



Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)

Alamat Prosiding: snip.eng.unila.ac.id



Analisa Perubahan Metode *Soil Improvement* dari *Pile Slab* Menjadi *Vacuum System*

Ahmad Sahara^{a*}, Dikpride Despa^b, Ratna Widyawati^c

^aPT Waskita Karya (Persero) Tbk, Jl MT Haryono No. 10 RT 11 RW 11 Cawang, Kecamatan Jatinegara, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 13340

^{b,c} Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik Unila, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:
Diterima: 06/03/2023

Kata kunci:
Jalan Tol
Soil Improvement
Vacuum
Pileslab

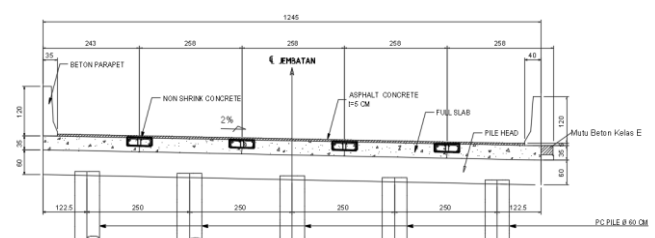
ABSTRAK

Dalam rangka pemenuhan kebutuhan akan akses jalan yang nyaman dan cepat di Indonesia, maka pemerintah terus melakukan upaya-upaya perbaikan dan pembangunan sarana & prasarana infrastruktur demi memenuhi kebutuhan dan peningkatan kualitas infrastruktur yang ada di Sumatera. Salah satu diantaranya adalah pekerjaan Jalan Tol Kayu Agung – Palembang – Betung (KAPB). Dengan dibangunnya jaringan jalan tol trans sumatera ini, diharapkan akan mampu menambah kualitas dalam menjalankan roda perekonomian di Sumatera. Untuk Percepatan pembangunan jalan tol Jalan Tol Kayu Agung – Palembang – Betung (KAPB) paket 1 seksi 1, maka dilakukan pengurangan volume pekerjaan pile slab dari panjang 1.45 km menjadi 675 m dan menggantinya dengan pekerjaan vacuum sebagai perbaikan konstruksi tanah. Pengurangan pekerjaan struktur pile slab ini dilakukan karena terjadinya permasalahan di lapangan seperti kesulitan dalam mendapatkan material spun pile, kerusakan alat pancang di area rawa serta meminimalisir kerugian akibat banyaknya material tiang pancang yang terbuang (waste). Hal itu yang menjadi bahan makalah penulis untuk mengetahui pemilihan metode pekerjaan perbaikan tanah yang paling baik dari segi waktu maupun biaya pelaksanaan.

1. Pendahuluan

Demi menghasilkan pembangunan infrastruktur yang sesuai dengan rencana, baik dalam hal kesesuaian spesifik teknik, ketepatan waktu, dan efisiensi biaya maka perlu adanya pemilihan metode pekerjaan yang tepat. Pembangunan Jalan Tol Kayu Agung – Palembang – Betung (KAPB) paket 1 seksi 1 ini terdapat beberapa macam jenis pekerjaan perbaikan tanah yaitu Pekerjaan Replacement (STA 0+000 – 0+300), Preloading (STA 0+300 – 0+940), Vacuum (0+940 – 5+750), Pile Slab (STA 5+750 – 7+200), Replacement (STA 7+200 – 8+000), & Vacuum (STA 8+000 – 9+000). Pekerjaan Pile Slab Terdiri dari pekerjaan pemancangan spun pile Ø 60cm, pile head dan full slab, sedangkan pekerjaan metode vacuum terdiri dari pekerjaan geotekstil separator, drainase pasir horisontal, Prefabricated Vertikal Drain (PVD), Perforated Horizontal Drain (PHD), Geomembran dan Material Pengisi.

Struktur pada pile slab terdiri dari full slab, pile head dan tiang pancang. Konsep perencanaan struktur jembatan harus tahan terhadap gempa, sehingga diharapkan struktur tidak mengalami kegagalan struktur apabila terjadi gempa ringan, sedang, ataupun kuat.



Gambar 1. Gambaran Umum Komponen Penyusun Pile Slab

Pekerjaan full slab dapat dimulai setelah pekerjaan pondasi tiang pancang telah selesai. Konstruksi pile slab terdiri dari pile head dan full slab yang bertumpu pada beberapa baris tiang pancang.

Pekerjaan Percepatan Konsolidasi Tanah dengan Metode Penyalir Vertikal (PVD) dan Vacuum untuk mempercepat penurunan dan meningkatkan daya dukung tanah asli yang lunak dengan melakukan pemompaan vacuum pada tanah dengan maksud untuk mengurangi kadar air maupun kadar udara pada butiran tanah sehingga dapat mempercepat penurunan jangka panjang dan perbedaan penurunan (differential settlement).

Pekerjaan Percepatan Konsolidasi Tanah dengan Metode Penyalir Vertikal (PVD) dan Vacuum juga dapat dimaksudkan untuk mensubstitusi sebagian material timbunan yang harus didatangkan dari luar dengan material setempat (yang ditempatkan di dalam sistem vacuum), mengurangi material timbunan yang digunakan untuk pra pembebanan, mengurangi material timbunan untuk counterweight (pemberat), mempercepat waktu konsolidasi dibanding dengan pra pembebanan dengan sistem penyalir vertikal (PVD) dan timbunan tanah, dan menaikkan stabilitas timbunan.

Kriteria perencanaan pekerjaan percepatan konsolidasi tanah dengan Sistem Penyalir Vertikal (PVD) dan Vacuum sebagai berikut :

- a. Faktor keamanan stabilitas badan jalan sebagaimana dalam tabel 1 :

Kelas Jalan	Faktor Keamanan Minimal
I	1,4
II	1,4
III	1,3

Tabel 1. Faktor Keamanan Untuk Analisis Stabilitas

Perhitungan dilakukan pada kondisi jangka pendek dalam masa pelaksanaan sesuai dengan panduan Geoteknik 4, Pedoman Kimpraswil No. Pt T-10-2002-B, 2002.

- b. Batas-batas penurunan timbunan konsolidasi sebagaimana dalam tabel 2 :

Kelas Jalan	Penurunan yang Disyaratkan Selama Masa Konstruksi S/S	Kecepatan Penurunan Setelah Konsolidasi (mm/tahun)
I	> 90%	< 20
II	> 85%	< 25
III	> 80%	< 30
IV	> 75%	< 30

Tabel 2. Batas-batas penurunan untuk timbunan pada umumnya

(dari panduan gambut pusat litbang prasarana transportasi)

- c. Total beban yang diaplikasikan selama improvement ke tanah asli $\geq 1,2$ kali beban yang bekerja ke tanah asli pada kondisi layan.

- d. Pada saat urugan mencapai elevasi top subgrade final pada pra pembebanan dengan Sistem Penyalir Vertikal dan Vacuum. Sebelum beban timbunan tanah dikurangi, derajat konsolidasi akibat beban selama proses pembebanan (improvement) mencapai minimum 90% dari estimasi total penurunan akibat beban final (100% derajat konsolidasi pada beban layan).
- e. Daya dukung ijin pada elevasi geomembrane minimum 80 Kpa, Pengujian menggunakan Plate Load Test dengan ukuran plat 100 x 100 atau sesuai dengan standar Bina Marga.

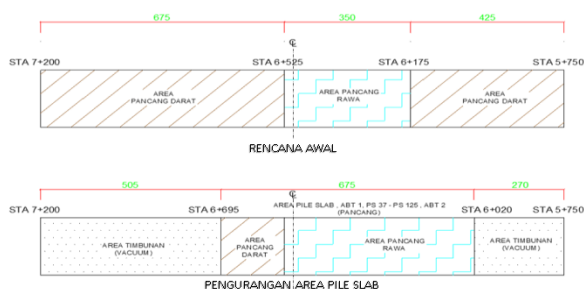
Persyaratan Pekerjaan Vacuum

- a. Area pekerjaan percepatan konsolidasi tanah dengan metode PVD Vacuum harus lebih luas minimum 1 m pada arah panjang dan lebar dibandingkan area konstruksi yang dibutuhkan.
- b. Jarak antara batas lahan yang diperbaiki dengan eksisting bangunan sekitar atau pipa bawah tanah harus ditentukan berdasarkan data tanah dengan jarak tidak boleh kurang 20m.
- c. Untuk mencegah tercampurnya pasir lapisan drainase horizontal dengan tanah asli yang nilai CBR sama atau kurang dari 3% (CBR<3%) serta dalam kondisi jenuh, perlu dipasang geotextile sebagai lapis separator yang berfungsi untuk mencegah terjadinya pencampuran antara tanah dasar dengan lapisan drainase (intermixing).
- d. Dalam hal tinggi timbunan di atas geomembrane selama proses perbaikan tanah dengan sistem Percepatan Konsolidasi Tanah dengan metode PVD dan Vacuum melebihi tinggi kritis, pembebanan harus dilakukan secara bertahap atau dibuat bahu timbunan sebagai pemberat longsor.
- e. Pemasangan penyalir vertikal (PVD) harus dengan jarak dan pola segi empat atau segitiga sesuai gambar. Pemotongan ujung penyalir vertikal (PVD) harus dilakukan minimum 50 cm diatas elevasi lapis pasir.
- f. Penyalir vertikal (PVD) yang digunakan harus menembus lapisan tanah lunak hingga lapisan tanah kompresibel dengan N-SPT maksimum 8 (delapan), tapi tidak menembus lapisan tidak kedap air dibawahnya (apabila ada) dimana lapisan tidak kedap tersebut merupakan lapisan keras.
- g. Dalam Percepatan Konsolidasi Tanah dengan metode PVD dan Vacuum bila terdapat lensa tanah berupa kandungan lanau, pasir atau material tidak kedap lainnya di sekeliling area yang akan diperbaiki, dinding kedap (sealing wall) harus di buat di sekeliling area tersebut untuk menjamin tekanan vacuum dapat mencapai spesifikasi yang telah ditetapkan.
- h. Dalam Percepatan Konsolidasi Tanah dengan Metode PVD dan Vacuum, tanah asli yang akan di vacuum dapat dapat ditimbun dengan tanah lumpur, tanah lempung lunak, tanah lempung biasa ataupun kondisi tanah yang kompleks yang merupakan tanah asli atau pun tanah urugan yang akan diperbaiki sekaligus bersama dengan tanah asli harus memiliki isolasi yang baik terhadap udara dan air, serta tekanan vacuum yang direncanakan tidak boleh kurang dari 80 kPa.
- i. Pada saat mengaplikasikan pra-pembebanan dengan vacuum yang dikombinasikan dengan pra-pembebanan dengan tanah, pekerjaan urugan harus dilakukan secara bertahap dengan kontrol pergerakan lateral tanah ke arah luar di perbatasan area yang di perbaiki tidak lebih dari 5 mm/hari dan kecepatan penurunan tanah tidak lebih dari 30 mm/hari;

- j. Penurunan yang terjadi pada pekerjaan Percepatan Konsolidasi Tanah dengan Vacuum, harus mencapai minimum 90% derajat konsolidasi.

2. Metodologi

Untuk Percepatan pembangunan jalan tol Jalan Tol Kayu Agung – Palembang – Betung (KAPB) paket 1 seksi 1, maka dilakukan pengurangan volume pekerjaan pile slab dari panjang 1.45 km menjadi 675 m dan menggantinya dengan pekerjaan vacuum sebagai perbaikan konstruksi tanah. Zona 1A pekerjaan vacuum STA 5+750 – 6+020, Zona 1B pekerjaan pile slab STA 6+020 – 6+695, Zona 1C pekerjaan vacuum STA 6+695 – 7+200 seperti terdapat pada Gambar 3.7. Pengurangan pekerjaan struktur pile slab ini dilakukan karena terjadinya permasalahan di lapangan seperti sulitnya mendapat material spun pile, kerusakan alat pancang di area rawa serta meminimalisir kerugian akibat banyaknya material tiang pancang yang terbuang (waste). Waste ini terjadi karena ketidaksesuaian data bor log dengan final set di lapangan (data bor log, hasil kalendering & hasil test PDA terlampir).



Gambar 2 Mapping Lokasi Perubahan Item Pekerjaan

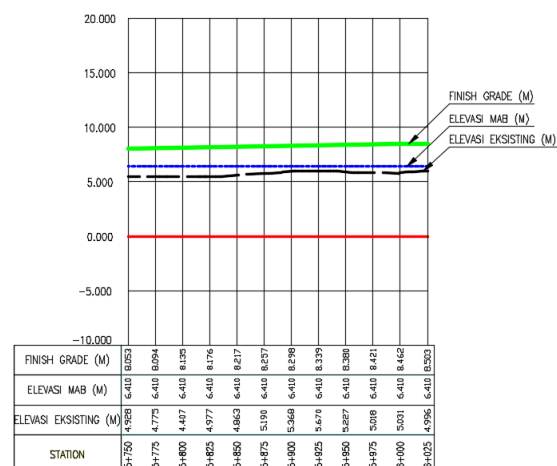
Rencana perubahan metoda yang dilakukan di area pemancangan darat, yang pada awalnya dilakukan dengan metoda pile slab, dengan rencana pancang darat diubah menjadi pekerjaan timbunan tanah dengan metoda Soil improvement berupa Vacuum.

Timbunan Tanah

Untuk elevasi Finish Grade jauh diatas elevasi tanah eksisting, maka diperlukan penimbunan tanah pada area yang akan di vacuum. Peninggian elevasi muka tanah yang akan di vacuum dapat dilakukan dengan cara penimbunan tanah dengan material pengisi di atas geotekstil separator.

Peninggian elevasi muka tanah yang akan di vacuum harus disesuaikan dengan keperluan finish grade rencana. Data peninggian elevasi (penimbunan) mengikuti data eksisting seperti berikut :

- Zona 1A pekerjaan vacuum STA 5+750 – 6+020



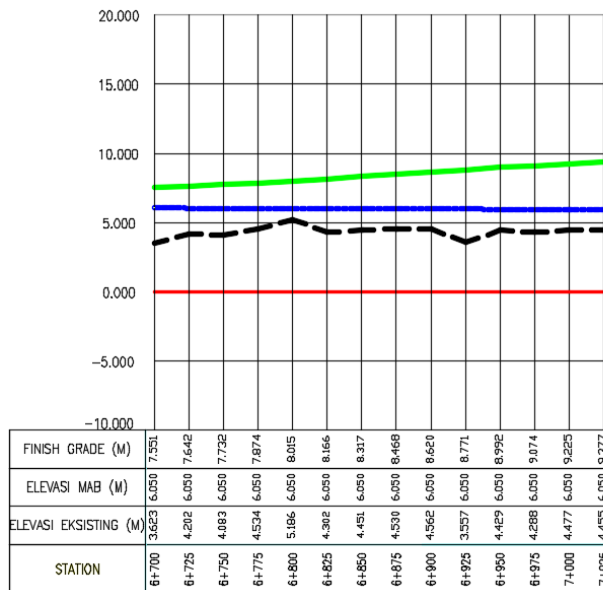
Gambar 3. Long Section Zona 1A

No.	STA	Elevasi Finish	Elevasi Eksisting	Tinggi Timbunan
1	5+750	8.053	4.928	3.125
2	5+775	8.094	4.775	3.319
3	5+800	8.135	4.407	3.728
4	5+825	8.176	4.977	3.199
5	5+850	8.217	4.863	3.354
6	5+875	8.257	5.190	3.067
7	5+900	8.298	5.368	2.930
8	5+925	8.339	5.670	2.669
9	5+950	8.380	5.227	3.153
10	5+975	8.421	5.018	3.403
11	6+000	8.462	5.031	3.431
12	6+025	8.503	4.996	3.507

Tabel 3. Rekapitulasi Data Tinggi Timbunan Zona 1A

Untuk zona 1A timbunan tanah dapat dilakukan dengan cara melakukan clearing terlebih dahulu, dilanjutkan dengan pemasangan geotextile Non Woven, untuk kemudian dilakukan timbunan tanah diatas lapisan geotextile.

- Zona 1C pekerjaan vacuum STA 6+695 – 7+200



Gambar 4. Long Section Zona 1C

No.	STA	Elevasi Finish Grade	Elevasi Eksisting	Tinggi Timbunan
1	6+700	7.551	3.623	3.928
2	6+725	7.642	4.202	3.440
3	6+750	7.732	4.083	3.649
4	6+775	7.874	4.534	3.340
5	6+800	8.015	5.186	2.829
6	6+825	8.166	4.302	3.864
7	6+850	8.317	4.451	3.866
8	6+875	8.468	4.530	3.938
9	6+900	8.620	4.562	4.058
10	6+925	8.771	3.557	5.214
11	6+950	8.992	4.429	4.563
12	6+975	9.074	4.288	4.786
13	7+000	9.225	4.477	4.748
14	7+025	9.377	4.455	4.922
15	7+050	9.528	3.867	5.661
16	7+075	9.675	4.337	5.338
17	7+100	9.83	4.359	5.471
18	7+125	9.982	4.882	5.100
19	7+150	10.133	4.721	5.412
20	7+175	10.284	4.808	5.476
21	7+200	10.435	4.828	5.607

Tabel 4. Rekapitulasi Data Tinggi Timbunan Zona 1C

No.	STA	Elevasi Finish Grade	Elevasi MAB	Elevasi Timbunan Akses Pancang	Tinggi Timbunan
1	6+700	7.551	6.050	6.550	1.001
2	6+725	7.642	6.050	6.550	1.092
3	6+750	7.732	6.050	6.550	1.182
4	6+775	7.874	6.050	6.550	1.324
5	6+800	8.015	6.050	6.550	1.465
6	6+825	8.166	6.050	6.550	1.616
7	6+850	8.317	6.050	6.550	1.767
8	6+875	8.468	6.050	6.550	1.918
9	6+900	8.620	6.050	6.550	2.070
10	6+925	8.771	6.050	6.550	2.221
11	6+950	8.992	6.050	6.550	2.442
12	6+975	9.074	6.050	6.550	2.524
13	7+000	9.225	6.050	6.550	2.675
14	7+025	9.377	6.050	6.550	2.827
15	7+050	9.528	6.050	6.550	2.978
16	7+075	9.675	6.050	6.550	3.125
17	7+100	9.83	6.050	6.550	3.280
18	7+125	9.982	6.050	6.550	3.432
19	7+150	10.133	6.050	6.550	3.583
20	7+175	10.284	6.050	6.550	3.734
21	7+200	10.435	6.050	6.550	3.885

Tabel 5. Rekapitulasi Data Timbunan Zona 1C setelah timbunan pancang darat

Untuk zona 1C telah dilakukan penimbunan untuk dilakukan pemancangan darat, dengan elevasi timbunan 50 cm diatas Elevasi M.A.B. Timbunan tersebut kemudian akan dipasang geotextile woven sebelum dilakuan penimbunan tanah untuk area vacuum.

3. Hasil dan Pembahasan

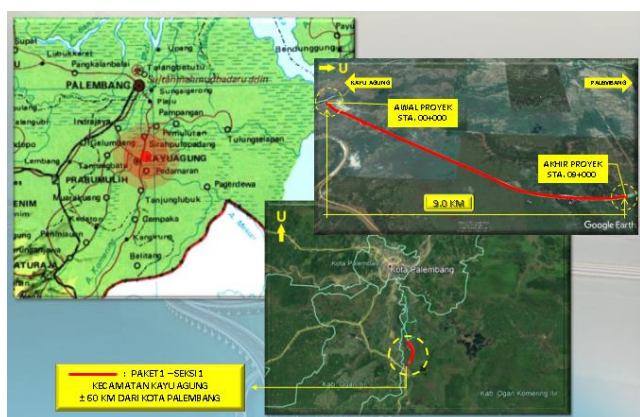
3.1. Uraian Umum Proyek

Jalan Tol Kayu Agung – Palembang – Betung (KAPB) merupakan bagian dari jaringan jalan tol Trans Sumatera seperti terdapat dalam ilustrasi Gambar 3.1, yang mempunyai peranan penting dalam menjalankan roda perekonomian, sekaligus merupakan lanjutan dari Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung (PPKA) yang menghubungkan Provinsi Lampung dan Provinsi Sumatera Selatan.



Gambar 5. Peta Jalur Tol Trans Sumatera
Sumber : infografiskronologis.blogspot.co.id

Proyek Jalan tol Kayu Agung Palembang Betung Seksi 1 merupakan titik awal dari Proyek Jalan Tol KAPB (STA 0+000) yang berlokasi di Kecamatan Kayu Agung dan berakhir di Kecamatan Sirih Pulau Padang (STA 9+000), Kabupaten Ogan Komering Ilir seperti terdapat pada Gambar 3.2 dengan jarak dari kota Palembang ke lokasi proyek ± 60 Km.



Gambar 6. Peta Lokasi Proyek

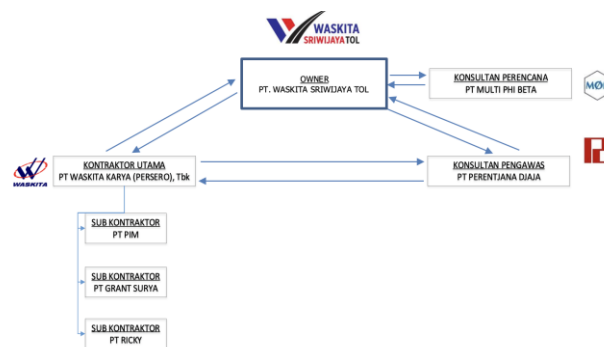
Di sekitar lokasi proyek terdapat tiga kantor yaitu kantor induk yang berlokasi di Kayu Agung, kantor lapangan yang berlokasi di Tanjung Alai, dan kantor yang berlokasi di Stockyard.



Gambar 7. Peta Lokasi Kantor Proyek

Terdapat empat jalur akses yang dapat digunakan untuk menuju ke lokasi proyek. Jalur Pertama terletak di awal proyek yaitu terletak di STA 0+000. Lokasi kedua terletak di Tanjung Alai, tepat di samping kantor lapangan di STA 5+600. Jalur akses Ketiga berada di jalur akses menuju dermaga (ex. Chungma) di area Pile Slab STA 6+500. Jalur akses ke empat yaitu terletak di lokasi menjelang akhir proyek, yaitu di STA 9+000.

Pihak Owner dalam proyek KAPB Paket1 Seksi 1 ini adalah PT Sriwijaya Markmore Persada (SRIMP) yang mayoritas sahamnya dimiliki oleh PT Waskita Toll Road.



Gambar 8 Alur Koordinasi Proyek

3.2. Durasi Pekerjaan

3.2.1. Durasi Pekerjaan Pile Slab

a. Zona 1A pekerjaan pile slab STA 5+750 – 6+020 :

Pemancangan

Zona 1A pekerjaan pile slab STA 5+750 – 6+020 berada pada daerah rawa sehingga perhitungan produktivitas pemancangan menggunakan siklus pemancangan rawa seperti pada tabel 3.4.

No.	Kegiatan	Durasi
1	Setting Titik Pemancangan	5 Menit
2	Pemancangan 1	15 Menit
3	Joint Tiang Pancang 1	20 Menit
4	Pemancangan 2	15 Menit
5	Joint Tiang Pancang 2	20 Menit
6	Pemancangan 3	15 Menit
Total Waktu		90 Menit

Tabel 6. Perhitungan Durasi Siklus Pemancangan Area Rawa

Apabila dalam satu hari total jam kerja selama 9 jam, maka satu alat hanya akan menghasilkan tiga titik pancang per hari.

Perkiraan jumlah titik tiang pancang zona 1A adalah sebanyak 360 titik (PS 1 – PS 36). Maka dapat dihitung durasi pekerjaan pemancangan dengan data sebagai berikut :

- Jumlah Titik Pancang : 360 titik
- Target Titik Per Hari : $\frac{\text{Jumlah Titik Pancang}}{\text{Produktivitas Alat}} = \frac{360 \text{ titik}}{3 \text{ titik/hari}} = 120 \text{ Hari}$
- Target Titik Per Hari : $\frac{\text{Jumlah Titik Pancang}}{\text{Produktivitas Alat}} = \frac{168 \text{ titik}}{6 \text{ titik/hari}} = 28 \text{ Hari}$
- Total Durasi : 92 hari

Potong Tiang

Untuk pekerjaan pemotongan tiang pancang direncanakan 5 titik per hari, maka didapat durasi selama 72 hari.

$$\text{Potong Tiang 5 titik per hari} = \frac{\text{Jumlah Titik Pancang}}{\text{Produktivitas}} = \frac{360 \text{ titik}}{5 \text{ titik/hari}} = 72 \text{ Hari}$$

Beksiting

Total pile slab 36 baris dikali 2 (Kanan dan Kiri) maka didapat 72 buah modul bekisting. Per hari 1 modul bekisting, maka durasi yang dibutuhkan adalah 72 hari.

Pengecoran Pile Head

Total pile slab 36 baris dikali 2 (Kanan dan Kiri) maka didapat 72 Kali pengecoran. Per hari 1 baris pile head, maka durasi yang dibutuhkan adalah 72 hari.

Pemasangan Full Slab

Pekerjaan pemasangan full slab dan pengecoran antar full slab dilakukan setelah beton pier head mencapai umur rencana. Pemasangan pile head diestimasikan 1 span per hari maka didapat durasi pemasangan full slab selama 72 hari.

b. Zona 1C pekerjaan pile slab STA 6+695 – 7+200

Pemancangan

Zona 1C pekerjaan pile slab STA 6+695 – 7+200 berada pada daerah darat sehingga perhitungan produktivitas pemancangan menggunakan siklus pemancangan darat seperti pada tabel 3.5.

No.	Kegiatan	Durasi
1	Setting Titik Pemancangan	5 Menit
2	Pemancangan 1	15 Menit
3	Joint Tiang Pancang 1	20 Menit
4	Pemancangan 2	15 Menit
5	Joint Tiang Pancang 2	20 Menit
6	Pemancangan 3	15 Menit
Total Waktu		90 Menit

Tabel 7. Perhitungan Durasi Siklus Pemancangan Area Darat

Waktu pemancangan darat dalam satu siklus dua kali lebih cepat, bila dibandingkan dengan pancang di rawa. Produktivitas alat meningkat, jumlah titik yang dapat dipancang bisa mencapai 5 titik per hari (8 jam kerja). Perkiraan jumlah titik tiang pancang zona 1C adalah sebanyak 360 titik (PS 128 – PS 191). Maka dapat dihitung durasi pekerjaan pemancangan dengan data sebagai berikut :

- Jumlah Titik Pancang : 640 titik
- Produktivitas Alat : 5 titik per hari
- Jumlah Alat : 2 Alat
- Target Titik Per Hari : $\frac{\text{Jumlah Titik Pancang}}{\text{Produktivitas Alat}} = \frac{640 \text{ titik}}{10 \text{ titik/hari}} = 64 \text{ Hari}$

Potong Tiang

Untuk pekerjaan pemotongan tiang pancang direncanakan 5 titik per hari dan terdiri dari 2 group, maka didapat durasi selama 64 hari.

$$\text{Potong Tiang 10 titik per hari} = \frac{\text{Jumlah Titik Pancang}}{\text{Produktivitas}} = \frac{640 \text{ titik}}{10 \text{ titik/hari}} = 64 \text{ Hari}$$

Beksiting

Total pile slab 64 baris dikali 2 (kanan dan kiri), maka didapat 128 buah modul bekisting. Per hari 1 pile head, maka durasi yang dibutuhkan adalah 128 hari.

Pengecoran Pile Head

Total pile head 64 baris dikali 2 (Kanan dan Kiri) maka didapat 128 Kali pengecoran. Per hari 1 baris pile head, maka durasi yang dibutuhkan adalah 128 hari.

Pemasangan Full Slab

Pekerjaan pemasangan full slab dan pengecoran antar full slab dilakukan setelah beton pile head mencapai umur rencana. Pemasangan full slab diestimasikan 1 span per hari maka didapat durasi pemasangan full slab selama 128 hari.

3.2.2. Durasi Pekerjaan Vacuum

Pemasangan PVD

Perhitungan produktivitas pemasangan PVD menggunakan siklus seperti pada tabel 3.6.

No.	Kegiatan	Durasi
1	Waktu pemasangan PVD 1 titik (L=14m)	1.5 Menit
2	Waktu pemasangan PVD 17 titik (L=14m)	26 Menit
	Waktu alat bergeser 1 titik	4 Detik
2	Waktu alat bergeser 17 titik	1 Menit
3	Waktu ganti + pasang roll PVD / 17 titik	2 Menit
Total Waktu		29 Menit

Tabel 8. Perhitungan Durasi Siklus Pemasangan PVD

Waktu pemasangan PVD per 17 titik 29 menit. Produktivitas alat pemasangan PVD bisa mencapai 600 titik per hari (9 jam kerja & penggunaan 2 alat).

Perhitungan durasi pekerjaan pemasangan PVD zona 1A & 1C sebagai berikut :

No.	Lokasi	Dimensi Pemasangan PVD				Jumlah titik
		Lebar (l)	Panjang (p)	Kedalaman (h)	Jarak PVD	
		m	m	m	m	
1	STA. 5+750 - 6+005	34.1	255	14	0.9	11057.41
2	STA. 6+710 - 7+200	34.1	490	13	0.9	21211.73
Total Waktu						32269.14

Tabel 9. Perhitungan Titik Pemasangan PVD

➤ Durasi Penyelesaian : $\frac{\text{Jumlah Titik PVD}}{\text{Produktivitas Alat}} = \frac{31954 \text{ titik}}{600 \text{ titik/hari}} = 53 \text{ Hari}$

Pemasangan PHD

Perhitungan produktivitas pemasangan PHD menggunakan data laporan harian pekerjaan pemasangan PHD oleh PT. Geotekindo seperti berikut.

No.	Item Pekerjaan	Satuan	Laporan Harian					Rata-rata
			H-1	H-2	H-3	H-4	H-5	
1	Pemasangan PHD	m1	867	607	693	758	805	746
2	Pemasangan Geotextile	m2	1500	1500	1500	1500	1500	1500
3	Pemasangan Geomembrane	m2	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Tabel 10. Rekapitulasi laporan harian pemasangan PHD & Geotextile

Maka dapat dihitung durasi pekerjaan pemasangan PHD dengan data sebagai berikut :

Pemasangan Geotextile

Perhitungan durasi pekerjaan pemasangan Geotextile dengan data sebagai berikut :

➤ Volume pemasangan Geotextile : 26075 m2
 ➤ Produktivitas Alat : 1500 m2/hari
 ➤ Durasi Penyelesaian : $\frac{\text{Volume Geotextile}}{\text{Produktivitas}} = \frac{11522.04 \text{ m}^2}{746 \text{ m}^2/\text{hari}} = 17 \text{ Hari}$

Proses Vacuum

Rencana pekerjaan vacuum ini menggunakan jarak antara pvd 0.9 m dan phd 2.7 m. Dengan perencanaan ini menurut perhitungan geostruktur di dapat waktu proses vacuum sebesar 90 hari.

Penimbunan borrow material

Penimbunan untuk persiapan pekerjaan vacuum

No.	Lokasi	Elv. Top Platform	Elv. Eksisting	Elv. Timbunan	Rata-r Timbu
1	5+750	6.303	4.928	1.375	1.53
2	5+800	6.385	4.407	1.978	
3	5+850	6.467	4.863	1.604	
4	5+900	6.548	5.368	1.180	
5	5+950	6.630	5.227	1.403	
6	6+000	6.712	5.031	1.681	

Tabel 11. Rekapitulasi Kebutuhan Rata-Rata Timbunan Zona 1A

➤ Volume Borrow Material (255 x 34,1 x 1,536 m) : 13356,29 m3
 ➤ Produktivitas timbunan per hari : 3000,00 m3
 ➤ Durasi pekerjaan : $\frac{\text{Volume timbunan}}{\text{Produktivitas}} = \frac{12964,61 \text{ m}^3}{3000 \text{ m}^3/\text{hari}} = 5 \text{ Hari}$

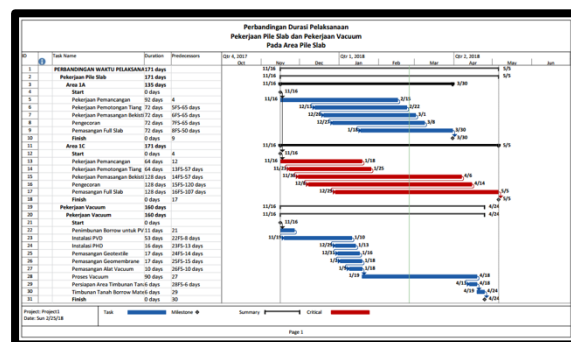
No.	Lokasi	Elv. Top Platform	Elv. Timbunan Akses Pancang	Elv. Timbunan	Rata-rata Timbunan
1	6+700	6.200	6.050	0.150	0.970
2	6+750	6.200	6.050	0.150	
3	6+800	6.200	6.050	0.150	
4	6+850	6.276	6.050	0.226	
5	6+900	6.570	6.050	0.520	
6	6+950	6.872	6.050	0.822	
7	7+000	7.175	6.050	1.125	
8	7+050	7.478	6.050	1.428	
9	7+100	7.780	6.050	1.730	
10	7+150	8.083	6.050	2.033	
11	7+200	8.385	6.050	2.335	

Tabel 12. Rekapitulasi Kebutuhan Rata-Rata Timbunan Zona 1C

➤ Volume borrow material (490 x 34,1 x 0,970 m) : 16207,73 m3
 ➤ Produktivitas timbunan per hari : 3000,00 m3
 ➤ Durasi pekerjaan : $\frac{\text{Volume timbunan}}{\text{Produktivitas}} = \frac{16207,73 \text{ m}^3}{3000 \text{ m}^3/\text{hari}} = 6 \text{ Hari}$

Penimbunan setelah proses konsolidasi dari pekerjaan Vacuum.

➤ Volume borrow material (255 x 34,1 x 1 m) : 8695,50 m3
 ➤ Volume borrow material (490 x 34,1 x 1 m) : 16709,00 m3
 ➤ Produktivitas timbunan per hari : 3000,00 m3
 ➤ Durasi pekerjaan : $\frac{\text{Volume timbunan}}{\text{Produktivitas}} = \frac{25404,5 \text{ m}^3}{3000 \text{ m}^3/\text{hari}} = 8 \text{ Hari}$



tersebut diatas didapat evaluasi biaya pekerjaan tambah dan kurang pada item pekerjaan seperti pada tabel berikut

No.	Item Pekerjaan	PU	BK	BK/PU
		Total Biaya	Total Biaya	
1	Pekerjaan Pile Slab	146,018,172,349.08	110,334,846,998.98	75.56%
2	Pekerjaan Vacuum	86,282,404,923.71	55,827,461,791.53	64.70%

Tabel 13. Rekapitulasi Perbandingan Biaya Pelaksanaan Pekerjaan Pile Slab dengan Metode Vacuum

Dari tabel 3.13 pelaksanaan pekerjaan perbaikan tanah dengan :

$$\text{Struktur pile slab didapat nilai BK / PU} = \frac{110,334,846,998.98}{146,018,172,349.08} \times 100\% = 75,56\%$$

$$\text{Metode vacuum didapat nilai BK / PU} = \frac{55,827,461,791.53}{86,282,404,923.71} \times 100\% = 64,70\%$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa

- Secara teknis masih bisa dilakukan vacuum masih memungkinkan dilakukan timbunan dikarenakan elevasi tanah eksisting dan elevasi finish grade selisihnya tidak terlalu besar sehingga tidak memerlukan penyesuaian elevasi finish grade pileslab eksisting.
- Metode PVD vacuum dapat diselesaikan 11 hari lebih cepat bila dibandingkan dengan pekerjaan pile slab pada area tersebut.
- Dari data pada tabel 4.1. di didapatkan BK/PU pekerjaan PVD vacuum lebih kecil dari pada BK/PU pekerjaan struktur pile slab.

Ucapan terima kasih

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan Rahmat, Ridho dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan artikel ini dengan baik. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan dan motivasi dalam penyelesaian artikel ini. Semoga artikel ini dapat bermanfaat dan dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuan secara umum.

Daftar pustaka

- Braja M. Das, Noor Endah, Indrasurya B. Mochtar, 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta : Erlangga.
- Indarto,.Himawan, dll. (2015). *Desain Struktur Slab On Pile*. Semarang. Universitas Diponegoro.
- PT. Waskita Tol Road, (2016). *Spesifikasi Umum Jalan Tol Kayu Agung – Palembang – Betung*. Jakarta.
- PT. Multi Phi Beta, (2017), *Struktur Paket 1*. Jakarta. PT. Multi Phi Beta.
- PT. Grand Surya, (2018). *Metode Pelaksanaan Pekerjaan Pemancangan Jalan Tol Palembang-Betung*. Jakarta. PT. Grand Surya.
- PT. Geotekindo, (2018). *Metode Pelaksanaan Pekerjaan Vacuum System Jalan Tol Palembang-Betung*. Jakarta. PT. Grand Surya.