

Analisis Stabilitas dan Penurunan pada Timbunan Mortar Busa Ringan Menggunakan Metode Elemen Hingga

RIFKI FADILAH, INDRA NOER HAMDHAN

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
e-mail: fadilahrifki95@gmail.com

ABSTRAK

Solusi penimbunan di atas tanah lunak di Indonesia sudah dilakukan dengan beberapa cara salah satunya adalah penggunaan material ringan sebagai timbunan di atas tanah lunak. Analisis Stabilitas dan Penurunan akan dilakukan pada timbunan yang menggunakan mortar busa ringan di oprit jembatan Kedaton Kota Cirebon, Jawa Barat dan di ruas badan jalan Pangkalan Bun, Kalimantan Tengah. Pemodelan dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan 3 model tanah yang berbeda. Pada studi kasus di oprit jembatan model timbunan biasa terjadi penurunan rata rata sebesar 3,34 m dengan nilai faktor keamanan (SF) 1,129 sedangkan pada timbunan yang menggunakan material ringan penurunan yang terjadi sebesar 1 m dengan nilai faktor keamanan (SF) sebesar 3. Pada studi kasus di Pangkalan Bun, Kalimantan Tengah model timbunan biasa terjadi penurunan sebesar 2,5 m dengan nilai faktor keamanan (SF) sebesar 2,3 sedangkan pada timbunan ringan penurunan terjadi sebesar 1 m dengan nilai faktor keamanan (SF) sebesar 6,1.

Kata kunci: timbunan, analisis geoteknik, faktor keamanan, metode elemen hingga, penurunan.

ABSTRACT

In Indonesia there are many solution that has been applied for land work above poor ground condition, one of the solution is using a lightweight material as an embankment above the poor ground condition. Stability and settlement analysis will be calculated in approach embankment for bridge in Kedaton Cirebon, Jawa Barat and in road embankment Pangkalan Bun, Kalimantan Tengah using Finite Element Method with 3 different soil models. In approach embankment using selected fill the value of settlement is 3,34 m with safety factor value 1,129 while using a lightweight material embankment the value of settlement is 1 m with safety factor value 3. In road embankment using selected fill the value of settlement is 2,5 m with safety factor value 2,3 while using a lightweight material embankment the value of settlement is 1 m with safety factor value 6,1.

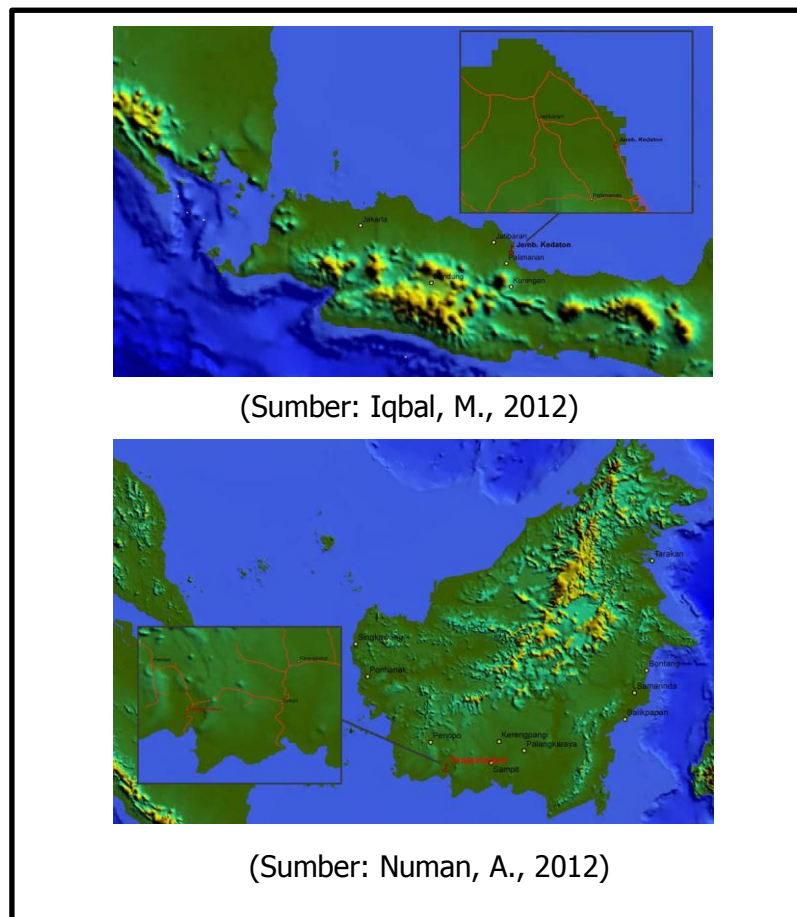
Keywords: embankment, geotechnical analysis, safety factor, finite element method, settlement.

1. PENDAHULUAN

Solusi penimbunan di atas tanah lunak di Indonesia sudah dilakukan dengan beberapa cara salah satunya adalah penggunaan material ringan sebagai timbunan di atas tanah lunak. Material ringan yang terdiri dari campuran pasir, air, semen, dan *foaming agent* merupakan salah satu alternatif solusi penimbunan di atas tanah lunak, dengan berat isi yang ringan yaitu $0,5 \text{ t/m}^3$ - $1,2 \text{ t/m}^3$ akan mengurangi tegangan tanah dasar, mengurangi besarnya penurunan, dan memiliki stabilitas yang baik karena bersifat kaku seperti beton. Adapun mengetahui timbunan tersebut aman atau tidak, yaitu dengan mencari nilai *safety factor* atau faktor keamanan pada timbunan ringan tersebut

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis stabilitas dan penurunan pada timbunan yang menggunakan material ringan pada lokasi yang telah dilaksanakan penimbunan dengan menggunakan material ringan guna memprediksi seberapa besar dampak pengurangan penurunan yang terjadi serta penambahan kestabilan timbunan. Analisis dilakukan dengan menggunakan Metode Elemen Hingga dengan bantuan program Plaxis 2D AE. Lokasi studi kasus timbunan ringan dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Manfaat penelitian ini, yaitu dapat menambah pengetahuan menganalisis dan mendesain timbunan yang menggunakan material ringan sebagai salah satu solusi penimbunan di atas tanah dasar yang lunak.



Gambar 1. Lokasi timbunan mortar busa ringan

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lunak

Umumnya lapisan tanah yang disebut lapisan tanah lunak merupakan lanau (*silt*) dan lempung (*clay*). Tanah jenis ini memiliki sifat mekanik yang kurang baik. Selain itu, tanah lunak memiliki kadar air yang tinggi, kompresibilitas tinggi, daya dukung rendah, stabilitas rendah, serta koefisien permeabilitas kecil yang akan mengakibatkan proses konsolidasi akan berlangsung dalam jangka waktu yang lama.

2.2 Timbunan Di atas Tanah Lunak

Timbunan yang merupakan lereng alami akan mengalami keruntuhan apabila tidak dirancang dengan baik, pada umumnya konstruksi timbunan dilaksanakan di atas tanah lunak yang bisa menyebabkan stabilitas pada timbunan menjadi kurang baik dan penurunan yang terjadi sangat besar. Tanah yang tidak datar seperti lereng akan menghasilkan komponen gravitasi dan berat yang cenderung menggerakkan massa tanah dari elevasi tinggi ke rendah

2.2.1 Penurunan pada Tanah Lunak

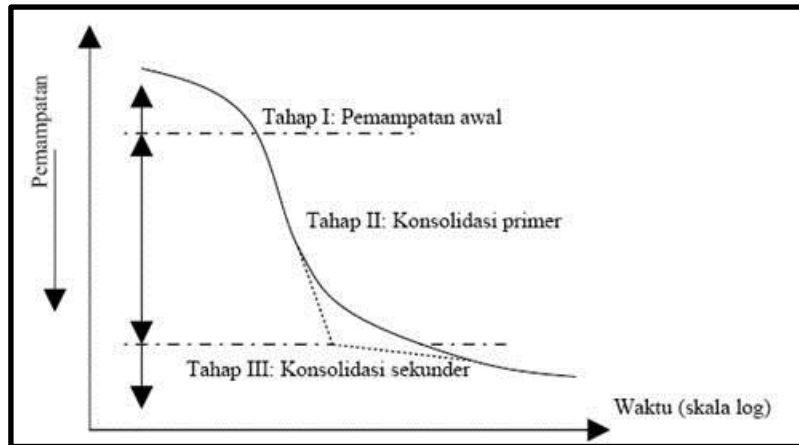
Lapisan tanah lunak umumnya mempunyai permeabilitas yang rendah. Tanah lunak bila dibebani akan berpengaruh pada tekanan air pori yang akan meningkat dan berbeda antara satu titik dengan titik lainnya. Hal ini mengakibatkan pengaliran air pori ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah, sehingga menyebabkan tanah lunak tersebut mengalami pemampatan yang disertai dengan penurunan muka tanah. Pemampatan tersebut disebabkan oleh deformasi pada partikel tanah, perubahan struktur pada partikel tanah, keluarnya air atau udara dari dalam pori tanah.

Terzaghi dalam Das, B.M tahun 1995 mengemukakan bahwa proses keluarnya air dalam rongga pori dan posisinya tidak tergantung oleh udara dinamakan konsolidasi. Secara umum, penurunan pada tanah yang disebabkan oleh adanya pembebanan atau penambahan beban dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok yaitu penurunan konsolidasi dan penurunan seketika.

2.2.2 Teori Konsolidasi 1D Terzaghi

Pada tanah lunak, koefisien rembesan tanah jauh lebih kecil apabila dibandingkan dengan koefisien tanah pasir. Apabila terjadi penambahan beban pada tanah lunak tersebut, penambahan tekanan air pori akan berkurang secara lambat dalam waktu yang sangat lama. Perubahan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dari dalam pori, akan terjadi sesudah penurunan seketika atau biasa disenut dengan penurunan konsolidasi.

Terzaghi dalam Das, B.M tahun 1995 mengemukakan teori penurunan konsolidasi dengan didasarkan pada beberapa anggapan, antara lain pemampatan tanah dan aliran air pori hanya terjadi dalam arah vertical, tanah bersifat homogen, koefisien pemampatan, volume dan koefisien permeabilitas konstan, butiran tanah dan air tidak dapat dimampatkan, hukum Darcy berlaku untuk seluruh gradien hidrolis, regangan kecil, dan tegangan total serta tegangan efektif pada semua bidang horisontal. Percobaan teori konsolidasi Terzaghi menghasilkan grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Grafik hasil uji konsolidasi Terzaghi (Das, B.M., 1995)

Dari grafik tersebut, terdapat 3 tahapan yang berbeda-beda pada saat jenis tanah kohesif mengalami pemampatan, yaitu:

1. Tahap 1 adalah pemampatan awal (*Initial Compression*) yang pada umumnya disebabkan oleh pembebanan awal.
2. Tahap 2 adalah konsolidasi primer (*Primary Consolidation*) yaitu suatu periode selama tekanan air pori secara lambat laun dipindahkan ke dalam tegangan efektif sebagai akibat keluarnya air pori tanah.
3. Tahap 3 adalah konsolidasi sekunder (*Secondary Consolidation*) terjadi setelah air pori hilang seluruhnya dengan kata lain tegangan efektifnya konstan. Konsolidasi sekunder terjadi pada saat berakhirnya proses konsolidasi primer.

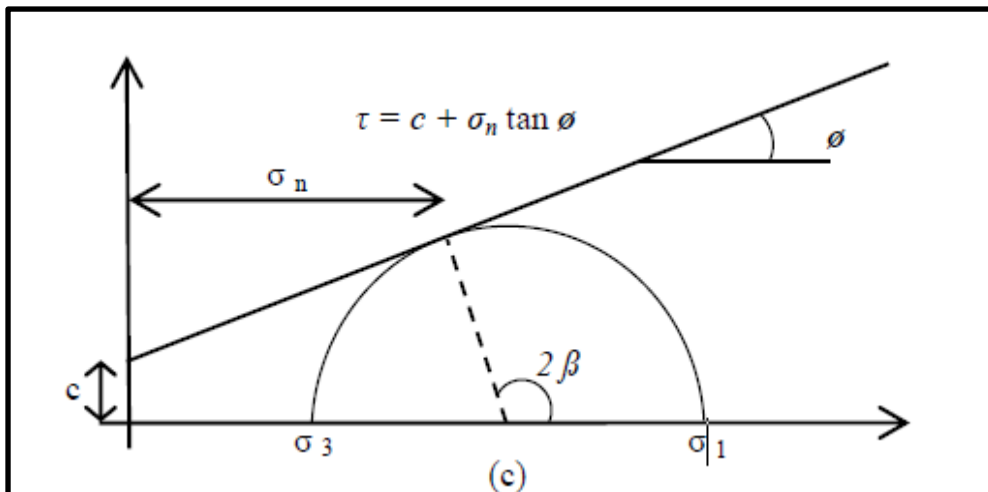
2.2.3 Stabilitas pada Timbunan Di atas Tanah Lunak

Timbunan yang dibuat di atas lapisan tanah lunak dapat terjadi keruntuhan pada tanah di bawah timbunan tersebut karena tanah timbunan biasanya lebih kaku dan kuat dibandingkan dengan lapisan tanah dibawahnya, hal itu memungkinkan timbunan akan mengalami patah saat lapisan tanah di bawah berdeformasi, mengalami penurunan akibat berat sendiri, dan terjadi keruntuhan akibat tegangan dan regangan antara timbunan dan lapisan tanah dibawahnya.

2.2.4 Teori Keruntuhan Mohr-Coulomb

Timbunan mempunyai tendensi untuk runtuh didasari oleh tegangan geser yang terjadi pada tanah. Tegangan geser tersebut dapat berasal dari gravitasi, ataupun gaya-gaya lain (aliran air, tektonik, aktifitas seismik). Hal tersebut ditunjukkan berdasarkan Teori Mohr-Coulomb.

Teori keruntuhan Mohr Coulomb diperkenalkan oleh Mohr yang menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser, bukan hanya akibat tegangan normal dan geser dalam kondisi maksimum saja. Faktor keamanan ditentukan berdasarkan jarak dari titik pusat lingkaran Mohr ke garis kekuatan batuan (kurva intrinsik) dibagi dengan jari-jari lingkaran Mohr seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.**



Gambar 3. Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb (Das, B.M., 1995)

Kriteria Mohr-Coulomb didefinisikan pada **Persamaan 1**

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad \dots (1)$$

Untuk kondisi tanah jenuh air didefinisikan pada **Persamaan 2**

$$\tau = c + \sigma' \tan \phi \quad \dots (2)$$

Untuk kondisi tanah unsaturated didefinisikan pada **Persamaan 3**

$$\tau = c + \sigma' \tan \phi \quad \dots (3)$$

Dimana:

- σ' : tegangan efektif
- τ : tegangan geser
- c : kohesi
- σ : tegangan normal
- ϕ : sudut geser dalam

2.2.5 Konsep Stabilitas Lereng Dengan Metode Elemen Hingga

Pemahaman mengenai faktor keamanan (*safety factor*) sangat penting dalam perencanaan sebuah lereng. Besar faktor keamanan dalam aplikasinya tergantung pada kualitas penyelidikan tanah, fungsi lereng, dan pengalaman perencana. Semakin rendah kualitas penyelidikan tanah dan pengalaman perencana semakin besar faktor keamanan yang diambil, sehingga diperlukan faktor keamanan yang tinggi untuk mengantisipasi keketidaktentuan tersebut.

Pada metode elemen hingga analisis stabilitas lereng digunakan dengan teknik reduksi kekuatan geser, pada prinsipnya metode elemen hingga adalah memecahkan persoalan yang rumit atau sukar dengan cara membagi-baginya menjadi bagian-bagian kecil sehingga menjadi lebih sederhana untuk penyelesaiannya. Proses pembagian elemen ini akan menghasilkan perhitungan yang sangat banyak. Dalam metode ini, parameter kekuatan geser tanah yang tersedia berturut-turut direduksi secara otomatis hingga kelongsoran terjadi.

2.3 Timbunan Dengan Mortar Busa Ringan

Penggunaan material ringan telah banyak dilakukan seperti menggunakan roda ban karet atau limbah buangan hasil produksi baja (*slag*), balai pengembangan pusat jalan dan jembatan belum lama ini mengembangkan suatu teknologi material ringan pengganti timbunan menggunakan mortar busa ringan (Abramson, L.W., 2002).

Material timbunan dengan mortar busa yang merupakan (*foamed embankment mortar*) atau disebut juga sebagai *high grade soil* yang terdiri dari campuran antara pasir + cairan *foaming agent* + semen + air dengan berat isi basah antar $0,5 \text{ t/m}^3 - 1,2 \text{ t/m}^3$ atau lebih ringan dari timbunan material pilihan (*selected fill*). Material timbunan ringan dengan mortar busa mempunyai beberapa keunggulan diantaranya:

1. Ringan dan kekuatannya cukup tinggi untuk subgrade dan pondasi perkerasan jalan.
2. Berat isi dan kuat tekan campuran ini dapat didesain sesuai kebutuhan.
3. Kemudahan dalam pelaksanaan karena dapat memadat sendiri.
4. Material campuran mortar busa dapat mengembang sampai dengan 4 kali volume awal sehingga kebutuhan material dapat dikurangi.

Timbunan dengan material ringan dapat mengurangi berat timbunan dan dapat mengurangi tegangan yang terjadi pada tanah di bawah timbunan serta akan mengurangi penurunan dan masalah ketidakstabilan timbunan tersebut. Pada pelaksanaannya timbunan mortar busa ringan ini telah diterapkan di Indonesia pada timbunan dibawah badan jalan dan pada timbunan pendekat jembatan (oprit).

3. ANALISIS DATA

3.1 Pemodelan Timbunan

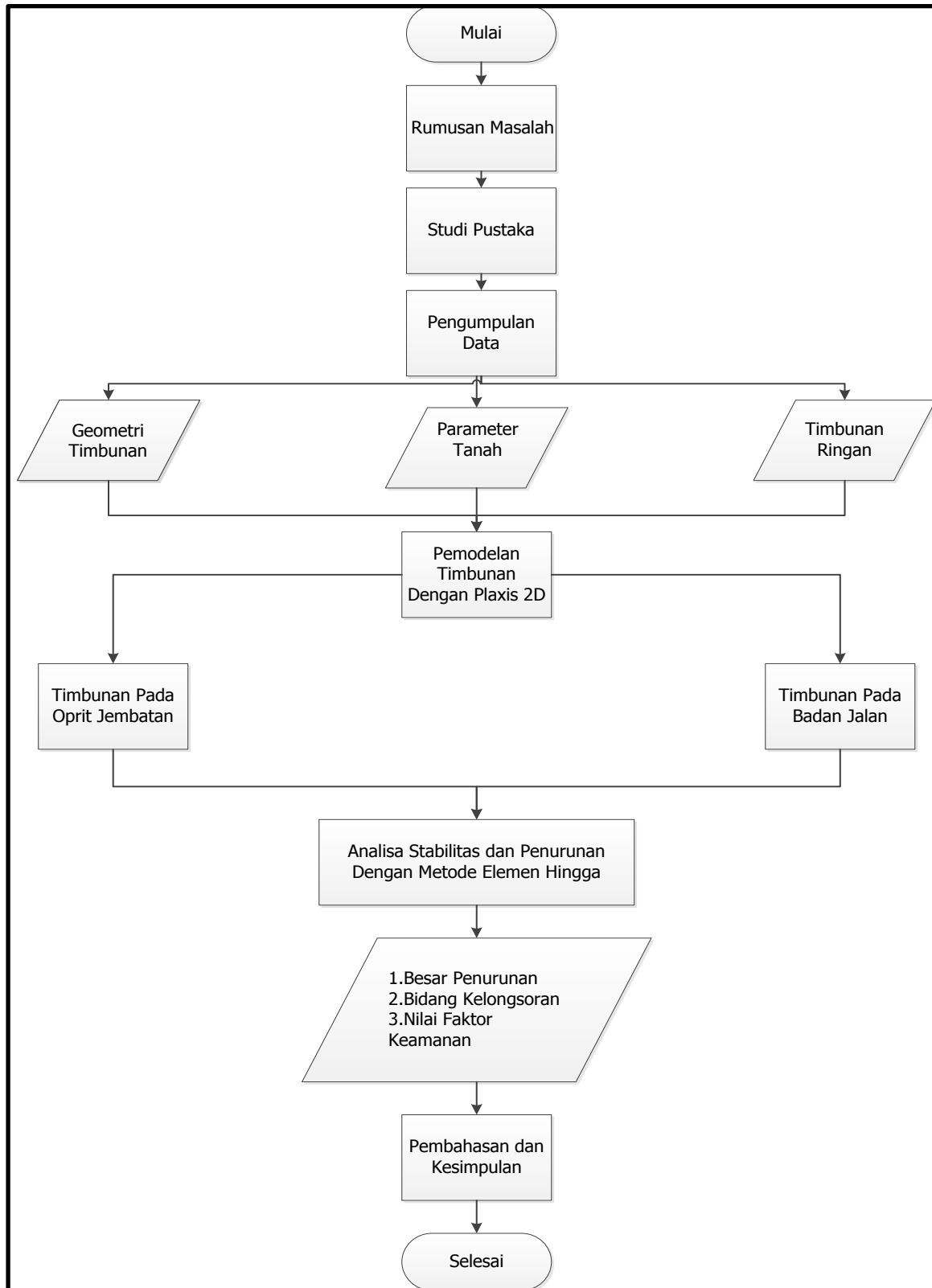
Pemodelan timbunan terdiri dari 2 studi kasus, yang pertama pada timbunan oprit jembatan di Kedaton, Cirebon Jawa Barat, dan yang kedua pada timbunan badan jalan ruas jalan Pangkalan Lima-Kumai, Pangkalan Bun Kalimantan Tengah, pemodelan timbunan pada tiga model tanah yaitu *Soft Soil*, Mohr-Coulomb, dan *Hardening Soil*, analisis stabilitas dan penurunan timbunan dilakukan menggunakan Program Plaxis 2D AE berbasis Elemen Hingga. Data parameter timbunan ringan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Parameter Timbunan Ringan

Parameter	Timbunan Ringan	
	2000 (kN/m ²)	800 (kN/m ²)
γ_{unsat} (kN/m ³)	8	6
γ_{sat} (kN/m ³)	8	6
E (kN/m ²)	1.411.379	892.635
ν'	0,2	0,2
c (kN/m ²)	60	60
ϕ (°)	45	40
Ψ (°)	0	0
Model	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb

3.2 Metode Penelitian

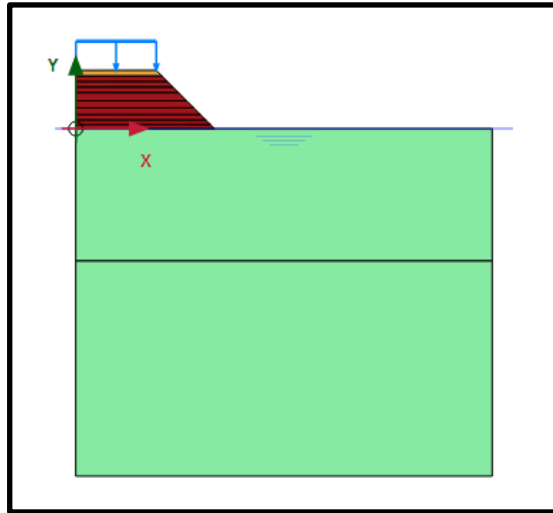
Metodologi analisis yang dijadikan dasar studi ini dapat dijabarkan dalam bentuk diagram alir (*flow chart*) pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Bagan alir analisis stabilitas dan penurunan timbunan ringan

3.3 Pemodelan dan Hasil Analisis Stabilitas dan Penurunan pada Timbunan Oprit Jembatan

Desain timbunan pada timbunan oprit jembatan dimodelkan separuh dari bentuk aslinya karena timbunan simetris di kedua sisinya seperti terlihat pada **Gambar 5**. Analisis dilakukan 2 model yaitu timbunan yang menggunakan tanah pilihan biasa dan timbunan yang menggunakan mortar busa ringan dengan 3 material model yang berbeda yaitu *Hardening Soil* model, *Mohr-Coulomb* model, dan *Soft Soil* model, tinggi timbunan pada oprit jembatan di Kedaton adalah sebesar 4,2 meter dengan pelaksanaan dilakukan secara bertahap sebesar 30 cm – 50 cm dengan waktu pelaksanaan tiap lapisan selama 4 hari - 7 hari.



Gambar 5. Geometri timbunan oprit jembatan

Hasil perhitungan yang diambil dari pemodelan timbunan di oprit jembatan ini yaitu nilai penurunan konsolidasi ultimit dan *safety factor*. Nilai penurunan akan dibandingkan antara timbunan dengan tanah biasa dengan timbunan ringan. Selain itu nilai penurunan juga akan dibandingkan dengan pemantauan yang ada di lapangan untuk memprediksi penurunan yang akan terjadi pada tahun-tahun berikutnya. **Tabel 3** dan **Tabel 4** memperlihatkan hasil *output* penurunan dari Plaxis 2D AE.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Analisis Plaxis Timbunan Biasa

No	Model	Penurunan	SF
1	Mohr Coulomb	2,59 m	1,317
2	Soft Soil	3,73 m	1,035
3	Hardening Soil	3,71 m	1,035

Tabel 4. Hasil Perhitungan Analisis Plaxis Timbunan Ringan

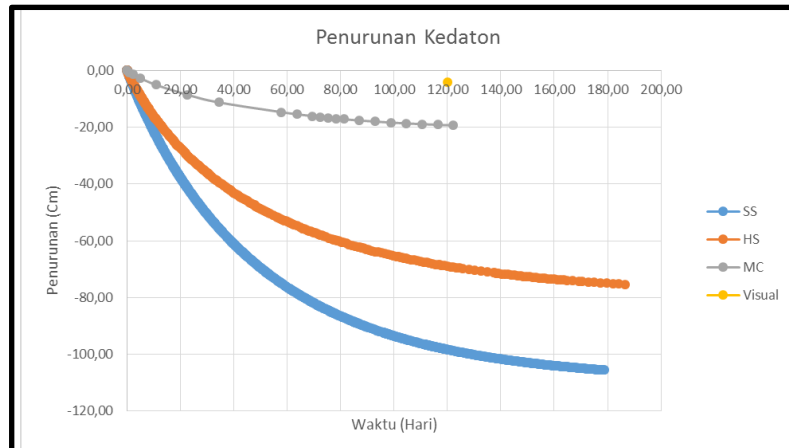
No	Model	Penurunan	SF
1	Mohr Coulomb	0,2 m	2,982
2	Soft Soil	1,09 m	3,866
3	Hardening Soil	0,72 m	3,020

Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa dalam penggunaan material ringan sebagai timbunan mampu mengurangi besarnya penurunan yang terjadi selain itu dengan memakai

Analisis Stabilitas dan Penurunan pada Timbunan Mortar Busa Ringan Menggunakan Metode Elemen Hingga

timbunan ringan ini meningkatkan nilai faktor keamanan, sehingga stabilitas timbunan bisa dikatakan lebih aman.

Selain itu, pada kondisi nyata di lapangan terdapat hasil pemantauan yang dilakukan dengan *surface marker* setelah 4 bulan masa konstruksi berakhir, hasil pemantauan dibandingkan dengan 3 jenis material model untuk melihat model yang lebih mirip dengan kondisi di lapangan untuk memprediksi penurunan yang terjadi di tahun-tahun berikutnya. Hasil perbandingan *surface marker* dan output plaxis ditunjukkan pada **Gambar 6**.

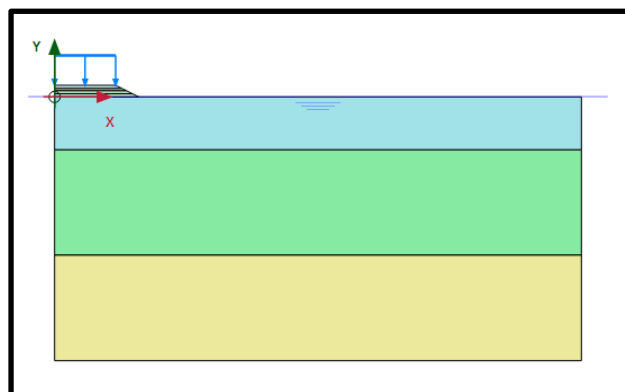


Gambar 6. Perbandingan model plaxis dengan pemantauan di lapangan

Dari grafik tersebut tidak terdapat material yang lebih mendekati dengan pemantauan yang dilakukan di lapangan, mungkin dikarenakan pemantauan visual yang hanya didapat satu data saja.

3.4 Pemodelan dan Hasil Analisis Stabilitas dan Penurunan pada Timbunan Badan Jalan

Desain timbunan pada timbunan badan jalan dimodelkan separuh dari bentuk aslinya karena timbunan simetris di kedua sisinya seperti terlihat pada **Gambar 7**. Analisis dilakukan 2 model yaitu timbunan yang menggunakan tanah pilihan biasa dan timbunan yang menggunakan mortar busa ringan dengan 3 material model yang berbeda.



Gambar 7. Geometri timbunan badan jalan

Hasil perhitungan yang diambil dari pemodelan timbunan di oprit jembatan ini yaitu nilai penurunan konsolidasi ultimit dan *safety factor*. Nilai penurunan akan dibandingkan antara timbunan dengan tanah biasa dengan timbunan ringan. Selain itu nilai penurunan juga akan dibandingkan dengan pemantauan yang ada di lapangan untuk memprediksi penurunan yang

akan terjadi pada tahun-tahun berikutnya. **Tabel 5** dan **Tabel 6** memperlihatkan hasil *output* penurunan dari Plaxis 2D AE.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Analisis Plaxis Timbunan Biasa

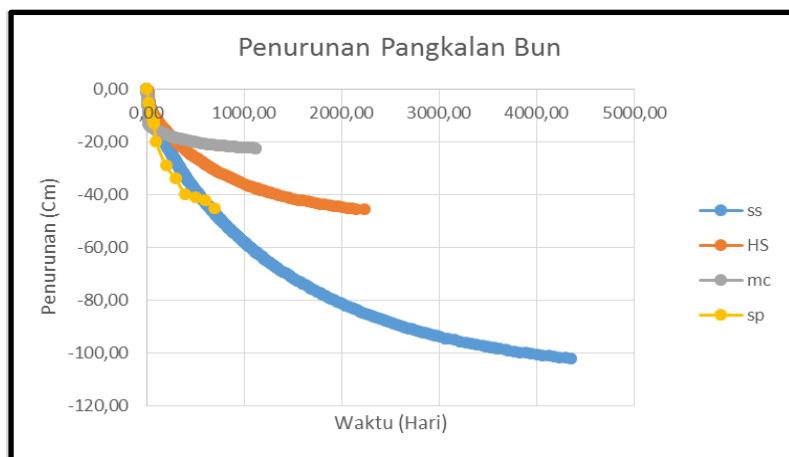
No	Model	Penurunan	SF
1	Mohr Coulomb	0,8895 m	1,533
2	Soft Soil	2,496 m	2,317
3	Hardening Soil	2,216 m	2,312

Tabel 6. Hasil Perhitungan Analisis Plaxis Timbunan Ringan

No	Model	Penurunan	SF
1	Mohr Coulomb	0,2 m	6,430
2	Soft Soil	1,09 m	6,129
3	Hardening Soil	0,42 m	6,565

Dari hasil analisis di atas terdapat kesamaan hasil analisis dengan model pada timbunan oprit jembatan bahwa penggunaan material ringan dapat mengurangi besarnya penurunan konsolidasi dan meningkatkan stabilitas timbunan.

Pada timbunan ringan di badan jalan ini terdapat hasil pemantauan yang dilakukan dengan instrumen *settlement plate* selama 2 tahun pemantauan, hasil pemantauan dibandingkan dengan 3 jenis material model untuk melihat model yang lebih mirip dengan kondisi di lapangan untuk memprediksi penurunan yang terjadi di tahun-tahun berikutnya. Hasil perbandingan *surface marker* dan *output* Plaxis ditunjukkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Perbandingan model plaxis dengan pemantauan di lapangan

Dari grafik tersebut material model *soft soil* lebih mendekati dengan pemantauan yang dilakukan di lapangan.

4 KESIMPULAN

1. Dilihat dari perbandingan penurunan yang terjadi antara timbunan menggunakan tanah biasa dan timbunan menggunakan mortar busa ringan, timbunan yang

Analisis Stabilitas dan Penurunan pada Timbunan Mortar Busa Ringan
Menggunakan Metode Elemen Hingga

menggunakan material ringan dapat mengurangi besarnya penurunan yang terjadi akibat berat isi material yang ringan.

2. Dilihat dari nilai faktor keamanan timbunan ringan mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan timbunan tanah biasa karena sifat mortar busa ringan yang kaku seperti beton meningkatkan stabilitas timbunan tersebut.
3. Pada perbandingan antara hasil analisis plaxis dan kondisi pemantauan di lapangan terdapat kecocokan pada material model yang dilakukan, sehingga penurunan yang akan terjadi pada tahun-tahun berikutnya dapat diprediksi.

DAFTAR RUJUKAN

- Abramson, L.W. (2002). Slope Stability and Stabilization Methods Second Edition. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Das, B.M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Iqbal, M. (2012). Evaluasi Kinerja Uji Coba Skala Penuh Timbunan Ringan dengan Mortar Busa di Pangkalan Bun, Kalimantan Tengah. Bandung: Kolokium Jalan dan Jembatan Puslitbang Jalan dan Jembatan
- Numan, A. (2012). Evaluasi Kinerja Jangka Panjang Timbunan Oprit Jembatan Dengan Material Beton Ringan. Bandung: Kolokium Jalan dan Jembatan Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- Plaxis (2013). Tutorial Manual 2013. Netherland: Plaxis BV