panguriseng, 2018).

Pada pembangunan proyek jalur ganda ini material perbaikan dan penguatan tanah dasar yang dipakai yaitu menggunakan material batu kapur (*limestone*) sebagai penggantinya dan material berbutir dibungkus dengan *geotextile* sebagai penguatan tanah dasarnya karena *geotextile* merupakan salah satu jenis penguatan yang sering digunakan di Indonesia dan dapat mendukung beban yang besar (Fauzi and Hamdhan, 2019).

Batu kapur atau *limestone* adalah sebuah batuan sedimen yang mempunyai kandungan berupa kalsium karbonat ($CaCO_3$) (Wiqoyah, 2006). Batu kapur (*limestone*) juga merupakan salah satu dari material tambang non logam yang kerap dijadikan sebagai tanah urug untuk membantu dalam proses perbaikan dari struktur tanah (Yanwar and Bojonegoro, 2021). Geotekstil sendiri memiliki dua jenis yaitu *woven* dan *non woven*.

a. Geotekstil *Woven*

Geotekstil woven merupakan suatu bahan material yang terbuat dari bahan yang bersifat lolos air dengan bentuk anyaman yang mempunyai peran kontak dengan tanah atau material geoteknik lainnya. Geotekstil jenis ini dipilih untuk digunakan dalam penguatan tanah karena mampu meningkatkan stabilitas tanah dasar (Wiqoyah *et al.*, 2022).

b. Geotekstil *Non-Woven*

Geotekstil non-woven, merupakan jenis geotekstil yang tidak teranyam, yang berfungsi sebagai separator untuk tanah dasar agar tidak tercampur dengan bahan material perkerasan di atasnya. (Kumala, 2018).

Dari penelitian Rizqullah and Yelvi (2022) didapatkan bahwa pada analisis timbunan tanpa beban gempa dengan bantuan program plaxis V.20 diperoleh nilai *safety factor* sebesar 1,201 dan untuk metode bishop sebesar 1,47. Kemudian untuk *safety factor* dengan beban gempa pada program plaxis V.20 tidak dapat diperhitungkan sehingga dicari nilai deformasi lateralnya yaitu sebesar 0,505 m dan untuk metode bishop didapatkan hasil sebesar 0,95 sehingga kondisi tanah pada lereng tersebut harus ditambahkan dengan penguatan geotekstil karena nilai $FK < 1,25$. Hasil dari penambahan penguatan geotekstil didapatkan nilai *safety factor* sebesar 1,880 $> 1,25$ maka dapat

disimpulkan bahwa perkuatan dengan geotekstil dapat meningkatkan kestabilan lereng untuk mencegah terjadinya kelongsoran.

Pada penelitian berikutnya yang dilakukan oleh Nafis, Setyawan and Mohammad Musthofa (2021) diperoleh hasil *safety factor* pada analisis stabilitas timbunan eksisting menggunakan program bantu plaxis 8.6 pada DK70+181 sebesar 1,1565 (cek global) sebelum menggunakan perkuatan geotekstil. Kemudian ditambahkan menggunakan perkuatan geotekstil dengan micropile didapatkan *safety factor* sebesar 1,8151 (cek global).

Plaxis adalah salah satu program 2D pada bidang geoteknik yang membantu dalam menganalisis stabilitas tanah dengan metode elemen hingga (Hamdhan and Iskandar, 2019). Kondisi di lapangan dapat dimodelkan dalam bentuk regangan bidang ataupun secara *axisymetris*. Di dalam plaxis terdapat berbagai macam analisis mengenai *displacement*, tegangan-tegangan pada tanah, *safety factor* dari lereng dan lain-lain (Yanwar and Bojonegoro, 2021). Pemodelan yang akan dilakukan dengan bantuan program plaxis ini akan menghasilkan nilai *safety factor* dari timbunan sebelum dan sesudah ditambahkan perbaikan dan perkuatan tanah, selain itu juga didapatkan hasil dari ketebalan perkuatan dan perbaikan tanah yang akan dipakai, sehingga pemodelan dengan alat bantu plaxis ini dapat mempermudah pekerjaan saat di lapangan .

2. METODOLOGI

Dalam melakukan penelitian ini dibutuhkan pengumpulan data dan pengolahan data untuk menunjang pencapaian dari diadakannya penelitian. Proses dari penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap yaitu :

1. Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan ini akan dilakukan proses untuk memahami studi literatur yang akan digunakan pada penelitian ini. Tahapan ini dilakukan dengan cara mencari teori-teori dan penelitian-penelitian sebelumnya yang nantinya akan mempermudah penyelesaian dari proses penelitian ini. Berikut beberapa studi literatur yang akan dipakai dalam penelitian ini yaitu :

- Teori material timbunan
- Teori penyeragaman data tanah
- Teori korelasi data tanah
- Teori analisa daya dukung tanah
- Prosedur pengoperasian program Plaxis 2D V20

2. Tahap Pengumpulan Data

Melakukan pengumpulan data tanah sekunder dari hasil pengujian sondir di lapangan dan data material struktur timbunan tubuhbaan dari hasil laboratorium pada KM KM 45+150 s.d KM 48+000 yang di dapat dari Justifikasi Teknis pada proyek Pembangunan Jalur Ganda KA Lintas Selatan Jawa pada KM 43+800 s.d KM 49+500. Pengambilan data tanah hasil pengujian sondir dilakukan dengan jarak tiap 50 meter dimulai dari awal KM 45+000 s.d KM 48+000. Kemudian hasil dari data tanah tersebut akan dilakukan pengelompokkan sesuai jenis tanah secara vertikal dan horizontal.

3. Tahap Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data ini hasil data pengujian tanah dengan sondir di lapangan tadi akan dilakukan proses pengelompokkan atau penyeragaman data tanah secara vertikal dengan menggunakan nilai *Friction Ratio* (FR) dan secara horizontal menggunakan nilai tahanan konus (qc) untuk mendapatkan nilai γ . Kemudian dilanjutkan dengan korelasi data tanah dengan tiap kedalaman 1 m untuk mendapatkan parameter yang akan digunakan saat melakukan pemrograman dengan plaxis. Parameter tanah yang didapatkan dari hasil korelasi yaitu meliputi nilai N-SPT , Cu, E, *poisson ratio* (ν), ϕ , dan nilai angka pori (e).

4. Tahap Analisis Daya Dukung Tanah Menggunakan Program Plaxis 2D

Melakukan analisis daya dukung tanah menggunakan program plaxis dengan menginput nilai parameter tanah yang didapatkan dari hasil perhitungan korelasi tanah sebelumnya dan menggambar geometri timbunan sesuai dengan *cross section* yang akan dipakai. Pada tahap ini hal pertama yang dilakukan yaitu mencari nilai *safety factor* dari timbunan sebelum ditambahkan perkuatan dan perbaikan tanah. Sesuai dengan Menteri Perhubungan (2012) Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api bahwa besar nilai *safety factor* yaitu $>1,5$ sehingga jika nilai SF dari timbunan sebelum ditambahkan perkuatan dan perbaikan tanah $<1,5$ maka dilakukan perencanaan kembali dengan ditambahkan perkuatan dan perbaikan tanah sampai mendapatkan nilai *safety factor* $>1,5$.

5. Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir dari penelitian ini yaitu menarik kesimpulan dari hasil pembahasan yang telah dibuat sebelumnya yaitu mengenai hasil dari nilai *safety factor* sebelum dan sesudah

diberi perkuatan dan perbaikan tanah. selain itu juga didapatkan ketebalan dari perkuatan dan perbaikan tanah yang diperlukan. Kemudian untuk saran berisikan masukan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Penelitian

Dalam penelitian ini data yang akan dipakai yaitu data tanah hasil dari pengujian sondir di lapangan, data material struktur timbunan tubuhbaan dan material perkuatan dan perbaikan tanah dasar yang didapatkan dari hasil laboratorium.

3.4.1 Data Tanah

Data tanah yang didapat dari pengujian sondir di lapangan dilakukakan tiap jarak 50 m dari awal sampai akhir tiap segmen. Pengujian sondir pada segmen 1 diawali dengan KM 45+150 s.d KM 45+800 dan untuk segmen 2 diawali dengan KM 47+050 s.d KM 47+250. Kemudian data tanah hasil dari pengujian sondir di lapangan diolah untuk mencari korelasi dengan kedalaman tiap 1 m. Data tanah hasil dari perhitungan dengan korelasi dapat dilihat pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 2.

Tabel 1.

Hasil rekap korelasi data tanah pada segmen 1

SEGMENT 1 KM 45+150 sd KM 48+000									
No	Depth (m)	Soil	ysat (kN/m ³)	N-SPT	Cu (Kpa)	E (KN/m ²)	Poisson (v)	Ø deg	e
1	0 - 1 m	Cohesive Soil	14,68	5	28,29	983,40	0,19	21,38	2,49
2	1 - 2 m		16,84	14	74,50	3527,40	0,27	27,45	1,97
3	2 - 3 m		14,18	8	0,00	13287,30	0,30	33,10	2,64
4	3 - 4 m		14,68	9	0,00	14458,90	0,30	33,36	2,58
5	4 - 5 m		15,73	10	0,00	20000,00	0,30	33,62	2,53
6	5 - 6 m	Non Cohesive	16,45	13	0,00	21500,00	0,30	35,75	2,36
7	6 - 7 m		16,86	15	0,00	22500,00	0,31	36,25	2,25
8	7 - 8 m		17,42	18	0,00	24000,00	0,32	37,00	2,09
9	8 - 9 m		18,29	22	0,00	26000,00	0,33	38,00	1,87
10	9 - 10 m		19,02	26	0,00	28000,00	0,34	39,00	1,65
11	10 - 11 m		19,64	29	0,00	29500,00	0,35	39,75	1,48
12	11 - 12 m		19,72	29	0,00	29500,00	0,35	39,75	1,48

Tabel 2.

Hasil rekap korelasi data tanah pada segmen 2

SEGMENT 2 KM 47+050 sd KM 47+250									
No	Depth (m)	Soil	ysat (kN/m ³)	N-SPT	Cu (Kpa)	E (KN/m ²)	Poisson (v)	Ø deg	e
1	0 - 1 m	Cohesive Soil	15,98	5	30,07	1384,57	0,27	18,71	1,99
2	1 - 2 m		15,67	7	41,79	2108,91	0,25	20,89	2,10
3	2 - 3 m		16,08	9	52,04	2833,25	0,27	22,80	1,95
4	3 - 4 m		17,03	12	80,46	3919,76	0,31	28,09	1,61
5	4 - 5 m		17,52	12	75,96	3919,76	0,33	27,25	1,44
6	5 - 6 m	Non Cohesive	18,19	21	0,00	28518,21	0,33	36,46	1,63
7	6 - 7 m		19,01	26	0,00	34376,26	0,34	37,76	1,38
8	7 - 8 m		20,31	32	0,00	41405,93	0,35	39,31	0,99
9	8 - 9 m		21,12	36	0,00	46092,38	0,36	40,35	0,75
10	9 - 10 m		22,02	44	0,00	55465,27	0,38	42,42	0,47
11	10 - 11 m		22,02	41	0,00	51950,44	0,37	41,64	0,47

3.4.2 Data Material Struktur Timbunan Tubuhbaan

Dalam melakukan pemrograman menggunakan software plaxis hal pertama yang dilakukan yaitu menganalisa daya dukung tanah dasar

sebelum ditambahkan perkuatan dan perbaikan tanah. Oleh karena itu diperlukan data material dari struktur timbunan tubuh baan yang didapatkan dari hasil laboratorium seperti pada Tabel 3 sampai dengan Tabel 6.

Tabel 3.

Data material timbunan tanah pilihan

Material Timbunan Tanah Pilihan						
Indeks Plastisitas (IP)	Berat Volume Material Timbunan (γ)	Berat Volume Material Kondisi Unsat (γ _{unsat})	Nilai Kohesi Material	Sudut Geser (Ø)	Poisson Rasio (ν)	Modulus Young
10,27 %	19,73 kN/m ³	17,37 kN/m ³	10 kN/m ²	38,92°	0,33	32916 kN/m ²

Tabel 4.

Data sub ballas

Material Sub Ballas				
Berat Volume Material Timbunan (γ)	Berat Volume Material Kondisi Unsat (γ _{unsat})	Sudut Geser (Ø)	Poisson Rasio (ν)	Modulus Young
21,43 kN/m ³	19,43 kN/m ³	42,15°	0,31	40078 kN/m ²

Tabel 5.

Data material ballas

Material Ballas		
Berat Jenis (BJ)	Penyerapan	Berat Volume Padat
19,43 kN/m ³	17,82 kN/m ³	35,07 kN/m ²

Tabel 6.

Data material geotextile separator

Material Geotextile Separator	
Kuat Tarik (T)	Massa Nominal
>22 kN/m	> 300 g/m ²

3.4.3 Data Material Perkuatan dan Perbaikan Tanah

Dalam melakukan perencanaan dengan perkuatan material berbutir dibungkus dengan geotextile dan perbaikan tanah dasar menggunakan batu kapur (*limestone*) maka diperlukan data dari tiap material yang akan digunakan. Data material dari perkuatan dan perbaikan yang akan dipakai didapatkan dari hasil laboratoirum seperti pada Tabel 7 sampai dengan Tabel 9.

Tabel 7.

Data material berbutir

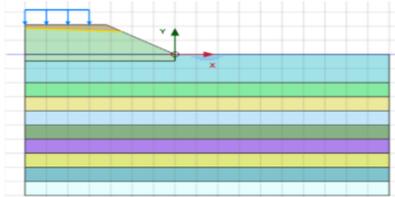
Material Berbutir			
Indeks Plastisitas (IP)	Berat Volume Material Timbunan (γ)	Berat Volume Material Kondisi Unsat (γ _{unsat})	Nilai Kohesi Material
0%	20,40 kN/m ³	18,23 kN/m ³	0 kN/m ²

perbaikan tanah menggunakan gambar *cross section* yang sama.

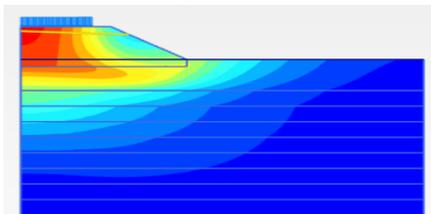
Pada segmen 1 *cross section* yang digunakan yaitu KM 45+000 dan untuk segmen 2 menggunakan KM 47+000. Gambar *cross section* tidak dipakai secara keseluruhan pada saat melakukan pemrograman dengan *software* plaxis , melainkan hanya mengambil sebagian saja yaitu dengan cara membagi gambar *cross section* menjadi 2 bagian dan mengambil gambar dari sebelah sisi kanan atau sisi kiri pada top rel elevasi saja. pada penelitian ini untuk segmen 1 menggunakan gambar *cross section* pada sisi kanan dan segmen 2 menggunakan sisi kiri. Gambar *cross section* yang akan dipakai pada pemrograman segmen 1 dan segmen 2 dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

3.3 Analisa Daya Dukung Tanah Dasar Dengan Program Plaxis

Dalam menganalisis daya dukung tanah dasar menggunakan program plaxis timbunan yang akan dipakai yaitu sesuai dengan *cross section* yang sudah dibuat sebelumnya. Kemudian untuk nilai parameter yang akan dipakai yaitu diambil dari hasil perhitungan korelasi data tanah. Pada program plaxis titik yang akan ditinjau yaitu mengenai *displacement* dan nilai *safety factor* yang didapat dari perkuatan tanah dasar . Hasil dari analisis daya dukung tanah dasar menggunakan program plaxis pada segmen 1 dapat dilihat pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 6, dan untuk segmen 2 dapat dilihat pada Gambar 7 sampai dengan Gambar 10.



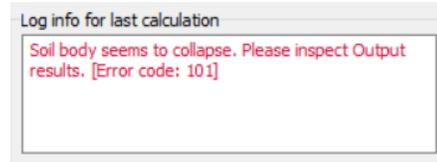
Gambar 3. Pemodelan struktur tubuh baan segmen1



Gambar 3. *Displacement* yang terjadi akibat struktur tubuh baan segmen 1

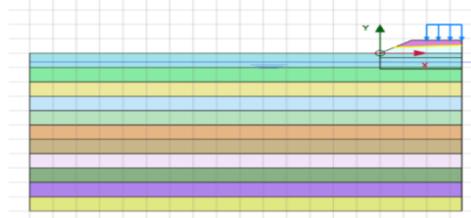
Reached values	
Reached total time	16.96 day
CSP - Relative stiffness	-5.275E-3
ForceX - Reached total forc	0.000 kN
ForceY - Reached total forc	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	37.88 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0.5655
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1.000

Gambar 4. Hasil *output* running plaxis 2D segmen 1



Gambar 5. Keterangan dari hasil perhitungan terakhir dengan plaxis 2D segmen 1

Pemodelan timbunan segmen 1 didapatkan hasil *Mstage* yaitu sebesar **0,56** dimana nilai tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi keruntuhan sebelum mencapai tinggi timbunan yang direncanakan sehingga pada segmen 1 perlu ditambahkan perkuatan tanah.



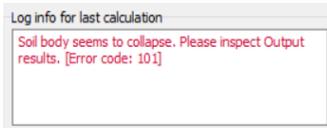
Gambar 6. Pemodelan struktur tubuhbaan segmen 2



Gambar 7. *Displacement* yang terjadi akibat struktur tubuh baan segmen 2

Reached values	
Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.01127
ForceX - Reached total forc	0.000 kN
ForceY - Reached total forc	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	28.33 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase p	0.8733
ΣM_{weight} - Reached weight	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety fact	1.000

Gambar 8. Hasil *output* running plaxis 2D segmen 2



Gambar 9. Keterangan dari hasil perhitungan terakhir dengan plaxis 2D segmen 2

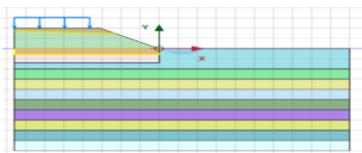
Pemodelan timbunan pada zona 1 didapatkan hasil *Mstage* yaitu sebesar **0,87** dimana nilai tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi keruntuhan sebelum mencapai tinggi timbunan yang direncanakan sehingga pada segmen 1 perlu ditambahkan perkuatan tanah.

3.4 Analisa Rencana Perbaikan dan Perkuatan Tanah Dasar Dengan Program Plaxis

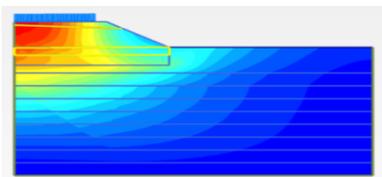
Perencanaan perbaikan dan perkuatan tanah dasar dilakukan dengan menyesuaikan kebutuhan daya dukung dari setiap segmen berdasarkan data tanah yang didapatkan dari hasil pengujian di lapangan.

3.4.1 Rencana Perbaikan dan Perkuatan Tanah Pada Segmen 1

Pada segmen ini direncanakan menggunakan perkuatan dan perbaikan pada tanah dasar. Untuk perkuatan yang dipakai yaitu material berbutir dibungkus *geotextile* perkuatan dengan tebal 0,6 m. Sedangkan untuk perbaikan menggunakan batu kapur (*limestone*) dengan tebal 0,8 m.



Gambar 10. Pemodelan struktur tubuh baan dengan perkuatan pada segmen 1



Gambar 11. Displacement yang terjadi pada struktur perkuatan pada segmen 1

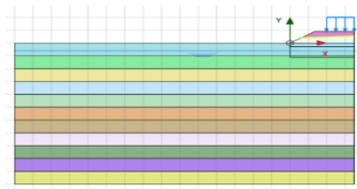
Reached values	
Reached total time	30.00 day
CSP - Relative stiffness	1.898E-3
ForceX - Reached total force X	0.000 kN
ForceY - Reached total force Y	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	147.2 kN/m ²
ZM _{stage} - Reached phase proportion	0.000
ZM _{weight} - Reached weight proportion	1.000
ZM _{sf} - Reached safety factor	1.823

Gambar 12. Hasil output running perbaikan tanah dasar pada segmen 1

Dari hasil pemograman dengan perencanaan perkuatan dan perbaikan tanah didapatkan hasil dari nilai *safety factor* yaitu sebesar **SF = 1,823**

3.4.2 Rencana Perbaikan dan Perkuatan Tanah Pada Segmen 2

Pada segmen ini direncanakan menggunakan perbaikan saja pada tanah dasar. Perbaikan tanah yang digunakan yaitu batu kapur (*limestone*) dengan tebal 0,8 m.



Gambar 13. Pemodelan struktur tubuhbaan dengan perkuatan pada segmen 2



Gambar 14. Displacement yang terjadi pada struktur perkuatan pada segmen 2

Reached values	
Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	5.524E-3
ForceX - Reached total forc	0.000 kN
ForceY - Reached total forc	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	38.48 kN/m ²
ZM _{stage} - Reached phase p	0.000
ZM _{weight} - Reached weight	1.000
ZM _{sf} - Reached safety fact	1.946

Gambar 15. Hasil output running perbaikan tanah dasar pada segmen 2

Dari hasil pemograman dengan perencanaan perkuatan dan perbaikan tanah didapatkan hasil dari nilai *safety factor* yaitu sebesar **SF = 1,946**

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisa perkuatan dan perbaikan tanah diatas maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. *Safety factor* struktur timbunan sebelum diberi perbaikan dan perkuatan tanah dasar yaitu :
 - a. Pada segmen 1 (KM 45+150 s.d KM 48+000) didapatkan **SF < 1**, karena timbunan runtuh sebelum mencapai ketinggian yang direncanakan.

- b. Pada segmen 2 (KM 47+000 s.d KM 47+250) didapatkan $SF < 1$, karena timbunan runtuh sebelum mencapai ketinggian yang direncanakan.
2. Didapatkan hasil dari perencanaan tebal perbaikan dan penguatan tanah dasar pada tiap zona yaitu :
 - a. Pada segmen 1 (KM 45+150 s.d KM 48+000). Menggunakan perbaikan batu kapur (*limestone*), tebal 0,8 m dan penguatan material berbutir dibungkus *geotextile* dengan tebal 0,6 m.
 - b. Pada segmen 2 (KM 47+000 s.d KM 47+250). Menggunakan perbaikan batu kapur (*limestone*), tebal 0,8 m.
3. *Safety Factor* struktur timbunan setelah diberi perbaikan dan penguatan tanah dasar yaitu :
 - a. Pada segmen 1 (KM 45+150 s.d KM 48+000) didapatkan $SF = 1,823 > 1,5$.
 - b. Pada segmen 2 (KM 47+000 s.d KM 47+250) didapatkan $SF = 1,946 > 1,5$.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, C.P., Sukmajati, E.I. and Hardiyati, S. (2013) 'Perencanaan Jalur Ganda (Double Track) Jalan Rel Ruas Semarang – Gubug', *Karya Teknik*, 2(3), pp. 1–19.
- Amran, Y. and Prasetyo, A. (2022) 'Analisis Stabilisasi Daya Dukung Tanah Dasar Menggunakan Campuran Arang Kayu Dan Sulfur (Studi Kasus Pada Tanah Lempung Berpasir)', *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi) : Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 12(1), pp. 79–93. Available at: <https://doi.org/10.24127/tp.v12i1.2325>.
- Badan Pusat Statistik (2021) *Jumlah Penumpang Kereta Api (Ribu Orang), 2021*, [bps.go.id](https://www.bps.go.id). Available at: <https://www.bps.go.id/indicator/17/72/3/jumlah-penumpang-kereta-api.html> (Accessed: 27 February 2023).
- Badan Pusat Statistik (2022) *Jumlah Penumpang Kereta Api (Ribu Orang), 2022*, [bps.go.id](https://www.bps.go.id). Available at: <https://www.bps.go.id/indicator/17/72/2/jumlah-penumpang-kereta-api.html> (Accessed: 27 February 2023).
- Bella, R.A. (2011) 'Permodelan Timbunan Pada Tanah Lunak Dengan Menggunakan Program Plaxis', *Teknik Sipil Nusa Cendana*, 1(2), pp. 1–9.
- Fauzi, I.M. and Hamdhan, I.N. (2019) 'Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Woven Akibat Pengaruh Termal Menggunakan Metode Elemen Hingga', *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 5(2), pp. 61–72. Available at: <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v5i2.61>.
- Hamdhan, I.N. and Iskandar, F.F. (2019) 'Analisis Perkuatan Timbunan Di Atas Tanah Lunak Menggunakan Dinding Turap dengan Pendekatan Model Numerik', *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 25(1), pp. 48–58. Available at: <https://doi.org/10.14710/mkts.v25i1.18006>.
- Kumala, T.D. (2018) 'Penggunaan Geotextile Non Woven Pada Proyek Peningkatan Jalan Anjir Pasar-Marabahan', *Buletin Profesi Insinyur*, 1(2), pp. 78–82. Available at: <https://doi.org/10.20527/bpi.v1i2.26>.
- Menteri Perhubungan (2012) 'Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api', *PM. No. 60 Tahun 2012*, pp. 1–57.
- Nafis, A., Setyawan, E. and Mohammad Musthofa, M.M. Al (2021) 'Analisa Stabilitas Lereng Dan Alternatif Perkuatan Tanah Pada Jalur Kereta Api Cepat Jakarta-Bandung Menggunakan Aplikasi Plaxis 8.6', *Bangunan*, 26(1), pp. 29–44. Available at: <https://doi.org/10.17977/um071v26i12021p29-44>.
- Panguriseng, D. (2018) *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Yogyakarta: Pustaka AQ Yogyakarta.
- Rizqullah, P.G. and Yelvi, Y. (2022) 'Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung - Cilincing Seksi 2 STA 6+475)', *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 19(2), pp. 145–156. Available at: <https://doi.org/10.30630/jirs.v19i2.836>.
- Utomo, N. and Estikhamah, F. (2020) 'Analisa Kekuatan Struktur Jalan Kereta Api dengan Penambahan Lapisan Geotekstil pada Perencanaan Jalur Ganda Jombang – Peterongan (KM.69+100 – KM.76+100)', *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 6(1), pp. 25–34. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Nugroho_Utomo/publication/343670735_Jurnal_Ilmi_h_Teknik_Sipil_KERN/links/5f377c7a458515

b7292212fa/Jurnal-Ilmiah-Teknik-Sipil-
KERN.pdf.

- Wiqoyah, Q. (2006) ‘Pengaruh Kadar Kapur, Waktu Perawatan dan Perendaman Terhadap Kuat Dukung Tanah Lempung’, *Dinamika Teknik Sipil*, 6(1), pp. 16–24. Available at: [eprints.ums.ac.id/272/1/\(4\)_Qunik.pdf](http://eprints.ums.ac.id/272/1/(4)_Qunik.pdf).
- Wiqoyah, Q. *et al.* (2022) ‘Analisa Perkuatan Timbunan Tanah Dengan Geotekstil Woven Sebagai Upaya Pengurangan Gaya Lateral Pada Abutmen’, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS*, pp. 123–129.
- Yanwar, A.P. and Bojonegoro, U. (2021) ‘Substitusi Agregat Beton Menggunakan Tanah Urug Limestone Dari Kecamatan Rengel Kabupaten Tuban’, *Teknika*, 16(1), pp. 1–8.