

# Perencanaan Timbunan dan Perbaikan Tanah Dasar pada Proyek Jalan Tol Balikpapan – Samarinda STA 9+550 s/d STA 9+850

Savira Sanya Kirana Aswanda, Suwarno, dan Putu Tantri Kumala Sari  
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
*e-mail*: soewarno@ce.its.ac.id

**Abstrak**—Demi mewujudkan perkembangan ekonomi, Pemerintah Indonesia membangun jalan tol Balikpapan – Samarinda sepanjang 97,99 km. Tanah dasar pada lokasi proyek jalan tol Balikpapan – Samarinda tersebut cenderung merupakan tanah keras. Namun, pada lokasi tertentu terdapat tanah lunak dengan kedalaman yang cukup dalam mencapai 22,5 m s/d 24 m yaitu pada STA 9+550 s/d STA 9+850. Pada STA 9+550 s/d STA 9+850 ini akan dilakukan pekerjaan penimbunan jalan dengan ketinggian timbunan 5 – 8 m. Dalam tugas akhir ini direncanakan dua alternatif material timbunan, yaitu material tanah dan material EPS *geofoam*. Untuk timbunan tanah dilakukan perbaikan tanah dengan metode *preloading* yang dikombinasikan dengan PVD. Pada timbunan tanah juga diperlukan perkuatan agar timbunan tidak mengalami kelongsoran. Terdapat dua alternatif perkuatan yang digunakan pada tugas akhir ini, yaitu *geotextile* dan *micropile*. Dari hasil analisis dapat diketahui kebutuhan setiap material sehingga dapat dihitung total biaya untuk setiap alternatif. Kemudian dapat dipilih alternatif yang paling ekonomis yaitu alternatif timbunan tanah yang dikombinasikan dengan PVD dengan digunakan perkuatan tanah *geotextile*.

**Kata Kunci**—EPS *Geofoam*, *Geotextile*, Jalan Tol Balikpapan-Samarinda, *Micropile*, PVD

## I. PENDAHULUAN

DEMI meningkatkan kelancaran mobilisasi barang dan jasa dalam rangka mewujudkan pertumbuhan ekonomi, Pemerintah Indonesia melaksanakan pembangunan infrastruktur jalan tol yang menghubungkan kota Balikpapan dan Samarinda sepanjang 97,99 km. Gambar 1 menunjukkan lokasi jalan tol Balikpapan-Samarinda. Dengan adanya jalan tol ini waktu tempuh yang dibutuhkan antara Balikpapan dan Samarinda menjadi lebih singkat dari

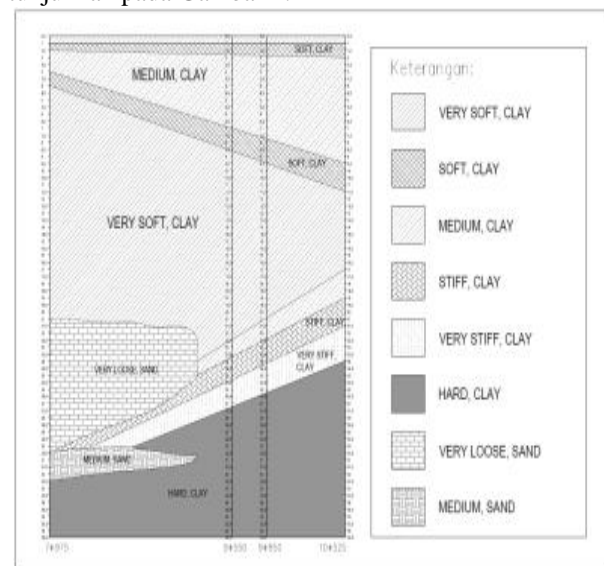


(Sumber: <https://www.google.com/maps>)

Gambar 1. Lokasi Jalan Tol Balikpapan – Samarinda.

sebelumnya 3 (tiga) jam menjadi hanya 1 (satu) jam.

Pembangunan jalan tol Balikpapan – Samarinda ruas Palaran – Samarinda berada di lokasi dengan kondisi tanah yang bervariasi. Di beberapa tempat tanah dasarnya bersifat keras, namun di beberapa tempat juga terdapat tanah dasar yang bersifat lempung lunak dengan kedalaman yang cukup dalam seperti pada STA 9+550 s/d STA 9+850 dengan kedalaman tanah lunak hingga 22,5 – 24 meter seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Stratigrafi Tanah Dasar Jalan Tol Balikpapan – Samarinda.

Pada STA 9+550 s/d STA 9+850 akan dilakukan pekerjaan penimbunan dengan tinggi timbunan berkisar dari 5 – 8 m. Terdapat dua alternatif material timbunan yang direncanakan, yaitu material tanah dan EPS *geofoam*. EPS *geofoam* dipilih karena sangat ringan dengan berat jenis 10-100 kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan timbunan tanah merupakan material yang sudah umum digunakan di Indonesia, namun timbunan tanah memiliki berat jenis yang besar yang akan mengakibatkan pemampatan yang besar pula apabila ketinggian timbunan mencapai 8 m pada lapisan tanah lunak yang dalam. Pemampatan yang besar dan lama dikhawatirkan akan menyebabkan terjadi *differential settlement* yang dapat menyebabkan kerusakan pada jalan tol. Oleh karena itu, akan dilakukan pemasangan PVD guna menghilangkan pemampatan dengan cara mempercepat waktu pemampatan.

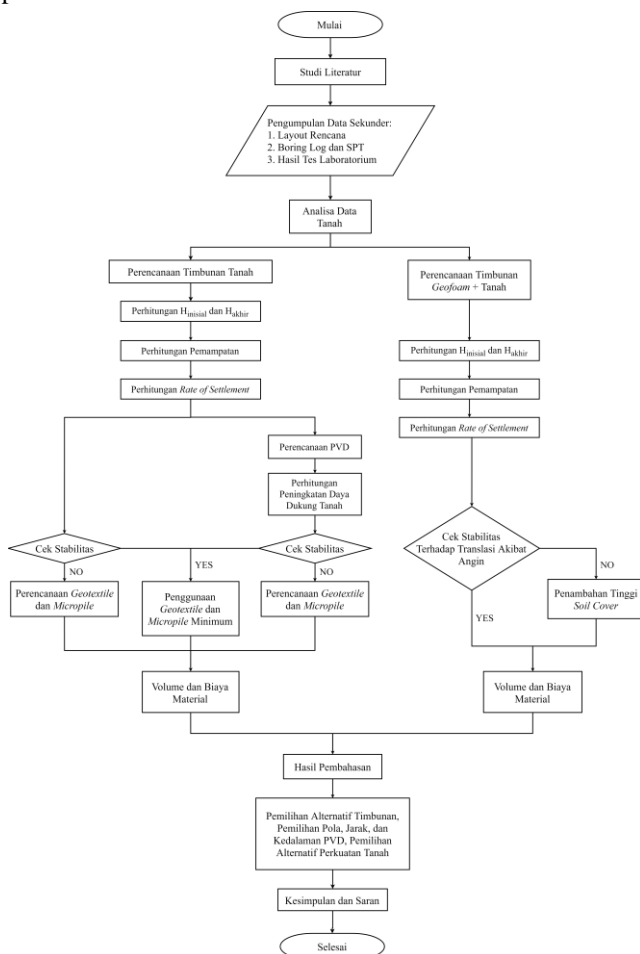
Beban timbunan tanah yang besar dikhawatirkan juga akan mengakibatkan tanah dasar di bawahnya tidak kuat menahan beban timbunan. Oleh karena itu, perlu direncanakan perkuatan tanah guna menghindari terjadinya kelongsoran. Perkuatan yang direncanakan ialah metode *micropile* dan *geotextile*.

Tabel 1.  
Parameter Tanah Dasar STA 9+550 s/d STA 9+850

Kedalaman (m)	Konsistensi	Gs	$\gamma$ (gr/c m <sup>3</sup> )	$e_o$ (%)	$w_c$ (%)	c (kg /cm <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	Cc	Cv (cm <sup>2</sup> /dt)	Cs	LL (%)	PI (%)
0-1	V Soft	2,460	1,520	1,540	56,95	0,018	2,55	0,3	0,0041	0,070	103,6	61,548
1-1,5	Soft	2,450	1,587	1,409	56,05	0,027	2,08	0,3	0,0041	0,069	105,8	63,236
1,5-4	Medium	2,680	1,670	1,376	48,04	0,044	3,68	0,2	0,0041	0,058	80,46	40,121
4-7	Medium	2,654	1,660	1,438	52,50	0,053	2,86	0,3	0,0041	0,064	90,45	46,825
7-8,5	Soft	2,450	1,587	1,409	56,05	0,027	2,08	0,3	0,0041	0,069	105,8	63,236
8,5-19,5	V Soft	2,460	1,520	1,540	56,95	0,018	2,55	0,3	0,0041	0,070	103,6	61,548
19,5-24	Medium	2,560	1,602	1,411	50,87	0,071	2,64	0,3	0,0041	0,062	84,15	62,295
24-25,5	Stiff	2,648	1,650	1,376	48,06	0,089	3,85	0,2	0,0041	0,058	79,15	38,451
25,5-27,5	V Stiff	2,668	1,750	1,211	45,05	0,222	5,96	0,2	0,0042	0,053	76,48	55,444
27,5-36,45	Hard	2,678	1,905	0,853	31,84	0,512	7,43	-	0,0042	-	46,07	19,553

II. METODOLOGI

Metodologi perencanaan Tugas Akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan Alir Perencanaan.

III. HASIL ANALISIS

A. Analisis Data Tanah Dasar dan Timbunan

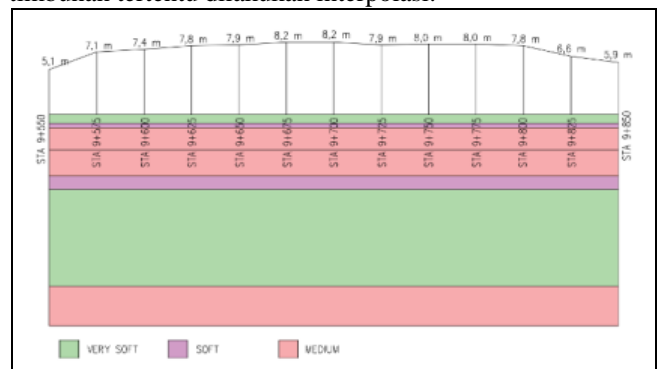
Data tanah diketahui pada STA 7+975 dan STA 10+525,

sehingga untuk mengetahui jenis tanah pada STA 9+550 s/d STA 9+850 perlu dibuat stratigrafi berdasarkan konsistensi tanah dasar hasil korelasi nilai N-SPT [1]. Hasil stratigrafi tanah dasar pada Gambar 2 menunjukkan kedalaman tanah lunak pada STA 9+550 s/d STA 9+850 adalah 24 m.

Setelah diketahui konsistensi tanah dasar berdasarkan stratigrafi pada Gambar 2, kemudian dilakukan korelasi nilai parameter untuk mendapat parameter tanah dasar pada STA yang ditinjau.

Nilai parameter tanah dasar diketahui pada STA 7+975 terdapat lapisan tanah pasir dan pada STA 10+525 seluruh lapisan tanahnya bersifat lempung. Berdasarkan Gambar 4 diketahui bahwa tanah dasar pada STA 9+550 s/d STA 9+850 seluruhnya bersifat lempung, sehingga digunakan nilai parameter pada STA 7+975 dan hasil korelasi nilai parameter dapat dilihat pada Tabel 1.

Terdapat 13 STA ditinjau dengan ketinggian timbunan yang berbeda-beda seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Oleh karena itu, perhitungan dilakukan dengan menggunakan tinggi timbunan acuan 5 m, 6 m, 7 m, 8 m, dan 9 m. Kemudian untuk menentukan perencanaan pada tinggi timbunan tertentu dilakukan interpolasi.



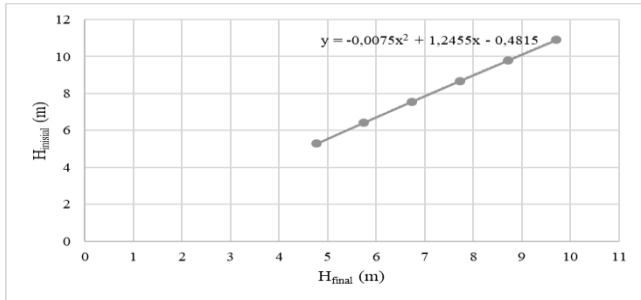
Gambar 4. Tinggi Timbunan dan Lapisan Tanah Lunak pada STA 9+550 s/d STA 9+850.

B. Perhitungan Pemampatan dan Tinggi Awal Timbunan Tanah

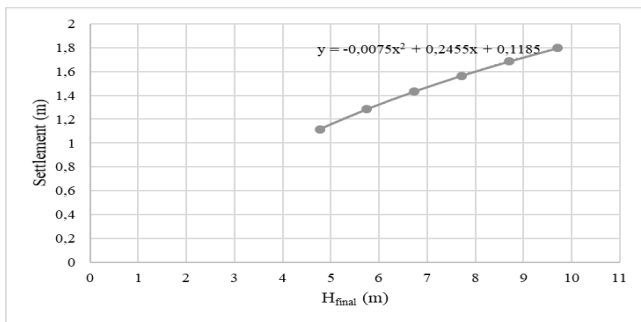
Untuk menghasilkan tinggi timbunan yang direncanakan dengan mempertimbangkan pemampatan yang terjadi akibat

beban timbunan tanah, maka diperlukan adanya tinggi timbunan awal yang lebih tinggi dari tinggi timbunan rencana.

Perhitungan besar pemampatan dan tinggi timbunan awal timbunan dilakukan dengan cara mengasumsi varian beban timbunan (q) sebesar 9 t/m<sup>2</sup>, 11 t/m<sup>2</sup>, 13 t/m<sup>2</sup>, 15 t/m<sup>2</sup>, 17 t/m<sup>2</sup>, 19 t/m<sup>2</sup> [2]. Perhitungan besar pemampatan dan tinggi timbunan awal menghasilkan kurva hubungan antara H<sub>final</sub> vs H<sub>inisial</sub> dan H<sub>final</sub> vs Settlement yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Kurva Hubungan H<sub>final</sub> dan H<sub>inisial</sub>.



Gambar 6. Kurva Hubungan H<sub>final</sub> dan Settlement.

Kemudian dapat dihitung tinggi timbunan awal dan besar pemampatan untuk masing-masing tinggi timbunan rencana dengan menggunakan persamaan hasil regresi polinomial pada Gambar 5 dan Gambar 6. Hasil perhitungan besar pemampatan dan tinggi timbunan awal untuk setiap STA dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.

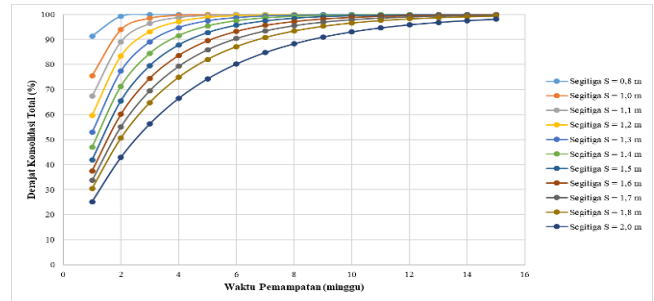
H<sub>inisial</sub> dan Sc Timbunan Tanah untuk Setiap STA

STA	Tanah Lunak	H <sub>final</sub>	H <sub>inisial</sub>	Sc	Beban Timbunan
	m	m	m	m	t/m <sup>2</sup>
STA 9+550	24	5,1	5,7	1,18	10,78
STA 9+575	24	7,1	8,0	1,48	15,17
STA 9+600	24	7,4	8,3	1,52	15,82
STA 9+625	24	7,8	8,8	1,58	16,68
STA 9+650	24	7,9	8,9	1,59	16,89
STA 9+675	24	8,2	9,2	1,63	17,53
STA 9+700	24	8,2	9,2	1,63	17,53
STA 9+725	24	7,9	8,9	1,59	16,89
STA 9+750	24	8,0	9,0	1,60	17,10
STA 9+775	24	8,0	9,0	1,60	17,10
STA 9+800	24	7,8	8,8	1,58	16,68
STA 9+825	24	6,6	7,4	1,41	14,08
STA 9+850	24	5,9	6,6	1,31	12,55

C. Perencanaan Prefabricated Vertical Drain (PVD)

PVD yang digunakan merupakan produk dengan tipe CeTeau-Drain CT-D832 dari PT. TEKNINDO GEOSISTEM UNGGUL. PVD direncanakan dengan pemasangan pola segitiga dan pola segiempat dengan jarak pemasangan 0,8 m; 1 m; 1,1 m; 1,2 m; 1,3 m; 1,4 m; 1,5 m; 1,6 m; 1,7 m; 1,8 m; dan 2 m. PVD yang direncanakan

memiliki variasi panjang sedalam lapisan tanah lunak, ¼ lapisan tanah lunak, dan 2/3 lapisan tanah lunak. PVD direncanakan dengan menghitung derajat konsolidasi total dari derajat konsolidasi vertikal dan horizontal [3]. Hasil perencanaan berupa kurva hubungan derajat konsolidasi total dan waktu pemampatan. Contoh kurva untuk PVD pola segitiga sedalam 2/3 lapisan tanah lunak dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva Hubungan Derajat Konsolidasi Total dan Waktu Pemampatan PVD 16 m Pola Segitiga.

Untuk PVD yang dipasang tidak sedalam tanah lunak maka masih akan terjadi penurunan pada lapisan tanah lunak yang tidak terdapat PVD. Oleh karena itu perlu dihitung *rate of settlement* dari sisa penurunan yang terjadi dan hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3.

Sisa Rate of Settlement Tanah Dasar dengan PVD Sedalam 2/3 Lapisan Tanah Lunak

H <sub>final</sub> (m)	5	6	7	8	9
Sc Sisa (cm)	18,86	22,62	26,08	29,24	32,10
Tahun ke-	Rate of Settlement (cm)				
1	3,22	3,86	4,45	4,99	5,48
2	1,33	1,60	1,84	2,07	2,27
3	1,02	1,23	1,41	1,59	1,74
4	0,86	1,03	1,19	1,34	1,47
5	0,76	0,91	1,05	1,18	1,29
6	0,69	0,82	0,95	1,06	1,17
7	0,63	0,76	0,87	0,98	1,07
8	0,59	0,71	0,81	0,91	1,00
9	0,55	0,66	0,76	0,86	0,94
10	0,52	0,63	0,72	0,81	0,89
11	0,50	0,60	0,69	0,77	0,85
12	0,47	0,57	0,66	0,74	0,81
13	0,37	0,44	0,51	0,57	0,63
14	0,40	0,48	0,56	0,62	0,69
15	0,38	0,46	0,53	0,59	0,65
16	0,36	0,43	0,50	0,56	0,61
17	0,34	0,41	0,47	0,53	0,58
18	0,32	0,39	0,44	0,50	0,55
19	0,30	0,36	0,42	0,47	0,52
20	0,29	0,34	0,40	0,45	0,49

Tabel 4.

Sisa Rate of Settlement Tanah Dasar dengan PVD Sedalam ¼ Lapisan Tanah Lunak

H <sub>final</sub> (m)	5	6	7	8	9
Sc Sisa (cm)	12,52	15,08	17,44	19,60	21,56
Tahun ke-	Rate of Settlement (cm)				
1	2,14	2,57	2,98	3,34	3,68
2	0,88	1,07	1,23	1,39	1,52
3	0,68	0,82	0,95	1,06	1,17
4	0,57	0,69	0,80	0,90	0,99
5	0,50	0,61	0,70	0,79	0,87
6	0,46	0,55	0,64	0,71	0,79
7	0,42	0,50	0,58	0,66	0,72
8	0,39	0,47	0,54	0,61	0,67
9	0,37	0,44	0,51	0,57	0,63
10	0,35	0,42	0,48	0,54	0,60
11	0,33	0,40	0,46	0,52	0,57
12	0,32	0,38	0,44	0,49	0,54
13	0,25	0,30	0,34	0,38	0,42
14	0,27	0,32	0,37	0,42	0,46
15	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44
16	0,24	0,29	0,33	0,37	0,41
17	0,23	0,27	0,31	0,35	0,39
18	0,21	0,26	0,30	0,33	0,37
19	0,20	0,24	0,28	0,32	0,35
20	0,19	0,23	0,27	0,30	0,33

Nilai *rate of settlement* pada tahun pertama masih >2,5 cm/tahun. Namun, hal tersebut tidak menjadi masalah

dikarenakan tahun pertama masih merupakan masa konstruksi.

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 kemudian dapat dipilih PVD sedalam 2/3 lapisan tanah lunak dengan jarak pemasangan 1,8 m. Sedangkan pola pemasangan yang dipilih adalah pola segitiga dikarenakan memiliki pengaruh konsolidasi yang lebih efektif.

**D. Peningkatan Daya Dukung Tanah Dasar**

Akibat pemasangan PVD dan penimbunan akan menyebabkan terjadinya peningkatan daya dukung tanah yang ditandai oleh peningkatan nilai Cu tanah dasar [3]. Contoh hasil perhitungan peningkatan nilai Cu akibat timbunan dengan tinggi rencana 5 m dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perubahan Nilai Cu Akibat Timbunan 5 m

Kedalaman (m)	PI (%)	Cu Lama kg/cm <sup>2</sup>	Cu Baru kg/cm <sup>2</sup>	Cu Transisi kg/cm <sup>2</sup>
0 - 1	61,55	0,018	0,165	0,091
1 - 1,5	63,24	0,027	0,166	0,097
1,5 - 4	40,12	0,044	0,215	0,130
4 - 7	40,12	0,053	0,232	0,142
7 - 8,5	46,83	0,027	0,236	0,132
8,5 - 19,5	46,83	0,018	0,232	0,125
19,5 - 24	61,55	0,071	0,247	0,159

Tabel 6. Perubahan Nilai Cu Akibat Timbunan 6 m

Kedalaman (m)	PI (%)	Cu Lama kg/cm <sup>2</sup>	Cu Baru kg/cm <sup>2</sup>	Cu Transisi kg/cm <sup>2</sup>
0 - 1	61,55	0,018	0,171	0,095
1 - 1,5	63,24	0,027	0,172	0,100
1,5 - 4	40,12	0,044	0,224	0,134
4 - 7	40,12	0,053	0,240	0,146
7 - 8,5	46,83	0,027	0,244	0,135
8,5 - 19,5	46,83	0,018	0,238	0,128
19,5 - 24	61,55	0,071	0,253	0,162

Tabel 7. Perubahan Nilai Cu Akibat Timbunan 7 m

Kedalaman (m)	PI (%)	Cu Lama kg/cm <sup>2</sup>	Cu Baru kg/cm <sup>2</sup>	Cu Transisi kg/cm <sup>2</sup>
0 - 1	61,55	0,018	0,176	0,097
1 - 1,5	63,24	0,027	0,177	0,102
1,5 - 4	40,12	0,044	0,231	0,137
4 - 7	40,12	0,053	0,247	0,150
7 - 8,5	46,83	0,027	0,251	0,139
8,5 - 19,5	46,83	0,018	0,244	0,131
19,5 - 24	61,55	0,071	0,259	0,165

Tabel 8. Perubahan Nilai Cu Akibat Timbunan 8 m

Kedalaman (m)	PI (%)	Cu Lama kg/cm <sup>2</sup>	Cu Baru kg/cm <sup>2</sup>	Cu Transisi kg/cm <sup>2</sup>
0 - 1	61,55	0,018	0,186	0,102
1 - 1,5	63,24	0,027	0,187	0,107
1,5 - 4	40,12	0,044	0,245	0,144
4 - 7	40,12	0,053	0,260	0,157
7 - 8,5	46,83	0,027	0,263	0,145
8,5 - 19,5	46,83	0,018	0,255	0,136
19,5 - 24	61,55	0,071	0,268	0,170

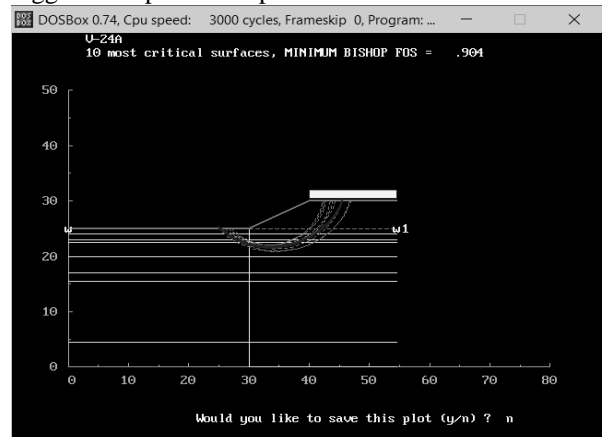
Tabel 9. Perubahan Nilai Cu Akibat Timbunan 9 m

Kedalaman (m)	PI (%)	Cu Lama kg/cm <sup>2</sup>	Cu Baru kg/cm <sup>2</sup>	Cu Transisi kg/cm <sup>2</sup>
0 - 1	61,55	0,018	0,190	0,104
1 - 1,5	63,24	0,027	0,191	0,109
1,5 - 4	40,12	0,044	0,250	0,147
4 - 7	40,12	0,053	0,266	0,160
7 - 8,5	46,83	0,027	0,269	0,148
8,5 - 19,5	46,83	0,018	0,261	0,139
19,5 - 24	61,55	0,071	0,274	0,173

**E. Perencanaan Perkuatan Geotextile**

Geotextile yang digunakan adalah Polypropylene Woven Geotextiles tipe UW-250 dari PT. TEKNINDO GEOSISTEM UNGGUL dengan kekuatan tarik sebesar 52 kN/m. Geotextile direncanakan dengan nilai safety factor (SF) = 1,3 dan dipasang dengan jarak tiap layer sebesar 0,2 m.

Perencanaan geotextile terlebih dahulu dilakukan analisis bidang longsor menggunakan program bantu XSTABL sebanyak 5 bidang longsor untuk masing-masing tinggi timbunan. Contoh analisis bidang longsor pada timbunan setinggi 5 m dapat dilihat pada Gambar 8 dan Tabel 10.



Gambar 8. Hasil Analisis Bidang Longsor Ke-1 Timbunan 5 m pada Program Bantu XSTABL.

Tabel 10. Hasil Analisis Bidang Longsor Timbunan 5 m

No.	SF	x <sub>o</sub>	y <sub>o</sub>	R (m)	x <sub>A</sub>	x <sub>B</sub>	M <sub>res</sub> (kNm)	x <sub>c</sub>	y <sub>c</sub>
1	0,904	33,65	33,87	12,39	25,00	45,41	4988	45,41	21,48
2	0,926	33,60	30,98	8,66	27,33	42,19	2454	42,19	22,32
3	0,981	35,51	31,68	9,88	28,22	45,24	3753	45,24	21,80
4	0,886	33,21	32,96	10,45	26,44	43,22	3122	43,22	22,51
5	0,892	33,65	32,95	10,43	26,89	43,64	3224	43,64	22,52

Tabel 11. Hasil Analisis Bidang Longsor Timbunan 6 m

No.	SF	x <sub>o</sub>	y <sub>o</sub>	R (m)	x <sub>A</sub>	x <sub>B</sub>	M <sub>res</sub> (kNm)	x <sub>c</sub>	y <sub>c</sub>
1	0,872	33,51	33,18	11,59	25,00	44,94	4874	44,94	21,59
2	0,863	35,27	34,96	14,10	25,00	48,88	7760	48,88	20,86
3	0,884	34,89	33,16	11,54	26,44	46,28	5239	46,28	21,62
4	0,923	36,83	36,47	16,19	25,11	52,16	10880	52,16	20,28
5	0,983	38,18	37,85	18,11	25,11	55,06	14140	55,06	19,74

Tabel 12. Hasil Analisis Bidang Longsor Timbunan 7 m

No.	SF	x <sub>o</sub>	y <sub>o</sub>	R (m)	x <sub>A</sub>	x <sub>B</sub>	M <sub>res</sub> (kNm)	x <sub>c</sub>	y <sub>c</sub>
1	0,853	34,41	34,10	12,67	25,11	46,96	6567	46,96	21,43
2	0,829	35,65	35,54	14,64	25,00	49,96	9119	49,96	20,90
3	0,983	39,22	36,06	15,32	28,11	54,12	11800	54,12	20,74
4	0,964	39,22	36,85	16,43	27,33	55,06	13310	55,06	20,42
5	0,985	39,70	37,34	17,12	27,33	56,11	14600	56,11	20,22

Tabel 13. Hasil Analisis Bidang Longsor Timbunan 8 m

No.	SF	x <sub>o</sub>	y <sub>o</sub>	R (m)	x <sub>A</sub>	x <sub>B</sub>	M <sub>res</sub> (kNm)	x <sub>c</sub>	y <sub>c</sub>
1	0,855	34,72	34,70	13,31	25,00	47,98	7797	47,98	21,39
2	0,829	35,56	35,55	14,51	25,00	49,93	9651	49,93	21,04
3	0,851	38,31	37,32	16,99	26,00	54,88	14470	54,88	20,33
4	0,948	40,10	36,94	16,42	28,22	56,16	14770	56,16	20,22
5	0,994	39,30	35,22	14,01	29,11	53,21	11300	53,21	21,21

Tabel 14. Hasil Analisis Bidang Longsor Timbunan 9 m

No.	SF	x <sub>o</sub>	y <sub>o</sub>	R (m)	x <sub>A</sub>	x <sub>B</sub>	M <sub>res</sub> (kNm)	x <sub>c</sub>	y <sub>c</sub>
1	0,820	39,12	38,24	18,15	26,00	56,91	17670	56,91	20,09
2	0,846	39,00	36,94	16,28	27,22	55,11	14550	55,11	20,66
3	0,893	40,71	37,82	17,56	28,00	57,98	17860	57,98	20,26
4	0,906	40,90	37,85	17,56	28,22	58,16	18020	58,16	20,29
5	0,991	41,81	37,88	17,60	29,11	59,11	19460	59,11	20,28

Dari kelima bidang longsor kemudian dipilih kebutuhan *geotextile* yang paling banyak untuk setiap tinggi acuan timbunan. Setelah itu dilakukan interpolasi untuk mendapatkan kebutuhan *geotextile* setiap STA seperti dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15.  
Hasil Perhitungan Kebutuhan *Geotextile* Setiap STA

STA	H <sub>final</sub> (m)	Panjang Geotextile (m)	Jumlah Layer (layer)	Jumlah Geotextile Setiap Layer (buah)
STA 9+550	5,1	19	12	2
STA 9+575	7,1	23	26	2
STA 9+600	7,4	24	28	2
STA 9+625	7,8	26	31	2
STA 9+650	7,9	26	32	2
STA 9+675	8,2	26	33	2
STA 9+700	8,2	26	33	2
STA 9+725	7,9	26	32	2
STA 9+750	8,0	26	32	2
STA 9+775	8,0	26	32	2
STA 9+800	7,8	26	31	2
STA 9+825	6,6	24	21	2
STA 9+850	5,9	27	15	2

F. Perencanaan Perkuatan Micropile

*Micropile* yang digunakan ialah jenis *Circle Spun Piles* dari PT. Wijaya Karya Beton Tbk dengan data perencanaan sebagai berikut.

- Jenis *Micropile* : *Circle Spun Piles*
- Tipe *Micropile*: D-300 Kelas C
- D = 300 mm
- f'c = 52 MPa
- t = 60 mm
- M<sub>cr</sub> = 4 t.m
- M<sub>break</sub> = 8 t.m
- I = 34.607,78 cm<sup>4</sup>
- E = 338.921,82 kg/cm<sup>2</sup>

Dalam perencanaan *micropile* diperlukan analisis bidang longsor untuk SF rencana 1,2 dengan hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16.  
Hasil Analisis Bidang Longsor SF Rencana = 1,2

No.	SF	x <sub>o</sub>	y <sub>o</sub>	R m	x <sub>A</sub>	x <sub>B</sub>	M <sub>res</sub> kNm	x <sub>d</sub>	y <sub>d</sub>
1	1,206	40,09	35,73	15,14	29,11	54,53	11230	54,53	20,59

Perencanaan panjang dan jumlah *micropile* dilakukan untuk kelima bidang longsor setiap tinggi timbunan acuan kemudian dipilih kebutuhan *micropile* yang terbanyak. Setelah diketahui kebutuhan *micropile* untuk setiap tinggi acuan kemudian dilakukan interpolasi untuk menentukan kebutuhan *micropile* setiap STA. Hasil perhitungan kebutuhan *micropile* setiap STA ditunjukkan pada Tabel 17.

Tabel 17.  
Hasil Perhitungan Kebutuhan *Micropile* Setiap STA

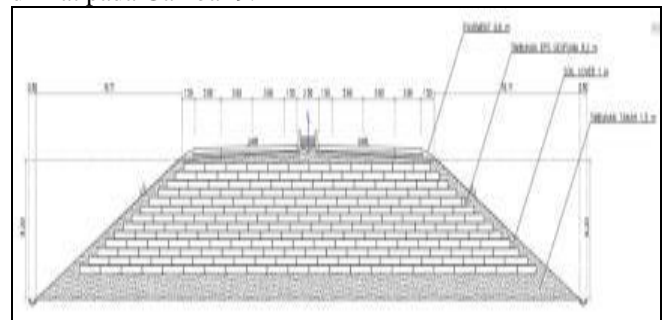
STA	H <sub>final</sub> (m)	Panjang <i>Micropile</i> (m)	Jumlah <i>Micropile</i> (buah)
STA 9+550	5,1	6	14
STA 9+575	7,1	6	27
STA 9+600	7,4	6	27
STA 9+625	7,8	6	28
STA 9+650	7,9	6	28
STA 9+675	8,2	6	29
STA 9+700	8,2	6	29
STA 9+725	7,9	6	28
STA 9+750	8,0	6	28
STA 9+775	8,0	6	28
STA 9+800	7,8	6	28
STA 9+825	6,6	6	30
STA 9+850	5,9	6	29

G. Perencanaan Pemampatan dan Tinggi Awal Timbunan EPS *Geofoam*

Material EPS *geofoam* yang digunakan adalah tipe EPS15 dari *Foam-Control Geofoam* dengan data perencanaan sebagai berikut.

- Tipe *geofoam* = EPS15
- Berat jenis = 0,0144 t/m<sup>3</sup>
- *Flexural Strength Max* = 172 kPa
- Soil Cover Rencana = 0,5 m

Dikarenakan materialnya yang sangat ringan maka diberikan material tanah di bawah EPS *geofoam* setinggi muka air banjir agar tidak terjadi *hydrostatic uplift* dan translasi akibat air banjir dan di atas EPS *geofoam* sebagai pemberat. Sehingga, analisis stabilitas yang dilakukan hanya *slope stability* dan stabilitas terhadap translasi akibat angin. Contoh gambar perencanaan timbunan EPS *geofoam* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Perencanaan Timbunan EPS *Geofoam*.

Dikarenakan terdapat material tanah pada timbunan perlu diperhitungkan besar pemampatan dan tinggi awal EPS *geofoam* dengan langkah perhitungan sama seperti perhitungan untuk timbunan tanah. Hasil perhitungan pemampatan dan tinggi awal timbunan EPS *geofoam* ditunjukkan pada Tabel 18.

Tabel 18.  
H<sub>inisial</sub> dan S<sub>c</sub> Timbunan EPS *Geofoam* untuk Setiap STA

STA	Tanah Lunak m	H <sub>final</sub> m	H <sub>inisial</sub> m	S <sub>c</sub> m
STA 9+550	24	5,1	5,0	0,527
STA 9+575	24	7,1	7,0	0,535
STA 9+600	24	7,4	7,3	0,536
STA 9+625	24	7,8	7,7	0,538
STA 9+650	24	7,9	7,8	0,538
STA 9+675	24	8,2	8,1	0,539
STA 9+700	24	8,2	8,1	0,539
STA 9+725	24	7,9	7,8	0,538
STA 9+750	24	8,0	7,9	0,538
STA 9+775	24	8,0	7,9	0,538
STA 9+800	24	7,8	7,7	0,538
STA 9+825	24	6,6	6,5	0,534
STA 9+850	24	5,9	5,8	0,531

Dapat dilihat pada Tabel 18 bahwa tinggi awal timbunan lebih kecil dibandingkan dengan tinggi rencana timbunan. Oleh karena itu, untuk perencanaan timbunan EPS *geofoam* tidak diperlukan adanya tinggi awal timbunan.

H. Analisis *Slope Stability* Timbunan EPS *Geofoam*

Analisis *slope stability* timbunan EPS *geofoam* dilakukan dengan menggunakan program bantu GEO5. Hasil analisis *slope stability* pada tinggi timbunan tertinggi 9 m menghasilkan nilai SF yang masih memenuhi sebesar 1,94 seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil Analisis Slope Stability Timbunan EPS Geofam.

I. Analisis Stabilitas Timbunan EPS Geofam Terhadap Translasi Akibat Angin

Timbunan EPS geofam direncanakan dengan digunakan soil cover 0,5 m sebagai pemberat dan sebagai pelindung material EPS geofam dari sinar ultraviolet. Analisis stabilitas terhadap translasi akibat angin harus memenuhi persamaan gaya overburden yang dibutuhkan agar timbunan aman [4]. Hasil analisis stabilitas terhadap translasi akibat angin pada timbunan 9 m dihasilkan bahwa timbunan mampu menahan angin hingga kecepatan 35 km/jam.

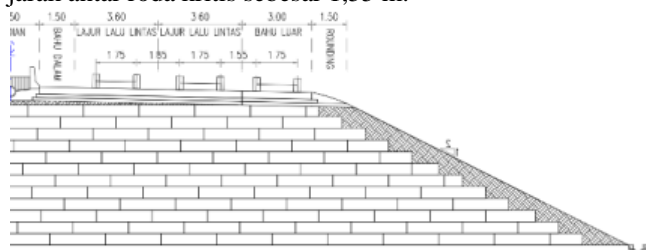
Tabel 19. Hasil Perhitungan Stabilitas Terhadap Translasi Akibat Angin pada Timbunan H<sub>final</sub> = 9 m

Vm	Da	δ	P <sub>0</sub>	R <sub>0</sub>	W <sub>0</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	SF	Q <sub>10</sub>	Q <sub>25</sub>	Ket.
(km/jam)	(°)	(%)	(kPa)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)		(ton)	(ton)	
10	26,6	20	2,59	1,94	5,07	19	26,51	1,2	1,33	86,87	OK
15	26,6	20	5,92	4,37	5,07	19	26,51	1,2	9,31	86,87	OK
20	26,6	20	10,25	7,76	5,07	19	26,51	1,2	20,53	86,87	OK
25	26,6	20	16,18	12,13	5,07	19	26,51	1,2	34,93	86,87	OK
30	26,6	20	22,29	17,47	5,07	19	26,51	1,2	52,53	86,87	OK
35	26,6	20	31,70	23,78	5,07	19	26,51	1,2	73,33	86,87	OK
40	26,6	20	41,41	31,06	5,07	19	26,51	1,2	97,33	86,87	NOT OK

J. Perbandingan Kekuatan Lentur EPS Geofam Terhadap Beban yang Terjadi

Selain analisis terhadap gaya-gaya luar yang terjadi, juga diperlukan analisis terhadap kekuatan lentur bahan geofam untuk menentukan apakah kekuatan lentur dari EPS geofam mampu menahan beban lalu lintas yang terjadi di atasnya.

Analisis dilakukan dengan melakukan permodelan beban lalu lintas seperti pada Gambar 11 sehingga menghasilkan jarak antar roda kritis sebesar 1,55 m.



Gambar 11. Ilustrasi Letak Beban Truk pada Timbunan.

Setelah dilakukan permodelan beban lalu lintas selanjutnya dapat dihitung besar tegangan total yang terjadi akibat beban hidup (kendaraan) dan beban mati (perkerasan). Kemudian nilai tegangan total tersebut dikalikan dengan nilai SF rencana dan dibandingkan dengan nilai kekuatan lentur bahan EPS geofam sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \sigma_{EPS_{geofam}} &\geq SF \times \sigma_{total} \\ 17,2 \text{ t/m}^2 &\geq 1,2 \times 7,412 \text{ t/m}^2 \\ 17,2 \text{ t/m}^2 &\geq 8,89 \text{ t/m}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

K. Perhitungan Biaya Material Setiap Alternatif

Terdapat tiga alternatif yang direncanakan antara lain:

1. Alternatif 1: Timbunan Tanah + PVD + Geotextile

2. Alternatif 2: Timbunan Tanah + Micropile
  3. Alternatif 3: Timbunan EPS Geofam + Tanah
- Hasil perhitungan total biaya material untuk setiap alternatif perencanaan adalah sebagai berikut.

Tabel 20. Total Biaya Material Alternatif 1

STA	Biaya Timbunan Tanah	Biaya PVD	Biaya PHD	Biaya Geotextile	Biaya Total
STA 9+550	Rp 1.003.604.997	Rp 49.123.200	Rp 17.986.085	Rp 487.920.000	Rp 1.558.634.282
STA 9+575	Rp 1.522.085.871	Rp 56.140.800	Rp 20.685.685	Rp 1.279.720.000	Rp 2.878.632.356
STA 9+600	Rp 1.667.942.219	Rp 57.895.200	Rp 21.090.625	Rp 1.438.080.000	Rp 3.185.008.044
STA 9+625	Rp 1.772.942.666	Rp 59.649.600	Rp 21.630.545	Rp 1.724.840.000	Rp 3.579.062.811
STA 9+650	Rp 1.798.357.180	Rp 59.649.600	Rp 21.765.525	Rp 1.780.480.000	Rp 3.660.252.305
STA 9+675	Rp 1.956.291.742	Rp 61.404.000	Rp 22.170.465	Rp 1.836.120.000	Rp 3.875.986.207
STA 9+700	Rp 1.952.324.981	Rp 61.404.000	Rp 22.170.465	Rp 1.836.120.000	Rp 3.872.019.446
STA 9+725	Rp 1.789.281.629	Rp 59.649.600	Rp 21.765.525	Rp 1.780.480.000	Rp 3.651.176.754
STA 9+750	Rp 1.799.511.915	Rp 59.649.600	Rp 21.900.505	Rp 1.780.480.000	Rp 3.661.542.020
STA 9+775	Rp 1.812.794.072	Rp 59.649.600	Rp 21.900.505	Rp 1.780.480.000	Rp 3.674.824.177
STA 9+800	Rp 1.760.325.778	Rp 59.649.600	Rp 21.630.545	Rp 1.724.840.000	Rp 3.566.445.923
STA 9+825	Rp 1.337.386.723	Rp 54.386.400	Rp 20.010.785	Rp 1.078.560.000	Rp 2.490.343.908
STA 9+850	Rp 1.143.204.688	Rp 52.632.000	Rp 19.065.925	Rp 866.700.000	Rp 2.081.602.613
<b>TOTAL BIAYA ALTERNATIF 1</b>					<b>Rp 41.735.530.849</b>

Tabel 21. Total Biaya Material Alternatif 2

STA	Biaya Timbunan Tanah	Biaya Micropile	Biaya Total
STA 9+550	Rp 1.003.604.997	Rp 626.083.920	Rp 1.629.688.917
STA 9+575	Rp 1.522.085.871	Rp 1.931.916.096	Rp 3.454.001.967
STA 9+600	Rp 1.667.942.219	Rp 1.690.426.584	Rp 3.358.368.803
STA 9+625	Rp 1.772.942.666	Rp 1.753.034.976	Rp 3.525.977.642
STA 9+650	Rp 1.798.357.180	Rp 1.753.034.976	Rp 3.551.392.156
STA 9+675	Rp 1.956.291.742	Rp 2.204.709.804	Rp 4.161.001.546
STA 9+700	Rp 1.952.324.981	Rp 2.204.709.804	Rp 4.157.034.785
STA 9+725	Rp 1.789.281.629	Rp 1.753.034.976	Rp 3.542.316.605
STA 9+750	Rp 1.799.511.915	Rp 1.753.034.976	Rp 3.552.546.891
STA 9+775	Rp 1.812.794.072	Rp 1.753.034.976	Rp 3.565.829.048
STA 9+800	Rp 1.760.325.778	Rp 1.753.034.976	Rp 3.513.360.754
STA 9+825	Rp 1.337.386.723	Rp 2.012.412.600	Rp 3.349.799.323
STA 9+850	Rp 1.143.204.688	Rp 1.296.888.120	Rp 2.440.092.808
<b>TOTAL BIAYA ALTERNATIF 2</b>			<b>Rp 43.801.411.248</b>

Tabel 22. Total Biaya Material Alternatif 3

STA	Biaya Timbunan EPS Geofam	
STA 9+550	Rp 2.459.559.828	
STA 9+575	Rp 4.111.928.534	
STA 9+600	Rp 4.389.388.340	
STA 9+625	Rp 4.780.310.082	
STA 9+650	Rp 4.877.613.017	
STA 9+675	Rp 5.157.480.823	
STA 9+700	Rp 5.157.480.823	
STA 9+725	Rp 4.877.613.017	
STA 9+750	Rp 4.967.544.452	
STA 9+775	Rp 4.967.544.452	
STA 9+800	Rp 4.780.310.082	
STA 9+825	Rp 3.672.254.858	
STA 9+850	Rp 3.094.842.810	
<b>TOTAL BIAYA</b>		<b>Rp 57.293.871.119</b>

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut; (1) Besar pemampatan akibat timbunan tanah dan beban timbunan tanah yang diperlukan untuk menghilangkan pemampatan pada jalan tol Balikpapan – Samarinda STA 9+550 s/d STA 9+850 ditunjukkan pada Tabel 23; (2) Pemasangan PVD direncanakan menggunakan pola segitiga dengan panjang 2/3 lapisan tanah lunak yaitu 16 m. Jarak antar PVD yang efektif untuk mempercepat pemampatan hingga 90% selama 7 minggu ialah 1,8 m; (3) Kebutuhan material geotextile sebagai perkuatan stabilitas timbunan untuk setiap sisi timbunan pada jalan tol Balikpapan – Samarinda STA 9+550 s/d STA 9+850 ditunjukkan pada Tabel 24; (4) Kebutuhan material micropile sebagai perkuatan stabilitas timbunan pada jalan tol Balikpapan – Samarinda STA 9+550 s/d STA 9+850 ditunjukkan pada Tabel 25; (5) Perencanaan timbunan EPS geofam dikombinasikan

dengan timbunan tanah di bawahnya setinggi muka air banjir guna menahan *hydrostatic uplift* dan translasi akibat air banjir. Perencanaan timbunan EPS *geofoam* dilakukan dengan menganalisis stabilitas terhadap translasi akibat angin dan tegangan yang terjadi pada timbunan EPS *geofoam*; (6) Besar pemampatan tanah dasar akibat timbunan EPS *geofoam* pada jalan tol Balikpapan – Samarinda STA 9+550 s/d STA 9+850 ditunjukkan pada Tabel 26; (7) Dari ketiga alternatif yang telah direncanakan, alternatif yang paling ekonomis ialah timbunan material tanah dikombinasikan dengan PVD dengan perkuatan tanah menggunakan *geotextile*.

Adapun saran yang dapat disampaikan oleh penulis adalah: (1) Perencanaan EPS *geofoam* selanjutnya perlu dianalisis stabilitas terhadap gempa.

Tabel 23.

Besar Pemampatan Akibat Timbunan Tanah dan Beban Timbunan Tanah yang Diperlukan untuk Menghilangkan Pemampatan pada STA 9+550 s/d STA 9+850

STA	Tanah Lunak	H <sub>final</sub>	H <sub>inisial</sub>	Sc	Beban Timbunan
	m	m	m	m	t/m <sup>2</sup>
STA 9+550	24	5,1	5,7	1,18	10,78
STA 9+575	24	7,1	8,0	1,48	15,17
STA 9+600	24	7,4	8,3	1,52	15,82
STA 9+625	24	7,8	8,8	1,58	16,68
STA 9+650	24	7,9	8,9	1,59	16,89
STA 9+675	24	8,2	9,2	1,63	17,53
STA 9+700	24	8,2	9,2	1,63	17,53
STA 9+725	24	7,9	8,9	1,59	16,89
STA 9+750	24	8,0	9,0	1,60	17,10
STA 9+775	24	8,0	9,0	1,60	17,10
STA 9+800	24	7,8	8,8	1,58	16,68
STA 9+825	24	6,6	7,4	1,41	14,08
STA 9+850	24	5,9	6,6	1,31	12,55

Tabel 24.

Kebutuhan *Geotextile* pada Jalan Tol Balikpapan – Samarinda STA 9+550 s/d STA 9+850

STA	H <sub>final</sub>	Panjang Geotextile	Jumlah Layer	Jumlah Geotextile Setiap Layer
	(m)	(m)	(layer)	(buah)
STA 9+550	5,1	19	12	2
STA 9+575	7,1	23	26	2
STA 9+600	7,4	24	28	2
STA 9+625	7,8	26	31	2
STA 9+650	7,9	26	32	2
STA 9+675	8,2	26	33	2
STA 9+700	8,2	26	33	2
STA 9+725	7,9	26	32	2
STA 9+750	8,0	26	32	2
STA 9+775	8,0	26	32	2
STA 9+800	7,8	26	31	2
STA 9+825	6,6	24	21	2
STA 9+850	5,9	27	15	2

Tabel 25.

Kebutuhan *Micropile* pada Jalan Tol Balikpapan – Samarinda STA 9+550 s/d STA 9+850

STA	H <sub>final</sub>	Panjang <i>Micropile</i>	Jumlah <i>Micropile</i>
	(m)	(m)	(buah)
STA 9+550	5,1	6	14
STA 9+575	7,1	6	27
STA 9+600	7,4	6	27
STA 9+625	7,8	6	28
STA 9+650	7,9	6	28
STA 9+675	8,2	6	29
STA 9+700	8,2	6	29
STA 9+725	7,9	6	28
STA 9+750	8,0	6	28
STA 9+775	8,0	6	28
STA 9+800	7,8	6	28
STA 9+825	6,6	6	30
STA 9+850	5,9	6	29

Tabel 26.

Besar Pemampatan Tanah Dasar Akibat Timbunan EPS *Geofoam* pada Jalan Tol Balikpapan – Samarinda STA 9+550 s/d STA 9+850

STA	Tanah Lunak	H <sub>final</sub>	H <sub>inisial</sub>	Sc
	m	m	m	m
STA 9+550	24	5,1	5,0	0,527
STA 9+575	24	7,1	7,0	0,535
STA 9+600	24	7,4	7,3	0,536
STA 9+625	24	7,8	7,7	0,538
STA 9+650	24	7,9	7,8	0,538
STA 9+675	24	8,2	8,1	0,539
STA 9+700	24	8,2	8,1	0,539
STA 9+725	24	7,9	7,8	0,538
STA 9+750	24	8,0	7,9	0,538
STA 9+775	24	8,0	7,9	0,538
STA 9+800	24	7,8	7,7	0,538
STA 9+825	24	6,6	6,5	0,534
STA 9+850	24	5,9	5,8	0,531

DAFTAR PUSTAKA

[1] J. E. Browles, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga, 1991.  
 [2] N. E. Mochtar, *Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah*. Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2012.  
 [3] I. B. Mochtar, *Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils)*. Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2000.  
 [4] T. D. Stark, D. Arellano, J. S. Horvath, and D. Leshchinsky, *Geofoam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments*. Washington D.C: Transportation Research Board, 2004.