

---

**ANALISIS PROSES KONSOLIDASI DENGAN PVD PADA PROYEK REKLAMASI DI SAMPING TANGKI CPO ANTAR PULAU BELAWAN BERDASARKAN BORE LOG BH-1****Amirah Hanun<sup>1</sup>, Roesyanto,<sup>2</sup> Gina Cynthia R. Hasibuan<sup>3</sup>**

Universitas Sumatera Utara, Indonesia

Email: [amirahhanunlubis@gmail.com](mailto:amirahhanunlubis@gmail.com)

---

**Abstrak:**

Dalam perencanaan konstruksi bangunan sipil sering dijumpai permasalahan pada jenis tanah lunak, antara lain daya dukung tanah yang rendah dan penurunan (settlement) yang besar jika diberi beban. Perbaikan tanah dibutuhkan untuk mempercepat waktu penurunan konsolidasi. Salah satu cara yang dapat diterapkan untuk mempercepat waktu penurunan konsolidasi adalah dengan menggunakan pre-fabricated vertical drain (PVD) dan preloading. Metode ini mampu untuk meningkatkan kekuatan geser tanah lunak dan mengeluarkan air pori dalam tanah. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui besar penurunan konsolidasi tanah lunak dengan menggunakan rumus konsolidasi Terzaghi 1 dimensi dan analisis menggunakan metode elemen hingga dengan pemodelan pada PLAXIS 2D, membandingkan hasil pemodelan PLAXIS 2D dengan data aktual, pengaruh efek smear zone terhadap penurunan konsolidasi tanah di area timbunan dan untuk mengetahui perbedaan penurunan metode preloading kombinasi PVD dan preloading tanpa PVD berdasarkan titik bore log BH-1. Dari hasil analisis diperoleh besar penurunan konsolidasi dengan metode analitis menggunakan rumus konsolidasi Terzaghi 1 dimensi sebesar 0,858 meter. Besar penurunan yang terjadi pada proses konsolidasi dengan pemodelan pada PLAXIS 2D dengan memperhitungkan efek smear zone adalah 0,786 meter dan 0,852 meter tanpa memperhitungkan efek smear zone. Sedangkan untuk penurunan aktual yang terjadi di lapangan berdasarkan settlement plate (SP-01) adalah 0,867 meter dan besar penurunan preloading tanpa PVD sebesar 0,512 meter dapat disimpulkan bahwa metode preloading kombinasi PVD terbukti dapat mempercepat waktu konsolidasi. Sedangkan perbaikan dengan metode preloading saja menghasilkan penurunan yang relatif kecil.

**Kata Kunci:** Konsolidasi, *Preloading*, PVD, PLAXIS 2D, dan *Smear zone***Abstract:**

*In the planning of civil building, construction problems are often encountered in soft soil types, including low soil carrying capacity and large settlements (settlements) when given a load. Soil improvement is needed to speed up the consolidation settlement time. One method that can be applied to speed up the consolidation settlement time is to use a pre-fabricated vertical drain (PVD) and this preloading method is able to increase the shear strength of soft soils and remove*

*pore water in the soil. This research aims to determine the magnitude of settlement of soft soil consolidation using the 1-dimensional Terzaghi consolidation formula and analysis using the finite element method with PLAXIS 2D modeling, comparing the results of PLAXIS 2D modeling with actual data, the effect of the smear zone effect on the settlement of soil consolidation in the embankment area and to determine the difference in the decrease in preloading methods combined with PVD and preloading without PVD based on point bore log BH-1. From the results of the analysis, it is found that the consolidation settlement by analytical method using the 1-dimensional Terzaghi consolidation formula was 0.858 meters. The amount of settlement that occurs in the consolidation process using PLAXIS 2D modeling taking into account the smear zone effect is 0.786 meters and 0.852 meters without taking into account the smear zone effect. Meanwhile, the actual settlement that occurred in the field based on settlement plate (SP-01) was 0.867 meters and the magnitude of the preloading settlement without PVD was 0.512 meters. It can be concluded that the PVD combination preloading method is proven to accelerate consolidation time, while the improvement with the preloading method alone produces a relatively small decrease.*

**Keywords:** Consolidation, Preloading, PVD, PLAXIS 2D, and Smear zone

---

## PENDAHULUAN

---

Dalam analisis 2D, analisis bidang-regangan tepat untuk memodelkan sistem *preloading* dengan PVD sebagian mempertimbangkan kesetaraan permeabilitas antara kondisi aksisimetris dan regangan bidang menggunakan rumus Hird et al. 1995 (Abouhashrm, A. M. *et al.*,2021). Penurunan konsolidasi yang besar dan terjadi pada waktu yang lama merupakan permasalahan utama pada kasus penimbunan. Dengan permeabilitas tanah lempung yang kecil, waktu penurunan tanah hingga konsolidasi selesai terjadi diprediksi mencapai 10 tahun (Nawir et al. 2012). Menggunakan kombinasi *preloading* dan PVD memungkinkan tanah untuk mencapai akhir konsolidasi lebih cepat dengan selisih waktu 1.015 hari dengan pemasangan segitiga pola yang jarak antara PVD adalah 1,5 m. Sementara itu, efek dari smear zone menunjukkan bahwa semakin besar nilai permeabilitas smear zone, semakin kecil derajat total konsolidasi yang terjadi. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan sebesar 430 mm dalam 97 hari. derajat dari konsolidasi total berbanding lurus dengan penurunan nilai dalam waktu tertentu. Oleh karena itu, jika penurunannya lebih besar, nilai derajat konsolidasi total akan mengikuti (Mariyana *et al.*, 2021). Pemasangan PVD pada jarak 1,1 meter menghasilkan waktu konsolidasi yang lebih sedikit daripada jarak 1,3 meter dan 1,5 meter sehingga semakin dekat jarak PVD waktu konsolidasi yang terjadi akan semakin cepat. (Munthe, D. A *et al.*,2021). Perbaikan tanah dibutuhkan untuk mempercepat waktu penurunan konsolidasi. Salah satu cara yang dapat diterapkan untuk mempercepat waktu penurunan konsolidasi adalah dengan menggunakan PVD dan *preloading*. Dengan memasang *vertical drain* yang terbuat dari bahan yang sangat permeable lintasan drainase dapat diperpendek. Sehingga perlunya dilakukan analisis besar

Analisis Proses Konsolidasi Dengan PVD pada Proyek Reklamasi di Samping Tangki CPO Antar  
Pulau Belawan Berdasarkan Bore Log BH-1

penurunan konsolidasi tanah lunak menggunakan metode *preloading* dikombinasikan dengan PVD secara analitis dan metode elemen hingga menggunakan PLAXIS 2D.

## METODE

Pada penelitian ini, yang fokus menjadi tinjauan penelitian adalah lokasi timbunan yang menggunakan metode *preloading* (pembebanan awal) yang dikombinasikan dengan pemasangan PVD. Perhitungan dilakukan dengan memperhitungkan efek *smear zone* akibat pemancangan PVD. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan menggunakan teori konsolidasi satu dimensi untuk perhitungan analitis dan untuk metode elemen hingga menggunakan program PLAXIS 2D dengan memperhitungkan perhitungan waktu dan tahapan proses penimbunan yang diambil dari data SP-01, kedalaman penurunan (konsolidasi) tanah dengan kombinasi *preloading* dan PVD, efek *smear zone* diakibatkan oleh pemancangan PVD dengan menggunakan mandrel. Tahapan terakhir adalah tahapan membandingkan dan menganalisis hasil perhitungan dengan realisasi penurunan yang terjadi di lapangan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perhitungan penurunan konsolidasi secara analitis

Perhitungan analitis penurunan konsolidasi dilakukan per *layer* pada tanah lunak dengan metode Terzaghi 1 dimensi. Pada proses konsolidasi terjadi, tegangan efektif di setiap lapisan dihitung untuk mengetahui pemampatan timbunan.

Lapisan tanah dibagi menjadi 4 lapisan dengan data-data tanah setiap lapisannya seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 1**  
**Data material properties input PLAXIS 2D**

Uraian Material Model	Unit	Timbunan/ <i>Preloading</i> Mohr Coulomb	<i>Silty Sand 1</i> Mohr Coulomb	<i>Silty Clay 1</i> Mohr Coulomb	<i>Silty Sand 2</i> Mohr Coulomb	<i>Silty Clay 2</i> Mohr Coulomb
Kedalaman	m	+5,75~0	0~7,5	7,5~17,6	17,6~22	22~50
<i>Drainage Type</i>		<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Drained</i>	<i>Undrained</i>
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	13,950	10,30	9,32	10,79	8,53
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	18,50	15,30	15,59	16,67	15,40
E	kN/m <sup>2</sup>	15000,00	1500,00	1300,00	1500,00	1300,00
$V_{(m)}$		0,30	0,30	0,35	0,35	0,30
$C_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	0,008	5,79	5,39	4,41	4,02
$\phi$ (phi)	°	34,26	2,43	6,33	4,01	7,93
$\psi$ (psi)	°	4,26	0,00	0,00	0,00	0,00
$k_x$	m/day	1,00	5,0026E-03	4,5446E-03	3,0758E-03	5,8493E-03
$k_y$	m/day	1,00	2,5013E-03	2,2723E-03	1,5379E-03	2,9246E-03
Nama Lapisan	Timbunan / <i>Preloading</i>		1	2	3	4

**Tabel 2**  
**Material lapisan tanah dasar**

Data Properties	Lapisan Tanah			
	1	2	3	4
Tebal Lapisan	7,50	10,10	4,40	28,00
Indeks Pemampatan ( $C_c$ )	0,36	0,36	0,34	0,49
Angka Pori ( $e_0$ )	0,81	1,24	0,66	1,00
$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	10,30	9,32	10,79	8,53
$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	15,30	15,59	16,67	15,40

Perhitungan penurunan pada kasus ini dimulai pada elevasi +3,40 meter yaitu saat proses penimbunan *preloading* awal sebagai perbandingan dengan data lapangan *settlement plate* SP-01 yang dipasang pada elevasi +3,40 meter untuk hasil perhitungan pada setiap lapisan tanah dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini:

**Tabel 3**  
**Hasil perhitungan penurunan tanah secara analitis**

Fase Timbunan	Tinggi Timbunan (m)	Besarnya Penurunan				Jumlah
		Lap 1	Lap 2	Lap 3	Lap 4	
<i>Preloading 1</i>	1	0.122	0.080	0.032	0.159	0.393
<i>Preloading 2</i>	1.35	0.135	0.095	0.039	0.202	0.472
Total						0.865

### Perhitungan Efek Smear Zone

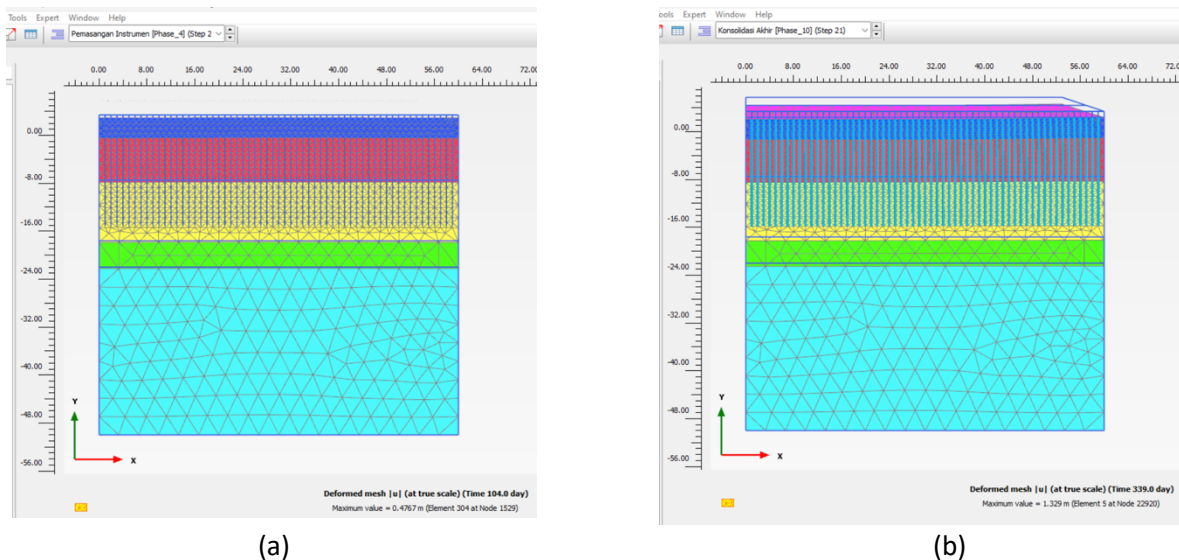
Verifikasi permodelan *vertical drain* dilakukan dengan cara mengekuivalenkan *vertical drain* yang setempat-setempat menjadi menerus (*plane strain*) untuk PLAXIS 2D. *Smear zone* memberikan perubahan nilai permeabilitas arah horizontal, besaran permeabilitas ini akan mempengaruhi besar penurunan tanah yang terjadi. Untuk memperoleh nilai penurunan tanah yang paling mendekati nilai penurunan sebenarnya di lapangan, dilakukan perhitungan dengan nilai  $s'$  dan  $k$  yang berbeda-beda (Surbakti, 2020). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4**  
**Nilai  $k_x$  tanah terkena smear zone untuk berbagai kondisi**

Nilai $s'$	Nilai $k$	Nilai $k_x$ lapisan tanah (m/hari)		Keterangan
		<i>Silty sand 1</i>	<i>Silty clay 1</i>	
2	2	0.002354	0.002141	Kondisi 1
	3	0.002364	0.002149	Kondisi 2
	4	0.002369	0.002153	Kondisi 3
3	2	0.003704	0.003371	Kondisi 4
	3	0.003730	0.003393	Kondisi 5
	4	0.003744	0.003404	Kondisi 6
1.5	2	0.001870	0.001700	Kondisi 7
	3	0.001876	0.001705	Kondisi 8

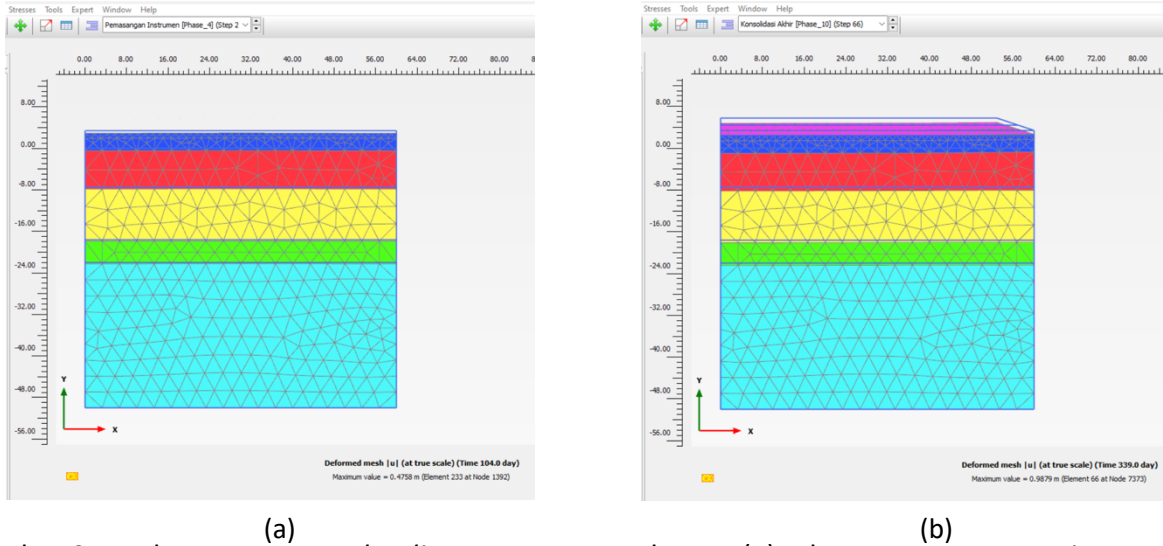
**Hasil analisis PLAXIS 2D**

Setelah seluruh tahapan perhitungan dimasukkan ke dalam program PLAXIS 2D dengan benar, maka program dapat melakukan perhitungan. Pada analisis ini, hasil *output* yang dijadikan perbandingan dengan data lapangan adalah hasil dari tahapan pemasangan instrumen geoteknik sampai konsolidasi akhir timbunan.



Gambar 1 Total penurunan *preloading* kombinasi PVD pada saat (a) tahapan pemasangan instrumen geoteknik sebesar 0,477 meter dan (b) tahapan konsolidasi akhir timbunan sebesar 1,329 meter pada PLAXIS 2D

Sehingga total penurunan *preloading* kombinasi PVD mulai dari tahapan pemasangan instrumen geoteknik hingga tahapan konsolidasi akhir timbunan didapat dari 1,329 dikurang 0,477 sebesar 0,852 meter.



Gambar 2 Total penurunan *preloading* tanpa PVD pada saat (a) tahapan pemasangan instrumen geoteknik sebesar 0,476 meter dan (b) tahapan konsolidasi akhir timbunan sebesar 0,988 meter pada PLAXIS 2D

Sehingga total penurunan mulai dari tahapan pemasangan instrumen geoteknik hingga tahapan konsolidasi akhir timbunan didapat dari 0,988 dikurang 0,476 sebesar 0,512 meter.

**Pembahasan**

Setelah dilakukan perhitungan penurunan konsolidasi tanah lunak menggunakan metode *preloading* dikombinasikan dengan prefabricated vertical drain secara analitis dan metode elemen hingga menggunakan PLAXIS 2D hasil yang disajikan pada Tabel 5 dibawah ini:

**Tabel 5**  
**Rekapitulasi perhitungan penurunan tanah**

Pemodelan	Berdasarkan <i>Settlement Plate</i> (m)	Prediksi Penurunan (m)	Perbedaan Penurunan dengan (cm)	Presentasi Perbedaan Penurunan (%)
Analitis	-0.867	-0.865	-0.194	0.224
Plaxis 2D		-0.852	-1.470	1.696

Setelah dilakukan analisis menggunakan permodelan PLAXIS 2D dengan kedalaman pemancangan PVD adalah 18,5 meter dan dengan karakteristik *smear zone* yang berbeda-beda maka kondisi 5 merupakan kondisi dengan besar penurunan yang paling mendekati data lapangan dengan nilai  $s' = 3$  ini menunjukkan bahwa diameter *smear zone* adalah 3 kali dari diameter mandrel dan  $k = 3$  di mana permeabilitas horizontal tanah 3 kali lebih kecil dari permeabilitas tanah asli. Dapat disimpulkan semakin besar nilai  $s'$  maka penurunan yang terjadi semakin kecil. Gangguan pada tanah akibat alat mandrel yang menimbulkan efek *smear zone* tersebut mengurangi permeabilitas tanah yang dapat memperlambat proses konsolidasi.

Perbandingan penurunan pada pemodelan beban *preloading* saja dan metode *preloading* kombinasi PVD dapat dilihat pada Table 6 di bawah ini:

**Tabel 6**  
**Perbandingan perhitungan penurunan tanah preloading kombinasi PVD dan tanpa PVD**

Pemodelan PLAXIS 2D	Berdasarkan <i>Settlement Plate</i> (m)	Prediksi Penurunan (m)	Perbedaan Penurunan dengan (cm)	Presentasi Perbedaan Penurunan (%)
<i>Preloading</i> kombinasi PVD	-0.867	-0.852	-1.470	1.696
<i>Preloading</i> tanpa PVD		-0.512	-35.490	40.934

Penggunaan PVD pada perbaikan tanah lunak sangat berpengaruh untuk mempercepat penurunan dan meningkatkan daya dukung tanah. Kedalaman *vertical drain* dipasang sepanjang lapisan tanah yang mengalami konsolidasi dan lapisan tanah *compressible* atau sedalam lapisan tanah yang masih mengalami pengaruh akibat distribusi tegangan dari beban di atasnya.

Parameter input yang memiliki nilai pengaruh signifikan dalam perhitungan pemodelan PLAXIS 2D ini adalah nilai modulus elastisitas tanah (E). Modulus elastisitas menggambarkan kekakuan suatu material yang berarti apabila suatu material memiliki nilai modulus elastisitas yang besar, maka semakin kecil perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi tegangan tertentu.

Selain itu juga parameter yang penting pada analisis konsolidasi adalah Koefisien permeabilitas (k). Umumnya tanah lempung mempunyai koefisien permeabilitas yang relatif kecil dibanding dengan tanah pasir, sehingga proses konsolidasi pada tanah lempung relatif lebih lama dibanding tanah pasir.

## KESIMPULAN

Besar penurunan konsolidasi tanah lunak menggunakan metode *preloading* dikombinasikan dengan PVD secara analitis menggunakan rumus konsolidasi Terzaghi 1 dimensi diperoleh penurunannya sebesar 0,865 meter. Penurunan konsolidasi dengan PLAXIS 2D diperoleh penurunan sebesar 0,852 meter. Besar penurunan yang terjadi di lapangan dengan

menggunakan settlement plate (SP-01) adalah 0,867 meter. Perhitungan penurunan konsolidasi menggunakan PLAXIS 2D relatif mendekati penurunan hasil aktual di lapangan dengan persentasi perbedaan penurunan 1,696 %. Nilai  $s'$  merupakan koefisien perbandingan diameter *smear zone* dengan diameter mandrel. Sedangkan  $k$  merupakan koefisien perbandingan permeabilitas horizontal dengan koefisien *smear zone*. Semakin kecil nilai  $s'$  maka besar penurunan yang terjadi semakin kecil. Sedangkan untuk nilai  $k$  menghasilkan nilai yang beragam. Perbedaan penurunan pada pemodelan beban *preloading* kombinasi PVD dan *preloading* tanpa PVD menghasilkan besar penurunan yang sangat berbeda, dimana besar penurunan yang terjadi pada pemodelan beban *preloading* kombinasi PVD adalah 0,852 meter sedangkan besar penurunan yang terjadi pada pemodelan beban *preloading* tanpa PVD selama adalah 0,512 meter. Metode *preloading* kombinasi PVD terbukti dapat mempercepat waktu konsolidasi dan penurunan yang terjadi merata sepanjang pemasangan PVD. Sedangkan perbaikan dengan metode *preloading saja* menghasilkan penurunan yang relatif kecil dan dalam waktu yang cukup lama serta penurunan yang tidak merata.

## BIBLIOGRAFI

---

- Abouhashem, A. M., El-Gendy, A. E.-D., Rabie, M. H., & Mostafa, M. A. (2021). Preloading system with partially penetrating vertical drains in marine soft clays in Egypt: 2D and 3D comparative FE study. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 13, 10-22.
- Akan, R., & Sert, S. (2021). Investigation of the Consolidation Behavior of Soft Soil Improved with Vertical Drains by Finite Element Method. *International Journal of Engineering & Applied Sciences (IJEAS)*, 13(3), 93-105.
- Bergado, D. L. (2018). Prefabricated Vertical Drain (PVD) and Deep Cement Mixing (DCM) / Stiffened DCM (SDCM) techniques for soft ground improvement. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 143. Asian Institute Technology.
- Binbin, X. (2017). "Influence of Surcharge Preloading Improvement on Surrounding Environment Based on Plaxis 3D". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 100 (2017) 012108. .
- Darwis. (2017). *Dasar – Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Yogyakarta: Pustaka AQ.
- Hayati, T., Roesyanto, & Iskandar, R. (2020). Analisis Pengaruh *smear zone* pada Penurunan dan Waktu Konsolidasi Proyek Reklamasi Belawan Fase II dengan Plaxis 2D dan 3D. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, Vol 26, No.2,2020,140-149.



Analisis Proses Konsolidasi Dengan PVD pada Proyek Reklamasi di Samping Tangki CPO Antar  
Pulau Belawan Berdasarkan Bore Log BH-1

- Irfan, D., Yusa, M., & Fatnanta, F. (2021, April 1). Pengaruh Efek Smear Zone terhadap Pola Pemasangan dan Jarak Pemasangan pada Perbaikan Tanah dengan Prefabricated Vertical Drain. *Jurnal Teknik*, 15, 35-42.
- Lestari, M.I, Manoppo, F.J., & Rondonuwu, S. (2018). Analisis Kestabilan Tanah Timbunan (Embankment) Pada Tanah Rawa Dengan Menggunakan Bambu (Studi Kasus : Jalan Toll Manado-Bitung). *Jurnal Ilmiah Media Engineering* Vol.8 No.2, Mei 2018 (1078-1091) ISSN: 2087-9334
- Mariyana, Zaika, Y., & Harimurti. (2021). Analisa Kestabilan Tanah Timbunan (Embankment) Pada Tanah Rawa dengan Menggunakan Bambu (Studi Kasus The Effect of The Use Prefabricated Vertical Drain (PVD) on Soft Soil Construction of Bandung City Road With Finite Element Analysis. *REKAYASA SIPIL*, 15, 192-198.
- Munthe, D. A., Roesyanto, & Iskandar, R. (2021, Maret 3). Analisis Pengaruh Jarak Pemasangan PVD Terhadap Derajat Konsolidasi pada Konstruksi Timbunan. *Jurnal Syntax Admiration*, 2, 399-412.
- Napitupulu, M. M., Roesyanto, & Iskandar, R. (2021, Januari). Analisa Konsolidasi Di Area *non sand key* pada Areal Reklamasi Proyek Pengembangan Pelabuhan Belawan-Phase I Menggunakan Plaxis 2D dan 3D. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 6, 1.
- Pardoyo, B., Sadono, K. W., Atmanto, I. D., Dhaksa, A. S., & Widiyari, N. P. (2021, Desember). Evaluation of Bund Stability Using GeoStudio Software With Ground Improvement Method Using Sand Key at Reclamation Work on Doft Soil. *Wahana TEKNIK SIPIL*, 26, 166-178.
- Santiago, A. E., & Acosta, N. L. (2020). Performance monitoring and numerical assessment of a test embankment Performance monitoring and numerical assessment of a test embankment. *ELSEVIER*.
- Surbakti, R. (2020). *Analisis Pengaruh Sand Replacement sebagai Counter Weight pada Proses Konsolidasi di Reklamasi Belawan*. Repositori USU.
- Susiazi, H., Widiastuti, M., & Widayati, R. (2020, Mei 1). Analisa Pengaruh Konsolidasi Metode Preloading dan Prevacibrated Vertical Drain (PVD). *JURNAL TEKNOLOGI SIPIL*, 4, 1-8.

Amirah Hanun, Roesyanto, Gina Cynthia R. Hasibuan

Tarigan, Y.W.Br, Roesyanto, & Iskandar, R. (2022, September 14). Analisis pasang surut air dan konsolidasi reklamasi belawan phase I dengan PLAXIS 2D dan 3D. *Jurnal Syntax Admiration*, 3, 399-412.

Wang, J., Fang, Z., Cai, Y., Chai, J., Wang, P., & Geng, X. (2018). Preloading using fill surcharge and prefabricated vertical drains for an airport. *ELSEVIER*, 575-585.

Wulandari, T.E., (2020). *Pengaruh Kehalusan Mesh Plaxis 2D dan 3D terhadap Prediksi Penurunan Konsolidasi pada Proyek Reklamasi Belawan Phase I*. Repositori USU.

Zukri, A., Nazir, R., Shien , C., & Kok, E. (2018). The Settlement Evaluation of Improved Soft Clay Using LECA Replacement Technique". (C. P. 2018, Ed.) *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGC*.

---

**Copyright holder:**

Amirah Hanun, Roesyanto, Gina Cynthia R. Hasibuan (2023)

**First publication right:**

Jurnal Syntax Admiration

**This article is licensed under:**

