

PENGARUH KEHALUSAN *MESH* PLAXIS 2D DAN 3D TERHADAP PREDIKSI PENURUNAN KONSOLIDASI PADA PROYEK REKLAMASI BELAWAN *PHASE I*

Tika Ermita Wulandari, Roesyanto dan Rudi Iskandar

Universitas Sumatera Utara, Indonesia

Email: tikaermitawulandari@gmail.com, roesyantos@yahoo.com dan sipil.s2.usu@gmail.com

Abstract

This study aims to analyze and compare the amount of consolidation reduction with the finite element methods Plaxis 2D and 3D with several types of mesh, that is very coarse, coarse, medium, fine and very fine with the Settlement Plate (S29) data in the field. From the analysis result, it was found that the size of the consolidation reduction using Plaxis 2D modeling used several types, namely very coarse = 7,432 m, coarse = 7,421 m, medium = 7,466 m, fine = 7,486 m and very fine = 7,491 m, while the reduction of consolidation with 3D plaxis modeling in the type very coarse = 6,874 m, coarse = 6,983 m, medium = 6,783 m, fine = 6,627 m and very fine = 6,956 m. So it can be concluded that the effect of mesh is not always linear, getting smaller or bigger but fluctuating. However from the results obtained, consolidation reduction of Plaxis 3D is relatively closer to the actual in the field with the percentage comparison of mesh very coarse type = -4.39%, coarse = -2.88%, medium = -5.66%, fine = -7, 83% and very fine = -3.25%, while 2D Plaxis modeling obtained the percentage comparison of mesh very coarse type = 3.37%, coarse = 3.21%, medium = 3.84%, fine = 4.12% and very fine = 4.19%.

Keywords: consolidation; preloading; prefabricated vertical drain; plaxis.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan besar penurunan konsolidasi dengan metode elemen hingga Plaxis 2D dan 3D dengan beberapa tipe *mesh* yaitu *very coarse*, *coarse*, *medium*, *fine* dan *very fine* dengan data *Settlement Plate* (S29) di lapangan. Dari hasil analisis diperoleh besar penurunan konsolidasi menggunakan pemodelan Plaxis 2D menggunakan beberapa tipe yaitu *very coarse* = 7,432 m, *coarse* = 7,421 m, *medium* = 7,466 m, *fine* = 7,486 m dan *very fine* = 7,491 m sedangkan penurunan konsolidasi dengan pemodelan plaxis 3D pada tipe *very coarse* = 6,874 m, *coarse* = 6,983 m, *medium* = 6,783 m, *fine* = 6,627 m dan *very fine* = 6,956 m. Sehingga dapat disimpulkan pengaruh *mesh* tidak selamanya linier semakin kecil atau besar tetapi fluktuatif. Namun dari hasil yang didapat penurunan konsolidasi Plaxis 3D relatif lebih mendekati aktual di lapangan dengan persentasi perbandingan *mesh* tipe *very coarse* = -4,39%, *coarse* = -2,88%, *medium* = -5,66%, *fine* = -7,83% dan *very fine* = -3,25% sedangkan pemodelan Plaxis 2D

didapat persentasi perbandingan pada *mesh* tipe *very coarse* = 3,37%, *coarse* = 3,21%, *medium* = 3,84%, *fine* = 4,12% dan *very fine* = 4,19%.

Kata Kunci: konsolidasi; *preloading*; *prefabricated vertical drain*; plaxis.

Pendahuluan

Tanah memiliki peran penting dalam pekerjaan konstruksi karena semua konstruksi yang direncanakan tentu didukung oleh tanah. Sebagai salah satu negara dengan garis pantai terpanjang, Indonesia memiliki banyak deposit tanah lunak (Apriyani, Ikhya, & Hamdhan, 2016). Beberapa wilayah di Indonesia memiliki lapisan tanah lunak yang sangat tebal. Artinya, tanah keras terletak jauh di bawah permukaan tanah yang menyebabkan beberapa proyek pembangunan konstruksi memerlukan perencanaan tanah ekstra agar tidak terjadi penurunan (*settlement*) yang signifikan (Fadhillah, Munawir, & Kuswanda, 2018).

Tanah lunak memiliki karakteristik tanah yang buruk. Tanah lunak umumnya memiliki sifat kompreibilitas yang tinggi, permeabilitas yang rendah dan daya dukung yang rendah. Kondisi tersebut merupakan kondisi yang tidak baik jika digunakan sebagai tanah dasar untuk sebuah konstruksi dermaga. Konstruksi akan rusak karena adanya penurunan tanah yang terjadi. Hal ini lebih fatal jika penurunan yang terjadi bersifat setempat (Hayati, 2019).

Kondisi tanah lunak ini tentunya perlu dilakukan perbaikan tanah sehingga dapat memperkuat tanah sebagai pondasi sebuah dermaga. Terkait dengan hal tersebut, pada tahun Kjellman (1952) (Chai et al, 2005) memperkenalkan suatu metode pengganti prabeban dengan cara meletakkan lembaran material kedap air di permukaan tanah dan menyedot air dan udara di sisi dalam lembaran kedap air ini dengan menggunakan pompa vakum, yang dikenal dengan nama *vacuum consolidation* atau *vacuum preloading* (Indraratna et al, 2003).

Perbaikan tanah lunak atau *soil improvement* merupakan salah satu hal yang sangat penting dan mendapat perhatian para ahli geoteknik. Perhatian tersebut disebabkan oleh kebutuhan akan lahan yang harus dapat menampung tuntutan pembangunan dan perkembangan penduduk (Ahmad, 2007). Dengan berjalannya waktu, metode *vacuum consolidation* atau *vacuum preloading* kemudian semakin banyak digunakan dan dikembangkan di berbagai negara namun masih relatif terbatas penggunaannya di Indonesia (Suhendra & Irsyam). Sistem *preloading* yang di kombinasikan dengan *prefabricated vertical drain (PVD)*, *preloading* atau pemberian beban awal dilakukan dengan cara memberikan beban yaitu berupa timbunan sehingga menyebabkan tanah lempung akan termampatkan sebelum konstruksi didirikan (Haryoto, 2015).

Penurunan konsolidasi merupakan keadaan apabila lapisan tanah mengalami penambahan beban, tekanan air pori akan naik secara mendadak. Keluarnya air pori disertai dengan berkurangnya volume tanah yang menyebabkan penurunan lapisan tanah. Pada tanah lempung yang berpemeabilitas rendah, tegangan air pori berlebih memerlukan waktu yang lama untuk terdisipasi, dengan demikian penurunan

konsolidasi membutuhkan waktu yang sangat lama (Zhafirah & Amalia, 2019). Hasil penelitian pada tanah berkonsistensi lunak di daerah Suwung Kangin yang memanfaatkan metode kombinasi *preloading* dan *pre-fabricated vertical drains* terbukti mampu mempercepat waktu konsolidasi dan meningkatkan daya dukung tanahnya (Hidayati & Ardana, 2008). Pada saat konsolidasi, tegangan tanah pada saat awal pembebanan ditanggung sepenuhnya oleh tegangan air pori. Kemudian secara perlahan tegangan ini ditransfer ke tegangan efektif tanah, sehingga tanah mengalami peningkatan kekuatan dan daya dukung tanah. Dengan demikian, jika suatu konstruksi akan dibangun di atas tanah lunak, maka untuk menghindari penurunan yang besar pada bangunan tersebut dan memperoleh daya dukung tanah yang cukup baik maka proses konstruksi sebaiknya dilakukan setelah tanah telah terkonsolidasi secara sempurna. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode perbaikan tanah untuk mengatasi permasalahan ini (Bella, 2011).

Seiring perkembangan zaman pembangunan terciptalah berbagai macam pengerjaan konstruksi bangunan sipil dan program komputer yang membantu mempermudah perhitungan proses penurunan konsolidasi yaitu program Plaxis. Plaxis adalah salah satu program aplikasi komputer yang menghitung konsolidasi dengan menggunakan teori konsolidasi Biot. Program ini melakukan perhitungan berdasarkan metode elemen hingga dengan membagi beberapa *mesh* yang digunakan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai aplikasi bidang geoteknik. (Pramulandani, 2020) menyatakan Penentuan jenis *mesh* pada *software* Plaxis 2D menentukan kehalusan pembagian jaringan-jaringan elemen yang menghubungkan node-node pada model yang ditinjau, serta ketelitian dari hasil analisis, semakin rapat jaringan elemen dan halus *mesh* maka hasil perhitungan akan semakin akurat.

Telah banyak analisis yang dilakukan untuk memprediksi proses konsolidasi yang terjadi pada reklamasi Belawan baik pada *phase I* maupun *phase II*, misalnya (Hayati, 2019) melakukan analisis pengaruh *smear zone* pada penurunan dan waktu konsolidasi dengan Plaxis 2D dan 3D pada proyek reklamasi Belawan *phase II*. Hasil analisis disimpulkan bahwa penurunan yang terjadi pada pemodelan Plaxis 2D dengan memperhitungkan efek *smear zone* sebesar 2,288 m dan tanpa efek *smear zone* 1,922 m sedangkan penurunan pada pemodelan Plaxis 3D dengan efek *smear zone* 2,077 m dan tanpa efek *smear zone* 1,930 m. Perhitungan penurunan konsolidasi menggunakan pemodelan Plaxis 3D dengan efek *smear zone* menghasilkan penurunan yang lebih mendekati nilai di lapangan sesuai dengan data *settlement plate* yaitu sebesar 1,992 m. Waktu penurunan konsolidasi yang terjadi pada perhitungan Plaxis 2D dan 3D dengan memperhitungkan efek *smear zone* lebih lama dari pada tanpa memperhitungkan efek *smear zone*. Perhitungan penurunan dan waktu konsolidasi menggunakan pemodelan Plaxis 3D memberikan hasil yang lebih mendekati kondisi di lapangan dibandingkan pemodelan dengan Plaxis 2D. (Ohoimas & Hamdhan, 2015) melakukan analisis konsolidasi menggunakan jarak *PVD* yang berbeda-beda dengan pemodelan *axisymetry* dan *plane strain* Plaxis 2D. Hasil penurunan yang didapat pada pemodelan *axisymetry*

dengan jarak antar *PVD* 2m sebesar 0,7467 m, jarak 2,4m : 0,7471 m, jarak 3 m : 0,7466 m sedangkan pada pemodelan *plane strain* dengan jarak antar *PVD* 2m : 0,8664 m, jarak 2,4m : 0,8678 m dan pada jarak 3 m : 0,8658 m. (Surbakti, 2020) melakukan analisis *sand replacement* sebagai *counter weight* pada proses konsolidasi pada reklamasi Belawan tahap I, analisis ini menggunakan data *borelog* BH-02 dengan tinjauan *settlement plate* (S5) dimana area ini berbatasan langsung dengan perairan dan jalur arus masuk kapal. Adapun penurunan yang terjadi dengan pemasangan *PVD* dengan pola segitiga dengan jarak 1,5 m pada pemodelan Plaxis 2D sebesar 6,404 m dan pada pemodelan Plaxis 3D sebesar 6,356 m.

Dari penelitian sebelumnya belum ada pembahasan tentang penurunan menggunakan Plaxis dengan semua tipe *mesh* yang tersedia pada program Plaxis. Sehingga penulis ingin membahas penurunan tersebut dengan bantuan Plaxis 2D dan 3D menggunakan beberapa tipe *mesh* yaitu *very coarse*, *coarse*, *medium*, *fine* dan *very fine*. Hasil dari perhitungan Plaxis 2D dan Plaxis 3D akan dibandingkan sehingga didapat hasil yang paling mendekati dengan kondisi lapangan. Area yang akan ditinjau adalah area yang berdekatan dengan *Bore Hole* (BH-01) dengan tinjauan *settlement plate* (S29) dan perhitungan akan menggunakan efek *smear zone* (area yang terganggu akibat instalasi *PVD*). Dari penelitian dan latar belakang diatas, serta dengan data-data yang didapat dilapangan penulis tertarik untuk menjadikan bahan tulisan yang berjudul "Pengaruh kehalusan *mesh* Plaxis 2D dan 3D terhadap prediksi penurunan konsolidasi pada Proyek Reklamasi Belawan Phase I".

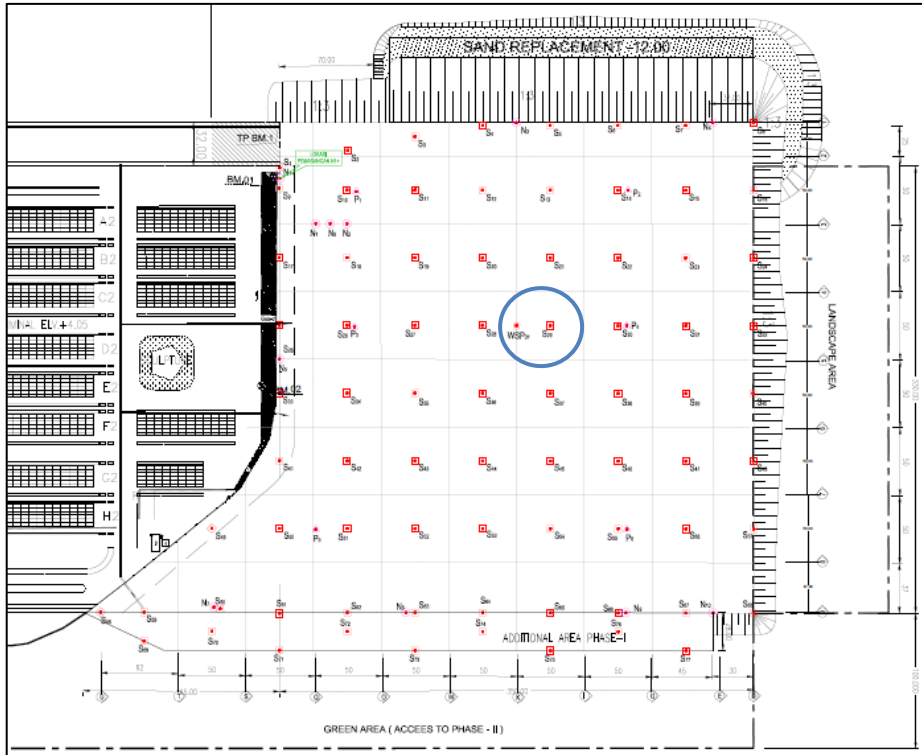
Penelitian ini bertujuan menganalisis dan membandingkan besar penurunan konsolidasi dengan metode elemen hingga Plaxis 2D dan 3D dengan beberapa tipe kehalusan *mesh* yaitu *very coarse*, *coarse*, *medium*, *fine* dan *very fine* dengan data *settlement plate* (S29) di Lapangan. Adapun manfaat yang diharapkan untuk memberikan wawasan bagi penulis dan pembaca tentang penerapan mata kuliah geoteknik khususnya pada masalah perbaikan tanah dan timbunan, serta sebagai referensi khususnya bagi mahasiswa lainnya apabila ingin menulis dengan topik pembahasan yang hampir sama.

Metode Penelitian

A. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada proyek reklamasi Belawan *phase* 1. Lokasi penelitian berada di tengah area reklamasi dengan menggunakan data *Bore Hole*-1 (BH-01) pada koordinat X = 468963,916 LS dan Y = 419633,816 LU, *Boring* ini berdampingan dengan titik *settlement plate* 29 (S29) yang akan diteliti.

Pengaruh Kehalusan *Mesh* pada Plaxis 2D dan 3D terhadap Prediksi Penurunan Konsolidasi pada Proyek Reklamasi Belawan *Phase I*



Gambar 1
Lokasi Penelitian

B. Parameter Tanah pada Lokasi Pekerjaan

Dari data *bore log* BH-01, tanah dapat dikelompokkan berdasarkan jenis tanah menjadi delapan lapisan. Tanah yang memiliki data pengujian konsolidasi akan menggunakan model *soft soil* sedangkan tanah yang tidak memiliki data pengujian konsolidasi akan menggunakan model *Mohr-Coulomb* dengan korelasi nilai N-SPT. Lapisan-lapisan tanah eksisting dibagi menjadi dua bagian yaitu memiliki perilaku *undrained* pada beberapa lapisan dan *drained* pada lapisan lainnya. Sedangkan lapisan timbunan tanah yang merupakan pasir memiliki perilaku *drained*.

Tabel 1
Parameter Tanah pada Lokasi Pekerjaan

No.	Jenis Tanah	Elevasi (m)	Ketebalan (m)	Sifat	Model Tanah
1	<i>Sandy Clay</i>	0-1,5	1,5	<i>Drained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
2	<i>Clay</i>	1,5-15	13,5	<i>Undrained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
3	<i>Sandy Silt</i>	15-18	3	<i>Drained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
4	<i>Organic Clay</i>	18-22	4	<i>Undrained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
5	<i>Clayey Sand 1</i>	22-32	10	<i>Drained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
6	<i>Silty Clay 1</i>	32-37	5	<i>Undrained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
7	<i>Clayey Sand 2</i>	37-50	13	<i>Drained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>
8	<i>Silty Clay 1</i>	50-60	10	<i>Undrained</i>	<i>Mohr-Coulomb</i>

(Data Proyek, 2016)

Data pada Tabel 1 di atas dijabarkan kembali sesuai dengan data-data yang dibutuhkan untuk input program Plaxis. Berat isi (γ), berat isi jenuh tanah (γ_{sat}), modulus elastisitas (E), Poisson Ratio (ν), kohesi (c_{ref}), sudut geser dalam (ϕ), koefisien permeabilitas tanah arah vertikal (k_x) maupun horizontal (k_y) yang digunakan diambil dari hasil laboratorium. Untuk lambda *compression* indeks (λ^*) dihitung dengan menggunakan rumus Persamaan (1), kappa *compression* indeks (κ^*) dihitung dengan menggunakan rumus Persamaan (2). Adapun data data tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

$$\lambda^* = c_c / [2.3 (1 + e)] \tag{1}$$

$$\kappa^* \approx 2c_r / [2.3 (1 + e)] \tag{2}$$

dimana :

c_c : Koefisien yang mempengaruhi besar penurunan

c_r : Koefisien yang mempengaruhi besar pengembangan

e : Angka pori

Nilai c_c dan c_r didapat dari uji konsolidasi.

Tabel 2
Data yang diinput pada program Plaxis

Uraian	Unit	Material Properties (BH-01)								
		Timbunan	Sandy Clay	Clay	Sandy Silt	Organic Clay	Clayey Sand 1	Silty Clay 1	Clayey Sand 2	Silty Clay 2
Material model	-	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Kedalaman	mtr	11.0-0	0-1,5	1,5 - 15	15-18	18-22	22-32	32-37	37-50	50-60
Drainage type	-	Drained	Drained	Undrained	Drained	Undrained	Drained	Undrained	Drained	Undrained
γ_{unsat}	kN/m ³	14,84	7,85	7,85	7,85	2,2	13,9	8,9	13,9	8,9
γ_{sat}	kN/m ³	19,1	14,6	14,6	14,6	10,3	18,4	15,1	18,4	15,1
E	kN/m ²	25000	600	600	600	600	600	600	700	700
ν (nu)		0,3	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
c_{ref}	kN/m ²	0	15,5	15,5	15,5	12,9	22,4	29,2	22,4	29,2
ϕ (phi)	°	33,1	12,4	12,4	12,4	20,8	14,1	13,3	14,1	13,3
ψ (psi)	°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
λ^* (lambda)	-	-	-	0,1019	-	0,2272	-	-	0,0692	-
κ^* (kappa)	-	-	-	0,0394	-	0,0449	-	-	0,0269	-
k_x	m/day	1	0,0005	0,0005	0,0005	0,2182	0,0153	0,0005	0,0153	0,0005
k_y	m/day	1	0,0005	0,0005	0,0005	0,2182	0,0153	0,0005	0,0153	0,0005
Nama Lapisan	Preloading	1	2	3	4	5	6	7	8	

(Data Proyek, 2016)

C. Spesifikasi dan Instalasi Material *PVD*

Spesifikasi *PVD* yang digunakan untuk penelitian ini adalah:

- a. Bahan *PVD* harus cukup kuat dan fleksibel untuk mencegah diskontinuitas karena tekanan yang timbul selama pemasangan *PVD*.
- b. Bahan *PVD* harus memiliki permeabilitas yang cukup (kemampuan untuk mengalirkan air pori).
- c. Material *PVD* harus memenuhi persyaratan berikut:
 - 1) Material : *polypropylene*
 - 2) Berat : 88 gram/m
 - 3) Lebar (w) : 100 mm
 - 4) Tebal (t) : 4 mm
 - 5) *Discharge capacity* 10 kPa (ASTM D4716) : 180×10^{-6} m³/s
 - 6) *Discharge capacity* 300 kPa (ASTM D4716) : 140×10^{-6} m³/s
 - 7) *Discharge cap. buckled* 200 kPa (Delft) : 55×10^{-6} m³/s
 - 8) *Permeability filter* (NEN5167) : 9×10^{-4} m/s
 - 9) Bentuk *PVD* yang diisyaratkan untuk proyek ini dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini:

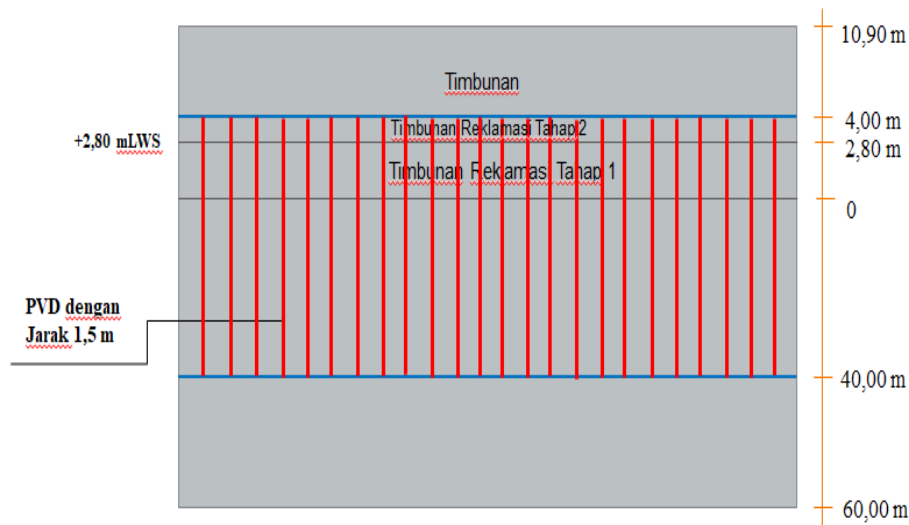
Tabel 3
Persyaratan bentuk *PVD* pada proyek reklamasi Belawan

No.	Item yang diperiksa	Persyaratan Teknis
1	Keseragaman tebal geotekstil	Tebal harus sama rata
2	Kotoran geotekstil	Kotoran tidak boleh lebih dari 2 mm
3	Lubang geotekstil	Tidak boleh ada lubang
4	Sambungan	Tidak boleh ada <i>degumming</i> , sambungan = 3mm
5	Gigi papan inti	Palung dan gigi papan inti tidak boleh terbalik
6	Lubang papan inti	Tidak boleh ada lubang
7	Kotoran, gelembung udara pada papan inti	Papan inti tidak ada kotoran, gelembung udara
8	Pembungkus papan inti dan filter	Papan inti dan <i>filter</i> harus terbungkus rapat

(Spesifikasi teknis proyek, 2016)

Instalasi *PVD*:

pola instalasi *PVD* dengan pola segitiga, jarak instalasi 1,50 m dengan instalasi sedalam 44,00 m dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2
Rencana insalasi PVD

D. Analisis Data

Verifikasi permodelan *PVD* dilakukan dengan cara mengekuivalenkan *PVD* yang setempat-setempat menjadi menerus (*plane strain*). Dari perhitungan ini juga akan dihitung besaran efek *smear zone* terhadap koefisien permeabilitas horizontal tanah (k_x). Instalasi *PVD* akan dipasang sedalam 44 m dari elevasi +4,00 sampai dengan kedalaman -40,00 mLWS. Sehingga lapisan lapisan yang berdampak oleh *mandrel* saat instalasi *PVD* dapat diuraikan sebagai berikut:

- Lapisan 1 (timbunan pasir reklamasi tahap 2) tebal 1,2 m
- Lapisan 2 (timbunan pasir reklamasi tahap 1) tebal 2,8 m
- Lapisan 3 *sandy clay* tebal 1,5 m
- Lapisan 4 *clay* tebal 13,5 m
- Lapisan 5 *Sandy Silt* tebal 3 m
- Lapisan 6 *Organic Clay* tebal 4 m
- Lapisan 7 *Clayey Sand 1* tebal 10 m
- Lapisan 8 *Silty Clay 1* tebal 5 m
- Lapisan 9 *Clayey Sand 2* tebal 3 m

Data *properties* tanah yang terganggu akibat pemancangan *PVD* (*smear zone*) dapat *dihitung* sebagai berikut:

Data yang diketahui:

- Jarak Pemasangan PVD = 150 cm
- Pola Pemasangan = Pola Segitiga
- Dimensi PVD = 10 cm x 0,4 cm
- Dimensi Mandrel = 5 cm x 12,5 cm
- Ekuivalensi Diameter PVD (d_w) = $\frac{2 \times (10+0,4)}{\pi} = 6,62$ cm

Pengaruh Kehalusan *Mesh* pada Plaxis 2D dan 3D terhadap Prediksi Penurunan Konsolidasi pada Proyek Reklamasi Belawan *Phase I*

- Jari-jari PVD (r_w) $= \frac{6,62}{2} = 3,31 \text{ cm}$
- Ekuivalensi Diameter Mandrel (d_m) $= \sqrt{\frac{4 \times (5 \times 12,5)}{\pi}} = 8,92 \text{ cm}$
- Nilai s $= 2$
- Nilai k $= 2$
- Diameter Efek Smear Zone (d_s) $= 2 \times 8,92 = 17,85 \text{ cm}$
- Radius Efek Smear Zone (r_s) $= \frac{17,85}{2} = 8,92 \text{ cm}$
- Diameter Ekuivalen pengaruh PVD (d_e) $= 1,05 \times 150 = 157,5 \text{ cm}$
- Radius Ekuivalen Pengaruh PVD (R) $= \frac{157,5}{2} = 78,75 \text{ cm}$
- Lebar Efek Smear Zone, Plain Strain ($2B$) $= 150 \text{ cm}$
- Setengah Efek Smear zone (B) $= 75 \text{ cm}$

Dari data-data diatas dapat diperoleh besaran nilai permeabilitas arah *horizontal* akibat pemancangan *PVD* dengan (Hird, Pyrah, Russell, & Cinicioglu, 1995), pada persamaan (3) dibawah ini:

$$\frac{k_{hp}}{k_{ax}} = \frac{2 B^2}{3 R^2 \left[\ln\left(\frac{R}{r_s}\right) + \left(\frac{k_{ax}}{k_s}\right) \ln\left(\frac{r_s}{r_w}\right) - \frac{3}{4} \right]} \quad (3)$$

B : $\frac{1}{2}$ dari lebar

R : $\frac{1}{2} d_e$, Jari jari ekuivalen

R_s : radius *smear zone*

R_w : radius *PVD*

k_{ax} : koefisien permeabilitas horizontal kondisi tanah tidak terganggu

k_s : koefisien permeabilitas horizontal kondisi tanah terganggu kondisi *axysymmetric*.

Untuk *lapisan pertama sandy clay*:

$$K_{ax} = 6,279 \times 10^{-7} \text{ cm/sec} = 6,279 \times 10^{-7} \cdot \left(\frac{60 \times 60 \times 24}{100}\right) = 0,00054250560$$

m/hari

$$\frac{k_{hp}}{k_{ax}} = \frac{2 B^2}{3 R^2 \left[\ln\left(\frac{R}{r_s}\right) + \left(\frac{k_{ax}}{k_s}\right) \ln\left(\frac{r_s}{r_w}\right) - \frac{3}{4} \right]}$$

$$\frac{k_{hp}}{0,00054250560} = \frac{2 (75)^2}{3 \times 78,75^2 \left[\ln\left(\frac{78,75}{8,92}\right) + (2) \ln\left(\frac{8,92}{3,31}\right) - \frac{3}{4} \right]}$$

$$\frac{k_{hp}}{0,00054250560} = \frac{11.250}{18.604,688 [3,4107]}$$

$$K_{hp} = 0,00009620867 \text{ m/hari}$$

Perhitungan untuk Lapisan berikutnya tersedia pada Tabel 4. Dikarenakan dari perhitungan ini besar efek *smear zone* terhadap koefisien permeabilitas horizontal tanah (k_x) *berubah* namun arah horizontal (k_y) tetap. Maka perubahan dari Tabel 2 akan menjadi yang tertera pada Tabel 4.

Tabel 4
Nilai K_x setelah efek *smear zone*

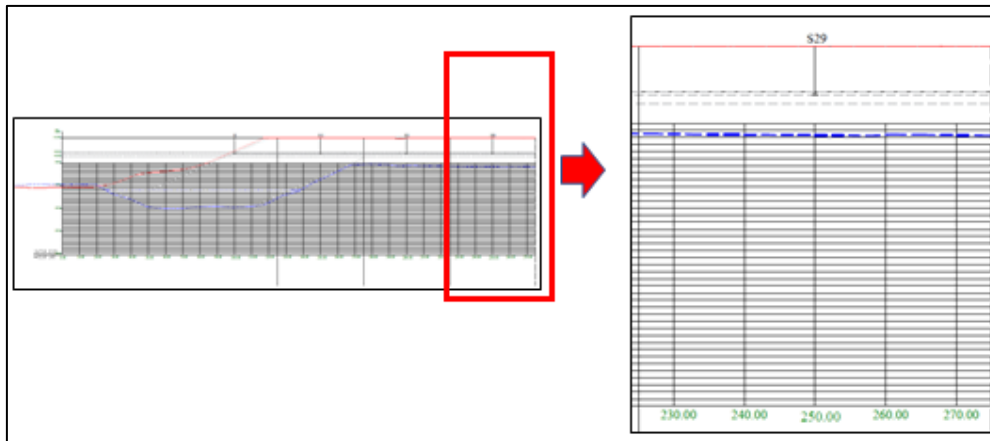
Uraian	Unit	Material Properties (BH-01)								
		Timbunan	Sandy Clay	Clay	Sandy Silt	Organic Clay	Clayey Sand 1	Silty Clay 1	Clayey Sand 2	Silty Clay 2
Material model	-	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Kedalaman	mtr	11.0-0	0-1,5	1,5 - 15	15-18	18-22	22-32	32-37	37-50	50-60
Drainage type	-	Drained	Drained	Undrained	Drained	Undrained	Drained	Undrained	Drained	Undrained
γ_{unsat}	kN/m ³	14,84	7,85	7,85	7,85	2,2	13,9	8,9	13,9	8,9
γ_{sat}	kN/m ³	19,1	14,6	14,6	14,6	10,3	18,4	15,1	18,4	15,1
E	kN/m ²	25000	600	600	600	600	600	600	700	700
v (nu)		0,3	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
c_{ref}	kN/m ²	0	15,5	15,5	15,5	12,9	22,4	29,2	22,4	29,2
ϕ (phi)	°	33,1	12,4	12,4	12,4	20,8	14,1	13,3	14,1	13,3
ψ (psi)	°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
λ^* (lambda)	-	-	-	0,1019	-	0,2272	-	-	0,0692	-
κ^* (kappa)	-	-	-	0,0394	-	0,0449	-	-	0,0269	-
k_x	m/day	1	0,0005	0,0005	0,0005	0,2182	0,0153	0,0005	0,0153	0,0005
k_y	m/day	1	0,0005	0,0005	0,0005	0,2182	0,0153	0,0005	0,0153	0,0005
Nama Lapisan	Preloading	1	2	3	4	5	6	7	8	

Uraian	Unit	NILAI K_x SETELAH EFEK <i>SMEAR ZONE</i>								
		Timbunan	Sandy Clay	Clay	Sandy Silt	Organic Clay	Clayey Sand 1	Silty Clay 1	Clayey Sand 2	Silty Clay 2
k_x	m/day	1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0387	0,0027	0,0001	0,0027	0,0001
k_y	m/day	1	0,0005	0,0005	0,0005	0,2182	0,0153	0,0005	0,0153	0,0005

(Analisis Peneliti, 2020)

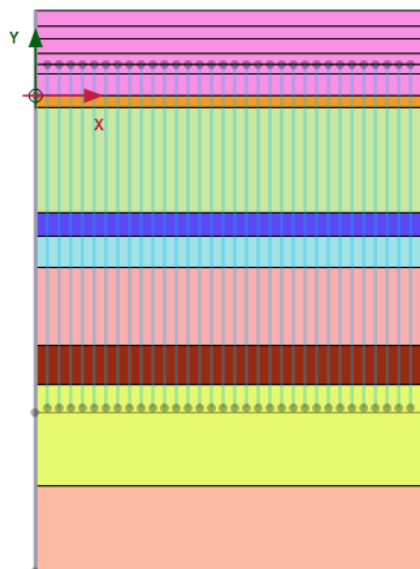
E. Pemodelan Plaxis

Pada Penelitian ini lokasi yang ditinjau adalah S29, dimana posisi tersebut terletak ditengah area pekerjaan. pemodelan pada Plaxis mengikuti *cross section* S29 dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini:



Gambar 3
Cross section S29

Kondisi di lapangan yang disimulasikan ke dalam program Plaxis bertujuan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program dengan harapan pelaksanaan di lapangan dapat didekati sedekat mungkin pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai cerminan dari kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan. Pemodelan tahapan penimbunan dengan menggunakan pemodelan kondisi *plan strain* dengan menggunakan data pada Tabel 4. . Pemodelan lapisan tanah dan *PVD* dapat terlihat pada Gambar 4.



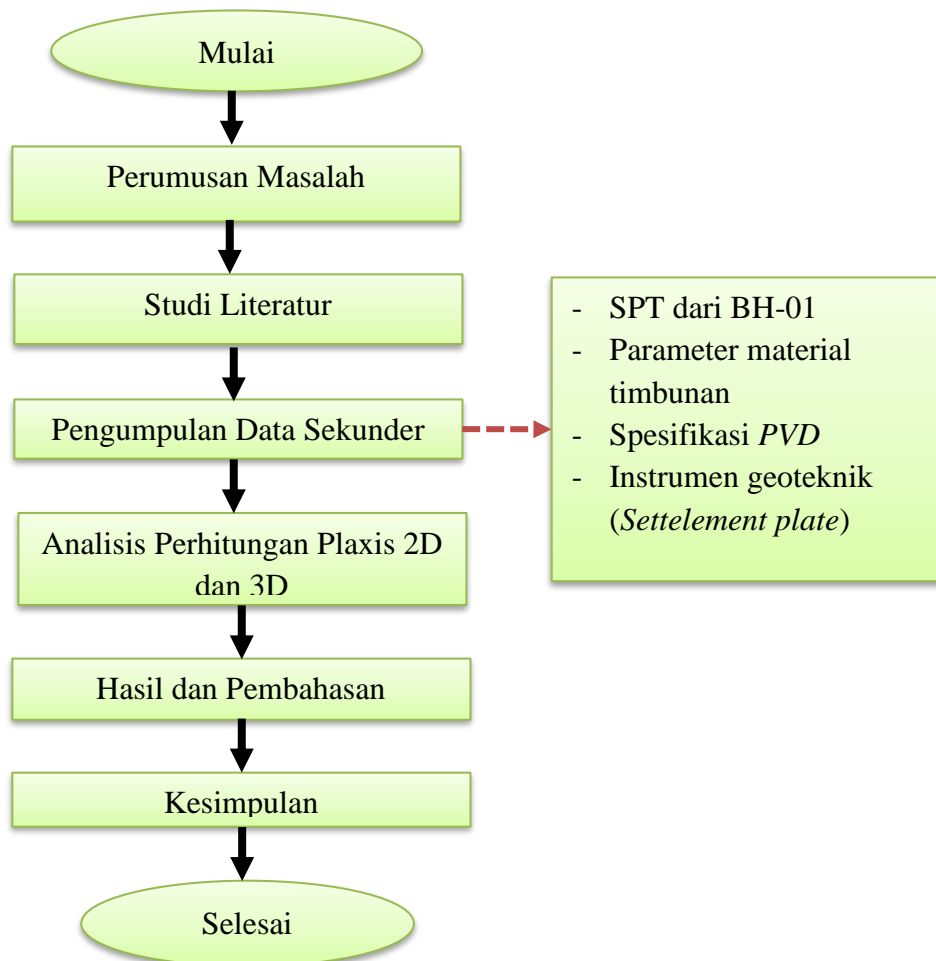
Gambar 4
Pemodelan lapisan tanah dengan Plaxis

F. Tahapan Penelitian

Dalam penulisan penelitian ini, penulis melakukan beberapa tahapan pelaksanaan sehingga tercapai maksud dan tujuan dari penelitian. Untuk

memudahkan tercapainya tujuan tersebut, maka penulis melakukan tahapan-tahapan sebagai berikut:

- a. Tahap pertama
Mengumpulkan berbagai jenis *literature* dalam bentuk buku maupun tulisan ilmiah yang berhubungan dengan penelitian ini.
- b. Tahap kedua
Melakukan pengumpulan data yang akan digunakan dalam analisis. Subjek pada penulisan penelitian ini adalah Proyek Reklamasi Belawan *Phase 1*. Data yang diperlukan untuk penulisan penelitian ini didapatkan dari PT. Waskita Karya selaku kontraktor. Adapun data-data yang dibutuhkan adalah *SPT (Standard Penetration Test)*, parameter tanah timbunan, spesifikasi *PVD* dan instrumen geoteknik.
- c. Tahap ketiga
Melakukan analisa antara data yang diperoleh dari lapangan dengan buku dan jenis *literature* lainnya yang berhubungan dengan penulisan penelitian ini.
- d. Tahap keempat
Pada tahap ini dilakukan kegiatan menganalisa penurunan dan waktu konsolidasi menggunakan Plaxis 2D dan 3D dengan data yang telah diperoleh. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 5
Bagan alir penelitian

Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan penelitian pada Proyek Reklamasi Belawan *Phase I* melalui analisis pemodelan Plaxis 2D dan 3D maka diperoleh data sebagai berikut:

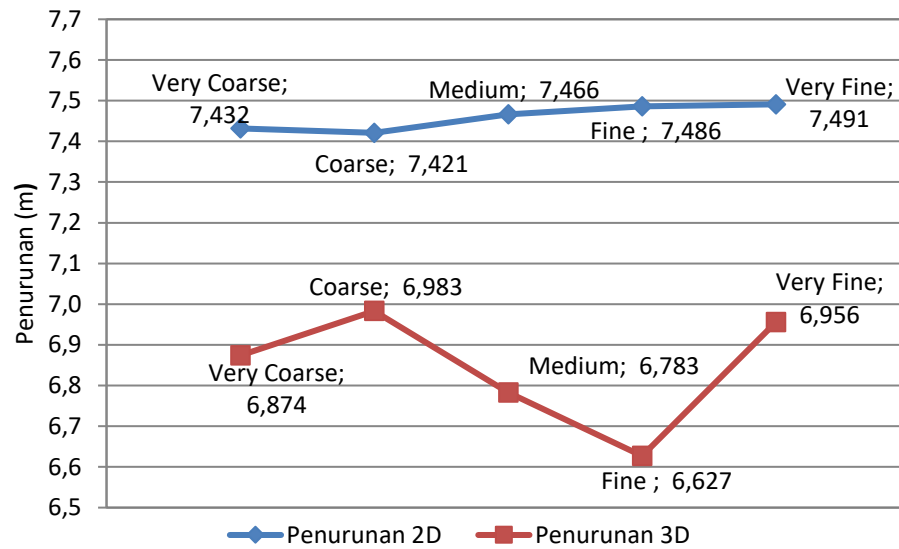
1. Besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan menggunakan analisis metode elemen hingga pada pemodelan Plaxis 2D dan 3D dengan menggunakan beberapa tipe *mesh* yang tersedia pada program Plaxis, maka didapat jumlah elemen, node dan penurunan yang berbeda-beda seperti terlihat pada Tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5
Penurunan hasil analisis Plaxis 2D dan 3D dengan beberapa tipe *mesh*

Pemodelan Plaxis	Tipe <i>Mesh</i> Plaxis	<i>Mesh</i>		Prediksi Penurunan (m)
		Jumlah Elemen	Jumlah Node	
2D	<i>Very Coarse</i>	2.065	16.875	7,432
	<i>Coarse</i>	2.774	22.617	7,421
	<i>Medium</i>	3.213	26.143	7,466
	<i>Fine</i>	7.539	60.767	7,486
	<i>Very Fine</i>	11.279	90.711	7,491
3D	<i>Very Coarse</i>	110.529	148.799	6,874
	<i>Coarse</i>	110.529	148.799	6,983
	<i>Medium</i>	110.643	149.006	6,783
	<i>Fine</i>	110.868	149.591	6,627
	<i>Very Fine</i>	114.620	156.555	6,956

(Analisis Peneliti, 2020)

Dari Tabel 5 didapat hasil yang sangat berbeda meskipun dengan parameter tanah yang sama. Adapun perbedaan disebabkan pada pemodelan Plaxis 2D menggunakan koefisien permeabilitas tanah plane strain ekuivalen di daerah yang diperbaiki, sedangkan pada Plaxis 3D pemodelan menggunakan koefisien permeabilitas di smear zone dengan nilai yang tergantung pada k . Perbandingan penurunan analisis Plaxis 2D dan 3D secara grafik dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini :



Gambar 6
Perbandingan penurunan analisis Plaxis 2D dan 3D

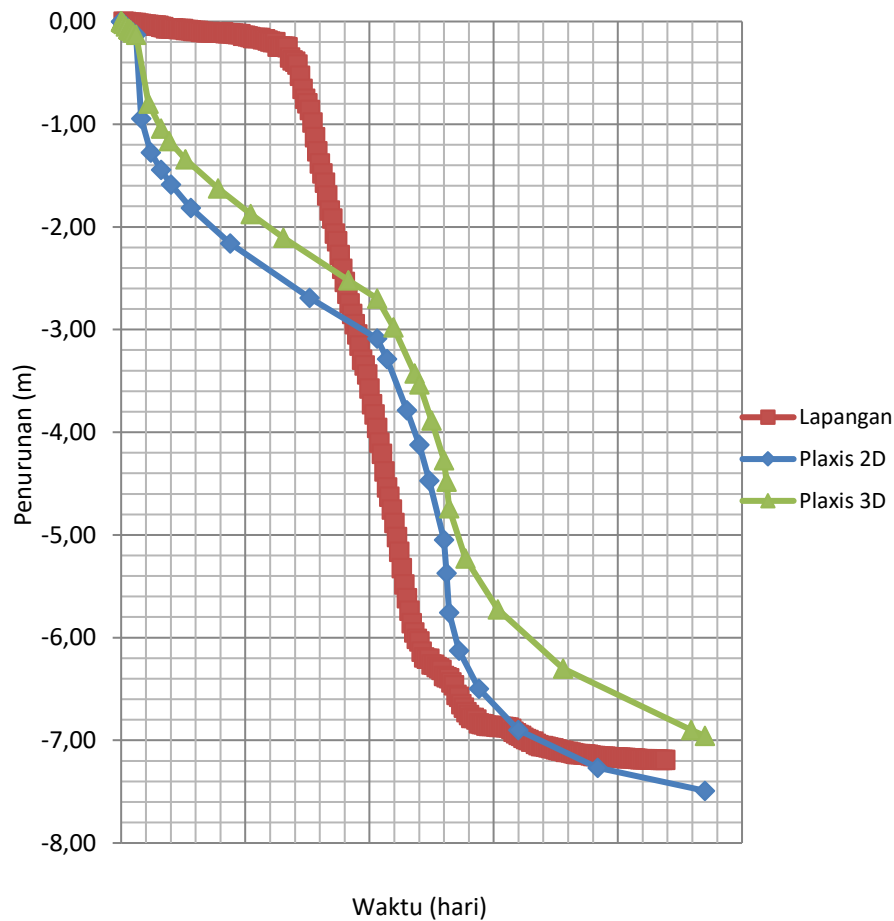
2. Dengan karakteristik *smear zone* yang sama yaitu dengan nilai $s = 2$ $k = 2$ menggunakan Plaxis 2D dan 3D, diperoleh bahwa hasil perhitungan penurunan tanah dari permodelan Plaxis 3D lebih mendekati kondisi aktual di lapangan. Adapun persentasi perbedaan penurunan dapat dilihat pada Tabel 6 di bawah ini:

Tabel 6
Rekapitulasi hasil perhitungan penurunan tanah

No	Pemodelan	Penurunan (m)	Perbedaan Prediksi Penurunan dengan Lapangan (S29) (m)	Persentasi Perbedaan Penurunan (%)
1	Data Lapangan (S29)	7,190		
2	Plaxis 2D			
	<i>Very Coarse</i>	7,432	0,242	3,37%
	<i>Coarse</i>	7,421	0,231	3,21%
	<i>Medium</i>	7,466	0,276	3,84%
	<i>Fine</i>	7,486	0,296	4,12%
	<i>Very Fine</i>	7,491	0,301	4,19%
3	Plaxis 3D			
	<i>Very Coarse</i>	6,874	-0,316	-4,39%
	<i>Coarse</i>	6,983	-0,207	-2,88%
	<i>Medium</i>	6,783	-0,407	-5,66%
	<i>Fine</i>	6,627	-0,563	-7,83%
	<i>Very Fine</i>	6,956	-0,234	-3,25%

(Analisis Peneliti, 2020)

3. Pola penurunan yang diperoleh dari Plaxis 2D relatif sama dengan pola penurunan 3D, hal ini dapat dilihat pada Gambar 7. Tipe *mesh very fine* dipilih dikarenakan semakin halus *mesh* maka hasil yang didapat lebih akurat.



Gambar 7
Perbandingan Penurunan Yang Terjadi Di Lapangan dengan Analisis Plaxis 2D (*Very Fine*) Dan 3D (*Very Fine*)

Penelitian ini menunjukkan terdapat perbedaan grafik pola penurunan hasil observasi lapangan dibandingkan dengan permodelan Plaxis, hal ini dapat terlihat dari Gambar 3. Perbedaan ini disebabkan oleh pembagian fase kalkulasi dalam Plaxis. Pada program Plaxis fase kalkulasi didasarkan atas kenaikan tinggi timbunan. Dalam satu fase penimbunan dikalkulasi dengan waktu yang lama sedangkan pada observasi lapangan pengambilan data penurunan dilakukan setiap hari meski kenaikan timbunan tanah hanya sedikit atau bahkan tidak ada kenaikan elevasi timbunan. Semakin banyak pembagian fase dan semakin singkat waktu kalkulasinya, maka grafik yang dihasilkan akan semakin mendekati grafik observasi lapangan.

4. Dari Gambar 3 didapat pola penurunan yang diperoleh dari Plaxis 2D relatif sama dengan pola penurunan Plaxis 3D. Meskipun menggunakan parameter tanah yang

sama, namun pada setiap *phase* penimbunan mengalami penurunan yang berbeda, adapun perbedaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini:

Tabel 7
Perbandingan penurunan Plaxis 2D dan 3D tipe *mesh very fine*

No	Phase	Waktu (Hari)	Total Waktu (Hari)	Total Penurunan (m)	
				Plaxis 2D	Plaxis 3D
1	Reklamasi 1	3	3	-0,073	-0,073
2	Reklamasi 2	3	6	-0,129	-0,129
3	PVD	10	16	-1,444	-1,043
4	Preloading 1	87	103	-3,085	-2,695
5	Preloading 2	17	120	-4,120	-3,531
6	Preloading 3	10	130	-5,049	-4,271
7	Preloading 4	2	132	-5,756	-4,739
8	Konsolidasi	103	235	-7,491	-6,956

(Analisis Peneliti, 2020)

Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan pengaruh *mesh* tidak selamanya linier semakin kecil atau besar tetapi fruktatif, hal ini dapat dilihat dari besar penurunan konsolidasi dengan pemodelan Plaxis 2D dengan tipe *very coarse* = 7,432 m, *coarse* = 7,421 m, *medium* = 7,466 m, *fine* = 7,486 m dan *very fine* = 7,491 m sedangkan pada pemodelan Plaxis 3D dengan *mesh* tipe *very coarse* = 6,874 m, *coarse* = 6,983 m, *medium* = 6,783 m, *fine* = 6,627 m dan *very fine* = 6,956 m. Namun dari hasil yang didapat penurunan konsolidasi Plaxis 3D relatif lebih mendekati aktual di lapangan dengan persentasi perbandingan tipe *mesh very coarse* = -4,39%, *coarse* = -2,88%, *medium* = -5,66%, *fine* = -7,83% dan *very fine* = -3,25% sedangkan pemodelan Plaxis 2D didapat persentasi perbandingan pada *mesh* tipe *very coarse* = 3,37%, *coarse* = 3,21%, *medium* = 3,84%, *fine* = 4,12% dan *very fine* = 4,19%.

BIBLIOGRAFI

- Ahmad, Irza. (2007). Analisa Metode Perbaikan Tanah Lunak Dan Kohesif. *Jurnal Menara Jurusan Teknik Sipil FT. UNJ. Volume II No. 2 Juli 2007. 44. ISSN: 1907-4360. [Google Scholar](#)*
- Apriyani, Ketut Devy, Ikhya, Ikhya, & Hamdhan, Indra Noer. (2016). Analisis Konsolidasi Dengan Prefabricated Vertical Drain Untuk Beberapa Soil Model Menggunakan Metode Elemen Hingga (Hal. 17-28). *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil, 2(3), 17. [Google Scholar](#)*
- Bella, Rosmiyati A. (2011). Permodelan Timbunan Pada Tanah Lunak Dengan Menggunakan Program Plaxis. *Jurnal Teknik Sipil, 1(2), 1–9. [Google Scholar](#)*
- Chai, J.C., Charter, J.P., Hayashi, S. (2005). Ground Deformation Induced by Vacuum Consolidation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering © ASCE, December 2005. [Google Scholar](#)*
- Fadhillah, Hanna Maulidya, Munawir, As'ad, & Kuswanda, Wahyu P. (2018). Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak pada Pembangunan Cluster D Kawasan Kota Summarecon Bandung Menggunakan Kombinasi Metode Vacuum Consolidation dengan Prefabricated Vertical Drain. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, 1(1), pp-043. [Google Scholar](#)*
- Haryoto, Erman. (2015). *Penggunaan Preloading dan Penggunaan Pre-Fabricated Vertical Drains untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak (Studi Kasus Oprit Jembatan Deng Padeng Kabupaten Sampang Madura)*. Universitas Muhammadiyah Jember. [Google Scholar](#)
- Hayati, Titi. (2019). *Analisis Pengaruh Smear Zone pada Penurunan dan Waktu Konsolidasi Proyek Reklamasi Belawan Fase II dengan Plaxis 2D dan 3D. [Google Scholar](#)*
- Hidayati, Anissa Maria, & Ardana, Made Dodiék Wirya. (2008). Kombinasi Preloading Dan Penggunaan Pre-Fabricated Vertical Drains Untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak (Studi Kasus Tanah Lempung Suwung Kangin). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil. [Google Scholar](#)*
- Hird, C. C., Pyrah, I. C., Russell, D., & Cinicioglu, F. (1995). Modelling the effect of vertical drains in two-dimensional finite element analyses of embankments on soft ground. *Canadian Geotechnical Journal, 32(5), 795–807. [Google Scholar](#)*
- Indraratna, B., Bamunawita, C., Redana, I., McIntosh, G. (2003). Modelling of Prefabricated Vertical Drains in Soft Clay and Evaluation of Their Effectiveness in Practice. *Journal of Ground Improvement, 7(3), 127-138. University of Wollongong. [Google Scholar](#)*
- Ohoimas, Muhammad Yanuar, & Hamdhan, Indra Noer. (2015). Analisis Konsolidasi dengan Menggunakan Metode Preloading dan Vertical Drain pada Areal Reklamasi Proyek Pengembangan Pelabuhan Belawan Tahap II (Hal. 1-11).

RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil, 1(1), 1. [Google Scholar](#)

Pramulandani, Arzunnita. (2020). *Ta: Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geocell Menggunakan Metode Elemen Hingga (PLAXIS 2D)*. Institut Teknologi Nasional Bandung. [Google Scholar](#)

Suhendra, Andryan, & Irsyam, Masyhur. (2011). Studi Aplikasi Vacuum Preloading Sebagai Metode Alternatif Percepatan Proses Konsolidasi Pada Tanah Lempung Lunak Jenuh Air: Trial Gvs Pada Perumahan Pantai Indah Kapuk, Jakarta. Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Binus University. [Google Scholar](#)

Surbakti, Rudianto. (2020). *Analisis pengaruh Sand Replacement sebagai Counter Weight pada proses konsolidasi di Reklamasi Belawan*. [Google Scholar](#)

Zhafirah, Athaya, & Amalia, Dewi. (2019). Perencanaan Preloading Dengan Penggunaan Prefabricated Vertical Drain Untuk Perbaikan Tanah Lunak Pada Jalan Tol Pejagan-Pemalang. *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik*, 21(1), 10–18. [Google Scholar](#)

Copyright holder:

Tika Ermita Wulandari, Roesyanto, dan Rudi Iskandar (2021)

First publication right:

Journal Syntax Literate

This article is licensed under:

