

Analisis Penurunan Penggunaan Teknologi Mortar Busa Dalam Perencanaan *Flyover* Sp. SKA Kota Pekanbaru

Dodi Seprades Sihaloho^a, Muhamad Yusa^b, Syawal Satibi^c

^{a,b,c}Universitas Riau, Tampan, Pekanbaru 28292, Indonesia.

dodi.sepradessihaloho@student.unri.ac.id

Abstract

Embankment, subgrade, CBR Foam mortar oprite embankment is the latest technology in oprite embankment work. This technology uses lightweight concrete containing air as a filling material for embankments, replacing conventional technology which uses soil as a filling material for embankments. This research aims to analyze the reduction that occurs in foam mortar technology compared to conventional technology. This research started from determining the soil layer based on the Standard Penetration Test (SPT) and secondary data obtained from the literature. Then proceed with determining the soil parameters in each layer. Parameters are determined through correlation between parameters. Numerical simulations on both types of oprite embankments were carried out using the 2D Finite Element Method using PLAXIS. The reduction results will then be compared and checked based on the reduction criteria required by Kimpraswil and the South Carolina Department of Transportation (SCDOT). The research results showed that the settlement that occurred in foam mortar embankments met all the required settlement criteria, whereas in conventional oprite embankments only met 4 of the 5 required settlement criteria.

Keywords: Subsidence, Embankment, Oprit, Flyover, Foam Mortar, Lightweight Concrete, Finite Element

Abstrak

Timbunan oprit mortar busa merupakan teknologi terkini dalam pekerjaan timbunan oprit. Teknologi ini menggunakan beton ringan yang mengandung udara sebagai bahan pengisi timbunan menggantikan teknologi konvensional yang menggunakan tanah sebagai bahan pengisi timbunan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa penurunan yang terjadi pada teknologi mortar busa dibandingkan dengan teknologi konvensional. Penelitian ini dimulai dari penentuan lapisan tanah berdasarkan *Standard Penetration Test* (SPT) dan data sekunder yang diperoleh dari literatur. Kemudian dilanjutkan dengan menentukan parameter tanah pada setiap lapisannya. Parameter ditentukan melalui korelasi antar parameter. Simulasi numerik pada kedua jenis timbunan oprit dilakukan dengan Metode Elemen Hingga 2D menggunakan PLAXIS. Hasil penurunan selanjutnya akan dibandingkan dan diperiksa berdasarkan kriteria penurunan yang disyaratkan oleh Kimpraswil dan *South Carolina Department of Transportation* (SCDOT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi pada timbunan oprit mortar busa memenuhi semua kriteria penurunan yang disyaratkan, sedangkan pada timbunan oprit konvensional hanya memenuhi 4 dari 5 kriteria penurunan yang disyaratkan.

Kata kunci: Penurunan, Timbunan, Oprit, Jembatan Layang, Mortar Busa, Beton Ringan, Elemen Hingga

1. Pendahuluan

Pada tahun 2018 Pemerintah Provinsi Riau membangun jembatan layang (*flyover*) pada persimpangan Jalan Tuanku Tambusai dan Jalan Soekarno-Hatta (SP.SKA) dengan tujuan untuk mengurai kemacetan yang kerap terjadi pada persimpangan tersebut. Dalam konstruksi *flyover* terdapat komponen berisikan timbunan tanah yang terletak di belakang *abutment*, berfungsi sebagai penghubung jalan utama dengan struktur jembatan, komponen itu disebut sebagai oprit. Kestabilan oprit tergantung pada kondisi tanah dasarnya. Jika tanah dasarnya memiliki daya dukung rendah, maka masalah penurunan akan rentan terjadi. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan timbunan ringan mortar busa yang dikembangkan sebagai inovasi pengganti oprit timbunan tanah konvensional. [1]

Masalah utama yang kerap dijumpai dalam kegiatan pembangunan di Kota Pekanbaru ialah keadaan tanah dasarnya yang didominasi oleh tanah lunak dan juga terdapat lapisan gambut yang tentu akan mempengaruhi stabilitas struktur bangunan di atasnya karena tanah lunak memiliki daya dukung dan kuat geser yang rendah, selain itu kompresibilitasnya juga tinggi. Oleh karena itu, penggunaan timbunan oprit konvensional dikhawatirkan akan menyebabkan tegangan yang besar pada bagian dasar timbunan, sehingga akan memicu pergerakan pada tanah dasar apabila daya dukung tanah tidak mampu menahan tegangan besar yang terjadi akibat beban timbunan di atasnya. Pergerakan tanah dasar yang terlalu ekstrim dapat merubah susunan tanah dasar, sehingga level permukaan tanah akan berubah (terjadi penurunan) yang dapat berisiko merusak struktur di atasnya. Untuk mengantisipasi hal itu, diperlukan sebuah alternatif untuk menggantikan timbunan konvensional. Salah satunya ialah penggunaan teknologi timbunan ringan dengan mortar busa. Timbunan mortar busa pada oprit jembatan layang masih sangat baru di Provinsi Riau, sejauh ini hanya dua *flyover* di Provinsi Riau yang menggunakan timbunan mortar busa.

Timbunan ringan mortar busa dibuat dengan mencampurkan bahan cairan pembentuk busa (*foam agent*) untuk mendapatkan berat isi yang rendah. Dengan karakteristik tersebut, tegangan vertikal yang diterima tanah lunak akan jauh lebih kecil dibandingkan dengan timbunan biasa, sehingga masalah penurunan dan stabilitas dapat teratasi. [2]

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

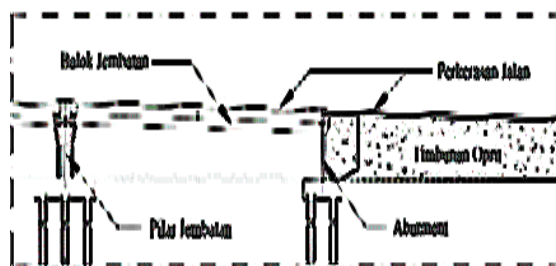
1. Mengestimasi penurunan yang terjadi akibat proses pembangunan secara bertahap.
2. Memprediksi penurunan yang akan terjadi pada umur rencana / masa layan 100 tahun.
3. Memeriksa penurunan yang terjadi sesuai dengan kriteria penurunan yang disyaratkan oleh [3] dan SCDOT (2008).

Pemilihan tanah timbunan yang dipadatkan sebagai tanah dasar atau *subgrade*, tidak terlepas dari kondisi tanah permukaan di lapangan. Timbunan biasa juga digunakan untuk pengganti material *existing subgrade* yang tidak memenuhi syarat [2]. Bahan yang tidak termasuk tanah yang plastisitas tinggi, yang diklasifikasi dari metode AASTHO yaitu sebagai A-7-6 atau sebagai CH dalam sistem klasifikasi *Unified*. Tanah timbunan ini harus memiliki nilai CBR yang tidak kurang dari 6% setelah perendaman 4 hari apabila dipadatkan 100% kepadatan kering maksimum (MDD) [7].

Permasalahan yang sering dijumpai dalam perencanaan jalan adalah apabila jenis dan sifat tanah yang akan digunakan untuk bahan tanah timbunan, dimana syarat dan kualitas serta nilai parameter dari tanah tersebut belum diketahui. Bahan untuk tanah timbunan yang akan digunakan sangat terbatas yang memenuhi syarat sulit ditemukan di daerah sekitar sehingga mendatangkan dari daerah lain [8].

1.1. Timbunan Oprit

Timbunan oprit ialah komponen jembatan layang yang berfungsi sebagai penghubung konstruksi jalan utama dengan struktur kepala jembatan layang. Timbunan oprit dapat berisi timbunan material tanah ataupun selain tanah. Untuk ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Potongan Melintang Flyover

1.1.1. Timbunan Konvensional

Timbunan konvensional ialah timbunan oprit yang berisikan material tanah di bagian dalamnya. Timbunan ini tergolong berat dan pengerjaannya juga memakan waktu karena timbunan ini dikerjakan bertahap dengan tebal setiap lapis adalah 25 cm. [3]

Jenis timbunan ini perlu diberi perkuatan agar dapat menahan tekanan lateral. Salah satu perkuatan yang umum dilakukan ialah dengan memasang geotekstil. Geotekstil adalah salah satu jenis geosintetik atau produk polimer yang berfungsi untuk memperbaiki kinerja tanah.

Geotekstil teranyam (*woven geotextile*) ialah geotekstil yang terbuat dari *silt film tape polypropy*, sehingga tidak mudah koyak / robek saat pemasangan. Geotekstil teranyam bersifat permeabel dan memiliki kuat tarik yang tinggi.

Salah satu jenis geotekstil yang tersedia di pasaran ialah geotekstil produksi PT. Teknindo Geosistem. Untuk geotekstil teranyam (*woven geotextile*) dengan Tipe UW 250 menggunakan parameter seperti yang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Geotekstil Teranyam (UW 250) [1]

Parameter	Nilai
Kuat Tarik <i>Ultimate</i> (T)	52 kN/m
Elongasi Untuk <i>Walls</i> (ϵ)*	2 s/d 6 %
Kekakuan Normal (EA)	866,6 kN/m

1.1.2. Timbunan Mortar Busa

Timbunan yang dimaksud adalah foamed mortar embankment atau disebut juga *high grade soil* karena ringan namun memiliki kekuatan yang cukup tinggi untuk tanah dasar & pondasi perkerasan jalan [4]. Material ringan mortar busa dapat digunakan pada timbunan di belakang konstruksi abutment jembatan, pada lereng yang memerlukan sisi tegak. Penggunaan mortar busa pada konstruksi jalan dan jembatan berkembang pesat di Korea Selatan dan Jepang [5]. Mortar busa terdiri dari campuran semen, pasir, air dan busa (*foam agent*). Busa diperoleh dari hasil pencampuran foam agent dan air di dalam alat pembangkit busa (*foam generator*). Mortar busa tidak perlu dipadatkan karena memiliki sifat *self compacted*. Timbunan mortar busa perlu diberi pasangan *wiremesh* dengan batang berdiameter minimum 8 mm dan dengan spasi 10 x 10 cm pada setiap ketebalan timbunan mencapai kelipatan 1 m [6]. Kriteria mortar busa yang dapat dijadikan bahan timbunan adalah yang memiliki berat volume ringan antara 6 kN/m³ s/d 12 kN/m³, memiliki nilai pengaliran (*flowability*) sebesar 180 ± 20 mm, memiliki kuat tekan minimum berkisar 600 kPa s/d 2000 kPa serta memiliki sifat *self compacted*. Kriteria-kriteria mortar busa untuk umur 14 hari berdasarkan Surat Edaran Menteri PUPR No. 42-SEM-2015 terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Mortar Busa (Umur 14 Hari) [7]

Fungsi Mortar Busa	ρ_{dry}	Kuat Tekan Min.	
	(gr/cm ³)	(kPa)	(kg/cm ²)
Sebagai Subbase	0,6	800	8
Sebagai Base	0,8	2000	20

Untuk modulus elastisitas (E_c), ditentukan menggunakan persamaan ACI-8.5.1 berikut:

$$E_c = 0,043 \times w_c^{1,5} \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

Keterangan:

- E_c = Modulus elastisitas mortar busa (MPa)
- w_c = Densitas kering mortar busa (kg/m³)
- f'_c = Kuat tekan umur 14 hari (MPa)

1.2. Pembebanan Pada Oprit

Beban yang bekerja pada timbunan oprit terdiri dari beban sendiri (komponen pada oprit) dan beban di luar komponen oprit (lalu lintas).

1.2.1. Beban Sendiri

Beban sendiri merupakan beban mati yang letaknya tidak berubah-ubah. Beban sendiri berasal dari komponen oprit seperti Lapisan Perkerasan Jalan, Pembatas Jalan atau Railing, Median dan Tiang Lampu. Lapisan perkerasan terdiri dari Agregat Kelas B, Lantai Kerja, Perkerasan Beton dan terakhir lapisan AC-WC.

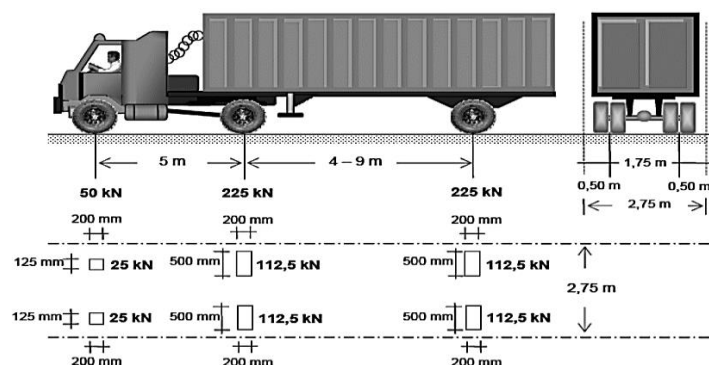
1.2.2. Beban Luar

Beban luar adalah beban yang bukan berasal dari komponen yang melekat pada oprit, umumnya berasal dari kendaraan. Beban lalu lintas berdasarkan kelas jalan menurut Panduan Geoteknik 4 (2002) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Beban Lalu Lintas Berdasarkan Kelas Jalan [3]

Kelas jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)
I	15
II	12
III	12

Selain itu, juga terdapat beban titik / terpusat (Beban T) yang didasarkan pada RSNI T-02-2005 dengan ilustrasi seperti pada Gambar 2.



Gambar 1. Beban Titik Akibat Truk (Beban T) [4]

1.3. Penurunan Pada Tanah

Beban sendiri oprit dan beban lalu lintas yang bekerja pada konstruksi timbunan oprit mengakibatkan naiknya tegangan pada tanah dasar, eksese dari kenaikan ini adalah terjadinya relokasi partikel dan perubahan volume tanah yang mengakibatkan berubahnya elevasi tanah dasar (*settlement*). Dalam ilmu geoteknik, dikenal 3 (tiga) jenis penurunan tanah, yaitu:

1.3.1. Penurunan Segera

Penurunan segera merupakan penurunan yang terjadi seketika saat beban diberikan. Penurunan ini diakibatkan oleh deformasi elastis tanpa adanya perubahan pada volume dan perubahan pada kadar air. Penurunan ini umumnya terjadi pada masa konstruksi dan akan berakhir dalam waktu yang singkat

1.3.2. Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi adalah penurunan pada tanah kohesif yang disebabkan oleh perubahan volume tanah selama periode keluarnya air pori dari tanah. Proses penurunan konsolidasi terjadi apabila lapisan tanah jenuh berpermeabilitas rendah dibebani, sehingga tekanan air pori bertambah. Perbedaan tekanan air pori mengakibatkan air pada lapisan tanah jenuh mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang lebih rendah. Permeabilitas yang rendah mengakibatkan proses ini butuh waktu yang cukup lama. [8]

1.3.3. Penurunan Rangkak

Penurunan rangkak adalah penurunan yang terjadi setelah tekanan air pori hilang seluruhnya. Umumnya disebabkan oleh proses pemampatan akibat penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir. Penurunan rangkak terjadi seiring berjalannya waktu dan biasanya terjadi sangat lama setelah beban mulai bekerja. Penurunan total pada tanah dasar ialah hasil penjumlahan dari ketiga jenis penurunan yaitu, penurunan segera, penurunan konsolidasi dan penurunan rangkak. [9]

1.4. Kriteria Penurunan

Dalam meninjau nilai kontrol penurunan timbunan oprit, maka digunakan 2 kriteria penurunan yaitu:

1.4.1. Kriteria Penurunan (SCDOT)

Kriteria penurunan pada kondisi batas layan dengan arah penurunan melintang menurut South Carolina Department of Transportation atau SCDOT (2008) dapat dilihat pada

Tabel 4.

Tabel 4. Kriteria Kinerja Timbunan Selama Masa Layan [6]

Deskripsi Batasan SLS	Kategori Jalan (ROC)		
	I	II	III
Umur Rencana (Tahun)	100	100	100
Penurunan vertikal maks. di sepanjang profil kelas jalan selama umur rencana akibat beban timbunan, Δ_v (mm)	203,2	203,2	406,4
Penurunan per tahun selama masa layan oprit (mm/tahun)	2,54	2,54	5,08
Penurunan diferensial vertikal maks. pada profil melintang jalan sampai dgn konstruksi perkerasan pada profil jalan terselesaikan, Δ_{VP} (mm)	25,4	38,1	50,8

1.4.2. Kriteria Penurunan (Kimpraswil)

Kriteria yang disyaratkan dalam Panduan Geoteknik 4 (2002) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kriteria Penurunan Pada Timbunan [3]

Kelas Jalan	Penurunan Selama Masa Konstruksi, S/S_{tot}	Penurunan Setelah Masa Konstruksi (mm/tahun)
I	> 90%	< 20
II	> 85%	< 25
III	> 80%	< 30
IV	> 75%	< 30

1.5. Penyelidikan Lapangan Uji (Uji SPT)

Salah satu penyelidikan lapangan yang biasa dilakukan adalah Uji Penetrasi Standar atau *Standard Penetration Test* (SPT). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kerapatan relatif tanah dan pengambilan sampel tanah. Di Amerika dan Inggris rata-rata menggunakan efisiensi energi 60% (N_{60}), untuk panjang batang bor lebih dari 10 m (FHWA, 2006). Skempton (1986) menyarankan persamaan untuk mengkoreksi nilai N -SPT terukur di lapangan dengan efisiensi 60% sebagai berikut:

$$N_{60} = N_{SPT} \times \frac{E_f \cdot C_b \cdot C_s \cdot C_r}{0,6}$$

Dengan E_f adalah nilai efisiensi untuk pemukul dan nilai C_b , C_s , C_r secara berurutan ialah faktor koreksi untuk diameter lubang bor, tipe tabung sampler dan untuk panjang pipa bor.

1.6. Korelasi Data Hasil Uji Lapangan

Parameter tanah yang diperoleh dari sampel pengujian SPT sangatlah terbatas (hanya pada lapisan tertentu saja). Sehingga perlu dilakukan korelasi untuk menentukan parameter

yang tak tersedia menggunakan tabel-tabel dibawah.

Tabel 3. Korelasi Nilai N60 Secara Umum [11]

<i>Cohesive Soil</i>					
N ₆₀ (blows)	< 4	4 – 6	6 – 15	16 – 25	> 25
γ (kN/m ³)	14 – 18	16 – 18	16 – 18	16 – 20	> 20
Cu (kPa)	< 25	20 – 50	30 – 60	40 – 200	> 200
Consistency	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard
<i>Cohesionless Soil</i>					
N ₆₀ (blows)	0 – 4	4 – 10	10 – 30	30 – 50	> 50
γ (kN/m ³)	–	12 – 16	14 – 18	16 – 20	18 – 23
φ (°)	–	25 – 32	28 – 36	30 – 40	> 40
State	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
Dr (%)	0 – 15	15 – 35	35 – 65	65 – 85	85 – 100

Tabel 4. Nilai Kohesi Undrained (Tanah Kohesif) [11]

Nilai Kohesi Undrained (Cu)	Sumber Referensi
Cu = 20. N ₆₀ (kN/m ²)	Meyerhof (1956)
Cu = 7. N ₆₀ (kN/m ²)	Reese, Touma & O'Neil (1976)
Cu = 4 to 6. N ₆₀ (kN/m ²)	Stroud & Butler (1975)
Cu = 29. N ₆₀ ^{0,72} (kN/m ²)	Hara (1971)
Cu = 7,2 to 12. N ₆₀ (kN/m ²)	Sowers (1962)
Cu = 3,75 to 12,5. N ₆₀ (kN/m ²)	Schmertmann (1975)
Cu = 6,5 to 8. N ₆₀ (kN/m ²)	Serajuddin & Chowdhury (1996)
Cu = 74,2 + 1,39. N ₆₀ (kN/m ²)	Ajayi & Balogun (1988)

Tabel 8. Nilai Sudut Geser (Tanah Non Kohesif) [12]

Nilai Sudut Geser Dalam (φ)	Sumber Referensi
φ = 28 + 0,15. Dr	Meyerhof (1959)
φ = 27 + 0,3. N ₆₀	Peck et al. (1953)
φ = 15 + (20. N ₆₀) ^{0,5}	Osaki et al. (1959)
φ = 27,1 + 0,3. N ₆₀ + 0,00054. (N ₆₀) ²	Wolff (1989)
φ = 15 + (15. N ₇₀) ^{0,5}	Japan Road Association (1990)
φ = 27 + 0,36. N ₇₀	Japan National Railway (1982)
φ = 15 + (18. N ₇₀) ^{0,5}	Shioi & Fukui (1982)
φ = 15 to 25 + (12. N ₆₀) ^{0,5}	Dunham (1954)
φ = 17 to 23 + (20. N ₆₀) ^{0,5}	Hatanaka & Uchida (1996)
φ = tan ⁻¹ (N ₆₀ /32,5) ^{0,34}	Schmertmann (1975)

Selain menggunakan N60, parameter tanah lain seperti koefisien permeabilitas, poisson rasio dan modulus elastisitas dapat ditentukan menggunakan Tabel 9, Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 5. Nilai Koefisien Permeabilitas [13]

Jenis Tanah	Koefisien Permeabilitas (cm/s)		
	Bowles (1995)	Das (1995)	Wesley (1997)
Kerikil Kasar	> 10 ⁻¹	1 – 10 ²	-
Kerikil Halus			
Pasir Kasar	10 ⁻³ – 10 ⁻¹	10 ⁻³ – 1	
Pasir Sedang			5 x 10 ⁻³ – 10 ⁻²
Pasir Halus			
Pasir Lanau	10 ⁻⁵ – 10 ⁻³	10 ⁻⁵ – 10 ⁻³	5 x 10 ⁻⁴ – 5 x 10 ⁻³
Lanau Lepas			
Lanau Padat	10 ⁻⁷ – 10 ⁻⁵	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁵	5 x 10 ⁻⁶ – 5 x 10 ⁻⁴
Lanau Lempung			
Lempung Lanau			
Lempung	< 10 ⁻⁷	10 ⁻⁹ – 10 ⁻⁶	5 x 10 ⁻⁹ – 10 ⁻⁶

Tabel 6. Nilai *Poisson Ratio* [14]

Jenis Tanah	<i>Poisson Ratio</i> (ν)		
	Bowles (1995)	Das (1995)	Budhu (2015)
Batuan	0,10 – 0,40	-	-
Pasir Batu		0,15 – 0,35	-
Pasir Padat	0,30 – 0,40	0,30 – 0,45	0,15 – 0,25
Pasir Sedang		0,25 – 0,40	0,25 – 0,30
Pasir Lepas			0,25 – 0,35
Pasir Lanau	0,20 – 0,35	0,20 – 0,40	
Lanau	0,30 – 0,35		-
Lempung Pasir	0,20 – 0,30		
Lempung Kaku			0,20 – 0,30
Lempung Sedang	0,40 – 0,50 (<i>sat</i>)	0,20 – 0,50	0,30 – 0,35
Lempung Lunak	0,10 – 0,30 (<i>unsat</i>)	0,15 – 0,25	0,35 – 0,40

Tabel 7. Nilai Sudut Geser (Tanah Non Kohesif) [14]

Jenis Tanah	Modulus Elastisitas (MPa)		
	Das (1995)	Bowles (1995)	AASHTO (2004)
Kerikil Padat		80 – 200	100 – 200
Kerikil Sedang	69 – 172,5		80 – 100
Kerikil Lepas		50 – 150	30 – 80
Pasir Padat	34,5 – 55,2	50 – 100	50 – 80
Pasir Sedang	17,25 – 27,6	-	30 – 50
Pasir Lepas	10,5 – 24	10 – 25	10 – 30
Pasir Lanau	10,35 – 17,24	5 – 20	-
Lanau		2 – 20	2 – 20
Lempung Pasir		30 – 42,5	-
Lempung Kaku	41,4 – 96,6	7 – 20	50 – 100
Lempung Sedang	20,7 – 41,4	4,5 – 9	15 – 50
Lempung Lunak	4,1 – 20,7	2 – 4	2,5 – 15
Lempung Sangat Lunak	-	0,3 – 3	-

1.7. Analisa Numerik (Finite Element Method)

Finite element method biasa disebut metode elemen hingga merupakan metode perhitungan berdasarkan konsep diskritisasi, yaitu pembagian suatu sistem struktur, massa atau benda padat menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Dapat dikatakan bahwa metode elemen hingga ini adalah suatu perhitungan pendekatan. Semakin kecil pembagian elemen-elemen dilakukan, maka akan semakin akurat hasil perhitungan pendekatan melalui metode elemen hingga. Analisis numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D V.16. *Software* ini dapat memodelkan struktur dengan cara *Plane Strain* ataupun *Axisymmetry*. *Plane Strain* biasa digunakan pada penampang melintang yang cukup seragam, tegangan dan pembebanan yang terjadi tegak lurus terhadap penampang. Sedangkan *Axisymmetry* biasanya digunakan untuk penampang radial (melingkar) yang cukup seragam, kondisi tegangan pembebanan tersebar rata mengelilingi sumbu aksialnya.

2. Metodologi

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini meninjau sebuah jembatan layang yang berlokasi di persimpangan Jalan Soekarno-Hatta dan Jalan Tuanku Tambusai, Kelurahan Delima, Kecamatan Tampan di Kota Pekanbaru. Panjang keseluruhan *flyover* ini termasuk timbunan oprit dan jembatan ialah sekitar 650 meter. *Flyover* ini memiliki lebar 18 meter dengan ketinggian oprit adalah 6 meter.



Gambar 2. Foto Udara dan Rencana *Flyover*

Di lokasi terdapat 3 (tiga) titik uji SPT yaitu pada rencana letak *abutment* sisi selatan yang berlokasi di STA 0+491.25 (BH-1), pada *abutment* sisi utara yang berlokasi di STA 0+408.75 (BH-2) dan pada rencana peletakan pilar yang lokasinya tepat di pusat simpang atau STA 0+450 (BH-3). Penelitian dilakukan pada sisi selatan, karena terdapat 2 (dua) bangunan mall pada sebelah kanan dan kiri timbunan oprit, sehingga akan lebih rentan terpengaruh.

2.2. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan pada penelitian antara lain:

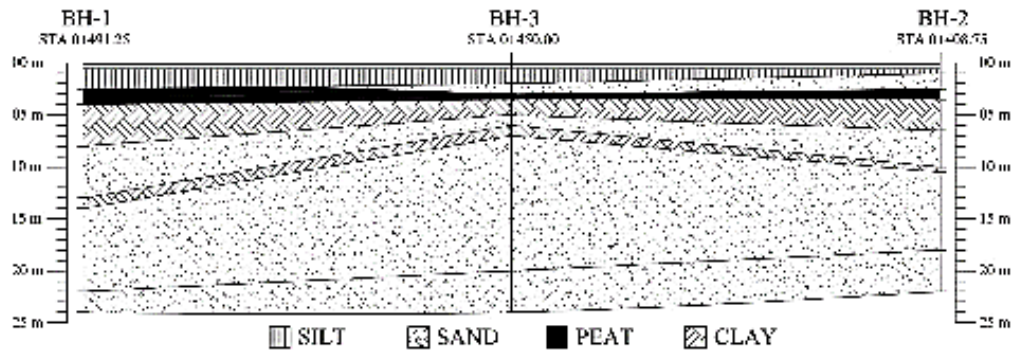
1. Melakukan studi literatur untuk memperoleh gambaran masalah yang akan diteliti serta mendapatkan informasi dan landasan teori yang berkaitan dengan penelitian. Proses ini akan menghasilkan rumusan masalah dan teknik pemecahan masalah tersebut.
2. Mengumpulkan data yang berkaitan dengan penelitian. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari pihak kontraktor pelaksana. Data sekunder yang diperoleh adalah data hasil penyelidikan di lapangan dan data hasil uji laboratorium. Selain itu, dikumpulkan juga data geometri oprit dan situasi sekitarnya serta laporan hasil percobaan pencampuran mortar busa.
3. Mengolah data yang sudah dikumpulkan, proses ini akan menghasilkan Stratifikasi Tanah, Parameter Tanah, Geometri Model dan Tahap Pelaksanaan yang nantinya akan digunakan dalam permodelan PLAXIS.
4. Memodelkan dan menganalisis penurunan menggunakan perangkat lunak PLAXIS.
5. Melakukan perbandingan dan pembahasan berdasarkan hasil analisis penurunan pada kedua jenis timbunan oprit yang telah dilakukan dalam perangkat lunak PLAXIS.

2.3. Pengolahan Data

Proses ini dilakukan untuk melengkapi data-data yang tidak disediakan oleh penyedia data sekunder, proses ini akan dilakukan sebelum memulai permodelan menggunakan PLAXIS sehingga didapatkan hasil pemodelan maupun analisis yang diinginkan.

2.3.1. Stratifikasi Tanah

Stratifikasi tanah adalah penggambaran lapisan tanah berdasarkan jenisnya yang mengacu pada hasil pengujian tanah seperti pengujian SPT ataupun CPT, dalam penelitian ini menggunakan hasil pengujian dari SPT. Stratifikasi juga berguna untuk memprediksi lapisan tanah di sekitar. Untuk stratifikasi tanah pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Stratifikasi Tanah Pada Lokasi Penelitian

Stratifikasi diperoleh dari penggabungan lapisan tanah pada semua lubang bor dengan memperhatikan aspek kesamaan pada jenis, konsistensi dan kandungan lain di dalamnya.

2.3.2. Parameter Tanah

Parameter tanah ditentukan dari hasil penyelidikan tanah dan hasil pengujian laboratorium yang dilakukan penyedia data sekunder. Parameter tanah yang diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium hanya terdapat pada kedalaman tertentu, sehingga perlu dilengkapi dengan melakukan korelasi antar parameter. Langkah pertama sebelum melakukan korelasi adalah melakukan koreksi pada nilai N-SPT. Untuk parameter tanah yang digunakan dalam permodelan PLAXIS seperti nilai berat volume, kohesi, sudut geser dalam, kadar air dan parameter tanah lainnya yang terdapat pada Tabel 6.

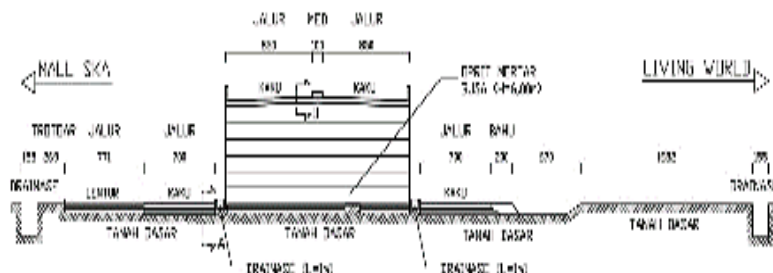
Tabel 6. Parameter Tanah Yang Digunakan Pada Model

Lapisan Ke-	1	2	3	4	5	6	7
Tebal (m)	2,50	1,50	4,00	5,00	1,00	8,00	2,00
Konsistensi	<i>Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>V. Stiff</i>	<i>Loose</i>	<i>Stiff</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>
Jenis tanah	<i>Silt</i>	<i>Peat</i>	<i>Clay</i>	<i>Sand</i>	<i>Clay</i>	<i>Sand</i>	<i>Sand</i>
Model Mat.	<i>HS</i>	<i>SSC</i>	<i>HS</i>	<i>HS</i>	<i>HS</i>	<i>HS</i>	<i>HS</i>
Perilaku Mat.	<i>UD</i>	<i>D</i>	<i>UD</i>	<i>D</i>	<i>UD</i>	<i>D</i>	<i>D</i>
N_{60}	5	5	26	7	16	26	50
γ_{sat} (kN/m ³)	19,50	12,00	21,70	18,00	21,00	20,00	21,00
γ_{unsat} (kN/m ³)	16,00	10,00	18,00	15,00	17,50	17,00	18,00
k (m/hari)	8,64 $\times 10^{-5}$	4,50 $\times 10^{-3}$	8,64 $\times 10^{-7}$	8,64 $\times 10^{-1}$	8,64 $\times 10^{-6}$	8,64 $\times 10^{-2}$	8,64 $\times 10^{-3}$
C (kPa)	12,50	1,00	130,00	0,10	80,00	0,10	0,10
ϕ (o)	20	27	25	30	20	35	40
Dr (%)	-	-	-	25	-	59	85
w_n (%)	-	200	-	-	-	-	-
e	0,78	15,00	0,43	-	0,48	-	-
C_c	0,0645	2,3000	0,0120	-	0,0195	-	-
C_s	0,0129	0,4600	0,0024	-	0,0039	-	-
C_α	-	0,1610	-	-	-	-	-
λ^*	0,0158	0,0625	0,0036	-	0,0057	-	-
κ^*	0,0063	0,0250	0,0015	-	0,0023	-	-
μ^*	-	0,0044	-	-	-	-	-
E_{50}^{ref} (kPa)	7.934	-	34.260	15.000	21.821	35.400	51.000
E_{oed}^{ref} (kPa)	6.347	-	27.408	12.000	17.456	28.320	40.800
E_{ur}^{ref} (kPa)	31.736	-	137.042	45.000	87.282	106.200	153.000

2.3.3. Geometri Model

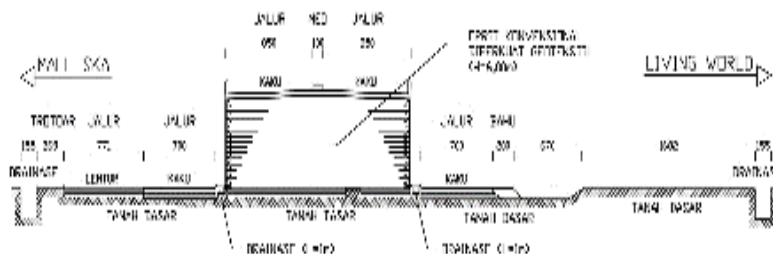
Geometri model dari kedua jenis timbunan dan profil lingkungan sekitarnya

diperlukan dalam proses permodelan *software* PLAXIS. Geometri model timbunan oprit mortar busa diperoleh dari *As-Built Drawing* yang dibuat oleh kontraktor seperti terlihat pada Gambar 5.



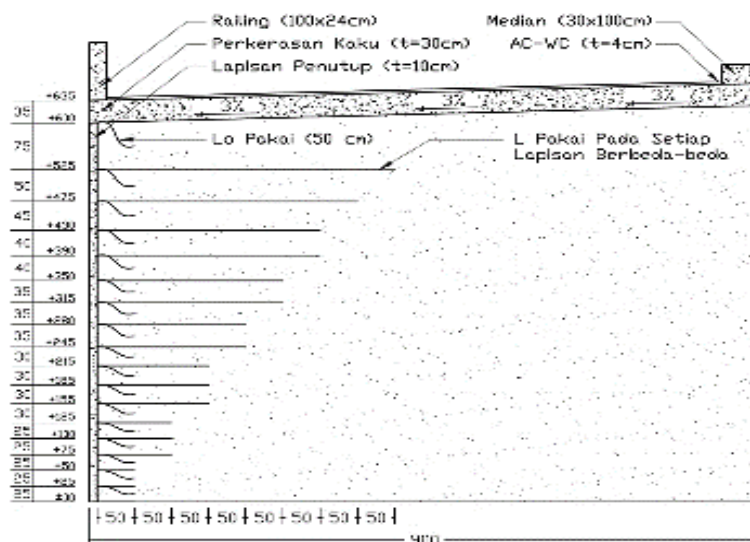
Gambar 4. Geometri Model Oprit Mortar Busa

Geometri timbunan oprit konvensional tidak disediakan pihak kontraktor, oleh karena itu perlu dilakukan perencanaan geometri dengan memperhitungkan stabilitas internal (lokal) dan stabilitas eksternal (global) agar struktur aman. Geometri model timbunan oprit konvensional yang telah dihitung terdapat pada Gambar 6.



Gambar 5. Geometri Model Oprit Konvensional

Bentuk oprit, tinggi oprit dan keadaan di sekitarnya sama seperti pada oprit mortar busa, yang membedakannya hanya isi dari timbunan oprit dan perkuatannya. Untuk detail-detail pemasangan geotekstil terlihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Detail Pemasangan Geotekstil

2.4. Tahapan Pelaksanaan

Tahapan pelaksanaan yang dimaksud ialah tahapan yang dilakukan pada saat

pembangunan timbunan oprit dilakukan. Dimulai dari tahap awal yang terdiri dari penentuan waktu kondisi permulaan dan penyiapan lahan, dilanjutkan dengan tahap pembangunan sampai dengan tahap akhir yang terdiri dari pekerjaan *finishing*, uji coba dan masa layan oprit. Tahap awal dan akhir dari kedua jenis timbunan oprit adalah sama, yang membedakan dari keduanya ialah tahap pembangunannya. Tahapan ini diperlukan untuk simulasi pembangunan bertahap dalam permodelan menggunakan *software* PLAXIS.

2.4.1. Pemodelan PLAXIS

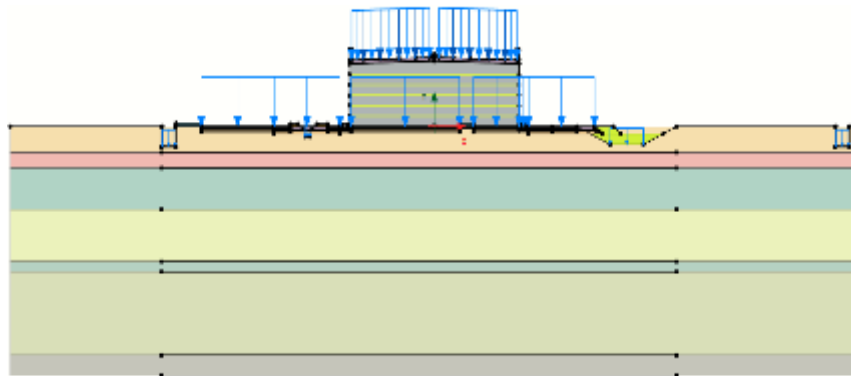
Proses ini dilakukan untuk melengkapi data-data yang tidak disediakan oleh penyedia data sekunder, proses ini akan dilakukan sebelum memulai permodelan menggunakan PLAXIS.

1. Pendefinisian Material

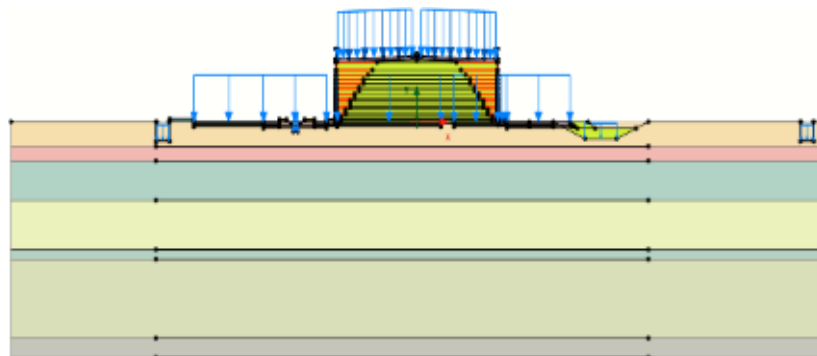
Pendefinisian material dilakukan melalui jendela *Material Sets*. Pilih perintah *New* untuk mendefinisikan material baru, lalu masukkan parameter dari material yang telah disiapkan pada bagian *General Tab* dan *Parameters Tab*.

2. Permodelan Geometri

Pemodelan dimulai dari jendela *Soil* untuk memodelkan lapisan tanah terlebih dahulu menggunakan perintah *Create Borehole*. Setelah itu berpindah ke jendela *Structures* untuk memulai permodelan geometri oprit. Hasil pemodelan geometri oprit konvensional dan mortar busa terdapat pada Gambar 8 & 9.



Gambar 7. Model Oprit Mortar Busa Dalam PLAXIS

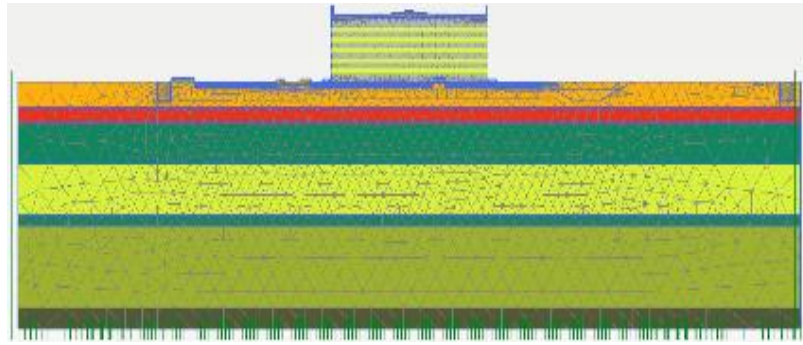


Gambar 8. Model Oprit Konvensional Dalam PLAXIS

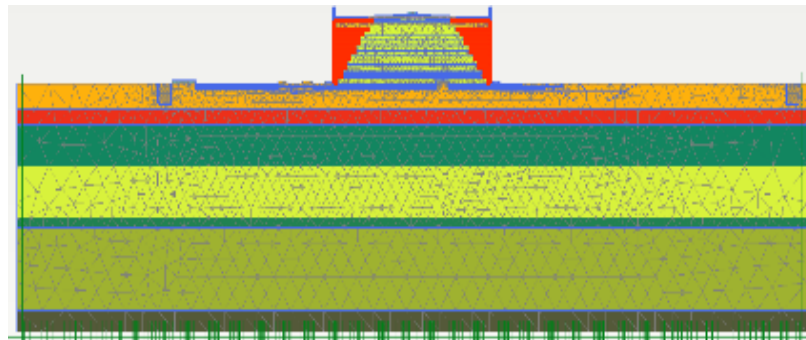
3. Proses Perhitungan

Sebelum perhitungan dilakukan, terlebih dahulu klaster akan dibagi menjadi elemen segitiga menggunakan perintah *Generate Mesh*. Perintah *Generate Mesh* hanya tersedia pada

jendela *Mesh*. Hasil *meshing* untuk kedua jenis timbunan oprit terdapat pada Gambar 10 & 11.



Gambar 9. Hasil *Meshing* Pada Oprit Mortar Busa

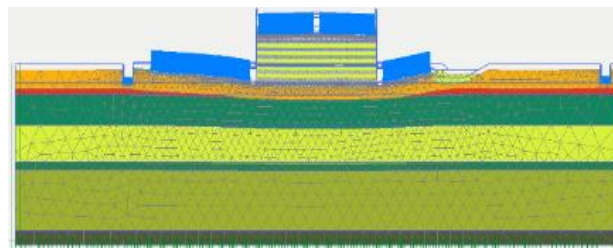


Gambar 10. Hasil *Meshing* Pada Oprit Konvensional

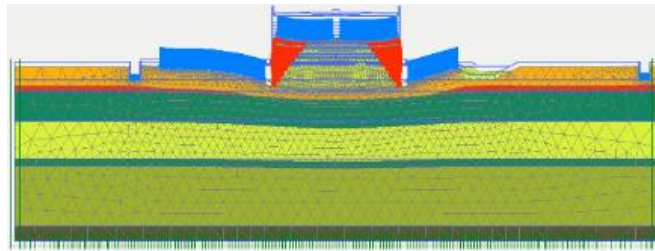
Selanjutnya ialah menentukan titik tinjau untuk data keluaran (*Output*) menggunakan perintah *Select Points For Curves*. Titik tinjau yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 4 (empat) titik. Jika titik tinjau telah ditentukan, maka proses perhitungan pada *Initial Phase* dapat dilakukan. Setelah hasil perhitungan pada *Initial Phase* menggunakan PLAXIS memiliki hasil yang sama dengan atau mendekati hasil perhitungan secara manual berdasarkan teori, maka perhitungan dapat dilanjutkan untuk *Phase* selanjutnya sesuai tahapan pelaksanaan.

4. Data Keluaran (*Output*)

Setelah perhitungan selesai dilakukan, akan dihasilkan data keluaran yang berupa grafis dan angka. Data keluaran ini dapat diperoleh dengan perintah *View Calculation Results*, sehingga muncul jendela baru yang akan menampilkan *Deformed Mesh* seperti pada Gambar 12 & 13.



Gambar 11. *Deformed Mesh* Oprit Mortar Busa (10x)



Gambar 12. *Deformed Mesh* Oprit Konvensional (10x)

Selain *Deformed Mesh*, *output* PLAXIS juga dapat ditampilkan dalam grafis dengan tipe *Shadings*, *Contour Lines* ataupun dalam Bagan. Grafis *output* tipe *Shadings* dan Bagan akan ditampilkan pada bagian Hasil & Pembahasan.

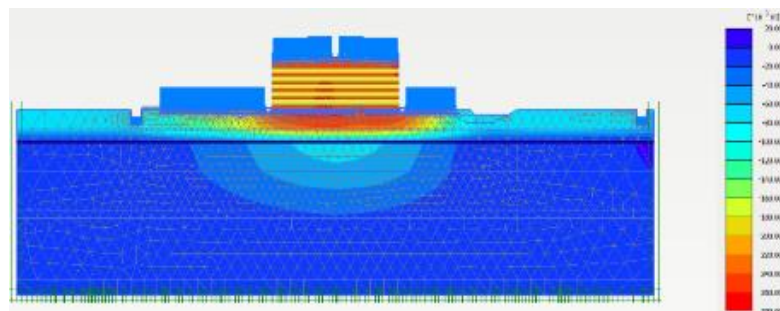
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisis

Hasil analisis penurunan yang diperoleh dari perangkat lunak PLAXIS akan ditampilkan dalam grafis dengan tipe *Shadings*, Bagan dan Tabel agar besar penurunan lebih dapat terbaca.

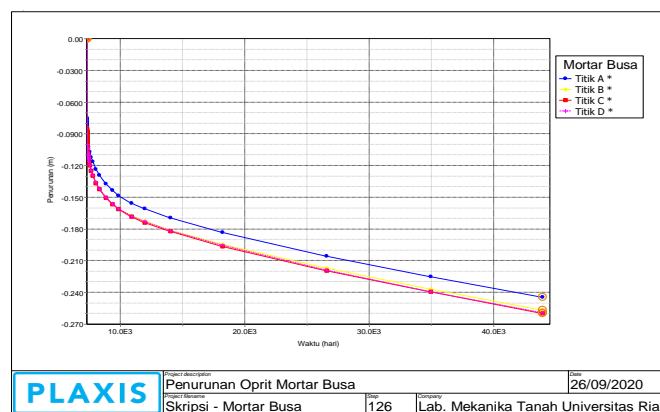
3.1.1 Oprit Mortar Busa (MB)

Hasil analisis penurunan oprit MB selama Masa Layan 100 tahun terlihat pada Gambar 14.



Gambar 13. Penurunan Oprit Mortar Busa (100 Tahun)

Sedangkan untuk bagan penurunan total pada oprit MB dapat dilihat pada Gambar 15 berikut.



Gambar 14. Bagan Penurunan Pada Oprit Mortar Busa

Data penurunan yang terjadi pada oprit MB selengkapnya dapat disimak dalam Tabel

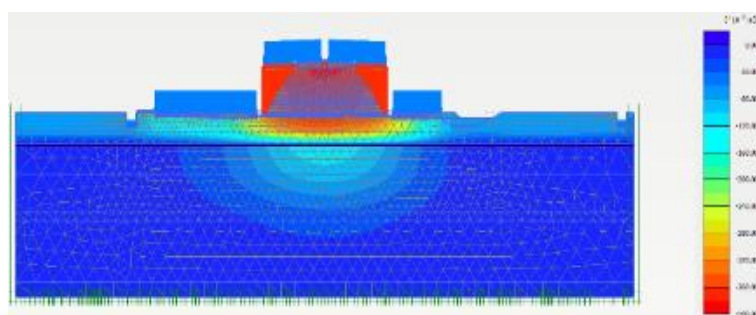
8 dari kondisi awal penimbunan, saat pembangunan, keadaan *finishing* maupun masa layan.

Tabel 8. Penurunan Oprit Mortar Busa (Dalam CM)

Tahapan	Waktu	Penurunan Kumulatif		
		Kiri	Tengah	Kanan
Kondisi Awal	20 Thn	7,581	8,469	8,708
Pembangunan	48 Hari	9,339	10,441	10,389
<i>Finishing</i>	10 Hari	10,184	11,355	11,296
Masa Layan	100 Thn	24,458	25,985	25,658

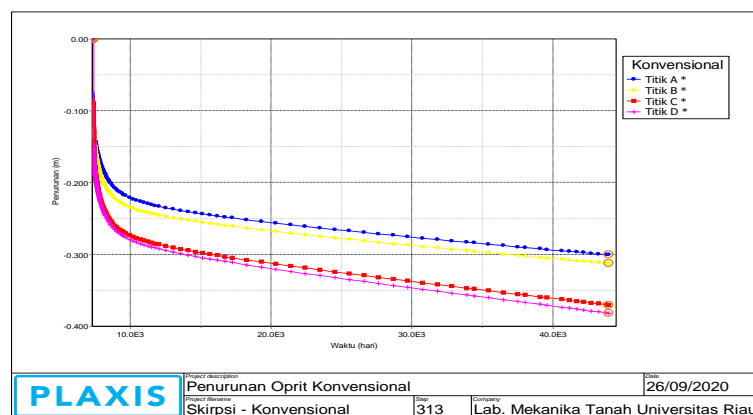
3.1.2 Oprit Konvensional (KV)

Hasil analisis penurunan oprit KV selama Masa Layan 100 tahun terlihat pada Gambar 16.



Gambar 15. Penurunan Oprit Konvensional (100 Tahun)

Sedangkan untuk bagan penurunan total pada oprit KV dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 16. Bagan Penurunan Pada Oprit Konvensional

Data penurunan yang terjadi pada oprit KV selengkapnya dapat disimak dalam Tabel 9.

Tabel 9. Penurunan Oprit Konvensional (Dalam CM)

Tahapan	Waktu	Penurunan Kumulatif		
		Kiri	Tengah	Kanan
Kondisi Awal	20 Thn	7,584	8,485	8,724
Pembangunan	96 Hari	12,033	15,573	13,143
<i>Finishing</i>	10 Hari	13,270	17,408	14,552
Masa Layan	100 Thn	30,042	37,022	31,228

3.2 Pembahasan

Penurunan yang telah dihitung dengan menggunakan perangkat lunak PLAXIS selanjutnya akan diperiksa sesuai dengan kriteria penurunan yang disyaratkan oleh Kimpraswil (2002) dan SCDOT (2008).

3.2.1 Oprit Mortar Busa (MB)

Terdapat 2 (dua) kriteria penurunan yang disyaratkan oleh Kimpraswil, yang terdiri dari:

- $S/S_{tot} = 10,441 \text{ cm}/11,355 \text{ cm} = 91,4\% > 90\%$ (**Memenuhi**)
- $Laju \text{ Penurunan} = \frac{146,30 \text{ mm}}{100 \text{ thn}} = 1,463 \frac{\text{mm}}{\text{thn}} < 20 \frac{\text{mm}}{\text{thn}}$ (**Memenuhi**)

Sedangkan untuk kriteria SCDOT, terdapat 3 (tiga) syarat penurunan yang terdiri dari:

- $\Delta V = 259,85 - 113,55 = 146,30 \text{ mm} < 203,20 \text{ mm}$ (**Memenuhi**)
- $Penurunan = \frac{146,30 \text{ mm}}{100 \text{ tahun}} = 1,463 \frac{\text{mm}}{\text{thn}} < 2,54 \frac{\text{mm}}{\text{thn}}$ (**Memenuhi**)
- $\Delta V_p = 112,87 - 103,67 = 9,20 \text{ mm} < 25,4 \text{ mm}$ (**Memenuhi**)

3.2.2 Oprit Konvensional (KV)

Terdapat 2 (dua) kriteria penurunan yang disyaratkan oleh Kimpraswil, yang terdiri dari:

- $S/S_{tot} = 15,573 \text{ cm}/17,408 \text{ cm} = 89,4\% < 90\%$ (**Belum**)
- $Laju \text{ Penurunan} = \frac{196,14 \text{ mm}}{100 \text{ tahun}} = 1,961 \frac{\text{mm}}{\text{thn}} < 20 \frac{\text{mm}}{\text{thn}}$ (**Memenuhi**)

Sedangkan untuk kriteria SCDOT, terdapat 3 (tiga) syarat penurunan yang terdiri dari:

- $\Delta V = 370,22 - 174,08 = 196,14 \text{ mm} < 203,20 \text{ mm}$ (**Memenuhi**)
- $Penurunan = \frac{196,14 \text{ mm}}{100 \text{ tahun}} = 1,961 \frac{\text{mm}}{\text{thn}} < 2,54 \frac{\text{mm}}{\text{thn}}$ (**Memenuhi**)
- $\Delta V_p = 179,02 - 159,75 = 19,27 \text{ mm} < 25,4 \text{ mm}$ (**Memenuhi**)

4. Kesimpulan

1. Perpindahan yang terjadi pada oprit mortar busa didominasi oleh perpindahan vertikal (Uy). Sedangkan pada oprit konvensional selain perpindahan arah vertikal (Uy), terjadi juga perpindahan arah horizontal (Ux).
2. Penurunan (Titik C) yang terjadi pada oprit mortar busa mulai dari proses penyiapan lahan sampai dengan masa layan 100 tahun ialah sebesar 17,516 cm, sedangkan pada oprit konvensional ialah sebesar 28,537 cm.
3. Timbunan oprit mortar busa memenuhi semua (5 kriteria) yang disyaratkan oleh Kimpraswil (2002) dan SCDOT (2008). Sedangkan timbunan oprit konvensional hanya memenuhi 4 dari 5 kriteria penurunan.

Daftar Pustaka

- [1] D. Hidayat, Y. M. Purwana dan F. P. Pramesti, "Analisis Material Ringan dengan Mortar Busa Pada Konstruksi Timbunan Jalan," *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016*, pp. 1-10, 2016.
- [2] H. Atamini dan B. Moestofa, "Evaluasi Stabilitas dan Penurunan antara Timbunan

- Ringan Mortar Busa Dibandingkan dengan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan (Studi Kasus : Flyover Antapani , Kota Bandung),” *Reka Racana - Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, pp. 90-100, 2018.
- [3] Kimpraswil, Panduan Geoteknik 4 - Desain dan Konstruksi (No: Pt T-10-2002-B), Jakarta: Departemen Peremukiman dan Prasarana Wilayah, 2002.
- [4] Febrijanto, “Laporan Akhir Penyusunan DED Uji Coba Skala Penuh Timbunan Badan Jalan Dengan Material Ringan,” Departemen Pekerjaan Umum , Bandung, 2008.
- [5] S. R. Bahari dan I. N. Hamdan, “Analisis Geoteknik pada Teknologi Corrugated Mortar Busa Pusjatan (CMP) dalam Perencanaan Flyover Antapani,” *Reka Racana - Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, pp. 70-81, 2017.
- [6] M. Iqbal, Kajian Penanganan Tanah Lunak Dengan Timbunan Jalan Mortar Busa, Bandung: Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan (PUSJATAN), 2012.
- [7] Kemen PUPR, “Pedoman Perencanaan Teknis Timbunan Material Ringan Mortar-Busa Untuk Konstruksi Jalan (Nomor : 42/SE/M/2015),” KEMEN PUPR, Jakarta, 2015.
- [8] M. T. Uppun, “Prediksi Numerik Penurunan Konsolidasi pada Zona Oprit Jembatan Fly Over Kota Makassar,” Universitas Hasanuddin, Makassar, 2013.
- [9] H. C. Hardiyatmo, Mekanika Tanah 1 & 2, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2002.
- [10] M. F. Haq, “Perencanaan Timbunan dan Konstruksi Penahan Tanah untuk Terminal Penumpang Di Pelabuhan Bima, Nusa Tenggara Barat,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [11] B. Das, Mekanika Tanah 1 & 2, Jakarta: Penerbit Erlangga, 1995.
- [12] J. Ameratunga, N. Sivakugan dan B. M. Das, Correlations of Soils and Rock Properties in Geotechnical Engineering, New Delhi: Springer India, 2016.
- [13] Kemen PUPR dan Dirjen Bina Marga, Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi, Jakarta: KEMEN PUPR, 2019.
- [14] J. E. Bowles, Analisis dan Desain Pondasi 1 & 2, Jakarta: Penerbit Erlangga, 1995.
- [15] B. W. Aditya, “Alternatif Perencanaan Perbaikan Tanah Dasar dan Timbunan Pada Proyek Jalan Tol Pemalang – Batang Seksi IV STA. 362+550 - STA. 362+625,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [16] T. Saleh dan E. Purwanto, “Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis 8.2 Pada Tol Trans Sumatera,” *Jurnal Online Universitas Islam Indonesia*, 2018.
- [17] M. Budhu, Soil Mechanics Fundamentals, Chischester, West Sussex: John Wiley & Sons, 2015.
- [18] R. Brinkgreve, Plaxis Manual, Delft: Plaxis B.V., 2007.
- [19] A. Budiasto dan E. Purwanto, “Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Plaxis,” *Jurnal Online Universitas Islam Indonesia*, 2018.
- [20] R. Fadilah dan I. N. Hamdan, “Analisis Stabilitas dan Penurunan pada Timbunan Mortar Busa Ringan Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *Reka Racana - Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, pp. 59-69, 2017.
- [21] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 4153 - Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT,” Badan Standardisasi Indonesia, Jakarta, 2008.