



Analisis Efek *Smear Zone* Akibat Pemasangan PVD terhadap Proses Konsolidasi Timbunan dengan Plaxis 2D dan 3D

*Titi Hayati, Roesyanto, Rudi Iskandar

Program Magister Teknik Sipil, Dosen Universitas Sumatera Utara

^{*)}titi26hayati@students.usu.ac.id

Received: 13 November 2019 Revised: 16 Agustus 2020 Accepted: 25 September 2020

Abstract

The method of preloading and vertical drainage is one of the popular methods used to increase shear strength of soft soil. Initial loading is carried out with the aim of consolidating the soil layer with a large or equal load greater than the load that will be carried by the ground both during and after construction. While vertical drainage can speed up the evaluation process. The development of a vertical drainage system is the use of PVD (Prefabricate Vertical Drain). PVD is installed to drain the air that is dissipated in the preparation process. Analysis to compare the settlement that occurred in the Reklamasi Peti Kemas Belawan Fase II project with modeling on Plaxis 2D and 3D with and without using the smear zone effect. From the analysis, the settlement that occurred on consolidation process with Plaxis 2D modeling with and without the effect of the smear zone effect was 2,288 meters and 1,922 meters while the 3D Plaxis modeling obtained 2,077 meters for analysis without changing the effect of the smear zone and 1,930 meters for analysis with calculate the effect of the smear zone.

Keywords: *Preloading method, PVD, Plaxis, consolidation*

Abstrak

Metode pembebanan awal (preloading) dan drainase vertikal adalah salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser tanah lunak. Pembebanan awal dilakukan dengan tujuan mengkonsolidasi lapisan tanah lunak dengan besar pembebanan yang sama atau lebih daripada beban yang akan dipikul oleh tanah baik saat maupun setelah konstruksi. Sedangkan drainase vertikal dapat mempercepat proses konsolidasi. Perkembangan drainase vertikal adalah penggunaan PVD (Prefabricate Vertical Drain). PVD dipasang untuk mengalirkan air yang terdisipasi akibat proses konsolidasi. Analisis ini bertujuan untuk membandingkan besar penurunan yang terjadi pada proyek reklamasi peti kemas Belawan fase II dengan pemodelan pada Plaxis 2D dan 3D dengan dan tanpa memperhitungkan efek smear zone. Dari hasil analisis diperoleh besar penurunan yang terjadi pada proses konsolidasi dengan pemodelan Plaxis 2D dengan dan tanpa memperhitungkan efek smear zone adalah 2,288 meter dan 1,922 meter sedangkan dengan pemodelan Plaxis 3D diperoleh besar penurunan 2,077 meter untuk analisis tanpa memperhitungkan efek smear zone dan 1,930 meter untuk analisis dengan memperhitungkan efek smear zone.

Kata kunci: *Metode Preloading, PVD, Plaxis, konsolidasi*

Pendahuluan

Salah satu permasalahan geoteknik dalam bidang konstruksi adalah kuat geser dan daya dukung tanah yang merupakan pondasi dari suatu konstruksi. Setiap konstruksi direncanakan sedemikian rupa sehingga memiliki beban tertentu dan pada elevasi tertentu yang terkadang tidak dapat dilayani oleh kondisi tanah eksisting karena karakteristik tanah yang lunak. Tanah lunak bersifat kompreibilitas

yang tinggi, permeabilitas yang rendah dan daya dukung yang rendah dan kuat geser yang rendah. Salah satu faktor yang menyebabkan tanah lunak memiliki daya dukung yang rendah adalah tanah ini memiliki kuat geser yang rendah. Selain itu, tingginya tingkat kompreibilitas pada tanah lunak disebabkan oleh angka pori yang tinggi. Jika tanah tersebut diberi beban, maka air maupun udara yang mengisi pori-pori tanah akan keluar sehingga terjadi pemampatan tanah yang menandakan adanya

penurunan yang terjadi pada tanah. Kondisi tersebut merupakan kondisi yang tidak baik jika digunakan sebagai tanah dasar untuk sebuah konstruksi di atasnya. Konstruksi akan rusak karena adanya penurunan tanah yang berlebihan dan tidak seragam. Hal ini lebih fatal jika penurunan yang terjadi bersifat setempat. Untuk mengatasi hal ini maka perlu dilakukan perbaikan pada tanah lunak yang akan digunakan sebagai pondasi suatu konstruksi.

Metode pembebanan awal (*preloading*) dan drainase vertikal adalah salah satu metode yang populer yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser tanah lunak. Pembebanan awal dilakukan dengan tujuan mengkonsolidasi lapisan tanah lunak dengan besar pembebanan yang sama atau lebih daripada beban yang akan dipikul oleh tanah baik saat maupun setelah konstruksi. Sedangkan drainase vertikal dapat mempercepat proses konsolidasi.

Perkembangan sistem drainase vertikal adalah penggunaan PVD (*Prefabricate Vertical Drain*). PVD dipasang untuk mengalirkan air yang terdisipasi akibat proses konsolidasi. PVD mengalirkan air secara vertikal keatas lalu menuju drainase horizontal. Namun pada saat pemasangan, alat yang digunakan (*mandrel*) dapat merusak tanah di sekitarnya sehingga mempengaruhi koefisien permeabilitas horizontal dari tanah sehingga mengurangi laju air yang masuk menuju PVD. Daerah yang rusak akibat pemasangan PVD dengan *mandrel* disebut *smear zone*. Dalam perencanaan perbaikan tanah dibutuhkan analisis penurunan dan waktu konsolidasi, sehingga dapat diperkirakan besar penurunan yang harus dicapai hingga konsolidasi 90% dan waktu yang dibutuhkan untuk proses tersebut. Telah banyak analisis yang dilakukan untuk memprediksi proses konsolidasi yang terjadi pada timbunan di atas tanah lunak dengan metode *preloading* menggunakan metode elemen hingga.

Ohoimas & Hamdan (2015) melakukan analisis konsolidasi menggunakan metode *preloading* dan *vertical drain* pada area reklamasi. Hasil analisis yang didapat adalah metode *preloading* dan *vertical drain* mempercepat proses konsolidasi yang seharusnya 178000 hari menjadi 135 hari. Meiwa *et al.*, 2015 melakukan analisis konsolidasi dengan PVD untuk kondisi *axisymmetric* dan beberapa metode ekuivalensi *plane strain* menggunakan metode elemen hingga. Berdasarkan pemodelan dan eksekusi menggunakan Plaxis 2D didapat bahwa metode Indraratna memiliki hasil yang paling mendekati *axisymmetric* terutama pada kondisi PVD dengan *smear zone* dibandingkan metode Hird dan metode Chai. Metode Hird cukup mendekati

analisis *axisymmetric* dibandingkan hasil Chai. Dan pada pemodelan *plane strain*, pemodelan PVD menggunakan *smear zone* lebih mendekati pengukuran di lapangan daripada tanpa *smear zone*. Apriyanti *et al.*, 2016 menyimpulkan bahwa besarnya *mesh* tidak mempengaruhi besar penurunan dan waktu konsolidasi yang terjadi. Namun *smear zone* mempengaruhi waktu konsolidasi tanah akibat koefisien permeabilitas yang mengecil. Hal tersebut dikemukakan berdasarkan analisis yang dilakukan menggunakan Plaxis 2D.

Berikutnya Mulyana *et al.*, 2016 menyimpulkan dalam jurnalnya yang berjudul "Pemodelan *Vertical Drain* dengan Menggunakan Model Elemen Hingga pada Analisis Konsolidasi di Bendungan Marangkayu Kalimantan Timur" bahwa hasil analisis *settlement plate* dengan menggunakan PVD 1,0 m menunjukkan waktu untuk mencapai konsolidasi 95% adalah 424 hari dan besar penurunannya adalah -1,36 meter. Sedangkan analisis dengan Plaxis, penurunan tanah sebesar -1,224 meter pada hari ke 424.

Lokasi yang ditinjau pada tulisan ini adalah Proyek Reklamasi Peti Kemas Fase II di Belawan. Reklamasi ini bertujuan mengubah tataguna lahan yang awalnya merupakan daerah perairan menjadi daerah daratan dan dermaga dengan bangunan penunjang di atasnya. Karakteristik tanah eksisting adalah tanah lunak dan kadar air yang tinggi. Tujuan dari tulisan ini adalah menganalisis pengaruh *smear zone* terhadap besar penurunan dan waktu konsolidasi yang terjadi pada Proyek Reklamasi Peti Kemas Fase II menggunakan program Plaxis 2D dan 3D.

Pembebanan awal (*preloading*)

Pembebanan awal merupakan proses kompresi tanah dengan memberikan tekanan vertikal sebelum dilakukan pembebanan konstruksi sebenarnya. Beban *preloading* adalah beban yang setara dengan beban konstruksi sebenarnya dimana beban tersebut dilakukan dengan melakukan timbunan sebanding dengan berat konstruksi yang akan dilaksanakan. Ada pula yang menentukan tinggi timbunan sesuai dengan nilai penurunan, agar tanah timbunan tidak dibuang sia-sia dan dapat dijadikan suatu pondasi dari suatu konstruksi.

Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Pada perbaikan tanah dengan pembebanan awal, masalah yang timbul adalah lamanya proses waktu penurunan. Hal ini sering terjadi pada lapisan tanah yang cukup dalam dan mempunyai permeabilitas yang rendah. Untuk mempercepat konsolidasi dan

menghemat waktu penurunan timbunan pada tanah lunak, cara yang digunakan adalah membuat saluran vertikal yang mempunyai permeabilitas tinggi, yaitu drainase vertikal. Menurut Indraratna *et al.*, (1994) performa timbunan di atas tanah lunak dapat distabilkan dengan saluran drainase vertikal.

Menurut Bergado *et al.*, (1991) drainase vertikal diklasifikasikan ke dalam tiga tipe umum: *sand drain*, *fabric-encased sand drains* dan *prefabricated band drain*. Drainase vertikal hanya mempercepat konsolidasi primer saja, karena pengaliran air yang signifikan hanya terjadi pada saat konsolidasi primer. Kapasitas pengaliran PVD pada konstruksi timbunan di atas tanah lempung dapat dianalisis (Chai, *et al.*, 2000). Konsolidasi sekunder hanya mengalirkan jumlah air yang sangat sedikit dan seperti penurunan sekunder tidak dipercepat oleh drainase vertikal.

Selama tiga dekade, berbagai jenis drainase vertikal, termasuk *sand drain*, *sand compaction piles*, PVD, dan *gravel piles* telah dipelajari. Kjellman (1949) memperkenalkan drainase cetakan berbentuk pita (*prefabricated band shape drain*) dengan sebuah inti plastik beralur yang dibungkus dengan selubung filter terbuat dari kertas karton untuk perbaikan tanah. Kebanyakan ukuran drainase vertikal adalah 100 mm lebar dengan ketebalan 4 mm. Fungsi utama saringan drainase vertikal adalah untuk memastikan partikel halus tidak lolos dan menyumbat saluran dalam inti (Hansbo, 1981).

Smear zone

Pada pemasangan PVD diasumsikan bahwa sifat-sifat tanah sekelilingnya tidak berubah. Tapi pada kenyataannya, pemasangan PVD sedikit mengganggu tanah, tergantung pada sensitivitas tanahnya. PVD dimasukkan ke dalam tanah dengan menggunakan mandrel dan diujungnya diberikan sepatu. Akibat pemasangan ini, maka lapisan tanah yang ditusuk *mandrel* akan terganggu. Gangguan yang terjadi tersebut disebut efek *smear*. Efek *smear* adalah berkurangnya nilai koefisien permeabilitas tanah arah radial (k_r) akibat proses peremasan (*remoulding*) selama pemasangan PVD oleh *mandrel*. Jamiolkowski *et al.*, 1983; Hansbo, 1987 merekomendasikan untuk suatu perencanaan diameter *smear zone* dapat diestimasi (2-3) kali diameter *mandrel*.

$$d_s = (2-3) d_m \quad (1)$$

$$d_m = \sqrt{\frac{4 \times A_m}{\pi}} \quad (2)$$

dimana d_s adalah diameter *smear zone*, d_m adalah diameter *mandrel*, dan A_m adalah luasan ukuran *mandrel*.

Daerah pengaruh pemasangan PVD (jangkauan kerja PVD) yang disebut sebagai diameter ekuivalen (D_e), bergantung kepada pola dan jarak pemasangan PVD. Pada umumnya, PVD dipasang dengan pola bujur sangkar dan segitiga, dimana rumus yang berlaku untuk mengetahui daerah pengaruh pemasangan PVD itu adalah:

$$D_e = 1,13 S \text{ (untuk pola bujur sangkar)} \quad (3)$$

$$D_e = 1,05 S \text{ (untuk pola segitiga)} \quad (4)$$

Verifikasi *vertical drain*

Hird, et al, (1992) mengenalkan sebuah teori satu dimensi (*one dimensional*) untuk elemen drainase pada pemodelan PVD dalam menganalisis proses konsolidasi. Hansbo (1979) telah mengaplikasikan teori unit sel pada kondisi *plane strain* dan diusulkan sebagai prosedur yang cocok.

Selanjutnya, Hird, et al, (1995) melakukan analisis pemodelan dua dimensi (*two dimensional*) untuk drainase vertikal pada analisis *finite element* pada timbunan di atas tanah lunak dan menghasilkan nilai derajat konsolidasi yang lebih cocok dengan keadaan di lapangan. Pemodelan dilakukan secara *axisymetris* dan *plane strain*.

Untuk dapat mengimplementasikan *vertical drain* yang terpasang di lapangan ke dalam program, maka perlu dilakukan verifikasi dimensi PVD untuk simulasi pemodelan Plaxis dalam kondisi *plane strain*. Verifikasi tersebut akan menghasilkan koefisien permeabilitas tanah yang baru sehingga dapat digunakan pada analisis Plaxis. Menurut Chai *et al.*, 2001, metode sederhana dalam pemodelan PVD adalah mengubah nilai permeabilitas vertikal tanah pada area *vertical drain* sebagai kinerja dari PVD. Adapun besar nilai permeabilitas tersebut adalah:

$$k_{ve} = \left(1 + \frac{2,5 l^2 k_h}{\mu D_e^2 k_v}\right) k_v \quad (5)$$

dimana k_{ve} adalah koefisien permeabilitas *vertical drain*, l adalah panjang lintasan yang harus dilalui air, k_h adalah koefisien permeabilitas horizontal tanah, k_v adalah koefisien permeabilitas vertikal tanah, μ adalah Poisson *ratio*.

Proses ekuivalen PVD dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu jarak antar *vertical drain* pada kondisi *plane strain* dapat diubah (perubahan geometri) dengan permeabilitas yang dibuat tetap pada kondisi *axisymetry* dan *plane strain* ($k_{ax} = k_{pl}$), permeabilitas pada kondisi *plane strain* dapat diubah, dengan geometri yang dibuat sama dan mengkombinasi perubahan geometri dan permeabilitas. Chai, *et al.* (1995) telah mengekuivalenkan koefisien permeabilitas tanah

dari kondisi *axisymetry* menjadi *plane strain* dengan cara menyamakan debit air yang masuk pada kondisi *axisymetry* dengan kondisi *plane strain*. Pengekuivalenan koefisien permeabilitas dilakukan dengan rumusan sebagai berikut:

$$\frac{2B^2}{3} \times k_{ax} = R^2 \times k_{pl} \left[\ln\left(\frac{n}{s}\right) + \left(\frac{k_{ax}}{k_s}\right) \ln(s) - \frac{3}{4} \right] \quad (6)$$

dimana k_{ax} merupakan permeabilitas tanah arah horizontal kondisi *axisymetry*, k_{pl} merupakan ermeabilitas tanah arah horizontal kondisi *plane strain*, k_s merupakan permeabilitas tanah pada daerah *smear zone*, B merupakan $\frac{1}{2}$ dari jarak *vertical drain* untuk kondisi *plane strain*, R merupakan jari-jari ekuivalen kondisi *axisymetry*,

$$S = \frac{r_s}{r_w} \quad (7)$$

$$n = \frac{r_e}{r_w} \quad (8)$$

dimana $r_s = bs =$ jari-jari *smear zone*, $r_e = be =$ jari-jari ekuivalen (setelah penampang diubah menjadi bentuk lingkaran), $r_w = bw =$ jari-jari *vertical drain*.

Menurut Indraratna dan Redana (1997) besarnya koefisien permeabilitas tanah akibat efek *smear* dapat diekuivalenkan dengan rumusan sebagai berikut:

$$k_{hp} = \frac{k_h \left[\alpha + (\beta) \frac{k_{hp}}{k'_{hp}} + (\theta)(2lz - z^2) \right]}{\left[\ln\left(\frac{n}{s}\right) + \left(\frac{k_h}{k'_{hp}}\right) \ln(s) - 0,75 + \pi(2lz - z^2) \frac{k_h}{q_w} \right]} \quad (9)$$

$$\frac{k'_{hp}}{k_{hp}} = \frac{\beta}{\left[\ln\left(\frac{n}{s}\right) + \left(\frac{k_h}{k'_{hp}}\right) \ln(s) - 0,75 - \alpha \right]} \quad (10)$$

$$\frac{k_{hp}}{k_h} = \frac{0,67}{[\ln(n) - 0,75]} \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{0,67(n-s)^3}{n^2(n-1)} \quad (12)$$

$$\beta = \frac{2(n-1)(n(n-s-1) + 0,33(s^2 + s + 1))}{n^2(n-1)} \quad (13)$$

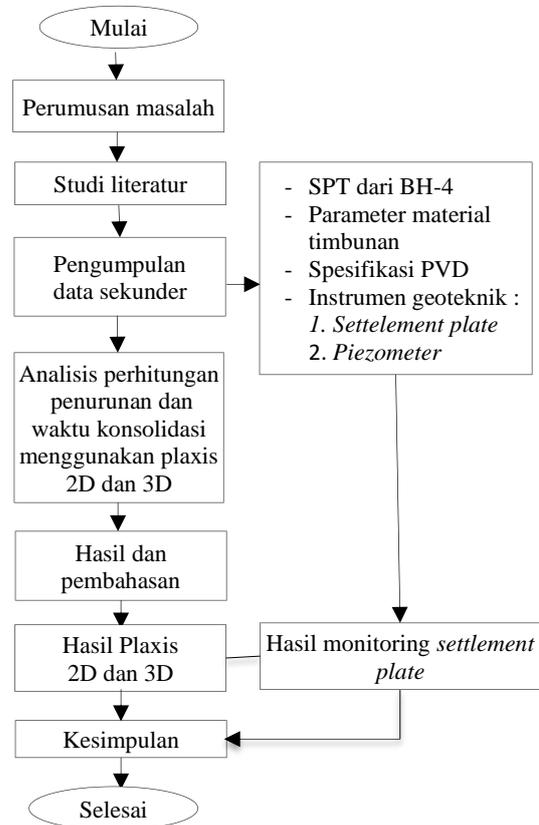
$$n = \frac{R}{r_w} \quad (14)$$

dimana k_{hp} adalah koefisien permeabilitas horizontal *plane strain* untuk area yang tidak terganggu, k_h adalah koefisien permeabilitas horizontal tanah, k'_{hp} adalah koefisien permeabilitas horizontal *plane strain* untuk area yang terganggu, dan θ adalah rata-rata tekanan pori eksese pada kedalaman dan waktu tertentu.

Metode

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis menggunakan Plaxis 2D dan 3D dengan data lapangan dan laboratorium yang didapatkan dari pemilik proyek Reklamasi Peti Kemas Belawan Fase II. Data diolah menjadi parameter yang sesuai dalam pemodelan Plaxis 2D dan 3D. Selanjutnya

dilakukan pemodelan timbunan dan pemasangan PVD serta tahapan konstruksi yang mengimpretasikan kondisi di lapangan dan dilakukan analisis besar penurunan dan waktu konsolidasi yang terjadi. Secara detail tahapan penelitian dijelaskan dengan bagan alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan pelaksanaan penelitian

Hasil dan Pembahasan

Verifikasi pemodelan *vertical drain*

PVD yang terpasang pada Proyek Reklamasi Peti Kemas Fase II adalah berukuran 10 x 3,3 cm. PVD dipasang sepanjang 30 m dari permukaan tanah. Jarak pemasangannya adalah 1,3 m dengan pola pemasangan adalah pola segitiga. Perverifikasian pemodelan *vertical drain* dilakukan dengan mengekuivalenkan *vertical drain* yang setempat-setempat menjadi menerus (*plain strain*) untuk Plaxis 2D dan ukuran sebenarnya untuk 3D. Pengekuivanenan tersebut dilakukan dengan cara:

1. Diambil satu segmen *vertical drain* yang terpasang di lapangan ukuran 130 x 130 cm²

$$d_w = \frac{2(10 + 0,33)}{3,14} = 6,576 \text{ cm}$$

$$r_w = \frac{6,576}{2} = 3,289 \text{ cm}$$

Tabel 1. Parameter *input* material tanah eksisting

| Parameter | Lapisan 1 | Lapisan 2 | Lapisan 3 | Lapisan 4 | Lapisan 5 | Lapisan 6 | Lapisan 7 | Lapisan 8 | Lapisan 9 |
|-------------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Jenis tanah | <i>Silty clay</i> | <i>Clay</i> | <i>Silty clay</i> | <i>Silty sand</i> | <i>Silt</i> | <i>Clay</i> | <i>Silty clay</i> | <i>Clay</i> | <i>Silty clay</i> |
| Tipe | <i>Undrained</i> | <i>Undrained</i> | <i>Undrained</i> | <i>drained</i> | <i>Undrained</i> | <i>Undrained</i> | <i>Undrained</i> | <i>Undrained</i> | <i>Undrained</i> |
| Tebal lapisan tanah (m) | 2 | 9,8 | 2,2 | 2,2 | 1,2 | 1,4 | 11 | 20 | 7 |
| γ_{sat} (kN/m ³) | 16 | 16,2 | 16,4 | 16,2 | 18 | 18 | 17,5 | 19 | 21 |
| γ_{dry} (kN/m ³) | 6,2 | 6,4 | 6,6 | 6,2 | 8,2 | 8,2 | 7,7 | 9,2 | 11,2 |
| c (kN/m ²) | 18 | 18 | 18 | 4 | 20 | 28 | 25 | 50 | 70 |
| Φ (°) | 1 | 1 | 2 | 17 | 2 | 1,5 | 1 | 1 | 1 |
| Ψ (°) | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| E (kN/m ²) | 1.800 | 2.100 | 2.500 | 7.000 | 2.100 | 4.900 | 4.000 | 4.500 | 6.500 |
| K_x (m/hari) | 0,000864 | 0,000864 | 0,000864 | 0,864 | 0,000864 | 0,000864 | 0,000864 | 0,000864 | 0,000864 |
| K_y (m/hari) | 0,000864 | 0,000864 | 0,000864 | 0,864 | 0,000864 | 0,000864 | 0,000864 | 0,000864 | 0,000864 |
| μ | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,25 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |

2. Menentukan diameter *mandrel* dengan Persamaan (2)

$$d_m = \sqrt{\frac{4x(4x13)}{3,14}} = 8,139 \text{ cm}$$

3. Menentukan jari-jari ekuivalen *smear zone*, dengan Persamaan (1)

$$ds = 3 \times 8,139 = 24,417 \text{ cm}$$

$$rs = 12,208 \text{ cm}$$

4. Menentukan jari-jari ekuivalen zona pengaruh PVD, menggunakan Persamaan (3)

$$De = 1,05 \times 130 \text{ cm} = 136,5 \text{ cm}$$

$$Re = 68,25 \text{ cm.}$$

Parameter material dalam pemodelan Plaxis

Hasil korelasi material tanah eksisting disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 2. Parameter *input* tanah timbun dan PVD

| Parameter | Timbunan | PVD |
|-------------------------------------|----------------|----------------|
| Jenis Tanah | Pasir | |
| Tipe | <i>Drained</i> | <i>Drained</i> |
| γ_{sat} (kN/m ³) | 19,5 | 19,5 |
| γ_{dry} (kN/m ³) | 14,3 | 14,3 |
| c (kN/m ²) | 2,27 | 2,27 |
| Φ (°) | 33,1 | 33,1 |
| Ψ (°) | 3,1 | 3,1 |
| E (kN/m ²) | 10000 | 10000 |
| K_x (m/hari) | 8,64 | 8,64 |
| K_y (m/hari) | 8,64 | 8,64 |
| μ | 0,2 | 0,2 |

Selanjutnya parameter tanah timbunan dan material PVD dalam pemodelan Plaxis disajikan dalam Tabel 2.

Akibat dari pemasangan PVD di lapangan yang menggunakan *mandrel*, maka terbentuk daerah yang terganggu (*smear zone*) yang menyebabkan berkurangnya nilai permeabilitas horizontal tanah eksisting. Adapun nilai permeabilitas horizontal tanah eksisting akibat *smear zone* berdasarkan Persamaan 10 dan 11 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Verifikasi parameter tanah akibat pemasangan *vertical drain*

| Lapisan tanah | K_{hp} (m/day) | k'_{hp} |
|---------------|------------------|-----------|
| 1 | 0,000432 | 1,246E-04 |
| 2 | 0,000432 | 1,246E-04 |
| 3 | 0,000432 | 1,246E-04 |
| 4 | 0,432 | 1,246E-01 |
| 5 | 0,000432 | 1,246E-04 |
| 6 | 0,000432 | 1,246E-04 |
| 7 | 0,000432 | 1,246E-04 |
| Timbunan | 4,32 | 1,246 |

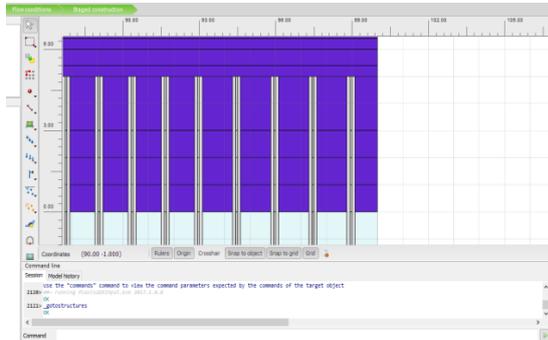
Perhitungan konsolidasi dengan Plaxis 2D

Tanpa efek *smear zone*

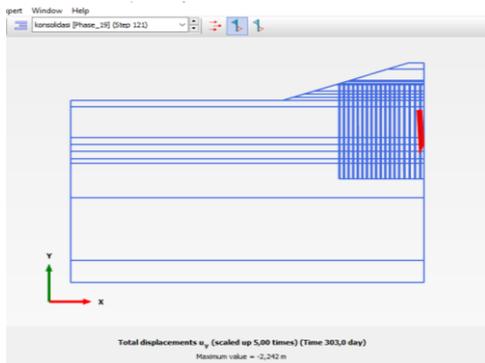
Perhitungan Plaxis 2D tanpa memperhitungkan efek *smear zone* dilakukan dengan tahapan: (1) *Project properties*; pada tahap ini dilakukan pengaturan jenis pemodelan yang digunakan yaitu *plane strain* dengan 15 titik nodal. Lebar penampang eksisting adalah 100 meter. (2) *Soil*; pada tahap ini pendeklarasian tanah eksisting dilakukan sesuai data pengujian tanah di lapangan.

Dengan efek *smear zone*

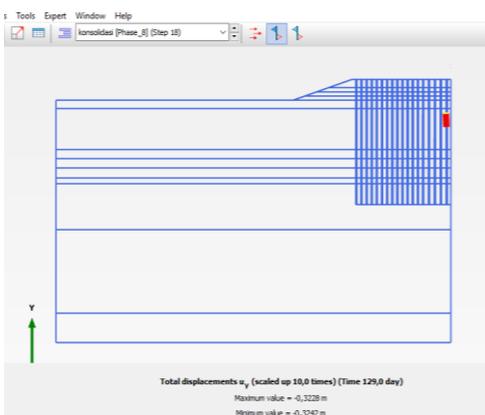
Pada analisis ini, tahapan pemodelan yang dilakukan hampir sama dengan analisis tanpa efek *smear zone*. Hanya saja pada pemodelan ini, area *smear*, digambarkan disini PVD dengan aturan yang diberikan oleh Indraratna. Pemodelan daerah yang terganggu disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pemodelan *smear zone*



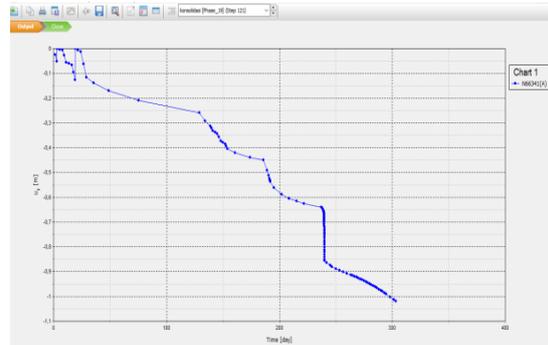
Gambar 7. Penurunan vertikal yang terjadi di titik peninjauan adalah 2,242 meter



Gambar 8. Penurunan tanah sebelum pemasangan settlement plate adalah 0,32 meter

Penambahan pemodelan area yang terganggu menyebabkan penambahan *mesh* yang terbentuk. Jumlah *mesh* yang terbentuk adalah 14.015 elemen. Hasil perhitungan penurunan dengan Plaxis 2D dengan memperhitungkan efek *smear zone*

disajikan pada Gambar 7 dan 8. Untuk menentukan besar penurunan yang terjadi, dilakukan pengurangan seperti pada analisis tanpa *smear zone*. Berdasarkan Gambar 7 dan 8 dapat dilihat bahwa besar penurunan dari analisis Plaxis 2D dengan efek *smear zone* adalah 1,922 meter. Adapun grafik hubungan antara penurunan dan waktu dari Plaxis disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hubungan antara penurunan dan waktu konsolidasi pada titik yang ditinjau

Perhitungan konsolidasi dengan Plaxis 3D

Tanpa efek *smear zone*

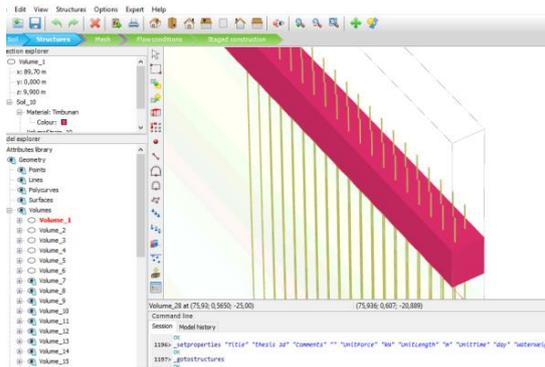
Perhitungan dilakukan dengan langkah-langkah: (1) *Project properties*, pada tahap ini, dilakukan pengaturan pemodelan penuh (*full*) dengan 10 titik nodal. Lebar penampang eksisting adalah 2,26 m. Drencanakan pemodelan PVD dua baris. (2) *Soil*, adalah proses pendeklarasian tanah eksisting dengan parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Pendeklarasian tersebut disajikan pada Gambar 10. (3) Penggambaran struktur, struktur timbunan digambarkan sesuai tahapan pekerjaan dengan kemiringan 1:3. PVD digambarkan sesuai ukuran sebenarnya tanpa verifikasi seperti pada kasus 2D. PVD dimodelkan berjarak 1,3 m dengan pola segitiga dan dengan kedalaman 30 m.

| # | Material | Top | Bottom |
|---|----------|--------|--------|
| 1 | Layer 1 | 0,00 | -2,00 |
| 2 | Layer 2 | -2,00 | -11,00 |
| 3 | Layer 3 | -11,00 | -14,00 |
| 4 | Layer 4 | -14,00 | -16,20 |
| 5 | Layer 5 | -16,20 | -18,00 |
| 6 | Layer 6 | -18,00 | -20,00 |
| 7 | Layer 7 | -20,00 | -31,00 |
| 8 | Layer 8 | -31,00 | -51,00 |
| 9 | Layer 9 | -51,00 | -68,00 |

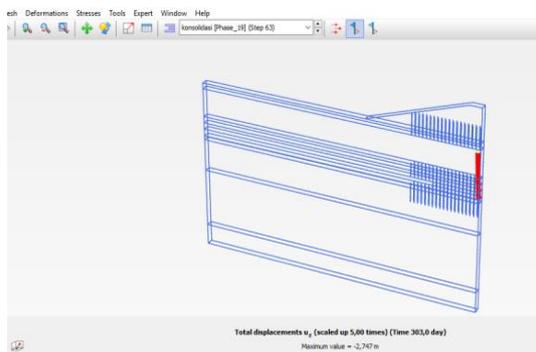
Gambar 10. Pendeklarasian tanah eksisting

Hasil penggambaran struktur tersebut pada Plaxis 3D disajikan pada Gambar 11. (4) Pembentukan *mesh*, hasil pemebentukan *mesh* pada pemodelan ini adalah sebanyak 59.750 elemen. (5) *Stage*

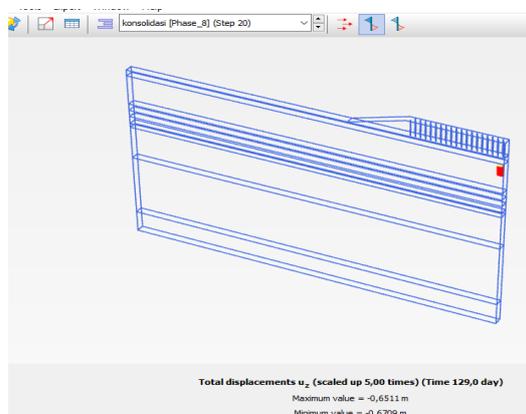
construction, tahapan perhitungan yang dilakukan adalah 19 tahapan sesuai dengan tahapan konstruksi yang dilakukan di lapangan. Tahapan konstruksi yang dimodelkan masih sama dengan analisis sebelumnya. Selanjutnya dilakukan proses perhitungan pada Plaxis 3D. Besar penurunan yang terjadi pada semua tahapan konstruksi adalah 2,747 meter (Gambar 12) dan besar penurunan yang terjadi hingga pemasangan *settlement plate* adalah sebesar 0,67 meter (Gambar 13). Sehingga didapat besar penurunan yang terjadi adalah 2,077 meter.



Gambar 11. PVD dipasang dengan susunan segitiga



Gambar 12. Penurunan yang terjadi pada semua tahapan pekerjaan sebesar 2,747 meter

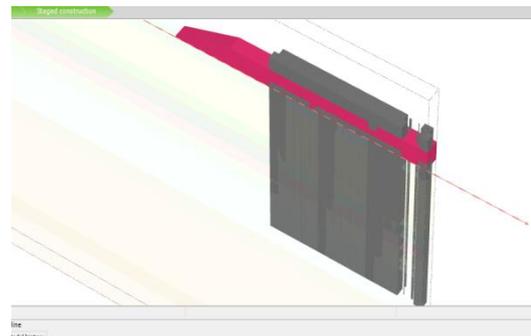


Gambar 13. Penurunan yang terjadi hingga pemasangan *settlement plate* adalah sebesar 0,67 meter

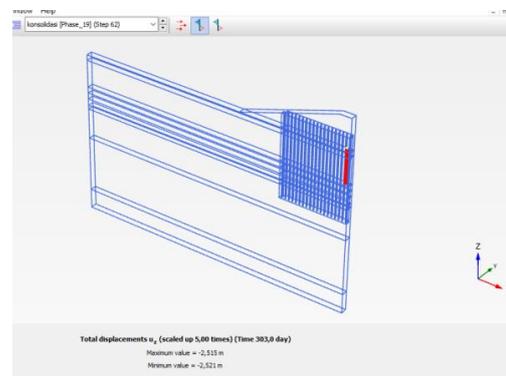
Dengan efek *smear zone*

Poses analisis pada tahap ini sama seperti analisis sebelumnya (tanpa efek *smear zone*). Hanya saja pada analisis ini, pemodelan ditambah dengan area terganggu akibat pemasangan PVD. Pemodelan daerah *smear zone* dapat dilihat pada Gambar 14.

Adapun hasil perhitungan penurunan konsolidasi menggunakan Plaxis 3D dengan memperhitungkan efek *smear zone* adalah 2,521 meter pada semua tahapan konstruksi. Dan besar penurunan (Gambar 15) setelah dikurangkan dengan penurunan hingga pemasangan *settlement plate* adalah 1,93 meter.



Gambar 14. Pemodelan *smear zone*



Gambar 15. Penurunan yang terjadi pada pemodelan Plaxis 3D dengan memperhitungkan efek *smear zone* adalah 2,521 meter.

Pembahasan

Rekapitulasi besar penurunan yang terjadi dari hasil analisis pemodelan Plaxis disajikan pada Tabel 4. Penurunan yang terjadi pada pemodelan Plaxis 2D dan 3D adalah penurunan total semua fase pekerjaan dikurangi penurunan sebelum *settlement plate* dipasang yakni sebelum pemasangan PVD. Hal ini dilakukan agar hasil analisis dapat dibandingkan dengan data *settlement plate*. Berdasarkan data *settlement plate* 03 (SP-03), *settlement plate* dipasang setelah penimbunan hingga elevasi +3,5 LWS dilakukan, sehingga penurunan saat awal timbunan tidak tercatat.

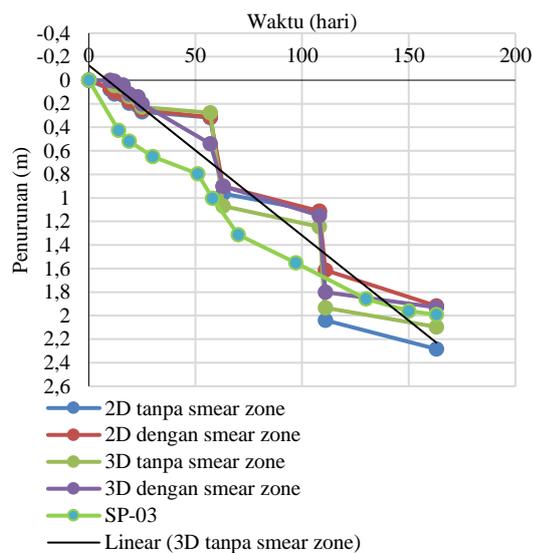
Perbedaan hasil perhitungan 2D dan 3D baik dengan atau tanpa efek *smear zone* pada waktu yang sama terhadap nilai *settlement plate* dapat dilihat pada Tabel 5. Sedang grafik hubungan antara besar penurunan dan waktu konsolidasi dari hasil pemodelan Plaxis 2D dan Plaxis 3D dengan dan tanpa efek *smear zone* serta hasil lapangan dari *settlement plate* 03 (SP-03) dapat dilihat pada Gambar 16. Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi pada pemodelan Plaxis 2D tanpa efek *smear zone* adalah 2,288 m sedangkan dengan efek *smear zone* adalah 2,077 m. Besar penurunan konsolidasi pada pemodelan Plaxis 3D tanpa efek *smear zone* adalah 2,096 m sedangkan dengan efek *smear zone* adalah 1,930 m.

Tabel 4. Rekapitulasi hasil perhitungan penurunan tanah

| Pemodelan | Penurunan (meter) | | Berdasarkan <i>settlement plate</i> |
|-----------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| | Tanpa efek <i>smear zone</i> | Dengan efek <i>smear zone</i> | |
| 2D | 2,288 | 1,922 | 1,992 |
| 3D | 2,077 | 1,930 | |

Tabel 5. Perbedaan hasil analisis terhadap hasil di lapangan

| Settlement Plate (SP) | Perbedaan hasil penurunan | | | |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| | 2D | | 3D | |
| | Tanpa efek <i>smear zone</i> | Dengan efek <i>smear zone</i> | Tanpa efek <i>smear zone</i> | Dengan efek <i>smear zone</i> |
| | 14,86% | 3,51% | 4,27% | 3,11% |



Gambar 16. Grafik hubungan penurunan dan waktu konsolidasi

Perbedaan hasil pemodelan Plaxis 2D terhadap hasil pengamatan berdasarkan Tabel 5 adalah 14,86% untuk pemodelan tanpa efek *smear zone* dan 3,51% untuk pemodelan dengan efek *smear zone*. Sedangkan perbedaan hasil penurunan pada pemodelan Plaxis 3D terhadap hasil pengamatan di lapangan adalah 4,27% untuk pemodelan tanpa memperhitungkan efek *smear zone* dan 3,11% untuk pemodelan dengan memperhitungkan efek *smear zone*. Pemodelan Plaxis 2D dan 3D dengan memperhitungkan efek *smear zone* memberikan hasil yang lebih mendekati hasil pengamatan di lapangan dibandingkan pemodelan Plaxis tanpa memperhitungkan efek *smear zone*. Dari hasil di atas, pemodelan Plaxis 3D dengan efek *smear zone* memberikan perbedaan hasil yang paling kecil terhadap hasil di lapangan. Waktu konsolidasi yang terjadi pada pemodelan Plaxis 2D dan 3D dapat dilihat pada Gambar 16. Berdasarkan Gambar 16, penurunan sedalam satu m terjadi setelah 75 hari pada pemodelan Plaxis 2D tanpa memperhitungkan efek *smear zone* dan 87 hari dengan memperhitungkan efek *smear zone*. Sedangkan pada pemodelan Plaxis 3D, penurunan 1 m terjadi setelah 63 hari untuk pemodelan tanpa memperhitungkan efek *smear zone* dan 80 hari dengan efek *smear zone*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada kasus ini, pemodelan Plaxis 2D dan 3D dengan efek *smear zone* membutuhkan waktu konsolidasi yang lebih lama daripada pemodelan Plaxis 2D dan 3D tanpa efek *smear zone*.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, jumlah elemen yang terbentuk dari pemodelan Plaxis 2D tanpa efek *smear zone* 10.954 elemen, sedangkan pemodelan Plaxis 2D dengan efek *smear zone* adalah 14.015 elemen. Pemodelan Plaxis 3D tanpa efek *smear zone* tanpa efek *smear zone* menghasilkan jumlah elemen sebanyak 59.750 elemen sedangkan Plaxis 3D dengan efek *smear zone* menghasilkan 63.268 elemen. Pemodelan Plaxis 2D dan 3D dengan efek *smear zone* menghasilkan jumlah elemen yang lebih banyak daripada pemodelan Plaxis 2D dan 3D tanpa efek *smear zone*. Pemodelan Plaxis 3D menghasilkan jumlah elemen yang lebih banyak untuk dieksekusi daripada pemodelan Plaxis 2D. Dalam kasus ini, terdapat perbedaan yang dihasilkan baik besar penurunan maupun waktu konsolidasi oleh Plaxis 2D dan 3D seperti yang telah dijelaskan di atas. Dalam prosesnya, penggunaan Plaxis 2D lebih sederhana dalam pemodelannya, dibandingkan pemodelan Plaxis 3D. Pemodelan Plaxis 3D menghasilkan jumlah elemen yang lebih banyak sehingga menghabiskan kapasitas memori perangkat lebih banyak dan waktu yang lebih lama dalam proses eksekusinya.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan diskusi maka dapat disimpulkan bahwa perhitungan penurunan konsolidasi menggunakan pemodelan Plaxis 2D dan 3D dengan efek *smear zone* memberikan hasil yang lebih mendekati keadaan di lapangan daripada pemodelan tanpa memperhitungkan efek *smear zone*. Pemodelan Plaxis 3D dengan efek *smear zone* menghasilkan penurunan yang lebih mendekati nilai di lapangan. 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*. Pemodelan Plaxis 2D menghasilkan waktu konsolidasi lebih lama daripada pemodelan Plaxis 3D. Perhitungan penurunan dan waktu konsolidasi menggunakan pemodelan Plaxis 3D memberikan hasil yang lebih mendekati kondisi di lapangan dibandingkan pemodelan dengan Plaxis 2D.

Daftar Pustaka

- Apriyanti, K. D., Ikhya, I., & Hamdhan, I. N. (2016). Analisis konsolidasi dengan prefabricated vertical drain untuk beberapa soil model menggunakan metode elemen hingga. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 2(3), 17-28.
- Bergado, D. T., Asakami, H., Alfaro, M. C., & Balasubramaniam, A. S. (1991). Smear effects of vertical drains on soft Bangkok Clay. *Journal of Geotechnical Engineering*, 117(10), 1509-1530.
- Chai, J. C., Shen, S. L., Miura, N., & Bergado, D. T. (2001). Simple methode of modelling PVD-improved subsoil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127(11), 965-972.
- Chai, J. C., Miura, N., Sakajo, S., & Bergado, D. T. (1995). Behavior of vertical drain improved subsoil under embankment loading. *Soil and Foundation*, 35(4), 49-61.
- Chai, J. C., & Miura, N. (2000). Discharge capacity of prefabricated verical drains confined in clay. *Geosyntetics International Article*, 7(2), 119-135.
- Hansbo, S. (1979). Consolidation of clay by band-shaped prefabricated drains. *Ground engineering*, 12(5), 16-25.
- Hansbo, S. (1981). *Consolidation of Fine-Grained Soils by Prefabricated Drains*, Paper presented at Proceedings 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm.
- Hansbo, S. (1987). *Design Aspects of Vertical Drains and Lime Colomn Installations*. Paper presented at Southeast Asian Geotechnical Conference.
- Hird, C. C., Pyrah, I. C., Russel, D., & Cinicioglu, F. (1995). Modelling of effect of vertical drains in two-dimensional finite element analysis of embankment of soft ground. *Journal of Can. Geotech. J*, 32, 795-807.
- Hird, C. C., Pyrah I. C., & Russel, D. (1992). Finite element modelling of vertical drains beneath embankment of soft ground. *Geotechnique*, 42(3), 499-511.
- Indraratna, B., Balasubramaniam, A. S., & Ratnayake, P. (1994). Performance of embankment stabilized with vertical drains on soft clay. *Journal of Geotechnical Engineering*, 120(2), 257-273.
- Indraratna, B., & Redana I. W. (1997). Plane strain modelling of smear effects associates with vertical drains (technical notes). *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(5), 474-478.
- Jamiolkowski, M., Lancellotta, R., & Wolski, W. (1983). *Precompression and Speeding Up*. Paper presented at Proceedings of 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation, Helsinki, Finland.
- Kjellman, W. (1949). *Record of the Activities at the Swedish Geotechnical Institute 1944-1948.*, Stockholm: Swedia Geotechnical Institute.
- Meiwa, S., Ikhya., & Hamdhan, I. N. (2015). Analisis konsolidasi dengan PVD untuk kondisi axisymmetric dan beberapa metode ekuivalensi plane strain menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Institut Teknologi Nasional Teknik Sipil*, 20(10), 1-12.
- Mulyana, R. W., Hamdhan, I. N., & Bemby, S. (2016). Pemodelan vertical drain dengan menggunakan model elemen hingga pada analisis konsolidasi di Bendungan Marangkayu Kalimantan Timur (Hal. 1-16). *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 2(3), 1.
- Ohoimas, M. Y., & Hamdhan, I. N. (2015). Analisis konsolidasi dengan menggunakan metode preloading dan vertical drain pada areal reklamasi Proyek Pengembangan Pelabuhan Belawan Tahap II. *Jurnal Teknil Sipil*, 1(1), 1-11.