

# PERBAIKAN TANAH LUNAK BERDASARKAN WAKTU DAN BIAYA KONSTRUKSI STUDI KASUS JALAN TOL PEMALANG - BATANG

Dimas Pandu Pranata<sup>1</sup>, Ilham Fitria Marshush<sup>2</sup>, Rinda Karlinasari<sup>3</sup>, Henny Pratiwi Adi<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Universitas Islam Sultan Agung, Jalan Raya Kaligawe KM.4 Semarang, Jawa Tengah

Email : ilhamfmarshush@gmail.com

**Abstrak** – Proyek Pembangunan Jalan Tol Pemalang – Batang terdapat perencanaan mainroad yang tanah aslinya adalah lunak, sehingga perlu dilakukan perencanaan timbunan pada tanah lunak dengan daya dukung yang sangat rendah serta mempunyai tingkat kompresibilitas besar akan dapat mengakibatkan penurunan tanah yang besar dan dapat menimbulkan kelongsoran serta kerusakan pada perkerasan jalan yang terdapat diatas timbunan. Tujuan dilakukannya perbaikan tanah pada perencanaan Jalan Tol Pemalang-Batang yaitu untuk mengetahui serta menangani penurunan (Settlement), angka keamanan (Safety Factor) serta biaya pelaksanaan kontruksi proyek tersebut.

Perbaikan tanah pada STA 346+471 – STA 346+538 menggunakan Cerucuk Matras Beton. Cerucuk Matras Beton menggunakan minipile yang ditancapkan pada tanah sebagai pondasi. Beban didistribusikan ke minipile agar stabilitas tanah dan daya dukung tanah meningkat dan tidak terjadi penurunan secara signifikan. Sedangkan pada STA 346+175 – STA 346+475 menggunakan Vacuum Consolidation. Vacuum Consolidation menggunakan Vacuum, pipa PVD dan pipa PHD. Vacuum sebagai pompa yang penyedot air, PHD sebagai distribusi aliran air horisontal, dan PVD sebagai distribusi aliran air secara vertikal menuju ke luar tanah.

Berdasarkan pada perhitungan program numerik Plaxis v8.2, penurunan tanah (Settlement) yang terjadi setelah dianalisis menggunakan Cerucuk Matras Beton setelah pekerjaan perkerasan jalan hingga konsolidasi 50 tahun adalah sebesar 8 cm dengan angka keamanan (Safety Factor) sebesar 3,69. Penurunan tanah (Settlement) yang terjadi setelah dianalisis menggunakan Vacuum Consolidation setelah pekerjaan perkerasan jalan hingga konsolidasi 50 tahun adalah sebesar 7 cm dengan angka keamanan (Safety Factor) sebesar 2,06. Waktu yang dibutuhkan perbaikan tanah menggunakan Cerucuk Matras Beton adalah 138 hari sedangkan menggunakan Vacuum Consolidation adalah 203 hari. Biaya pada perbaikan tanah menggunakan Cerucuk Matras Beton adalah Rp. 133.473.608.324,00 dengan biaya Per m<sup>2</sup> sebesar Rp. 48.352.995,00 sedangkan menggunakan Vacuum Preloading adalah Rp. 33.009.202.666,00 dengan biaya Per m<sup>2</sup> sebesar Rp. 3.016.603,00. Hasil dari kedua metode tersebut sudah dinyatakan aman karena penurunan tanah (settlement) tidak lebih dari 10 cm sejak pekerjaan perkerasan jalan hingga konsolidasi 50 tahun, angka keamanan (safety factor) lebih dari 1,3, dan waktu perbaikan metode Cerucuk Matras Beton lebih cepat dibandingkan dengan Metode Vacuum Consolidation, tetapi biaya metode Cerucuk Matras Beton lebih mahal dibandingkan metode Vacuum Consolidation.

**Kata kunci** : Cerucuk Matras Beton, Vacuum Consolidation, Settlement, Safety Factor, Biaya

**Abstrak** – The Pemalang - Batang Toll Road Development Project there is the original land mainroad planning is soft, so that needs to be done on soft soil pile planning with resource support at very low level and the great compressibility will could result in soil degradation are great and may cause instability or failure and damage to the roughness of the road that are present above the pile. The purpose of doing repairs land on Highway planning of Pemalang-Batang IE to know and deal with the decline in numbers (Settlement), security (Safety Factor) as well as the costs of the implementation of the construction project.

Improvements to the ground at STA 346 + 471 – STA 346 + 538 using Concrete Mattress Cerucuk. Cerucuk Concrete Mattress using a minipile plugged it on land as the Foundation. The load is distributed to minipile so that the stability of the soil and ground support power increase and not decline significantly. While at STA 346 + 175 – STA 346 + 475 use Vacuum Consolidation. Vacuum Consolidation using PVD, pipes and Vacuum pipe PHD. Vacuum as a pump that pumps, PHD as the horizontal flow of water distribution, and PVD distribution of water flow as vertically towards the outside of the ground. By using the numerical program Plaxis v 8.2, soil degradation (Settlement) happened after analyzed using Cerucuk Concrete Mattress after work roughness way up to 50 years is the consolidation of 8 cm with digits (Security Safety Factor) of 3.69. Soil degradation (Settlement) happened after analyzed use

*Vacuum Consolidation after the work of roughness of the road until the consolidation of 50 years is 7 cm with safety (Safety Factor) amounting to 2.06. The time needed to repair the soil using Concrete Mattresses is 138 days while using Vacuum Consolidation is 203 days. The cost of repairing the ground using Concrete Mats Cerucuk is Rp. 133,473,608,324.00 and costs Per sqm of Rp. 48,352,995.00 while using the Vacuum Preloading is Rp. 33,009,202,666.00 and costs Per sqm of Rp. 3,016,603.00. The results from both methods are declared safe because soil degradation (settlement) not more than 10 cm of road roughness up to work since the consolidation of 50 years, the number of security (safety factor) more than 1.3 and the time repair soil using Concrete Mattresses is faster than using Vacuum Consolidation, but the cost of Concrete Mattresses is more expensive than Vacuum Consolidation.*

**Key words :** Concrete, Mats Cerucuk, Vacuum Consolidation, Settlement, Safety Factor

## I. PENDAHULUAN

Di era globalisasi, segala sesuatu harus dapat dilakukan dengan mudah. Salah satunya adalah infrastruktur yang harus memadai. Infrastruktur adalah alat, sarana prasarana yang merupakan penunjang utama terselenggaranya suatu proses. Agar memenuhi kebutuhan penduduk seperti kebutuhan ekonomi yang juga semakin berkembang, guna menanggulangi itu semua, pemerintah melakukan pembangunan infrastruktur seperti jalan tol yang dapat memberikan akses untuk berbagai kegiatan sehingga perekonomian bisa bersaing pada ranah nasional maupun internasional dengan cepat. Jalan tol ruas Pemalang-Batang merupakan bagian dari Jalan Tol Trans Jawa. Pembangunan Jalan Tol Pemalang-Batang akan memberikan dampak yang cukup besar terhadap perkembangan ekonomi daerah. Pembangunan jalan tol ini memiliki panjang 39,2 kilometer dan menelan dana investasi 4,8 triliun. Pada proyek pembangunan Jalan Tol Pemalang – Batang ini terdapat kontruksi timbunan pada tanah lunak, kontruksi timbunan pada tanah lunak tersebut dapat mengakibatkan penurunan (*Settlement*) sehingga diperlukan perbaikan tanah untuk meminimalisir adanya penurunan tanah.

Perbaikan tanah lunak dengan *vacuum Consolidation* merupakan satu system perbaikan tanah yang terdiri dari pekerjaan *vacuum*, PVD, *horizontal drain* dan instrument geoteknik. *Vacuum* berfungsi sebagai penyedot air dalam tanah. *Preload* berfungsi untuk memampatkan tanah dasar. Sedangkan perbaikan tanah menggunakan cerucuk matras beton adalah metode perbaikan daya dukung tanah dengan memancangkan mini pile pada titik dan konfigurasi yang telah direncanakan kemudian di top mini pile di pasangkan plat beton. Proses konsolidasi pada tanah lunak pasti terjadi, namun pada metode cermaton akan memperlambat laju konsolidasi pada waktu yang panjang dengan penurunan yang kecil. Hal ini disebabkan daya dukung pada mini pile dan plat beton seolah-olah melayang di atasnya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Tanah lunak adalah agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah. Tanah lunak mempunyai kuat geser yang rendah, kemampuan kompresibilitas yang tinggi, daya dukung yang rendah dan mempunyai koefisien permeabilitas yang kecil. Perlu dilakukan penyelidikan dan pengendalian menyeluruh supaya tidak terjadi permasalahan ketidakstabilan serta penurunan jangka panjang yang dapat mengakibatkan kerusakan pada konstruksi di atasnya. Salah satu permasalahan yang dapat terjadi pada tanah lunak adalah penurunan yang sangat besar ketika tanah dibebani. Untuk menanggulangi masalah tersebut, maka perlu dilakukan perbaikan tanah. Ada beberapa cara untuk melakukan perbaikan tanah pada tanah lunak:

- a. Perkuatan dengan Geotekstil
- b. *Prefabricated Vertical Drain*
- c. Perkuatan dengan *Stone Mattress*
- d. Perkuatan tanah dengan *Cerucuk*
- e. Perbaikan tanah dengan *Vacuum Preloading*

*Vacuum Consolidation* adalah salah satu jenis metode perbaikan tanah yang digunakan banyak perusahaan geoteknik untuk pekerjaan perbaikan tanah. Metode ini biasa tidak perlu menggunakan beban tambahan apabila kekuatan vacuum mencapai 80 kPa atau lebih. Namun apabila beban yang dibutuhkan adalah lebih dari 80 kPa untuk mencapai target perbaikan tanah, maka beban tambahan bisa ditambahkan di atas sistem vacuum. Metode ini bisa dibilang lebih murah dibandingkan metode fill surcharge dilihat dari aspek jumlah beban yang dibutuhkan dan luas area yang sama.

Drainage system ini adalah berupa hubungan antara PVD, *horizontal filter pipes*, dan lapisan pasir untuk menciptakan jalur untuk menyebarkan tekanan vacuum dan aliran air. *Sealing system* terdiri dari sistem isolasi kedap udara untuk mencegah air atau udara bocor. Sistem ini terdiri dari *geomembrane*, *slurry wall* dan juga tanah lempung itu sendiri. *Slurry wall* adalah teknik pembuatan tirai kedap air dari bahan semen bentonite yang dipasang pada daerah dengan keadaan tanah yang lunak yang dekat dengan perairan atau memiliki muka air tanah yang tinggi, terutama sekali

untuk mengisolasi lapisan pasir yang mampu mengalirkan air dari luar area perbaikan dan menyebabkan kerja vacuum tidak efektif

Cerucuk atau mini-pile adalah suatu tiang yang terbuat dari kayu atau beton dengan panjang relatif pendek. Kekakuan tiang tergantung dari jenis bahan tiang. Pada penelitian ini digunakan cerucuk/mini-pile dari kayu galam yang mempunyai nama latin *Melaleuca Leucadendron*, termasuk jenis *Melaleuca* dari keluarga *Myrtaceae* yang mempunyai sifat batang yang terbungkus kulit berlapis-lapis, keras dan berat. Kayu galam ini banyak tumbuh di Kalimantan dan harganya pun relatif murah.

Termasuk tumbuhan yang mempunyai kelas kuat II dan kelas awet III yang mempunyai sifat unik yaitu jika dalam keadaan terendam terus menerus maka kekuatannya akan lebih terjaga. Selain itu meskipun lapisan kulitnya dikupas sampai mendekati lapisan kambiumnya, hal ini tidak mempengaruhi kondisi dan kekuatan batangnya.

### III. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah pada tahapan penulisan adalah sebagai berikut :

- Pengumpulan data tanah yang akan dianalisis
- Pengolahan data tanah yang dianalisis
- Analisis dari dua metode perbaikan tanah

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Jenis – Jenis Tanah Pada Perbaikan Cerucuk Matras Beton

Tabel 1. Jenis tanah pada perbaikan tanah lunak metode Cerucuk Matras Beton

No	Kedalaman	Konsistensi	NSPT
1	0 - 4,8m	Soft	3
2	4,8m - 5,8m	Medium	5
3	6m - 11,2m	Soft	4
4	11,4m - 12m	Medium	5
5	12,2m - 14,8m	Soft	4
6	15m - 16,6m	Medium	5
7	16,8m - 18,2m	Soft	4
8	18,4m - 19,8m	Medium	6
9	20m - 21m	Stiff	12
10	21,2m - 21,8m	Very Stiff	19
11	22m - 2,4m	Stiff	12
12	24,6m - 26,6m	Very Stiff	21
13	26,8m	hard	33

Dari tabel diatas, jenis tanah pada STA 346+471 sampai dengan 346+538 terdiri dari *Soft, Medium, Stiff, Very Stiff dan Hard*

#### 2. Jenis – Jenis Tanah Pada Perbaikan Vacuum Conolidation

Tabel 2. Jenis tanah pada perbaikan tanah lunak metode *Vacuum Consolidation*

No	Kedalaman (m)	Konsistensi	NSPT
1	0,2m-0,5m	Stiff	11
2	0,5m-2,8m	Soft	2
3	2,8m-9,2m	Medium	6
4	9,2m-11,6m	Soft	3
5	11,6m-16,9m	Medium	6
6	16.9m-19,4m	Stiff	12
7	19,4m-19,8m	Medium Dense	24

Dari tabel diatas, jenis tanah pada STA 34175 sampai dengan 346+475 terdiri dari *Stiff, Soft, Medium, dan Medium Dense.*

#### 3. Hasil Analisis Penuruan Tanah Metode Cerucuk Matras Beton

Hasil dari perhitungan penurunan tanah (settlement) metode Cerucuk Matras Beton dengan menggunakan Plaxis v.82 adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Penurunan Tanah (*Settlement*) Metode Cerucuk Matras Beton

No	Tahapan Kontruksi	Hari Pekerjaan	total Hari Pekerjaan	Settlement
1	Timbunan Lantai Kerja 0,5 Meter	4	4	0
2	Install Minipile	14	18	0
3	Timbunan Platform Sirtu 0,5 Meter	4	22	0
4	Timbunan Platform Sirtu 1 Meter dan Geotextile PET 100	8	30	0
5	Masa Tunggu 14 Hari	14	44	0
6	Timbunan Tanah 1 Meter dan Textile PET 100	8	52	0
7	Timbunan Tanah 1 Meter	7	59	0
8	Masa Tunggu 14 Hari	14	73	0
9	Timbunan Tanah 1 meter	7	80	-0,06
10	Masa Tunggu 30 Hari	30	110	-0,08
11	Perkerasan Jalan	28	138	-0,08
12	Service Load	1	139	-0,08
13	Konsolidasi 1 Tahun	365	504	-0,14
14	Koosolidasi 3 Tahun	730	1234	-0,14
15	Konsolidasi 10 Tahun	2555	3789	-0,14
16	Konsolidasi 50 Tahun	14600	18389	-0,14

Dari hasil tabel diatas dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Penurunan baru terjadi pada timbunan tanah yang ketiga dengan penurunan sebesar 6 cm
2. Penurunan pada masa tunggu 30 hari yaitu sebesar 8 cm atau 2 cm setelah terjadi penurunan pertama
3. Selama pekerjaan perkerasan jalan dalam pembebanan *Service Load* tidak terjadi penurunan
4. Pada masa konsolidasi baik 1 tahun, 3 tahun, 10 tahun dan 50 tahun terjadi penurunan sebesar 14 cm
5. Analisis perbaikan tanah tersebut dikatakan aman karena penurunan dari pekerjaan jalan sampai konsolidasi 50 tahun adalah 8 cm atau tidak lebih dari 10 cm

#### 4. Hasil Analisis Penurunan Tanah Metode Vacuum Consolidation

Hasil dari perhitungan penurunan tanah (settlement) metode *Vacuum Consolidation* dengan menggunakan Plaxis v.82 adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Penurunan Tanah (*Settlement*) Metode *Vacuum Consolidation*

No	Tahapan Kontruksi	Hari Pekerjaan	total Hari Pekerjaan	Settlement
1	Timbunan Platform	7	7	0
2	Pekerjaan PVD Dan PHD	19	26	0
3	Vacuum On	14	40	0
4	Masa Tunggu 17 hari	17	57	0
5	Timbunan Tanah 1m	12	69	0
6	Timbunan Tanah 1m	8	77	0
7	Masa Tunggu 19 Hari	18	95	0
8	Timbunan Tanah 1m	7	102	0
9	Timbunan Tanah 1m	7	109	0
10	Timbunan Tanah Hingga Top	5	114	-1,21
11	Masa Tunggu 60 Hari	60	174	-1,21
12	Vacuum Off	1	175	-1,06
13	Pekerjaan Perkerasan	28	203	-1,06
14	Service Loads	1	204	-1,12
15	Konsolidasi 1 tahun	365	569	-1,13
16	Konsolidasi 3 Tahun	730	1299	-1,13
17	Konsolidasi 10 Tahun	2555	3854	-1,13
18	Konsolidasi 50 Tahun	14600	18454	-1,13

Dari hasil tabel diatas dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Penurunan baru terjadi ketika pekerjaan timbunan tanah hingga top dengan penurunan sebesar 1,21 m
2. Ketika vacum dimatikan atau setelah pekerjaan vacum selesai terjadi kenaikan sebesar 15 cm setelah kosolidasi 60 hari
3. Setelah pekerjaan perkerasan jalan terjadi penurunan kembali sebesar 6cm
4. Pada proses konsolidasi baik 1 tahun, 3 tahun, 10 tahun dan 50 tahun terjadi penurunan 1 cm

- Analisis perbaikan tanah tersebut dikatakan aman karena penurunan dari pekerjaan jalan sampai konsolidasi 50 tahun adalah 7 cm atau tidak lebih dari 10 cm

### 5. Hasil Analisis *Safety Fator* Metode Cerucuk Matras Beton

Hasil dari perhitungan penurunan tanah (settlement) metode Cerucuk Matras Beton dengan menggunakan Plaxis v.82 adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil Angka Keamanan (*Safety Factor*) Metode Cerucuk Matras Beton

No	Tahapan Kontruksi	Hari Pekerjaan	total Hari Pekerjaan	Safety Factor
1	Timbunan Lantai Kerja 0,5 Meter	4	4	8,24
2	Install Minipile	14	18	8,23
3	Timbunan Platform Sirtu 0,5 Meter	4	22	4,41
4	Timbunan Platform Sirtu 1 Meter dan Geotextile PET 100	8	30	3,21
5	Masa Tunggu 14 Hari	14	44	3,7
6	Timbunan Tanah 1 Meter dan Textile PET 100	8	52	3,52
7	Timbunan Tanah 1 Meter	7	59	3,5
8	Masa Tunggu 14 Hari	14	73	3,54
9	Timbunan Tanah 1 meter	7	80	4,81
10	Masa Tunggu 30 Hari	30	110	4,68
11	Perkerasan Jalan	28	138	4,66
12	Service Load	1	139	3,68
13	Konsolidasi 1 Tahun	365	504	3,68
14	Koosolidasi 3 Tahun	730	1234	3,68
15	Konsolidasi 10 Tahun	2555	3789	3,68
16	Konsolidasi 50 Tahun	14600	18389	3,69

Dari hasil tabel diatas dapat diuraikan sebagai berikut :

- Pada tahapan timbunan lantai kerja 0,5 m mempunyai angka keamanan 8,24
- Pada tahapan install *minipile* mempunyai angka keamanan 8,23
- Pada tahapan timbunan platform sirtu 0,5 m mempunyai angka keamanan 4,41
- Pada tahapan timbunan platform sirtu 1 m dan Geotextile PET 100 mempunyai angka keamanan 3,21
- Pada tahapan masa tunggu 14 hari mempunyai angka keamanan 3,7
- Pada tahapan timbunan tanah 1 m dan Textile PET 100 mempunyai angka keamanan 3,52
- Pada tahapan timbunan tanah 1 m pertama mempunyai angka keamanan 3,5
- Pada tahapan timbunan masa tunggu 14 hari mempunyai angka keamanan 3,54
- Pada tahapan timbunan tanah 1 m kedua mempunyai angka keamanan 4,81
- Pada tahapan masa tunggu 30 hari mempunyai angka keamanan 4,68
- Pada tahapan perkerasan jalan mempunyai angka keamanan 4,66
- Pada tahapan *serice load*, konsolidasi 1 tahun, 3 tahun dan 10 tahun mempunyai angka keamanan 3,68
- Pada tahapan konsolidasi 50 tahun mempunyai angka keamanan 3,69

### 6. Hasil Analisis *Safety Factor* Metode *Vacum Consolidation*

Hasil dari perhitungan penurunan tanah (settlement) metode *Vacuum Consolidation* dengan menggunakan Plaxis *Consolidation* v.82 adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Hasil Angka Keamanan (*Safety Factor*) Metode *Vacum Preloading*

No	Tahapan Kontruksi	Hari Pekerjaan	total Hari Pekerjaan	Safety Factor
1	Timbunan Platform	7	7	4,77
2	Pekerjaan PVD Dan PHD	19	26	4,78
3	Vacuum On	14	40	6,09
4	Masa Tunggu 17 hari	17	57	6,07
5	Timbunan Tanah 1m	12	69	6,09
6	Timbunan Tanah 1m	8	77	3,36
7	Masa Tunggu 19 Hari	18	95	3,37
8	Timbunan Tanah 1m	7	102	3,25
9	Timbunan Tanah 1m	7	109	3,08
10	Timbunan Tanah Hingga Top	5	114	2,93
11	Masa Tunggu 60 Hari	60	174	2,9
12	Vacuum Off	1	175	2,41
13	Pekerjaan Perkerasan	28	203	2,41
14	Service Loads	1	204	2,05
15	Konsolidasi 1 tahun	365	569	2,06
16	Konsolidasi 3 Tahun	730	1299	2,06
17	Konsolidasi 10 Tahun	2555	3854	2,06
18	Konsolidasi 50 Tahun	14600	18454	2,06

Dari hasil tabel diatas dapat diuraikan sebagai berikut :

- Pada tahap timbunan platform mempunyai angka keamanan 4,77
- Pada tahap pekerjaan PVD dan PHD mempunyai angka keamanan 4,78

3. Pada tahap *Vacuum on* mempunyai angka keamanan 6,09
4. Pada tahap masa tunggu 17 hari mempunyai angka keamanan 6,07
5. Pada tahap timbunan tanah 1 m yang pertama mempunyai angka keamanan 6,09
6. Pada tahap timbunan tanah 1 m yang kedua mempunyai angka keamanan 3,36
7. Pada tahap masa tunggu 19 hari mempunyai angka keamanan 3,37
8. Pada tahap timbunan tanah 1 m yang ketiga mempunyai angka keamanan 3,25
9. Pada tahap timbunan tanah 1 m yang keempat mempunyai angka keamanan 3,08
10. Pada tahap timbunan tanah hingga top mempunyai angka keamanan 2,93
11. Pada tahap masa tunggu 60 hari mempunyai angka keamanan 2,9
12. Pada tahap *vacuum off* dan perkerasan jalan mempunyai angka keamanan 2,41
13. Pada tahap *service load* mempunyai angka keamanan 2,05
14. Pada tahap konsolidasi 1 tahun, 3 tahun, 10 tahun dan 50 tahun mempunyai angka keamanan 2,06

#### 7. Waktu Pelaksanaan Tahapan Kontruksi Cerucuk Matras Beton

Waktu yang di perlukan pada tahapan pekerjaan kontruksi Cerucuk Matras Beton adalah sebagai berikut :

Tabel 7. Waktu Tahapan Pekerjaan Metode Cerucuk Matras Beton

No	Tahapan Kontruksi	Hari Pekerjaan
1	Timbunan Lantai Kerja 0,5 Meter	4
2	Install Minipile	14
3	Timbunan Platform Sirtu 0,5 Meter	4
4	Timbunan Platform Sirtu 1 Meter dan Geotextile PET 100	8
5	Masa Tunggu 14 Hari	14
6	Timbunan Tanah 1 Meter dan Textile PET 100	8
7	Timbunan Tanah 1 Meter	7
8	Masa Tunggu 14 Hari	14
9	Timbunan Tanah 1 meter	7
10	Masa Tunggu 30 Hari	30
11	Perkerasan Jalan	28
Total Hari Pekerjaan		138

Dari tabel diatas, waktu pekerjaan perbaikan tanah dengan metode cerucuk matras beton pada STA 346+471 sampai dengan 346+538 adalah 138 hari.

#### 8. Waktu Pelaksanaan Tahapan Kontruksi *Vacuum Consolidation*

Waktu yang di perlukan pada tahapan pekerjaan kontruksi Cerucuk Matras Beton adalah sebagai berikut :

Tabel 8. Waktu Tahapan Pekerjaan Metode *Vacuum Consolidation*

No	Tahapan Kontruksi	Hari Pekerjaan
1	Timbunan Platform	7
2	Pekerjaan PVD Dan PHD	19
3	Vacuum On	14
4	Masa Tunggu 17 hari	17
5	Timbunan Tanah 1m	12
6	Timbunan Tanah 1m	8
7	Masa Tunggu 19 Hari	18
8	Timbunan Tanah 1m	7
9	Timbunan Tanah 1m	7
10	Timbunan Tanah Hingga Top	5
11	Masa Tunggu 60 Hari	60
12	Vacuum Off	1
13	Pekerjaan Perkerasan	28
Total Waktu Pekerjaan		203

Dari tabel diatas, waktu pekerjaan perbaikan tanah dengan metode vacuum consolidation pada STA 346+175 sampai dengan 346+475 adalah 203 hari.

#### 9. Biaya Pekerjaan Cerucuk Matras Beton

Analisa Harga Satuan pekerjaan perbaikan tanah dengan metode Cerucuk Matras Beton adalah sebagai berikut :

**Tabel 9. Analisa Harga Satuan Pekerjaan Metode Cerucuk Matras Beton**

Analisa Harga satuan Pekerjaan Jalan Tol Pemalang-Batang					
No	Komponen	satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
<b>A</b>					
	Tenaga				
1	Pekerja	Jam	2,678	15714,69	42083,93982
2	Tukang	Jam	0,458	19287,71	8833,77118
3	Mandor	Jam	0,278	21428,57	5957,14246
4	Teknisi	Jam	0,0013	21428,57	27,857141
5	Monitoring				
	Helper	Bulan	0,002	4091800	8183,6
	Surveyor	Bulan	0,001	9281400	9281,4
	Pengolah Data	Bulan	0,001	12425100	12425,1
	Tenaga Ahli	Bulan	0,0001	35429000	3542,9
Jumlah Harga Tenaga Kerja					90335,7106
<b>B</b>					
	Bahan				
1	Mini Pile 20cm x 20cm	Buah	2010	150000	301500000
3	Geotextile	m2	3149	25550	80456950
Jumlah Harga Bahan					381956950
<b>C</b>					
	Peralatan				
	Motor Grader	Jam	0,0061	415000	2531,5
1	Hidraulic Static Pile Driver	Jam	0,0786	2250000	176850
2	Dump Truck	Jam	0,2289	190000	43491
3	Aspal Mixing Plant	Jam	0,0542	1600000	86720
4	Aspal Spayer	Jam	0,003	65000	195
Jumlah Harga Alat					309787,5
Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan dan Peralatan					382357073,2
Overhead dan Profit (10%)					38235707,32
Harga Satuan Pekerja					420592780

Dari hasil tabel diatas,dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Jumlah harga tenaga kerja, bahan dan peralatan adalah sebesar Rp. 382.357.073,00
2. Overhead dan Profit (10%) adalah sebesar Rp. 38.235.707,00
3. Jumlah harga satuan pekerja dalam proyek perbaikan tanah lunak Jalan Tol Pemalang-Batang adalah sebesar Rp. 420.592.780,00

#### 10. Rekapitulasi biaya perbaikan tanah dengan metode Cerucuk Matras Beton

**Tabel 10. Rekapitulasi Pekerjaan Cerucuk Matras Beton**

REKAPITULASI PEKERJAAN CERMATON STA 346+471 - 346+538					
No. Item	Item Pekerjaan	Sat.	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
<b>PEKERJAAN CERMATON</b>					
	Borrow Material		8.515,720	130.039.000	1.107.375.713,080
	pekerjaan matras beon	m3	3.635,587	3.468.351,790	12.609.494.679,151
	Matras Tulangan Beton	Kg	12.097,146	23.322,930	282.140.886,372
	Penyediaan Pancang Minipile	m'	212.911,000	434.156,000	92.436.588.116,000
	Pemancangan Pancang Minipile	m'	212.911,000	116.532,370	24.811.023.429,070
	<b>Sub Total</b>				<b>131.246.622.823,67</b>
	<b>Per Meter</b>				<b>1.958.904.818,26</b>
	<b>Per m2</b>				<b>47.546.233,45</b>
	<b>Biaya untuk 67 m</b>				<b>131.246.622.823,67</b>
<b>LAPIS PONDASI AGREGAT</b>					
	Lapis Pondasi Agregat Kelas	m3	151,370	855.973,120	129.568.651,174
	<b>Sub Total</b>				<b>129.568.651,174</b>
<b>PERKERASAN</b>					
	Bitumen Lapis Resap Pengikat (Prime Coat)	Kg	3.488,020	17.151,000	59.823.031,020
	Bitumen Lapis Pengikat (Tack Coat)	Kg	1.393,600	16.527,000	23.032.027,200
	Asphalt Lapis 1	Ton	893,090	843.963,000	753.734.915,670
	Asphalt Lapis 2	Ton	282,301	852.962,000	240.792.025,562
	Asphalt Keras	Ton	72,265	13.879.250,000	1.002.984.001,250
	Bahan Anti Pengelupasan	Kg	216,794	78.650,000	17.050.848,100
	<b>Sub Total</b>				<b>2.097.416.848,802</b>
<b>TOTAL</b>					<b>133.473.608.323,650</b>
			Harga Per m'	1.992.143.407,82	
			Harga Per m2	48.352.995,34	

Dari tabel diatas dapat proyek perbaikan tanah pada pembangunan Jalan To Pemalang-Batang adalah sebesar Rp. 133.473.608.324,00 dengan biaya Per m<sup>2</sup> sebesar Rp. 48.352.995,00.

#### 11. Biaya Vacuum Consolidation

Analisa Harga Satuan pekerjaan perbaikan tanah dengan metode *Vacuum Consolidation* adalah sebagai berikut :

Tabel 11. Analisa Harga Satuan Pekerjaan *Vacuum Consolidation*

ANALISA HARGA SATUAN PEKERJAAN JALAN TOL PEMALANG - BATANG					
NO.	KOMPONEN	SATUAN	PERKIRAAN KUANTITAS	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
<b>A.</b>	<b>TENAGA</b>				
1	Pekerja	jam	3,3871	15.714,29	53.225,09
2	Tukang	jam	0,6257	19.285,71	12.066,88
3	Mandor	jam	0,6091	21.428,57	13.051,41
4	Teknisi	jam	0,0019	21.428,57	40,85
5	<b>MONITORING</b>				
	- Helper	bulan	0,0002	4.091.800,00	6.917,40
	- Surveyor	bulan	0,0001	9.281.400,00	6.167,70
	- Pengolah Data	bulan	0,0001	12.425.100,00	6.167,70
	- Tenaga Ahli	bulan	0,0000	35.429.000,00	10.507,00
<b>JUMLAH HARGA TENAGA</b>					108.144,03
<b>B.</b>	<b>BAHAN</b>				
1	Prefabricated Vertical Drain	m'	17,0157	10.700,00	182.068,15
2	Prefabricated Horizontal Drain	m'	2,1249	52.500,00	111.557,41
3	Geotextile Non Woven	m2	2,2000	25.550,00	56.210,00
4	Geomembrane	m2	1,1240	60.000,00	67.438,01
<b>JUMLAH HARGA BAHAN</b>					417.273,56
<b>C.</b>	<b>PERALATAN</b>				
1	Hydrolic PVD Machine/Crane	Jam	0,1598	585.767,93	93.630,13
2	Excavator	Jam	0,0068	777.486,69	5.249,60
3	Water Pump	Jam	7,1900	58.500,00	420.617,43
4	Generator Set	Jam	0,3595	276.061,75	99.244,77
5	Settlement Plate & ekstension tiap 3 unit / 50 m	Unit	0,0014	4.500.000,00	5.700,00
6	Vacuum gauge & ekstension tiap 100 m	Unit	0,0002	1.000.000,00	225,00
7	Piezometer 1 unit per 100 m	Unit	0,0002	52.450.000,00	13.112,50
8	Inclinometer 1 unit per 100 m	Unit	0,0002	48.650.000,00	12.162,50
<b>JUMLAH HARGA PERALATAN</b>					649.941,93
<b>F.</b>	<b>JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN ( A + B + C + D + E )</b>				1.175.359,52
<b>G.</b>	<b>OVERHEAD &amp; PROFIT (10%)</b>				117.535,95
<b>H.</b>	<b>HARGA SATUAN PEKERJAAN</b>				1.292.895,00

Dari hasil tabel diatas,dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Jumlah harga tenaga kerja, bahan dan peralatan adalah sebesar Rp. 1.175.359,00
2. Overhead dan Profit (10%) adalah sebesar Rp. 17.535,00
3. Jumlah harga satuan pekerja dalam proyek perbaikan tanah lunak Jalan Tol Pemalang-Batang adalah sebesar Rp. 1.292.895

## 12. Analisa Harga Satuan Perbaikan Tanah dengan Metode *Vacum Preloading*

Tabel 12. Rekapitulasi Pekerjaan *Vacuum Consolidation*

REKAPITULASI PEKERJAAN VACUUM					
STA 346+175 - 346+475					
No. Item	Item Pekerjaan	sat	Volume	Harga Satuan (RP)	Jumlah Harga (RP)
<b>PEKERJAAN VACUUM</b>					
4,05	Borrow Material	m3	44.143,65	130.039,00	5.740.396.102,35
Skh 1.4.15(1)	Percepatan Konsolidasi Tanah Dengan Metode Penyalir Vertikal Dengan Vacuum dan PVD	m2	17.355,00	1.302.993,00	22.613.443.515,00
	<b>Sub Total</b>				<b>28.353.839.617,35</b>
	<b>Biaya Per m</b>				<b>13.444.210,34</b>
<b>LAPIS PONDASI AGREGAT</b>					
8.01(1)	Lapis Pondasi Agregat	m3	677,76	855.973,12	580.144.341,81
	<b>Sub Total</b>				<b>580.144.341,81</b>
<b>PERKERASAN</b>					
9,04	Bitumen Lapis Resap Pengikat (Prime Coat)	kg	12.240,00	17.151,00	209.928.240,00
9,05	Bitumen Lapis Pengikat (Tack Coat)	kg	6.243,00	16.527,00	103.178.061,00
9.07(1)	Aspal Lapis 1	ton	4.054,45	843.963,00	3.421.805.785,35
9.07(2)	Aspal Lapis 2	ton	1.386,55	852.962,00	1.182.674.461,10
9.07(3)	Aspal Keras	ton	294,55	13.879.250,00	4.088.133.087,50
9.07(4)	Bahan Anti Pengelupasan	kg	883,65	78.650,00	69.499.072,50
	<b>Sub Total</b>				<b>9.075.218.707,45</b>
<b>TOTAL</b>					<b>38.009.202.666,61</b>
				Harga Per m	126.697.342,22
				Harga Per m2	3.016.603,39

Dari tabel diatas dapat proyek perbaikan tanah pada pembangunan Jalan Tol Pemalang-Batang dengan Metode *Vacuum Consolidation* adalah sebesar Rp. 33.009.202.666,00 dengan biaya Per m<sup>2</sup> sebesar Rp. 3.016.603,00.

## V. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis bab sebelumnya pada kedua pemodelan yaitu perbaikan tanah lunak menggunakan metode Cerucuk Matras Beton pada STA 346+471 sampai dengan 346+538 dan *Vacuum Consolidation* pada STA 346+175 sampai dengan STA 346+475 dengan program menggunakan *Software Plaxis 8.2* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil analisis perbaikan tanah lunak menggunakan metode Cerucuk Matras Beton mengalami penurunan tanah (*Settlement*) sebesar 6 cm, sedangkan perbaikan tanah lunak menggunakan metode *Vacuum Consolidation* mengalami penurunan tanah (*Settlement*) sebesar 7 cm. Kedua metode tersebut menunjukkan bahwa penurunan tanah (*Settlement*) yang terjadi sudah dalam kategori aman karena penurunan tanah tersebut tidak lebih dari 10 cm sejak pelaksanaan pekerjaan perkerasan jalan sampai konsolidasi 50 tahun.
2. Angka *Safety Factor* yang terjadi pada perbaikan tanah lunak menggunakan Cerucuk Matras beton adalah 3,68 dan *Vacuum Consolidation* adalah 2,06. Kedua Metode tersebut sudah aman karena hasil perhitungan sudah lebih dari standar keamanan yaitu 1,3.
3. Metode Cerucuk Matras Beton membutuhkan waktu 138 hari, sedangkan dengan metode *Vacuum Consolidation* membutuhkan waktu 203 hari. Metode Cerucuk Matras Beton lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan metode *Vacuum Consolidation*. Adapun biaya kontruksi, metode Cerucuk Matras Beton membutuhkan biaya sebesar Rp. 133.473.608.324,00, sedangkan biaya dengan metode *Vacuum Consolidation* adalah sebesar Rp. 33.009.202.666,00. Metode perbaikan tanah dengan menggunakan Cerucuk Matras Beton lebih mahal dibandingkan dengan menggunakan metode *Vacuum Consolidation*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Persembahkan khusus untuk :

1. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT. dosen pembimbing yang senantiasa memberikan ilmunya serta membimbing penulis sampai akhir terselesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu Dr. Henny Pratiwi Adi, ST., MT. dosen pembimbing yang senantiasa memberikan ilmunya serta membimbing penulis sampai akhir terselesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Moh. Faiqun Niam, MT., Ph.D. Selaku wali dosen yang selalu memberi arahan kepada anak didik dari awal masuk kuliah sampai dengan lulus.
4. Bapak Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang senantiasa memberikan ilmu selama menuntut ilmu di Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang;
5. Terimakasih kepada Bapakku Maksus, ST. Dan Ibuku Marzukoh yang telah memfasilitasi segala kebutuhan serta mendo'akan, hingga selesainya Laporan Tugas Akhir, tidak lupa juga untuk semua keluarga tercinta, Mbak Ummi Hanifah Marshush yang telah mendukung keuangan dan mendukung untuk menyelesaikan studi.

6. Teman-teman D’Kost yang telah menemani 3 tahun dan bersama-sama berjuang mencari ilmu di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
7. Squad Lawak yang terdiri dari SparkySpeirs, Hamtaro, BoothBoookie dan Cikidur yang telah menemani bermain game ketika otak sedang jenuh.
8. Alisia Argianti Syarifatunnisa yang telah menemani dikala susah dan senang serta selalu memberikan semangat untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
9. Dimas Pandu Pranata, sebagai partner Tugas Akhir;
10. Semua teman-teman angkatan sipil 2015 yang telah menjadi keluarga, dan khususnya bagi semua teman Sipil B ‘15 yang telah menjadi teman kelas selama 4 tahun ini.
11. Rekan-rekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang Jurusan Teknik Sipil angkatan 2015 yang telah menemani berjuang dari awal penulis memulai studi

#### Daftar Pustaka

- [1] Aditya Daniar Wicaksono, Noor Endah Mochtar dan Putu Tantri Kumalasari. 2017. *Perencanaan Perbaikan Tanah Dasar dan Perkuatan Stabilitas Timbunan Jalan Tol Pasuruan-Grati STA 30+100 s.d STA 31+500*. Teknik ITS, 6(2), 72-76.
- [2] Anissa Maria Hidayati, Made Dodiek Wirya Ardana. 2008. *Kombinasi Preloading dan penggunaan pre-fabricated vertical drains untuk mempercepat konsolidasi tanah lempung lunak*. Ilmiah Teknik Sipil, 12(2), 187-195
- [3] Asriwiyanti Desiani. 2018. *Kompresibilitas tanah organik*. Teknik Sipil, 14(1), 26-44.
- [4] Desiana Vidayanti, Pintor T Simatupang dan Sido Silalahi. 2013. *Korelasi nilai N-SPT dengan parameter kuat geser tanah untuk wilayah Jakarta dan sekitarnya*. UNS-surakarta, 7(7), 99-107.
- [5] Lutfi D. Nasutiona, Munirwansyahb, Sofyan M. Saleh. 2018. *Analisis Hkritis terhadap daya dukung tanah dasar*. Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan, 1(2), 39-46.
- [6] Michael, Rudi Iskandar. 2015. *Analisis penurunan tanah lunak menggunakan Preloading dan Pvd dengan metode analisis dan metode elemen hingga (Studi kasus proyek jalan bebas hambatan medan-kualanamu km 36+100)*. Skripsi. Sarjana Teknik Sipil. Fakultas Teknik Uiversitas Sumatra Utara. Medan.
- [7] Norma Puspita dan Ari capri. 2017. *Analisa penurunan tanah lunak dengan beberapa metode konsolidasi pada proyek jalan tol palindra*. Cantilever, 6(1), 17-24.
- [8] Bonifasius Widya P, Dimitri Leon. 2011. *Stabilitas Tebing Pada Proyek Jalan Tol Semarang – Ungaran STA 6+000 Sampai STA 6+250*. Skripsi. Sarjana Tenik. Fakultas Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Semarang.
- [9] Sukarman, Kusumo Nugroho dan Yiyi Sulaeman. 2013. *Developments and Problems of soil Classification System In Indonesia*. Sumber daya Lahan, 7(2), 1-16
- [10] Syahreza Nurdian, Setyanto dan Lusmeilia Afriani. 2015. *Korelasi Parameter Kekuatan Geser Tanah Dengan Menggunakan Uji Triaksial dan Uji Geser Langsung Pada Tanah Lempung Subtitusi Pasir*. JRSDD, 3(1), 13-26
- [11] Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, Eka Nur Fitriani dan Andri Arthono. 2017. *Perhitungan kembali nilai koefisien konsolidasi pada perbaikan tanah lempung lunak*. Teknologi, 7(1), 1-13.
- [12] Ryan Hendraning Risdianta, Harimurti dan Wahyu P. Kuswanda. 2018. *Perencanaan Perbaikan tanah Lunak Menggunakan Preloading Dengan Kombinasi Prefabricated Vertical Drain (PVD) Dan Prefabricted Horizontal (PHD) Pada Pembagunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Amanda Dan Btari*. UB – Malang, 1(1),
- [13] Sumartoyo. 2010. *Dampak Keberadaan Jalan Tol Terhadap Kondisi Fisik, Sosial, Dan Ekonomi Lingkungannya*. Rural and Development, 1 (2), 161-168