

ANALISIS PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN METODE VACUUM CONSOLIDATION PADA PROGRAM PLAXIS DAN METODE ASAOKA (Studi Kasus: Jalan Tol Balikpapan-Samarinda STA 20+775)

Catur Hari Wibowo¹, Dedy Agusta Sonia Al Azkya², Rinda Karlinasari³, Nafiah⁴

^{1, 2, 3, 4} Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung

^{1, 2, 3, 4} Universitas Islam Sultan Agung, Jl. Raya Kaligawe Km. 4 Semarang, Jawa Tengah

¹ E-mail : caturhariwibowo.96@gmail.com

Abstrak – *Proyek pembangunan jalan tol Balikpapan – Samarinda (Tol Balsam) STA 20+775 mengalami kendala yaitu tanah lokasi pembangunan didominasi tanah lunak. Masalah yang timbul pada tanah lunak yaitu daya dukung rendah dan penurunan yang besar, tanah lunak memiliki dampak buruk terhadap konstruksi jalan raya yang berakibat penurunan tanah (settlement) karena konsolidasi, sehingga akan membuat konstruksi perkerasan jalan di atasnya menjadi tidak stabil dan merusak lapisan perkerasan. Konsolidasi adalah proses pengecilan volume secara perlahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori. Untuk mengatasi masalah itu dilakukan perbaikan daya dukung tanah dengan metode vacuum consolidation. Metode vacuum menggunakan tekanan sebesar 80 KPa untuk menekan tanah sehingga air dapat mengalir keluar dari dalam tanah melalui pipa PVD. Permodelan pada aplikasi Plaxis v8.2 dan perhitungan metode Asaoka digunakan untuk mengetahui settlement yang terjadi saat konsolidasi 90% dan angka keamanan setelah dilakukan perbaikan dengan metode vacuum. Pada aplikasi Plaxis v8.2 didapatkan penurunan saat konsolidasi 90% pada titik settlement plate kiri sebesar 30,4 cm pada hari ke 216, titik settlement plate tengah sebesar 30,6 cm pada hari ke 216, dan titik settlement plate kanan sebesar 24,3 cm pada hari ke 217. Angka keamanan yang didapatkan pada akhir konstruksi sebesar 1,4702. Pada perhitungan Asaoka didapatkan settlement saat konsolidasi 90% pada titik settlement plate kiri sebesar 0,29 m pada hari ke 235, titik settlement plate tengah sebesar 0,3 m pada hari ke 244, titik settlement plate kanan sebesar 0,38 m pada hari ke 261. Kesimpulannya saat konsolidasi 90% settlement yang terjadi pada permodelan Plaxis v8.2 dan metode Asaoka memiliki hasil yang berbeda, waktu yang dibutuhkan (t_{90}) lebih cepat pada permodelan Plaxis v8.2 dan konstruksi dinyatakan aman karena angka kewananan diatas 1.*

Kata kunci: *Vacuum Consolidation, Settlement, Plaxis, Asaoka*

Abstrak – *The construction of Balikpapan – Samarinda Toll Road STA 20+775 has a problem, which is its soil was dominated by soft soil. The problem of soft soil is low carrying capacity and big settlement, soft soil has negative impact for toll road construction that result settlement due to consolidation, so it will make toll road pavement construction on it unstable and ruin the layers. Consolidation is the process of slowly volume reduction on saturated soil with low permeability due to some of drainage of pore water. To resolve this problem, it can repair the carrying capacity with vacuum consolidation method. Vacuum method uses 80 KPa of pressure to compress soil so the water flows out of the ground through PVD pipe. Modelling in the Plaxis v8.2 and the calculation of Asaoka used to find out the settlement occurs when 90% consolidated and the number of safety factor after repaired with vacuum method. Settlement when 90% consolidated in the Plaxis v8.2 application at left settlement plate is 30,4 cm at 216th day, center settlement plate is 30,4 cm at 216th day, right settlement plate is 24,3 cm at 217th day. The number of safety factor at the last step of construction is 1,4702. Settlement when 90% consolidated in the calculation of asaoka at left settlement plate is 0,29 m at 235th day, center settlement plate is 0,3 m at 244th day, right settlement plate is 0,38 m at 261th day. The conclusion is there was different between modelling with Plaxis v8.2 with Asaoka method at 90% consolidated, time needed (t_{90}) at Plaxis v8.2 is faster and the construction stated safe.*

Key words: *Vacuum Consolidation, Settlement, Plaxis, Asaoka*

I. PENDAHULUAN

Tanah Lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari butiran yang berukuran sangat kecil. Tanah lunak memiliki tekanan kuat geser yang rendah, kemampuan kompresibilitas yang tinggi, dan daya dukung yang rendah dan mempunyai koefisien permabilitas yang sangat kecil. Proyek pembangunan jalan tol Balikpapan-Samarinda (Balsam) terdapat kendala yaitu tanah pada lokasi tersebut didominasi oleh tanah lunak. Maka perlu dilakukan penyelidikan dan pengendalian menyeluruh supaya tidak terjadi permasalahan ketidakstabilan serta penurunan jangka panjang yang berakibat kerusakan pada konstruksi di atasnya. Untuk mengatasinya, terdapat beberapa cara diantaranya menggunakan metode perbaikan tanah lunak dengan menggunakan metode *Vacuum Consolidation* (Konsolidasi Vakum). Untuk mengaplikasikannya diperlukan suatu analisis permodelan numerik dan perhitungan dengan program Plaxis v8.2 dan Asaoka

II. TINJAUAN PUSTAKA/ LANDASAN TEORI

Preloading

Preloading atau metode pembebanan awal merupakan suatu metode perbaikan tanah yang berupa penempatan timbunan pada lokasi perbaikan tanah dengan berat sekurang-kurangnya sama dengan berat struktur yang akan digunakan dan akan dibuang jika konsolidasi telah tercapai (Pedoman Konstruksi dan Bangunan, 2004). Pemberian beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab lain dimana faktor-faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan (Braja M. Das, 1985). Penurunan tanah menyebabkan beberapa kasus kegagalan konstruksi, hal ini dikarenakan tanah asli belum pernah memikul beban yang lebih besar dibandingkan beban yang sedang bekerja, sehingga tanah tidak mampu memikul beban konstruksi yang telah dibangun. Oleh karena itu, sebelum dilakukan proses konstruksi perbaikan tanah perlu dilakukan dimana tanah diberikan beban awal (*preloading*) agar terjadi penurunan sehingga ketika konstruksi telah selesai dikerjakan tidak akan terjadi penurunan tanah lagi. Pada umumnya penurunan tanah membutuhkan waktu yang dapat menunda pekerjaan konstruksi dengan cukup lama.

Vertical Drain

Preloading dan *vertical drain* pada dasarnya bertujuan untuk meningkatkan kekuatan geser pada tanah, mengurangi kompresibilitas/kemampumampatan tanah, dan mencegah penurunan (*settlement*) yang besar serta kemungkinan kerusakan pada struktur bangunan. *Preloading* dan *vertical drain* umumnya digunakan pada tanah dengan daya dukung yang rendah seperti pada tanah lempung lembek dan tanah organik. Jenis tanah tersebut biasanya memiliki ciri seperti berikut :

1. Kadar air yang ekstrim
2. Kompresibilitas yang besar, dan
3. Koefisien permeabilitas yang kecil.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya bahwa tanah lempung lunak memiliki permeabilitas yang rendah, sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk menyelesaikan konsolidasi. Untuk mempersingkat waktu konsolidasi tersebut, drainase vertikal (*vertical drains*) dikombinasikan dengan teknik *preloading*. *Vertical drain* tersebut sebenarnya merupakan jalur drainase buatan yang dimasukkan kedalam lapisan lempung. Dengan kombinasi *preloading*, air pori diperas keluar selama konsolidasi dan mengalir lebih cepat pada arah horizontal daripada arah vertikal. Selanjutnya, air pori tersebut mengalir sepanjang jalur drainase vertikal yang telah diinstalasi. Oleh karena itu, *vertical drain* berfungsi untuk memperpendek jalur drainase dan sekaligus mempercepat proses konsolidasi.

PVD (Pre-Fabricated Vertical Drain)

Metode perbaikan tanah yang cukup populer digunakan adalah dengan menggunakan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*), di mana perkuatan tanah dilakukan dengan cara mempercepat penurunan dari tanah akibat beban. Dengan menggunakan PVD, maka penurunan konsolidasi yang ingin dicapai dapat diperoleh dengan waktu yang lebih singkat. Pekerjaan PVD ini ada juga yang dikerjakan dengan pekerjaan *vacuum preloading* yang digunakan sebagai media untuk mengalirkan air ke permukaan atau ke horizontal drain yang disambungkan dengan masing-masing PVD dan pada akhirnya ke penampungan air. Sistem *vacuum preloading* menggunakan tekanan *vacuum* untuk menekan tanah hingga menjadi padat dengan menghisap air yang ada di dalam tanah. Pekerjaan *vacuum* ini ada juga yang menggunakan beban tambahan berupa beban timbunan tanah maupun beban tambahan air yang dikeluarkan melalui sistem *vacuum* itu. (Julius 2014)

Prefabricated Vertical Drain atau PVD ialah produk berbentuk pita (potongan melintang segiempat) yang terdiri atas material penyering geotekstil yang membungkus inti plastik. Material dibentuk dari inti plastik yang berguna untuk mengalirkan air yang terjebak pada saringan geotekstil (Schaefer, 1997). Ukuran PVD adalah 10 cm lebar dengan ketebalan antara 3 – 4 cm. Penggunaan PVD lebih umum digunakan karena memiliki banyak keuntungan, diantaranya:

1. Gangguan pada tanah yang diakibatkan saat pemasangan lebih kecil
2. Waktu yang dibutuhkan saat control kualitas lebih cepat

3. Kualitas PVD cenderung seragam
4. Tahan terhadap deformasi besar tanpa terlalu banyak kehilangan fungsi drainase
5. Konta minasi butiran halus pada tanah asli jauh lebih kecil
6. Pemasangan lebih cepat dan ekonomis

Konsolidasi Vakum (*Vacuum Consolidation*)

Vacuum preloading 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. Gouw (2012) menyebutkan, umumnya sistem *vacuum preloading* terdiri dari *drainage system*, *sealing system*, dan *vacuum pumps*. Tekanan *vacuum* yang dihasilkan oleh pompa tersebar di tanah dengan *drainage system*, mengeluarkan air dan mempercepat konsolidasi.

Metode Asaoka

Metode Asaoka (1978) merupakan metode observasi untuk konsolidasi satu arah yang paling populer, karena selain dapat memprediksi penurunan akhir juga dapat memungkinkan diperolehnya parameter – parameter konsolidasi yang lebih akurat. Umumnya analisis penurunan tanah memerlukan data lapangan dan data laboratorium seperti data tekanan air pori, panjang aliran air, regangan maksimum tanah dan koefisien konsolidasi. Metode Asaoka ini merupakan suatu alat bantu untuk memprediksi penurunan tanah dengan menggunakan metode *curve fitting*. Tetapi dengan menggunakan Metode Asaoka, kebutuhan akan data-data tanah tidak diperlukan dan hasil yang diperoleh pun cukup diandalkan.

(Hasbullah Nawir, dkk, 2012)

III. METODE PENELITIAN

Dalam *paper* ini memerlukan pemodelan yang digunakan untuk menganalisis dan mengetahui hasil berupa penurunan tanah (*settlement*), tekanan air berpori (*excess pore water pressure*), dan angka keamanan (*safety factor*) pada proyek pembangunan Jalan Tol Balikpapan - Samarinda (Balsam) STA 20+775. Pemodelan pada *paper* ini menggunakan program *Plaxis v8.2* dengan menggunakan metode *Vacuum Consolidation*. Selain itu, juga menggunakan perhitungan *Asaoka* untuk mengetahui prediksi penurunan tanah.

Pengumpulan Data

Terdapat 2 (dua) macam cara pengumpulan data, yaitu : data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung melalui wawancara atau dari hasil pengamatan. Sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh dari berbagai sumber yang telah ada pada instansi atau pihak-pihak yang terkait dalam pembangunan Jalan Tol Balikpapan-Samarinda (Balsam).

Sumber Data

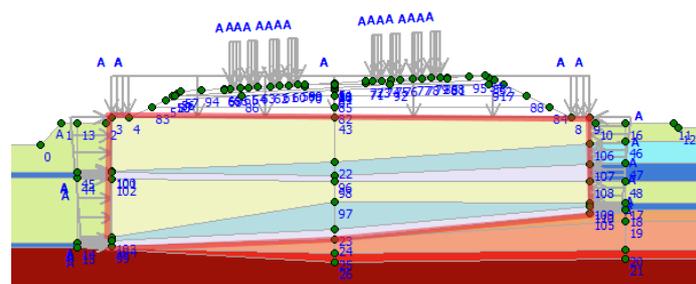
Dalam pembuatannya data - data yang digunakan adalah termasuk data sekunder yang didapatkan dari PT. Erka Konsultan Enjiniring.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan

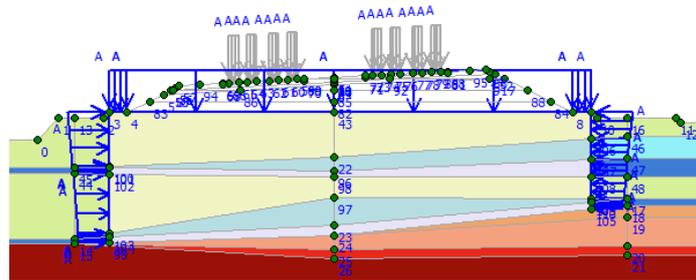
Dalam permodelan menggunakan *Plaxis v8.2* terdapat beberapa tahap - tahap perhitungan diantaranya seperti berikut :

- **Initial Phase**, merupakan tahap default dari program *Plaxis v8.2* (*Phase 0*)
- **Kondisi Awal**, merupakan tahap dimana tanah berada pada kondisi awal sebelum dilakukan pekerjaan konstruksi
- **Install PVD**, tahap pekerjaan pemasangan PVD (*Pre-Fabricated Vertical Drain*), waktu yang dibutuhkan untuk melaksanakan tahap ini adalah 14 hari yang dapat dilihat seperti gambar berikut :



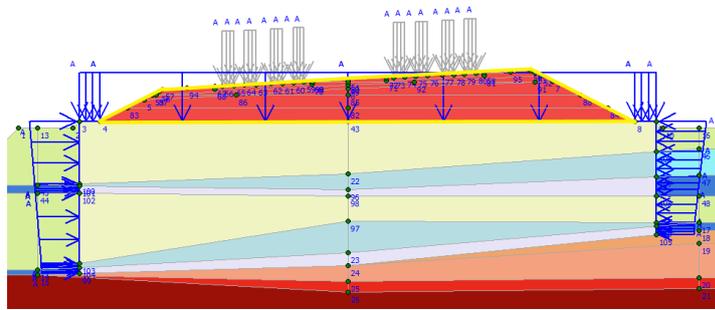
Gambar 3.1. Tahap *Install PVD*

- **Install Vacuum**, pada tahap pekerjaan vacuum waktu yang dibutuhkan yaitu selama 14 hari seperti pada gambar berikut :



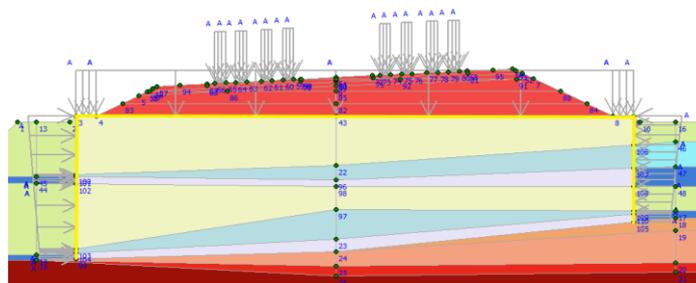
Gambar 3.2. Tahap *Install Vacuum*

- **Timbunan**, tahap berikutnya adalah pekerjaan timbunan yang dilakukan bertahap. Timbunan tahap pertama dilakukan setinggi 1 meter, kemudian timbunan ke-2 setinggi 1 meter, dan timbunan tahap 3 setinggi 0,5, dengan total tinggi timbunan sebesar 3,5 meter. Masing-masing dari tahap timbunan memerlukan waktu selama 10 hari dan dapat dilihat pada pemodelan seperti berikut :



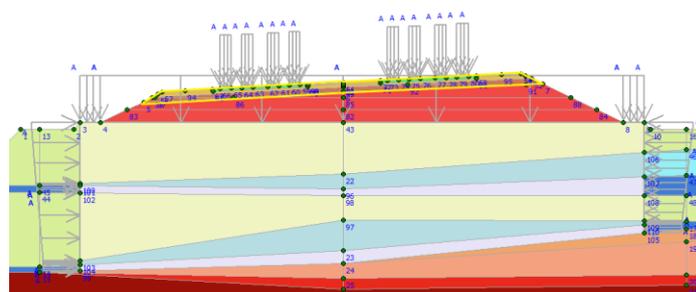
Gambar 3.3. Tahap Timbunan 3,5 m

- **Konsolidasi 180 Hari**, Langkah selanjutnya adalah konsolidasi selama 180 hari
- **Vacuum Off**, Tahap berikutnya adalah pekerjaan *vacuum* selesai atau menonaktifkan beban *vacuum*. Pada *vacuum off* ini memerlukan durasi waktu pekerjaan selama 1 hari, seperti pada gambar berikut :



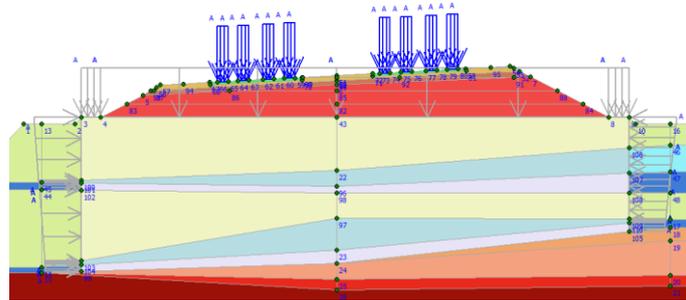
Gambar 3.4. Tahap *Vacuum Off*

- **Tahap Perkerasan Jalan**, tahap pekerjaan perkerasan membutuhkan waktu pelaksanaan selama 21 hari, seperti pada pemodelan berikut :



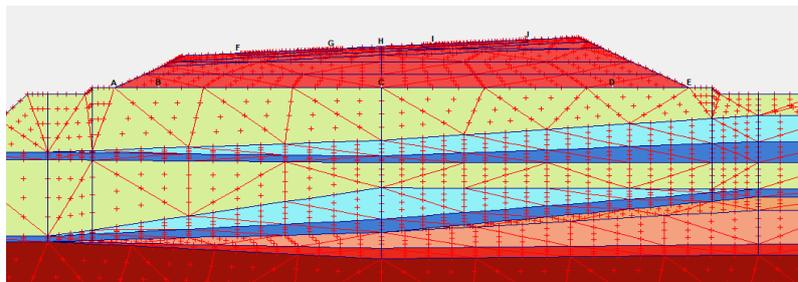
Gambar 3.5. Tahap Perkerasan Jalan

- **Service Load** Tahap *service load*, diaplikasikan beban sebesar 90.4 kN/m sesuai perhitungan pembebanan, seperti pada pemodelan berikut :



Gambar 3.6. Tahap *Service Load*

- **Konsolidasi**, pada tahap konsolidasi ini terdapat beberapa tahap yaitu, konsolidasi 1 tahun (365 hari), kemudian konsolidasi 3 tahun (730 hari), konsolidasi 10 tahun (2555 hari), dan konsolidasi 50 tahun (14300 hari).
- **Safety Factor**, dari setiap tahapnya akan dilakukan analisis angka keamanan/*safety factor*.
- **Menentukan Titik Tinjau**, langkah terakhir yaitu menentukan titik tinjau, terdapat 3 titik yang ditinjau yaitu : titik A merupakan titik pada dasar timbunan ujung kiri, Titik B merupakan posisi *settlement plate* kiri, Titik C merupakan posisi *settlement plate* tengah, Titik D merupakan posisi *settlement plate* kanan seperti pada gambar berikut :



Gambar 3.7. Titik Tinjau

-**Perhitungan Asaoka**, perhitungan asaoka dilakukan dengan menggunakan rumus-rumus yang telah ditentukan.

Hasil Perhitungan

A. Hasil Perhitungan Program *Plaxis v8.2*

Dari perhitungan menggunakan pemodelan *Plaxis v8.2* akan menghasilkan *output* atau keluaran berupa nilai *total*

No	Tahapan Konstruksi	Hari	Total Hari	Excess Pore Pressure (kN/m ²)	Total Displacement (cm)	Safety Factor
1	Kondisi Awal	-	-	-	-	1,5366
2	Install PVD	14	14	38,020	3,579	2,9175
3	Install Vacuum	14	28	-2,264	18,247	2,5750
4	Timbunan Tahap 1 (1 m)	10	38	-0,666	22,625	2,0143
5	Timbunan Tahap 2 (2 m)	10	48	-0,968	24,295	1,6571
6	Timbunan Tahap 3 (3 m)	10	58	-1,051	25,245	1,4556
7	Timbunan Tahap 4 (3.5m)	10	68	-0,726	26,4	1,4702
8	Konsolidasi 180 Hari	180	194	-0,163	38,35	1,6565
9	Vacum Off	1	195	-0,163	31,716	1,4855
10	Perkerasan	21	216	-1,656	31,794	1,4569
11	Service Load	1	217	-23,296	37,416	1,0887
12	Konsolidasi 1 Tahun	365	582	-0,005	40,171	1,1842
13	Konsolidasi 3 Tahun	730	1312	-0,004	40,361	1,1889
14	Konsolidasi 10 Tahun	2555	3867	-0,003	40,533	1,1988
15	Konsolidasi 50 Tahun	14300	18174	-0,001	40,991	1,2131

displacement, *excess pore water pressure* dan *safety factor* yang dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 3.1. Hasil Perhitungan Plaxis v8.2

B. Hasil Perhitungan Asaoka

Terdapat beberapa hasil / keluaran setelah dilakukannya tahap perhitungan *asaoka*. Keluaran tersebut berupa angka prediksi penurunan akhir atau pada t90 diantaranya sebagai berikut :

- Prediksi penurunan/*settlement* pada titik B (*settlement plate* bagian kiri) terjadi pada hari ke-235 dengan penurunan sebesar 29 cm
- Prediksi penurunan/*settlement* pada titik C (*settlement plate* bagian tengah) terjadi pada hari ke-244 dengan penurunan sebesar 30 cm
- Prediksi penurunan/*settlement* pada titik D (*settlement plate* bagian kanan) terjadi pada hari ke-261 dengan penurunan sebesar 38 cm

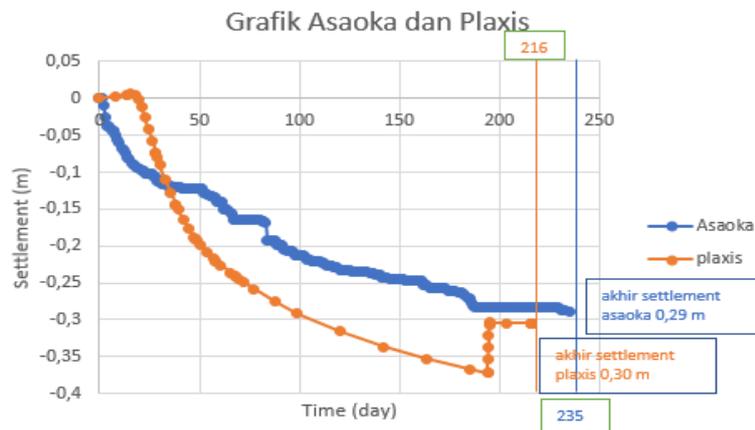
C. Nilai Perbandingan Antara Plaxis v8.2 dengan Asaoka

Nilai penurunan pada permodelan dengan aplikasi *Plaxis v8.2* didapatkan bahwa, pada tahap akhir konstruksi di hari ke-68 besarnya penurunan tanah di tiga (3) titik tinjau yaitu titik B (*settlement plate* kiri) memiliki nilai penurunan tanah 0,24 m, titik C (*settlement plate* tengah) memiliki nilai penurunan tanah 0,19 m, dan titik D (*settlement plate* kanan) memiliki nilai penurunan tanah 0,19 m.

Untuk nilai penurunan atau t90 yang didapatkan adalah sebagai berikut :

- Pada titik *settlement plate* kiri, penurunan tanah menggunakan aplikasi *Plaxis v8.2* sebesar 0,304 dihari ke-216, sedangkan berdasarkan perhitungan dengan metode *asaoka* didapatkan penurunan sebesar 0,290 m dihari ke-235.

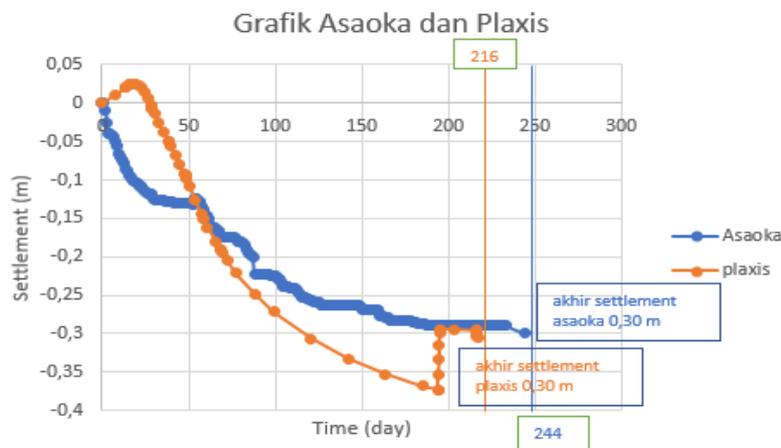
Grafik perbandingan antara *Plaxis v8.2* dengan *Asaoka* dapat dilihat seperti gambar berikut :



Gambar 3.8. Grafik *Plaxis* dan *Asaoka* (SP. Kiri)

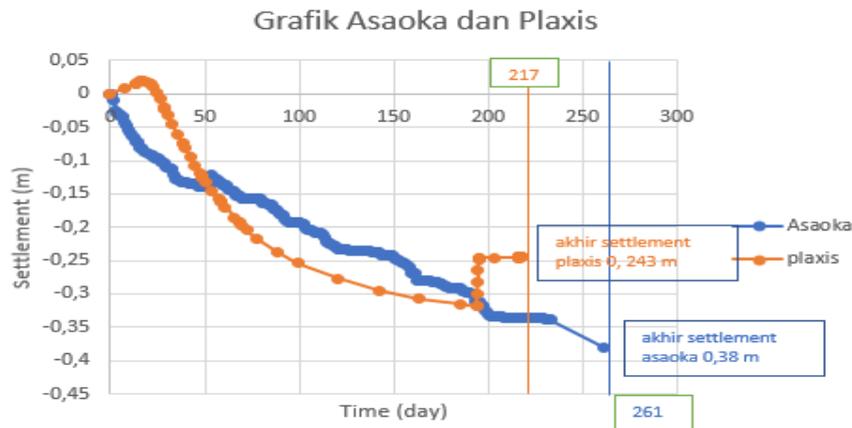
- Pada titik *settlement plate* tengah, penurunan tanah menggunakan aplikasi *Plaxis v8.2* sebesar 0,304 dihari ke-216, sedangkan berdasarkan perhitungan dengan metode *asaoka* didapatkan penurunan sebesar 0,3 m dihari ke-244.

Grafik perbandingan antara *Plaxis v8.2* dengan *Asaoka* dapat dilihat seperti gambar berikut :



Gambar 3.9. Grafik *Plaxis* dan *Asaoka* (SP. Tengah)

- Pada titik *settlement plate* kanan, penurunan tanah menggunakan aplikasi *Plaxis v8.2* sebesar 0,243 m dihari ke-217, sedangkan berdasarkan perhitungan dengan metode *asaoka* didapatkan penurunan sebesar 0,380 m dihari ke-261. Grafik perbandingan antara *Plaxis v8.2* dengan *Asaoka* dapat dilihat seperti gambar berikut :



Gambar 3.10. Grafik *Plaxis* dan *Asaoka* (Kanan)

Untuk nilai perbandingannya dapat dilihat pada tabel seperti berikut ini :

Tabel 3.2. Tabel Perbandingan *Settlement Plaxis* dengan *Asaoka*

Time dan Settlement Bagian Kiri (Left)									
STA 20 + 775									
Settlement Hasil Analisa Plaxis			Settlement menurut Metode Asaoka			Selisih Akhir Konstruksi - Per 14 Okt (m) (5)	Selisih t90 - Settlement SP Aktual (m) (6)	Sisa Penurunan (cm)	
Settlement Akhir Konstruksi (m) (1)	Settlement konsolidasi t90% (m) (2)	Total Waktu t90% (day) (3)	Settlement per tanggal 14 Okt 2019 (m) (3)	Predeksi Settlement konsolidasi T90% Asaoka (m) (4)	Prediksi Total Waktu (day) (5)			Model (7)	Asaoka (8)
-0,24	-0,3	216	-0,165	-0,29	235	-0,075	-0,01	-0,135	-0,125
Time dan Settlement Bagian Tengah (Center)									
STA 20 + 775									
Settlement Hasil Analisa Plaxis			Settlement menurut Metode Asaoka			Selisih Akhir Konstruksi - Per 14 Okt (m) (5)	Selisih t90 - Settlement SP Aktual (m) (6)	Sisa Penurunan (cm)	
Settlement Akhir Konstruksi (m) (1)	Settlement konsolidasi t90% (m) (2)	Total Waktu t90% (day) (3)	Settlement per tanggal 14 Okt 2019 (m) (3)	Predeksi Settlement konsolidasi T90% Asaoka (m) (4)	Prediksi Total Waktu (day) (5)			Model (7)	Asaoka (8)
-0,19	-0,304	216	-0,174	-0,3	244	-0,016	-0,004	-0,13	-0,126
Time dan Settlement Bagian kanan (Right)									
STA 20 + 775									
Settlement Hasil Analisa Plaxis			Settlement menurut Metode Asaoka			Selisih Akhir Konstruksi - Per 14 Okt (m) (5)	Selisih t90 - Settlement SP Aktual (m) (5)	Sisa Penurunan (cm)	
Settlement Akhir Konstruksi (m) (1)	Settlement konsolidasi t90% (m) (2)	Total Waktu t90% (day) (3)	Settlement per tanggal 14 Okt 2019 (m) (3)	Predeksi Settlement konsolidasi T90% Asaoka (m) (4)	Prediksi Total Waktu (day) (5)			Model (6)	Asaoka (8)
-0,19	-0,243	40	-0,152	-0,38	261	-0,038	0,137	-0,091	-0,228

V. SIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis perbaikan tanah lunak dengan metode *vacuum consolidation* proyek pembangunan jalan tol Balikpapan – Samarinda (Tol Balsam) pada STA 20+775 dengan permodelan menggunakan *Plaxis v8.2* dan perhitungan menggunakan metode *Asaoka* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Analisis permodelan dengan menggunakan *Plaxis v8.2* pada titik tinjau C (*Settlement Plate* Tengah) mengalami penurunan tanah saat konsolidasi telah mencapai 90% sebesar 30,6 cm pada hari ke 216.
2. Analisis penurunan tanah saat konsolidasi telah mencapai 90% menggunakan metode perhitungan *Asaoka* menghasilkan prediksi penurunan tanah pada titik tinjau C (*Settlement Plate* Tengah) sebesar 30 cm yang terjadi pada hari 244.
3. Berdasarkan analisis angka keamanan (*Safety Factor*) dari permodelan dengan menggunakan *Plaxis v8.2* didapatkan bahwa angka keamanan pada kondisi awal sebesar 1,5366, pada tahap *install PVD* sebesar 2,9175, pada tahap *install vacuum* sebesar 2,5750, pada timbunan tahap 1 sebesar 2,0143, pada timbunan tahap 2 sebesar 1,6571, pada timbunan tahap 3 sebesar 1,4556, pada timbunan tahap 4 (*top* timbunan) sebesar 1,4702, pada tahap konsolidasi 180 hari sebesar 1,6565, pada tahap *vacuum off* sebesar 1,4855, pada tahap perkerasan sebesar 1,4569, pada tahap *service load* sebesar 1,0887, pada tahap konsolidasi 1 tahun sebesar 1,1842, pada tahap konsolidasi 3 tahun sebesar 1,1889, pada tahap konsolidasi 10 tahun sebesar 1,1988 dan pada tahap konsolidasi 50 tahun sebesar 1,2131. Berdasarkan angka keamanan (SF) yang didapatkan pada setiap tahap konstruksi maka dapat disimpulkan bahwa konstruksi dinyatakan aman karena angka keamanan (SF) yang didapat berada diatas 1 (satu).
4. Analisis penurunan tanah saat konsolidasi mencapai 90% dilakukan dengan 2 metode sehingga didapatkan hasil yang berbeda. Pada titik tinjau C (*Settlement Plate* Tengah) berdasarkan permodelan *Plaxis v8.2* penurunan tanah sebesar 30,8 cm pada hari ke 216, hasil penurunan pada *Plaxis v8.2* lebih besar dari penurunan dengan perhitungan *Asaoka* yaitu sebesar 30 cm pada hari 244. Dari hasil tersebut maka disimpulkan bahwa penurunan tanah pada titik tinjau dengan 2 metode analisis berdasarkan *Plaxis v8.2* dan metode *Asaoka* terjadi perbedaan hasil yaitu penurunan tanah lebih besar bila di analisis dengan permodelan *Plaxis v8.2* dibandingkan dengan metode *Asaoka* Waktu dalam mencapai konsolidasi 90% dengan permodelan *Plaxis v8.2* juga lebih cepat bila dibandingkan dengan hasil perhitungan *Asaoka*. Pada titik tinjau C (*Settlement Plate* Tengah) perbedaan penurunan antara permodelan *Plaxis v8.2* dengan metode *Asaoka* sebesar 8 mm dan perbedaan waktu saat tanah mengalami konsolidasi 90% selisih 27 hari.

Saran

Berdasarkan paper yang kami kerjakan, penulis bermaksud memberi masukan serta saran sebagai berikut:

1. Dalam penggunaan program numerik *Plaxis v8.2*, dibutuhkan analisis dan studi mengenai hal-hal yang menyangkut dengan data-data yang dibutuhkan. Hal ini dilakukan guna meminimalkan kesalahan yang terjadi pada permodelan sehingga sesuai dengan kenyataan dilapangan.
2. Saat menggunakan perhitungan metode *Asaoka*, kebenaran data monitoring lapangan harus dapat dipertanggung jawabkan karena dalam metode *Asaoka* data monitoring penurunan tanah dilapangan merupakan instrumen yang terpenting dan digunakan sebagai data pokok perhitungan.
3. Dalam menentukan bahwa konstruksi aman atau gagal maka angka *safety factor* harus diperhatikan dan digunakan sebagai salah satu kontrol dalam perhitungan perencanaan.
4. Dalam membandingkan penurunan tanah antara permodelan *Plaxis v8.2* dan metode *Asaoka*, sebaiknya perhatikan hasil yang didapatkan, apabila hasil yang didapatkan terpaut jauh maka sebaiknya gunakan *back analysis*. *Back analysis* digunakan pada permodelan *Plaxis v8.2* untuk memeriksa bagian dari permodelan yang dinilai keliru sehingga menimbulkan hasil yang terpaut jauh dari metode *Asaoka*. Hal ini dilakukan agar permodelan *Plaxis v8.2* yang dibuat dapat relevan dengan kenyataan dilapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Contoh Penulisan pustaka dari artikel jurnal penulisannya sebagai berikut :

- [1] Bjerrum, L., dan Simons, N. E, *Comparison of Shear Strength Characteristic of Normally Consolidated Clay*, Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, 1960.
- [2] Bowles, J. E, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Erlangga, Jakarta, 1986.
- [3] Das, Braja, M, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*, Erlangga, Jakarta, 1998.
- [4] Hardiyatmo, Hary Cristiady, *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 2002.
- [5] Hardiyatmo, Hary Cristiady, *Mekanika Tanah II*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 2003.
- [6] Terzaghi, K, *Mechanicsof Landslides in Aplication of Geology to Engineering Practice*, Berkey Volume, Geological Society of America, New York, 1950.
- [7] Terzaghi, K. and Peck, R. B, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1967.

-
- [8] Hidayati, A.M., dan Made Dodiek Wirya Ardana, Kombinasi Preloading dan Penggunaan Pre-Fabricated Vertical Drains Untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak (Studi Kasus Tanah Lempung Kuwung Kangin), *Jurnal Teknik Sipil Ilmiah*, vol. 12, no. 2, 2008, pp. 1-9.
- [9] Lilbabsari, Z.W, Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Instrument Geoteknik Pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Cluster Amanda dan Btari dengan Penggunaan Preloading dan Prefabricated Vertical Drain (PVD), *Jurnal Teknik Sipil UB*, vol. 1, no. 1, 2018, pp. 1-7.
- [10] Nawir, Hasbullah, Dayu Apoji, Rahmatyar Fatimatuzahro, dan M. Dwi Pamuji, Prediksi Penurunan Tanah Menggunakan Prosedur Observasi Asaoka (Studi Kasus: Timbunan di Bontang, Kalimantan Timur), *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 19, no. 2, 2012, pp. 1-16.
- [11] Rumintha, Fanny, Analisis Penurunan dan Waktu Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading dan Pre-Fabricated Vertical Drain (Studi Kasus Proyek Pembangunan Jalan Bebas Hambatan Medan-Kualanamu STA 35+950), *Jurnal Teknik Sipil USU*, vol. 7, no. 1, 2018, pp. 1-10.
- [12] Julius, *Analisa Perbandingan Perhitungan Vacuum Preloading Dengan Program Plaxis 2D dan Perhitungan Manual dengan Data Aktual*. Skripsi, Bina Nusantara University, Jakarta, 2014.
- [13] Yulianto, Dimas, dan Farhan Fakhry, *Studi Perbaikan Tanah Lunak Dengan Variasi Ketebalan Platform Pada Metode Load Transfer Platform*, Tugas Akhir, Universitas Islam Sultan Agung. Semarang, 2018.
- [14] Pedoman Kimpraswil, *Panduan Geoteknik I Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanak Lunak Pt T-8-2002-B*, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2002.
- [15] Rachmadony, *Teknik Preloading dan Penggunaan Vertical Drains*, 2012. Website: <http://rachmadony.blogspot.com/2012/09/teknik-preloading-dan-penggunaan.html>, diakses tanggal 12 Juni 2019.
- [16] Pratama, Gumbert. Maylda, *Prefabricated Vertical Drain*, 2016. Website: <https://id.scribd.com/doc/305178720/Prefabricated-Vertical-Drain-PVD.html>, diakses tanggal 8 Juni 2019.