

Alternatif Perencanaan Timbunan Jalan dengan Material Sirtu dan Material Ringan Mortar Busa pada Jalan Tol Batang – Semarang Seksi III Weleri – Kendal STA 414+525 – STA 424+576

Moch. Alfian Putra Adi, Yudhi Lastiasih, dan Indrasurya B. Mochtar

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Corresponding Author: indrasurya@ce.its.ac.id

ARTIKEL INFO	ABSTRAK
<p>Informasi Artikel</p> <p>Artikel masuk : Artikel revisi : Artikel diterima :</p>	<p>Jalan Tol Batang – Semarang merupakan bagian dari proyek Jalan Tol Trans Jawa. Jalan Tol Trans Jawa adalah jaringan jalan tol antar kota di Pulau Jawa dengan tujuan utamanya untuk menghubungkan wilayah di Pulau Jawa, yaitu dari Kota Jakarta sampai Kota Surabaya, dan rencana akan dilanjutkan hingga Kabupaten Banyuwangi. Proyek Jalan Tol Batang – Semarang direncanakan memiliki panjang total ± 75 km terbagi dalam 3 seksi. Jalan tol ini rencananya akan dibangun di atas timbunan dengan elevasi yang relatif tinggi yaitu 3-meter s/d 12-meter pada STA 414+525 – STA 424+576. Kondisi tanah dasarnya adalah tanah lunak hingga medium yang memiliki kedalaman ± 10 meter dengan nilai N-SPT rata – rata berkisar 5 s.d. 12 sehingga memiliki daya dukung yang rendah dan pemampatan tanah yang relatif besar. Oleh karena itu, perlu adanya desain perencanaan konstruksi timbunan jalan dari material yang aman dan cukup ringan agar pemampatan tanah dasar yang terjadi dapat diminimalisir. Diperlukan juga perencanaan perbaikan tanah dasar dan perencanaan perkuatan timbunan agar timbunan menjadi lebih stabil. Perencanaan timbunan jalan dilakukan dengan menggunakan 2 (dua) material yang berbeda, yaitu material tanah sirtu dan material ringan mortar busa sebagai material timbunan. Metode perbaikan tanah dasar direncanakan menggunakan metode pra – pembebanan (<i>pre-loading</i>) yang dikombinasikan dengan <i>Prefabricated Vertical Drain (PVD)</i> kedalaman penuh sedalam tanah lunak dan <i>vacuum pre-loading</i> direncanakan untuk perbaikan tanah dasar dibantu dengan pompa untuk mengangkat air dari dalam lapisan tanah dasar. Hasil analisa, perencanaan timbunan dengan material mortar busa memiliki nilai pemampatan tanah yang lebih kecil daripada perencanaan timbunan dengan material tanah sirtu. <i>PVD</i> yang digunakan memakai pola segitiga dengan jarak 1 m dan 1,2 m. Selain itu, perencanaan timbunan dengan material mortar busa jauh lebih stabil sehingga tidak membutuhkan perkuatan, sedangkan untuk perencanaan timbunan dengan material tanah sirtu membutuhkan perkuatan <i>geotextile un-woven</i> sebanyak 4 – 43 lapis untuk tinggi timbunan rencana 11,5m dan untuk timbunan rencana 3,1m tidak memerlukan <i>geotextile</i> sebagai perkuatan. Total biaya material perencanaan untuk variasi timbunan dengan material mortar busa jauh lebih besar daripada total biaya material perencanaan untuk timbunan tanah sirtu.</p>
<p>Kata Kunci</p> <p>Jalan Tol Batang – Semarang, <i>Prefabricated Vertical Drain</i>, Mortar Busa, <i>Geotextile</i>, <i>Vacuum Pre-loading</i>.</p>	

PENDAHULUAN

Pemerintah merencanakan pembangunan infrastruktur transportasi Jalan Tol Trans Jawa yang menghubungkan kota dan kabupaten yang ada di Pulau Jawa didasari akan pentingnya infrastruktur bagi pertumbuhan bangsa Indonesia. Rencana Jalan Tol Trans Jawa yang menghubungkan kota dan kabupaten di Pulau Jawa.

Dengan adanya jalan bebas hambatan ini bertujuan untuk meningkatkan perekonomian daerah serta mendukung mobilitas dan aksesibilitas jalur darat di Pulau Jawa.

Pada bahasan kali ini adalah Jalan Tol Batang - Semarang seksi III Weleri - Kendal STA 414+525 – STA 424+576 dengan memperhatikan lokasi proyek yang dibangun di atas tanah yang bervariasi, beberapa titik



Gambar 1. Foam Mortar Buisa.



Gambar 2. Lokasi Lokasi Proyek Timbunan Jalan Tol STA 414+525 dan STA 424+576 (Sumber: PT. Waskita Karya)

terdapat tanah lunak dengan nilai rata rata N SPT dibawah sepuluh dengan ketebalan tanah lunak yang bervariasi antara 4 meter sampai dengan 10 meter. Oleh karena itu perlu diwaspadai stabilitas timbunan dengan adanya potensi terjadi pemampatan yang besar dan longsor saat dilakukan penimbunan.

Maka dalam hal ini akan direncanakan dan dibandingkan stabilitas timbunan menggunakan material biasa dengan material ringan yaitu mortar busa (Gambar 1) yang diperkuat dengan *geotextile*. Diambil STA 414+525 dan STA 424+576 karena dapat mewakili perencanaan timbunan Jalan Tol Batang – Semarang.

Untuk perbaikan tanah dasar menggunakan perbandingan antara *vacuum pre-loading* dan *PVD (prefabricated vertical drain)*, Hasil dari beberapa metode ini akan dipilih yang paling optimum dari segi biaya material untuk pembangunan Jalan Tol Batang - Semarang seksi III Weleri - Kendal STA 414+525 – STA 424+576. (Gambar 2)

METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan Studi ini dapat dilihat pada Gambar 3.

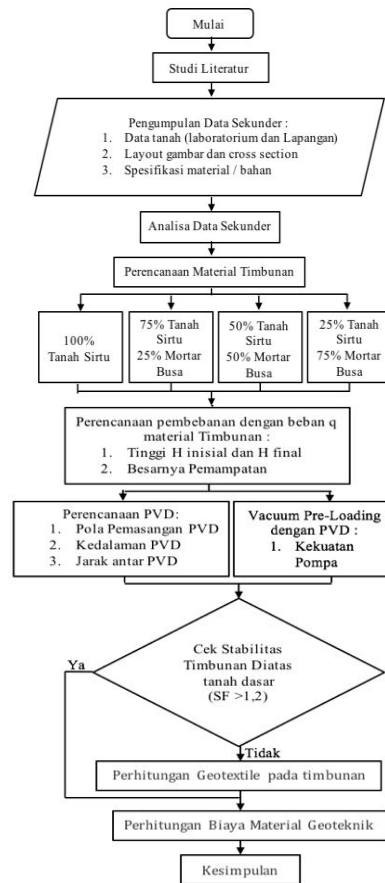
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Data Perencanaan

1. Data Tanah (Gambr 4)

Nilai parameter data tanah didapatkan dari rumus empiris dan menggunakan grafik korelasi [1][2]. (Tabel 1)

2. Data Timbunan



Gambar 3. Bagan alir studi.

Spesifikasi material timbunan mortar busa didapatkan dari sumber Kajian Penanganan Tanah Lunak Dengan Timbunan Jalan Mortar Buisa [3]. (Tabel 2 dan Gambar 2)

Direncanakan untuk timbunan mortar busa menggunakan base setinggi 20 cm dan subbase mengikuti desain rencana variasi timbunan.

3. Data Beban

Rekapitulasi Pembebanan Pada Timbunan Tanah Sirtu STA 414+525 dapat dilihat pada Tabel 3.

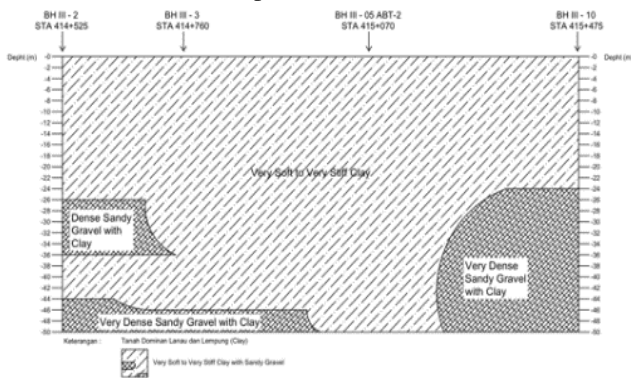
4. Data Spesifikasi Bahan

Geotextile yang akan digunakan dalam perencanaan ini adalah tipe *Polypropylene un-Woven Geotextile UW-250* dengan kekuatan 52 kN/m. *Pre-fabricated vertical drain (PVD)* yang akan digunakan dalam perencanaan ini adalah tipe *CeTeau Drain CT-D822* produksi dari PT. Teknindo Geosistem Unggul. *Pre-fabricated horizontal drain (PHD)* CeTeau Drain CT-SD100-20 Distributor: PT. Teknindo Geosistem Unggul. Pompa *Vacuum Preloading 7.5kW 10 HP High Capacity Double Suction*, produsen Modo Pump Co., Ltd

B. Perencanaan Geoteknik

1. Perhitungan Besar Pemampatan Tanah (S_c), Tinggi Timbunan Awal ($H_{initial}$), dan Tinggi Timbunan Akhir (H_{final}) Pada Timbunan Tanah Sirtu STA414+525. Perhitungan preloading akibat variasi beban q (Noor Endah, 2012). Didapatkan hubungan antara H_{final} dengan S_c dan H_{final} dengan $H_{initial}$ (Gambar 6) dan (Gambar 7). (Tabel 4)
2. Perhitungan tinggi timbunan awal ($H_{initial}$) dan Tinggi timbunan Akhir (H_{final}) Pada Timbunan 50% Mortar Buisa 50% Tanah Sirtu. (Tabel 5 dan 6) (Gambar 8)

- Perhitungan Waktu Pemampatan Tanah Dasar Tanpa PVD (Tabel 7)
- Perencanaan Prefabricated Vertical Drain (PVD) dan Penimbunan Bertahap.



Gambar 4. Sketsa Gambar Data Stratigrafi Tanah STA 414+525 – STA 415+475.

Tabel 1. Parameter Data Tanah pada STA 414+525 (a) Data Tanah Volumetric dan Gravimetric (b) Data Tanah Consolidation (c) Data Tanah Kekuatan Tanah dan Atterberg Limits

DEPTH	N-SPT	N'	N'	Type of Soil	Volumetric + Gravimetric			
					n	e	γ_{dry} (t/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
0	0	0	0	Soft Clay	*	*	*	*
2	4	4	4	Medium Clay	0,70	2,38	0,80	1,50
4	6	6	6		0,68	2,16	0,86	1,54
6	9	9	9		0,64	1,75	1,00	1,62
8	8	8	8		0,66	1,90	0,93	1,59
10	9	9	9		0,64	1,75	0,98	1,62
12	9	9	9		0,64	1,75	0,98	1,62

(a)

DEPTH	N-SPT	N'	N'	Consolidation		
				C _s	C _c	C _v (cm ² /s)
0	0	0	0	*	*	*
2	4	4	4	0,127	0,633	0,000200
4	6	6	6	0,113	0,567	0,000257
6	9	9	9	0,089	0,444	0,000500
8	8	8	8	0,098	0,489	0,000370
10	9	9	9	0,089	0,444	0,000470
12	9	9	9	0,089	0,444	0,000470

(b)

DEPTH	N-SPT	N'	N'	Φ	Strength		Atterberg Limits		
					C _u (Kpa)	C _u (Kpa)	LL (%)	PI (%)	PL (%)
0	0	0	0	*	*	*	*	*	*
2	4	4	4	*	0,55	0,83	95%	55%	40%
4	6	6	6	*	0,69	1,03	93%	53%	40%
6	9	9	9	*	0,83	1,25	62%	31%	31%
8	8	8	8	*	0,98	1,48	79%	43%	36%
10	9	9	9	*	1,14	1,70	75%	40%	35%
12	9	9	9	*	1,29	1,94	75%	40%	35%

(c)

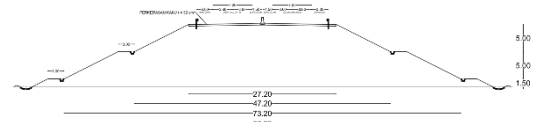
Perencanaan PVD dilakukan dengan perhitungan menurut *Ground Engineering*, mengenai PVD untuk mempercepat proses pemampatan tanah dasar [4]. Dari perhitungan PVD dipilih PVD dengan jarak 1 m untuk STA 414+525 dan PVD jarak 0,8 m untuk STA 424+576 mempertimbangkan lama waktu hingga minimal derajat konsolidasi mencapai 90%. (Gambar 9)

- Perhitungan Pemampatan Tanah Dasar Akibat *Soil Preloading* dan *Vacuum Preloading*.

Perhitungan besar pemampatan dari persamaan (Noor Endah, 2012) untuk mengetahui grafik hubungan antara waktu dan pemampatan tiap tahap. Variasi timbunan STA 414+525 dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.

Tabel 2. Spesifikasi Material Timbunan

Parameter Timbunan	Tanah Sirtu	Mortar Busa	
		Base	Subbase
γ (t/m ³)	1,85	0,8	0,6
C (t/m ²)	0	0	0
Φ o	30	40	45

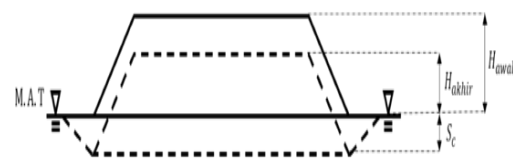


Gambar 5. Cross Section Timbunan Jalan STA 414+525.

Tabel 3. Rekapitulasi Pembebanan Pada Timbunan Tanah Sirtu STA 414+525

H Timbunan (m)	q Timbunan (t/m ²)	H trapesium m 3 (m)	b (m)	a (m)	H trapesium m 2 (m)	b (m)	a (m)
10,811	20	5	13,6	10,0	5	26,6	10,0
11,892	22	5	13,6	10,0	5	26,6	10,0
12,973	24	5	13,6	10,0	5	26,6	10,0
14,054	26	5	13,6	10,0	5	26,6	10,0

H trapesium m 1 (m)	b (m)	a (m)	H Pavemen (m)	q Pavemen (t/m ²)	q Traffic (t/m ²)	H Bongkar Traffic (m)
0,811	39,6	1,6	0,32	0,704	1,00	0,54
1,892	39,6	3,8	0,32	0,704	1,00	0,54
2,973	39,6	5,9	0,32	0,704	1,00	0,54
4,054	39,6	8,1	0,32	0,704	1,00	0,54



$$q = (H_{initial} - Sc) \times \gamma_{timb} + Sc \times \gamma'_{timb}$$

$$q = (H_{initial} \times \gamma_{timb}) - (Sc \times \gamma_{timb}) + (Sc \times \gamma'_{timb})$$

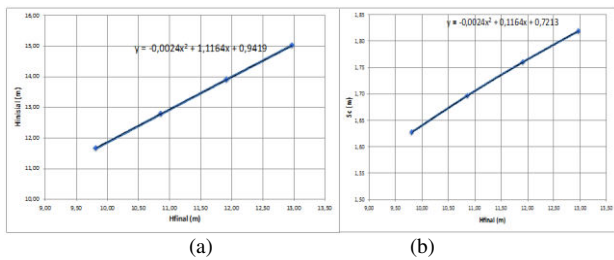
$$H_{initial} = (q + (Sc \times \gamma_{timb}) + (Sc \times \gamma'_{timb})) \gamma_{timb}$$

Gambar 6. Kebutuhan tinggi awal timbunan akibat pemampatan tanah dasar.

Pada variasi timbunan tanah sirtu STA 414+525 beban pompa vacuum sebesar 8,245 t/m² dipasang pada tahap ketiga dan setelah mencapai pemampatan rencana pompa vacuum dimatikan yaitu pada minggu ke 13. Jadi pompa vacuum dinyalakan selama 10 minggu, pemampatan yang terjadi lebih cepat, dapat dilihat pada Gambar 11 (b) minggu ke 18 besar pemampatannya sudah sebesar 1,17 m lebih cepat 6 minggu daripada menggunakan soil

preloading dimana untuk mencapai pemampatan 1,17 m membutuhkan waktu 24 minggu, dapat dilihat pada Gambar 11 (a)

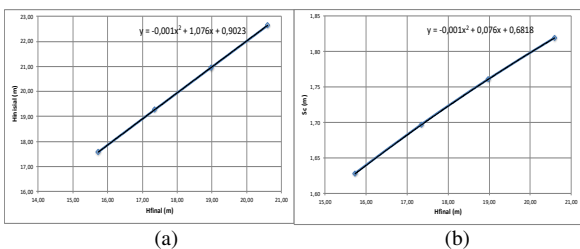
6. Perencanaan Perkuatan dengan Geotextile



Gambar 7. (a) Hubungan Antara H_{final} dan H_{initial} Timbunan Tanah Sirtu STA 414+525 (b) Hubungan Antara H_{final} dan Sc Timbunan Tanah Sirtu STA 414+525.

Tabel 5. Rekapitulasi Perhitungan H_{initial}, H_{final}, dan Sc Timbunan 25% Mortar Busa 75% Tanah Sirtu STA 414+525P

Beban q (t/m ²)	Sc Akibat q (m)	H initial (m)	Sc Pavement (m)	H		Sc Total (m)	H final (m)
				Bongkar Traffic (m)	H pavement (m)		
20	1,57	17,58	0,053	0,54	0,32	1,63	15,73
22	1,64	19,27	0,052	0,54	0,32	1,70	17,35
24	1,70	20,95	0,051	0,54	0,32	1,76	18,97
26	1,76	22,64	0,050	0,54	0,32	1,82	20,60



Gambar 8. (a) Hubungan Antara H_{final} dan H_{initial} Timbunan 50% Mortar Busa 50% Tanah Sirtu STA 414+525 (b) Hubungan Antara H_{final} dan Sc Timbunan 50% Mortar Busa 50% Tanah Sirtu STA 414+525.

Tabel 6. Rekapitulasi Nilai H_{initial} dan Stotal STA 414+525

STA	Variasi Timbunan	H _{initial} Total (m)	H _{initial} Sirtu (m)	H _{initial}		Sc (m)
				H _{initial} Sub base (m)	H _{initial} Mortar (m)	
	Timbunan Tanah Sirtu	13,46	13,46	0,00	0,00	1,74
	Timbunan 25% Mortar Busa 75% Sirtu	13,32	10,00	3,12	0,20	1,60
STA 414+525	Timbunan 50% Mortar Busa 50% Sirtu	13,14	6,60	6,35	0,20	1,42
	Timbunan 75% Mortar Busa 25% Sirtu	12,96	3,25	9,50	0,20	1,24

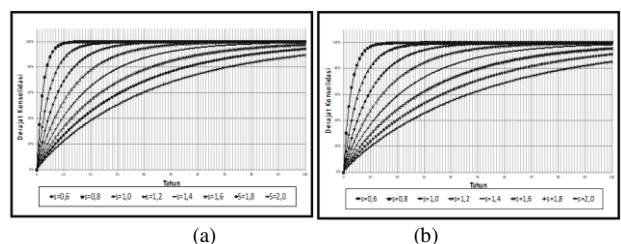
Perencanaan perkuatan dengan geotextile dilakukan pada timbunan di STA yang memiliki nilai SF di bawah SF_{rencana} = 1,2, untuk perhitungan jumlah kebutuhan

geotextile, nilai SF dicari sebanyak beberapa kali dengan program bantu Xstabl untuk kondisi Internal Stability (Table 8).

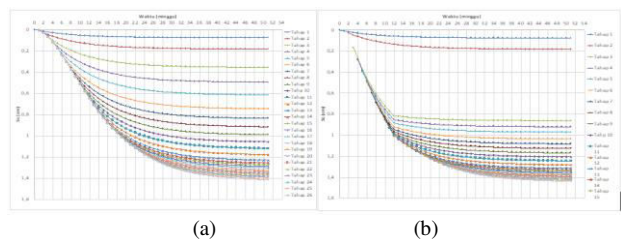
Harus diperhatikan bahwa setiap geotextile yang dipasang jumlah total dari M_{geotextile} (ΣM_{geotextile}) harus lebih besar dari ΔMR (ΣM_{geotextile} ≥ ΔMR).

Tabel 7. Rate Of Settlement Di Bawah Timbunan Tanah Sirtu STA 414+525

Derajat Konsolidasi U (%)	Faktor Waktu Tv	Tahun t (Tahun)	Pemampatan Sc (m)
0,00	0,000	0,00	0,00
10,00	0,008	1,03	0,17
20,00	0,031	4,13	0,35
30,00	0,071	9,30	0,52
40,00	0,126	16,53	0,70
50,00	0,196	25,83	0,87
60,00	0,283	37,20	1,05
70,00	0,403	53,00	1,22
80,00	0,567	74,61	1,39
90,00	0,848	111,56	1,57



Gambar 9. Hubungan Antara Derajat Konsolidasi (U) dan Waktu (t) Pada PVD (a) Pola Segitiga (b) Pola Segiempat.



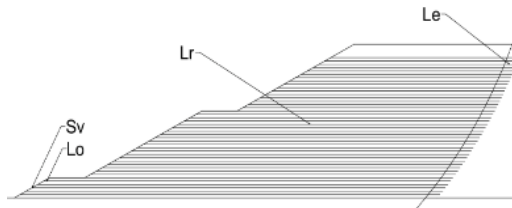
Gambar 11. Hubungan Antara Nilai Pemampatan (s) dan Waktu Pentahapan (t) Untuk timbunan 50% mortar busa 50% tanah sirtu STA 414 + 525 (a) Soil Preloading (b) Vacuum Preloading.

Tabel 8. Hasil Analisa dari Program Bantu Xstabl

No	SF (BISHOP)	Circle Center Coord.		Radius (m)	MR (kNm)
		x (m)	y (m)		
1	0,995	58,80	42,58	30,63	63290
2	1,000	58,97	43,41	31,32	65710
3	1,003	57,54	44,44	33,01	71850
4	1,006	57,03	46,79	36,27	86580
5	1,006	56,38	48,48	38,97	100300
6	1,006	56,43	48,57	39,08	100900
7	1,010	60,77	41,80	29,51	61770
8	1,011	54,94	50,09	41,05	10830
9	1,012	57,38	46,63	34,42	74030
10	1,013	59,67	41,03	28,18	54520

7. Perhitungan Biaya Material (Tabel 10-12)

Dari Tabel 10, Tabel 11 dan Tabel 12 didapatkan biaya total paling kecil pada timbunan menggunakan material Tanah Sirtu, Contohnya pada STA 414+525 variasi timbunan tanah sirtu sebesar Rp14.922.116.023,00, tetapi kebutuhan geotextile sebesar Rp4.671.855.000,00 dan PVD sebesar Rp25.305.499,00 membutuhkan biaya paling besar dari Variasi timbunan yang lain. Biaya tambahan untuk mempercepat waktu dengan vacuum preloading pada variasi tanah sirtu sebesar Rp126.432.000,00.



Gambar 12. Perencanaan Pemasangan Geotextile pada Variasi Timbunan Tanah Sirtu STA 414+525.

Tabel 8. Hasil Analisa dari Program Bantu Xstabl (lanjutan)

No`	SF Rencana	M dorong kNm	MR rencana kNm	ΔMR kNm
1	1,2	63608,04	76329,65	13039,65
2	1,2	65710,00	78852,00	13142,00
3	1,2	71635,09	85962,11	14112,11
4	1,2	86063,62	103276,34	16696,34
5	1,2	99701,79	119642,15	19342,15
6	1,2	100298,21	120357,85	19457,85
7	1,2	61158,42	73390,10	11620,10
8	1,2	10712,17	12854,60	2024,60
9	1,2	73152,17	87782,61	13752,61
10	1,2	53820,34	64584,40	10064,40

Tabel 9 Perhitungan Kebutuhan Jumlah Geotextile Timbunan Tanah Sirtu STA 414+525

Lapis	Sv m	Lo m	Le + Lr (m) satu sisi	1/2 Lebar Timbunan m
1	0,25	1,00	36,10	42,6
2	0,25	1,00	35,90	42,1
3	0,25	1,00	35,60	41,6
4	0,25	1,00	35,30	41,1
5	0,25	1,00	35,00	40,6
6	0,25	1,00	34,70	40,1
7	0,25	1,00	31,50	36,6
8	0,25	1,00	31,20	36,1
....
39	0,25	1,00	17,60	17,6
40	0,25	1,00	17,30	17,1
41	0,25	1,00	16,90	16,6
42	0,25	1,00	16,50	16,1
43	0,25	1,00	16,20	15,6

Tabel 9 Perhitungan Kebutuhan Jumlah Geotextile Timbunan Tanah Sirtu STA 414+525 (lanjutan)

Lapis	Pemasangan	L pemasangan m	Jumlah Geotextile	Kebutuhan Geotextile Total (m)
1	Dua kali L total	74,70	2	149,4
2	Dua kali L total	74,30	2	148,6
3	Dua kali L total	73,70	2	147,4
4	Dua kali L total	73,10	2	146,2
5	Dua kali L total	72,50	2	145,0
6	Dua kali L total	71,90	2	143,8
7	Dua kali L total	65,50	2	131,0
8	Dua kali L total	64,90	2	129,8
....
39	Dua kali L total	37,70	1	37,7
40	Selebar Timbunan	36,70	1	36,7
41	Selebar Timbunan	35,70	1	35,7
42	Selebar Timbunan	34,70	1	34,7
43	Selebar Timbunan	33,70	1	33,7
		Jumlah Geotextile		2955,0

Tabel 10. Rekapitulasi Biaya Material Geoteknik pada Variasi Timbunan STA 414+525

Variasi Timbunan	Biaya Meterial Timbunan	Biaya Material PVD
Timbunan Tanah Sirtu	Rp14.922.116.023	Rp425.305.499
Timbunan 25% Mortar Busa 75% Sirtu	Rp20.955.229.231	Rp422.613.576
Timbunan 50% Mortar Busa 50% Sirtu	Rp29.015.304.610	Rp419.440.985
Timbunan 75% Mortar Busa 25% Sirtu	Rp40.119.263.731	Rp416.119.047

Busa 25% Sirtu		
Timbunan Tanah Sirtu	Rp 4.671.855.000	Rp 274.914.000
Timbunan 25% Mortar Busa 75% Sirtu	Rp 3.038.682.000	Rp 273.159.000
Timbunan 50% Mortar Busa 50% Sirtu	Rp 916.980.000	Rp 271.134.000
Timbunan 75% Mortar Busa 25% Sirtu	Rp 0	Rp 269.001.000
Variasi Timbunan		Total Biaya
Timbunan Tanah Sirtu		Rp20.294.190.523
Timbunan 25% Mortar Busa 75% Sirtu		Rp24.689.683.807
Timbunan 50% Mortar Busa 50% Sirtu		Rp30.622.859.595
Timbunan 75% Mortar Busa 25% Sirtu		Rp40.804.383.777

Tabel 11. Rekapitulasi Biaya Material Geoteknik pada Variasi Timbunan STA 414+525 Menggunakan Vacuum Preloading

Variasi Timbunan	Biaya Meterial Timbunan	Biaya Material PVD
Timbunan Tanah Sirtu	Rp14.922.116.023	Rp425.305.499
Timbunan 25% Mortar Busa 75% Sirtu	Rp20.955.229.231	Rp422.613.576
Timbunan 50% Mortar Busa 50% Sirtu	Rp29.015.304.610	Rp419.440.985
Timbunan 75% Mortar Busa 25% Sirtu	Rp40.119.263.731	Rp416.119.047

Tabel 11. Rekapitulasi Biaya Material Geoteknik pada Variasi Timbunan STA 414+525 Menggunakan Vacuum Preloading (lanjutan)

Variasi Timbunan	Biaya Material Geotextile	Total Biaya PHD
Timbunan Tanah Sirtu	Rp4.671.855.000	Rp274.914.000
Timbunan 25% Mortar Busa 75% Sirtu	Rp3.038.682.000	Rp273.159.000
Timbunan 50% Mortar Busa 50% Sirtu	Rp916.980.000	Rp271.134.000
Timbunan 75% Mortar Busa 25% Sirtu	Rp0	Rp269.001.000

Tabel 11. Rekapitulasi Biaya Material Geoteknik pada Variasi Timbunan STA 414+525 Menggunakan Vacuum Preloading (lanjutan)

Variasi Timbunan	Biaya Pompa Vacuum
Timbunan Tanah Sirtu	Rp126.432.000
Timbunan 25% Mortar Busa 75% Sirtu	Rp124.632.000
Timbunan 50% Mortar Busa 50% Sirtu	Rp122.832.000
Timbunan 75% Mortar Busa 25% Sirtu	Rp121.032.000

Tabel 11. Rekapitulasi Biaya Material Geoteknik pada Variasi Timbunan STA 414+525 Menggunakan Vacuum Preloading (lanjutan)

Variasi Timbunan	Biaya Meterial Timbunan
Timbunan Tanah Sirtu	Rp20.420.622.523
Timbunan 25% Mortar Busa 75% Sirtu	Rp24.814.315.807
Timbunan 50% Mortar Busa 50% Sirtu	Rp30.745.691.595
Timbunan 75% Mortar Busa 25% Sirtu	Rp40.925.415.777

Tabel 12. Rekapitulasi Biaya Material Geoteknik pada Variasi Timbunan STA 424+576

Variasi Timbunan	Biaya Meterial Timbunan	Biaya Material PVD
Timbunan Tanah Sirtu	Rp5.952.630.436	Rp520.825.584
Timbunan 25% Mortar Busa 75% Sirtu	Rp9.281.278.259	Rp514.809.024
Timbunan 50% Mortar Busa 50% Sirtu	Rp12.747.419.227	Rp507.630.624
Timbunan 75% Mortar Busa 25% Sirtu	Rp16.224.391.113	Rp499.814.112

Tabel 12. Rekapitulasi Biaya Material Geoteknik pada Variasi Timbunan STA 424+576 (lanjutan)

Variasi Timbunan	Biaya Material Geotextile	Biaya Material PVD
Timbunan Tanah Sirtu	Rp0	Rp338.688.000
Timbunan 25% Mortar Busa 75% Sirtu	Rp0	Rp334.827.000
Timbunan 50% Mortar Busa 50% Sirtu	Rp0	Rp330.210.000
Timbunan 75% Mortar Busa 25% Sirtu	Rp0	Rp325.188.000

Tabel 12. Rekapitulasi Biaya Material Geoteknik pada Variasi Timbunan STA 424+576 (lanjutan)

Variasi Timbunan	Total Biaya
Timbunan Tanah Sirtu	Rp6.812.144.020
Timbunan 25% Mortar Busa 75% Sirtu	Rp10.130.914.283
Timbunan 50% Mortar Busa 50% Sirtu	Rp13.585.259.851
Timbunan 75% Mortar Busa 25% Sirtu	Rp17.049.393.225

KESIMPULAN

1. Dengan perhitungan *preloading* akibat beban q , didapatkan timbunan dengan variasi mortar busa memiliki nilai $H_{initial}$ lebih kecil daripada timbunan tanah sirtu dengan nilai H_{final} sama.

2. Timbunan mortar busa memiliki berat jenis yang lebih ringan daripada timbunan tanah sirtu, dari hasil perhitungan nilai pemampatan (Sc) pada timbunan mortar busa lebih kecil daripada timbunan tanah sirtu.

3. Timbunan mortar busa cenderung memiliki stabilitas yang lebih tinggi karena memiliki nilai *Safety Factor* (SF) yang lebih tinggi dari timbunan tanah sirtu. Kebutuhan perkuatan tanah dengan geotextile membutuhkan jumlah lebih sedikit dan lama waktu untuk pelaksanaan penimbunan dengan penggunaan PVD maupun vacuum preloading lebih cepat daripada timbunan tanah sirtu.

4. Berdasarkan perhitungan waktu dan biaya material geoteknik yang telah dilakukan antara variasi timbunan dengan material tanah sirtu dan material mortar busa, dapat diketahui bahwa :

- Timbunan dengan material mortar busa memiliki harga material jauh lebih mahal daripada tanah sirtu.
- Biaya akan perkuatan timbunan dengan variasi material mortar busa memerlukan *geotextile* lebih kecil dan cenderung tidak memerlukan perkuatan karena nilai SF lebih tinggi dari $SF_{rencana}$
- Timbunan dengan variasi mortar busa memiliki waktu penimbunan yang lebih cepat daripada hanya menggunakan timbunan tanah sirtu karena memiliki $h_{initial}$ dan nilai Sc yang lebih kecil.
- Penggunaan vacuum preloading mempercepat

pemampatan yang terjadi sekitar 4-7 minggu pada variasi timbunan STA 414+525 tetapi ada biaya tambahan untuk pompa vacuum dan biaya operasional.

Dari hasil analisa yang sudah dilakukan timbunan tanah sirtu menjadi alternatif yang paling ekonomis dan variasi timbunan 75% mortar busa 25% tanah sirtu menjadi alternatif timbunan dengan stabilitas yang paling tinggi, apabila mempertimbangkan biaya dan stabilitas dapat menggunakan alternatif 25% mortar busa 75% tanah sirtu.

Saran

1. Jika ingin melakukan perencanaan timbunan jalan tol dengan memakai material ringan mortar busa, sebaiknya perlu diperhatikan faktor dana yang dimiliki karena walaupun timbunan dengan material mortar busa lebih stabil, harga materialnya jauh lebih mahal daripada material tanah sirtu.

2. Sebaiknya pemilihan perencanaan timbunan jalan tol dengan memakai material ringan mortar busa digunakan apabila di lokasi proyek sulit untuk mendatangkan material sirtu maka dapat di alternatifkan menggunakan material mortar busa.

3. Alangkah baiknya perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai optimasi harga serta penggunaan material mortar busa di berbagai jenis proyek dan lokasi.

DAFTAR PUSTAKA

- M. Das, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga, 1995.
- I. B. Mochtar, *Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils)*. Surabaya, 2000.
- M. Iqbal, "Kajian Penanganan Tanah Lunak Dengan Timbunan Jalan Mortar Busa - PDF," 2012. [Online]. Available: <http://docplayer.info/79044475-Kajian-penanganan-tanah-lunak-dengan-timbunan-jalan-mortar-busa.html>. [Accessed: 20-Mar-2019].
- Sven Hansbo, "Consolidation Of Clay By Band-Shaped Prefabricated Drains.," *Gr. Eng.*, vol. 12, no. 5, pp. 21–25, 1979.