

Pemodelan 3D Perbaikan Tanah Lunak dengan *Pile Embankment* dan Geotekstil pada Proyek Jalan Tol Bengkulu – Taba Penanjung

SASMITO SIGIT PRAMONO¹, INDRA NOER HAMDHAN¹

¹Mahasiswa Teknik Sipil & Dosen Teknik Sipil (Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung), Kota Bandung, Indonesia.

Email: sasmitosigitpramono@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Proyek Jalan Tol Bengkulu – Taba Penanjung STA 15+792 memiliki permasalahan terdapatnya tanah lunak yang diatasi dengan metode perbaikan tanah menggunakan perkuatan pile embankment dan geotekstil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis pengaruh dari penggunaan metode pile embankment dan geotekstil terhadap nilai besar penurunan dan nilai faktor keamanan (SF) dengan pemodelan 3D menggunakan program Plaxis 3D. Variasi pemodelan yang digunakan pada penelitian menggunakan besar diameter pile embankment sebesar 0,2 m, 0,25 m, dan 0,3 m, jarak pemasangan pile embankment sebesar 5 kali diameter (5D), 8 kali diameter (8D), dan 10 kali diameter (10D), dan jarak pelapisan geotekstil sebesar 1 m, 1,5 m, dan 2 m. Berdasarkan variasi tersebut didapat hasil analisis yang paling efektif menghasilkan nilai penurunan sebesar 0,069 m atau 6,9 cm dan nilai faktor keamanan (SF) 1,545.

Kata Kunci: *penurunan tanah, faktor keamanan, pile embankment, geotekstil, plaxis 3D*

1. PENDAHULUAN

Perbaikan dan perkuatan tanah adalah suatu usaha yang dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas karakteristik tanah, khususnya jika terdapat tanah lunak. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk perkuatan tanah pada kondisi tanah lunak dengan daya dukung yang rendah yaitu menggunakan metode *pile embankment* dan geotekstil.

Salah satu kesulitan dalam pembangunan prasarana Jalan Tol Bengkulu – Taba Penanjung khususnya pada STA 15+792 adalah kondisi tanah yang kurang baik, yaitu terdapat tanah lempung lunak hingga kedalaman 15 meter.

Pada penelitian ini akan melakukan analisis perbaikan tanah menggunakan metode *pile embankment* dan geotekstil menggunakan program Plaxis 3D untuk mengetahui besar penurunan dan nilai faktor keamanan tanah timbunan di STA 15+792 pada pembangunan Jalan Tol Bengkulu Taba Penanjung. Metode *pile embankment* dipilih karena dapat mereduksi besar penurunan tanah dan dalam pemasangannya memerlukan waktu yang relatif cepat, sedangkan metode geotekstil dipilih karena dapat meningkatkan stabilitas pada tanah timbunan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah dalam pandangan ilmu Teknik Sipil adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 2006).

Tanah juga didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel padat tersebut (Das, 2010).

2.2 Penurunan Tanah

Penurunan tanah merupakan suatu kondisi dimana tanah tidak mampu menahan beban. Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah dibawahnya mengalami pemampatan, yaitu suatu kondisi keluarnya air dari dalam pori tanah yang disertai dengan berkurangnya volume tanah. Berkurangnya volume pada tanah dapat menyebabkan penurunan pada lapisan tanah.

Apabila suatu lapisan tanah lempung dengan kondisi jenuh air yang mampumampat (*compressible*) diberi penambahan tegangan, maka akan terjadi penurunan (*sattlement*) dengan segera. Koefisien rembesan pada tanah lempung sangat kecil apabila dibandingkan dengan koefisien rembesan pada tanah pasir, sehingga tekanan air pori yang disebabkan oleh penambahan beban akan berkurang secara lambat laun dalam waktu yang relatif lama. Perubahan volume yang terjadi pada tanah lempung lunak yang disebabkan oleh keluarnya air dari dalam pori (konsolidasi) akan terjadi sesudah penurunan segera. Penurunan konsolidasi tersebut biasanya jauh lebih besar dan lebih lambat serta relatif lama jika dibandingkan dengan penurunan segera.

2.3 Standard Penetration Test (SPT)

Standard Penetration Test (SPT) merupakan metode pengujian di lapangan dengan memasukkan sebuah alat berupa *split spoon sampler* (tabung pengambilan sampel tanah yang dapat dibuka dalam arah memanjang) dengan diameter 50 mm dan Panjang 500 mm. *Split spoon sampler* dimasukkan kedalam tanah pada bagian dasar dari sebuah lubang bor.

Berdasarkan ASTM D-1586-67 uji *SPT* dilakukan dengan interval 2 m. Indikasi tanah keras dapat diketahui apabila nilai *SPT* diatas 50 pukulan/30 cm sebanyak 3 (tiga) kali pada 3 (tiga) kedalaman berturut-turut. Pelaksanaan uji *SPT* dilakukan dengan memukul sebuah tabung standar ke dalam lubang bor sedalam 450 mm dengan palu (*hammer*) seberat 63,5 kg yang dijatuhkan dari ketinggian 760 mm kemudian dihitung jumlah pukulan untuk melakukan penetrasi sedalam 150 mm.

2.4 Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah dalam menentukan kemampuan tanah untuk menahan tekanan tanah terhadap keruntuhan. Analisis stabilitas lereng berdasar pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*). Analisis kestabilan tanah dimaksudkan untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Analisis

stabilitas tanah dapat ditentukan dengan metode irisan (*method of slice*). Metode ini lebih cocok digunakan untuk tanah yang tidak homogen dan ada aliran air yang tidak konsisten.

2.5 Pile Embankment

Pile embankment merupakan suatu konstruksi yang berguna untuk memperkuat atau meningkatkan daya dukung pada tanah lunak. Metode perkuatan menggunakan *pile embankment* sering digunakan pada konstruksi jalan, jembatan, gedung, atau struktur lainnya yang memerlukan fondasi yang stabil. *Pile embankment* digunakan apabila tanah di permukaan tidak cukup kuat untuk mendukung beban struktur atau ketika ada risiko penurunan atau pergeseran tanah.

Konstruksi *pile embankment* pada timbunan dapat dikombinasikan dengan perkuatan geosintetik. Konstruksi perkuatan dengan kombinasi *pile embankment* dan geosintetik terdiri dari tiang-tiang fondasi yang diatur dalam susunan tertentu yang dihubungkan dengan perkuatan geosintetik (dapat menggunakan jenis geotekstil). Beban timbunan didistribusikan pada kepala tiang (*cap*) secara langsung dan melalui perkuatan geotekstil untuk kemudian disalurkan melalui tiang hingga tanah keras.

2.6 Geotekstil

Geotekstil merupakan salah satu jenis geosintetik yang memiliki bentuk menyerupai bahan tekstil pada umumnya, tetapi terdiri dari serat-serat yang bersifat lentur dan tidak mudah menyusut. Menurut ASTM geotekstil merupakan bahan yang tidak kedap air. Dalam hal ini geotekstil berfungsi sebagai lapisan pemisah (*separation*), lapisan penyaring (*filtration*), penyalur air (*drainage*), perkuatan tanah (*reinforcement*), dan lapis pelindung (*moisture barrier*) bila terselimuti bitumen.

2.7 Program Plaxis

Plaxis merupakan salah satu perangkat lunak dalam bidang teknik sipil yang digunakan untuk menganalisis perilaku geoteknik tanah. Plaxis memanfaatkan metode elemen hingga (*finite element method*) yang dapat digunakan untuk menghitung deformasi, kekuatan tanah, menghitung tegangan yang terjadi dan lain sebagainya. Plaxis dapat memodelkan kondisi sesungguhnya dalam regangan bidang dan *axisymmetric* yang dapat digunakan berdasarkan kebutuhan pemodelan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan membahas mengenai data-data yang digunakan pada penelitian ini. Pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini yaitu bersifat data primer yang didapat dari suatu pengujian berupa data parameter tanah, data bor log, nilai SPT, dan data hasil uji laboratorium. Data tersebut digunakan untuk analisis dengan program plaxis 3D.

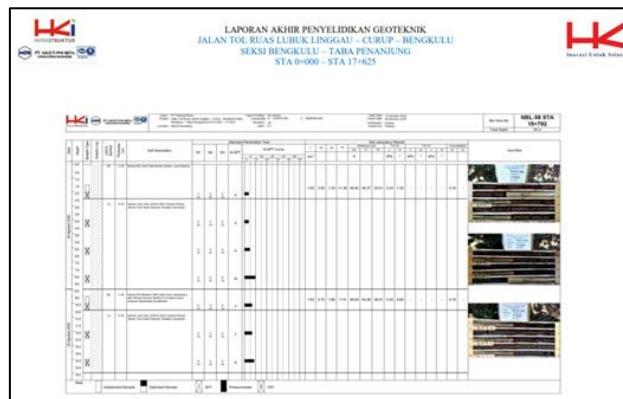
3.2 Tahapan Studi

Pada tahap ini dilakukan pemodelan tanah dengan metode *pile embankment* dan geotekstil menggunakan plaxis 3D dengan beberapa variasi sehingga didapatkan hasil yang paling efektif dilihat dari seberapa besar penurunan dan nilai faktor keamanan (*safety factor*), serta membandingkan pemodelan dengan kondisi eksisting.

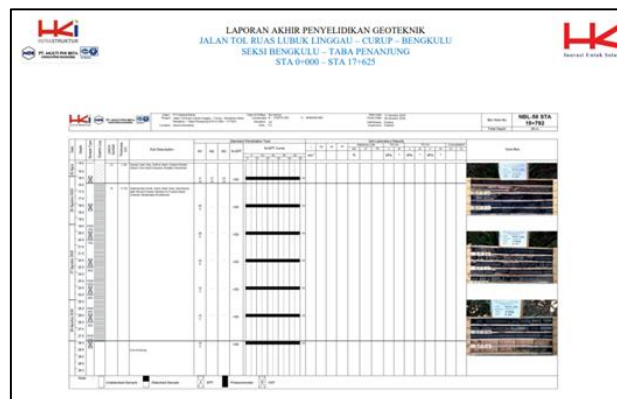
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data yang Digunakan

Berdasarkan dari data *borlog* yang digunakan pada penelitian ini, dimana lokasi titik pengeboran tanah yang dilakukan berada pada NBL-58 STA 15+792 memiliki dominan tanah lunak hingga kedalaman 15 meter. Lapisan tanah lunak tersebut akan diperbaiki berdasarkan metode yang digunakan pada penelitian ini, yaitu menggunakan *pile embankment* dan geotekstil sebagai perkuatan. Data lapisan tanah disajikan menggunakan *borlog* yang dapat dilihat pada **Gambar 2.** dan **Gambar 3.** di bawah ini.



Gambar 2. Borlog NBL-58 STA 15+792



Gambar 3. Borlog NBL-58 STA 15+792 (lanjutan)

4.2 Rekapitulasi Hasil Pemodelan

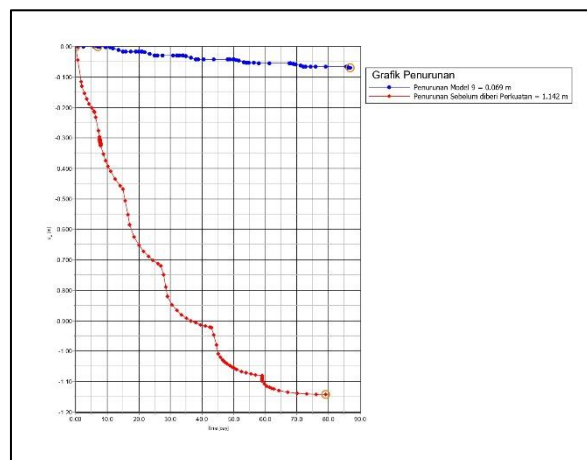
Rekapitulasi dari pemodelan yang telah dilakukan pada penelitian ini menampilkan hasil besar penurunan pada tanah di bawah timbunan dan nilai faktor keamanan (SF) pada tanah timbunan, beserta persentase kenaikan faktor keamanan (SF) dan reduksi besar penurunan terhadap hasil pemodelan pada kondisi sebelum diberi perkuatan. Rekapitulasi hasil pemodelan dapat dilihat pada **Tabel 1.** di bawah ini.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Pemodelan

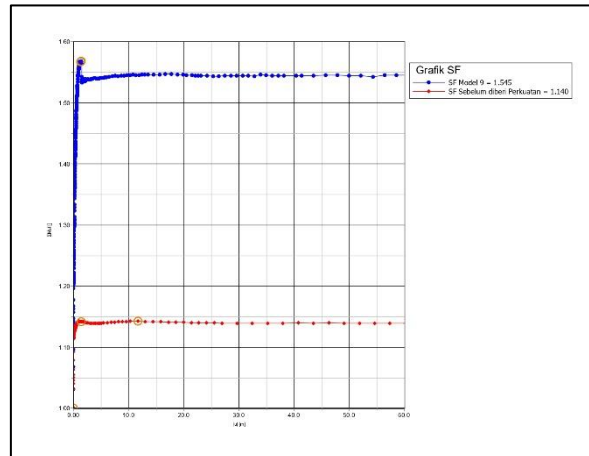
	Diameter <i>Pile</i> (m)	Jarak <i>Pile</i> (m)	Jarak Geotekstil (m)	<i>Safety</i> <i>Factor</i>	Penurunan (m)	Persentase Reduksi SF (%)	Persentase Reduksi Penurunan (%)
Model 1	0.2	1	1	1.309	0.037	14.82%	96.76%
Model 2	0.2	1.6	1	1.314	0.053	15.26%	95.36%
Model 3	0.2	2	1	1.313	0.068	15.18%	94.05%
Model 4	0.2	1	1.5	1.384	0.037	21.40%	96.76%
Model 5	0.2	1.6	1.5	1.429	0.051	25.35%	95.53%
Model 6	0.2	2	1.5	1.429	0.068	25.35%	94.05%
Model 7	0.2	1	2	1.538	0.037	34.91%	96.76%
Model 8	0.2	1.6	2	1.540	0.053	35.09%	95.36%
Model 9	0.2	2	2	1.545	0.069	35.53%	93.96%
Model 10	0.25	1.25	1	1.310	0.039	14.91%	96.58%
Model 11	0.25	2	1	1.313	0.059	15.18%	94.83%
Model 12	0.25	2.5	1	1.313	0.086	15.18%	92.47%
Model 13	0.25	1.25	1.5	1.385	0.039	21.49%	96.58%
Model 14	0.25	2	1.5	1.372	0.060	20.35%	94.75%
Model 15	0.25	2.5	1.5	1.374	0.087	20.53%	92.38%
Model 16	0.25	1.25	2	1.545	0.039	35.53%	96.58%
Model 17	0.25	2	2	1.546	0.061	35.61%	94.66%
Model 18	0.25	2.5	2	1.545	0.086	35.53%	92.47%
Model 19	0.3	1.5	1	1.313	0.041	15.18%	96.41%
Model 20	0.3	2.4	1	1.311	0.072	15.00%	93.70%
Model 21	0.3	3	1	1.313	0.109	15.18%	90.46%
Model 22	0.3	1.5	1.5	1.382	0.041	21.23%	96.41%
Model 23	0.3	2.4	1.5	1.386	0.073	21.58%	93.61%
Model 24	0.3	3	1.5	1.381	0.109	21.14%	90.46%
Model 25	0.3	1.5	2	1.537	0.042	34.82%	96.32%
Model 26	0.3	2.4	2	1.544	0.072	35.44%	93.70%
Model 27	0.3	3	2	1.539	0.109	35.00%	90.46%

4.3 Hasil Pemodelan yang Paling Efektif

Dipilih model 9 dengan pertimbangan besar diameter *pile embankment* yang efektif menghasilkan besar penurunan yang maksimal maka akan lebih menghemat biaya pemasangan *pile embankment*. Hasil penurunan yang terjadi pada model 9 yaitu 0,069 m atau 6,9 cm. Sedangkan hasil pemodelan terhadap faktor keamanan menunjukkan nilai faktor keamanan yaitu 1,545 dengan jarak vertikal pelapisan geotekstil yaitu 2 m yang dimana hasil tersebut menunjukkan bahwa perkuatan yang digunakan efektif untuk stabilitas tanah timbunan.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Besar Penurunan Model 9 terhadap Model Sebelum diberi Perkuatan



Gambar 5. Grafik Perbandingan Faktor Keamanan Model 9 terhadap Model Sebelum diberi Perkuatan

Persentase reduksi besar penurunan dan kenaikan nilai faktor keamanan pada model 9 terhadap model sebelum diberi perkuatan dapat dilihat pada **Tabel 2.** dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Pemodelan yang Paling Efektif

	Diameter Pile (m)	Jarak Pile (m)	Jarak Geotekstil (m)	Safety Factor	Penurunan (m)	Persentase Kenaikan SF (%)	Persentase Reduksi Penurunan (%)
Model 9	0.2	2	2	1.545	0.069	35.53%	93.96%

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan metode perbaikan tanah menggunakan *pile embankment* dan geotekstil sangat berpengaruh untuk mereduksi besar penurunan dan dapat menaikkan nilai faktor keamanan pada tanah timbunan sesuai dengan kriteria yang berlaku. Dari hasil analisis didapat variasi yang paling efektif dan ekonomis dengan pertimbangan besar diameter *pile embankment*.

DAFTAR RUJUKAN

- Adam, T., & Suhendra, A. (2018). *Aplikasi Material Geosintetik pada Konstruksi Timbunan di Atas Tiang (Piled Embankment)*. Jakarta: Universitas Tarumanagara.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). SNI 8460:2017 *Persyaratan Perencanaan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Fahrizal, R., & Prasetyo, R. (2022). *Analisis Stabilitas Timbunan di Atas Tanah Lunak dengan Metode Pile Embankment*. Semarang: Universitas Islam Sultan Agung.
- Hardiyatmo, Hary Christady. (2018). *Mekanika Tanah 2 Edisi Keenam*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Melle, D. A., & Jatmiko, P. (1999). *Pemakaian Geotekstil Sebagai Perkuatan Tanah Lunak Pada Badan Jalan*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.