



GO-16

ANALISIS KONSOLIDASI DAN NILAI ANGKA AMAN PADA USAHA STABILISASI TANAH LEMPUNG LUNAK DENGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD)*

I Made Kusuma Wiranata^{1*}, I Nengah Sinarta²

¹Program Studi Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong No. 24a, Denpasar

e-mail: kusumawiranata93@gmail.com

²Dosen Studi Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan, Universitas Warmadewa, Jl. Terompong No. 24a, Denpasar

e-mail: nengahsinartafrank@gmail.com

ABSTRAK

Berdasarkan tinjauan lapangan yang dilakukan pada pembangunan jalan tol ruas Binjai – Brandan, terdapat longsor yang terjadi sepanjang STA 47+525 s/d STA 47+700. Hal ini terjadi karena tanah dasar (*subgrade*) ini merupakan tanah lempung lunak yang terlihat dari data *borehole* BH-2 dengan kadar air yang tinggi sebesar 136.94%, dengan Index Plastis 12.65% dan Nilai Indeks Pemampatan (Cc) sebesar 1.362 dan Indeks Pengembangan (Cs) sebesar 0.157. Peneliti mencoba untuk mencari alternatif metode perbaikan tanah dasarnya. Metode yang dilakukan untuk stabilisasi tanah lunak pada kasus ini yaitu dengan penggunaan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*. Analisis dilakukan dengan pemodelan numerik aplikasi *Plaxis*. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa metode *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* cukup baik dalam meningkatkan daya dukung tanah. Metode *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* memiliki nilai angka aman (*safety factor*) di akhir masa konstruksi sebesar 1.409 dan masa operasional dengan penambahan beban 15 kPa selama 30 hari, nilai angka aman menjadi sebesar 1.341 dengan masa konsolidasi selama 89 hari.

Kata kunci: Tanah Lunak; *Prefabricated Vertical Drain*; Nilai Angka Aman; Konsolidasi

PENDAHULUAN

Sumatera merupakan pulau yang PDRB-nya terbesar kedua setelah Pulau Jawa dengan sumbangsih 21,7% terhadap PDRB Indonesia berdasarkan pengeluaran (Badan Pusat Statistik, 2022). Dalam menunjang dan menyambut perekonomian yang sangat pesat ini perlu dibangun jalur konektivitas seperti jalan tol trans Sumatera untuk mendukung aktivitas ekonomi yang ada di Pulau Sumatera ini. Tol Trans Sumatera ini dibangun dari ujung selatan sampai dengan ujung utara Sumatera. Pembangunan Tol Trans Sumatera ini memiliki banyak tantangan seperti pembebasan lahan dan juga kondisi tanah dasar yang rata – rata merupakan tanah lunak (Darmawandi dkk, 2020).

Tanah merupakan bagian terpenting dalam pembangunan infrastruktur, karena seluruh beban yang ada pada bangunan sipil akan didistribusi dan dipikul oleh tanah, sehingga tanah akan terus bergerak dan akan terus mengalami penurunan (Hardjowigeno, 2007; Ikhsan dkk, 2018). Jenis tanah dan lokasi pembangunan infrastruktur akan sangat mempengaruhi waktu dan biaya pelaksanaannya. Pada infrastruktur jalan tol terkadang sangat sulit untuk menentukan trase dengan tanah yang memiliki daya dukung yang baik. Terkadang banyak jalan tol harus melewati trase dengan tanah dasar yang kurang baik atau tanah lunak.

Peneliti melakukan magang dengan nomor surat 320/EKS_GS/HKI/BinBran/VIII/2022 pada pembangunan jalan tol ruas Binjai – Brandan. Peneliti meninjau longsor yang terjadi sepanjang STA 47+525 s/d STA 47+700. Hal ini terjadi karena tanah dasar (*subgrade*) ini merupakan tanah lempung lunak yang terlihat dari data *borehole* BH-2 dengan kadar air yang tinggi sebesar 136.94%, dengan Index Plastis 12.65% dan Nilai Indeks Pemampatan (Cc) sebesar 1.362 dan Indeks Pengembangan (Cs) sebesar 0.157. Permasalahan

ini tentu perlu dilakukan penanganan untuk menjadikan tanah dasar tersebut mencapai mutu *subgrade* yang diinginkan dan pemampatan yang diinginkan

Tanah lunak merupakan tanah yang karakteristiknya memiliki gaya geser yang kecil, kemampuan yang besar, dan kadar air yang tinggi. Hal ini membuat tanah lunak memiliki daya dukung yang sangat rendah. (Hardiyatmo, 2019). Tanah lunak yang akan dijadikan tanah dasar (*subgrade*) jalan perlu dilakukan upaya perbaikan pada tanah dasarnya (*subgrade*) dan upaya stabilitas agar mencapai pemampatan yang maksimal sehingga tidak mengganggu masa layanan jalan. Timbunan ataupun lereng yang terbentuk dalam proses *cut and fill* tentu akan perlu kestabilan yang akan menopang beban konstruksi dan beban operasional jalan. Terlebih lagi berkurangnya vegetasi alami akan sangat mempengaruhi kestabilan tanah tersebut (Sinarta dkk, 2021). Indikator penilaian ancaman secara spasial pada lereng tak berhingga menunjukkan bahwa intensitas curah hujan berpengaruh terhadap infiltrasi yang menimbulkan reduksi kohesi akibat penjumlahan yang menyebabkan meningkatnya tekanan air pori dan pengurangan kuat geser tanah, sehingga stabilitas lereng berkurang yang ditunjukkan oleh indikator angka aman (*Safety factor/SF*) sebagai berikut: (1) intensitas hujan 48,2–49,1 mm/hari (9–13 hari), nilai SF= 2,65–1,82 (ancaman rendah); (2) intensitas hujan 87,32–92,27 mm/hari (6–7 hari), SF=2,13–1,39 (ancaman sedang); (3) intensitas hujan 155,38–210,11 mm/hari (6 hari), SF = 1,79–1,03 (ancaman tinggi) (Sinarta dkk, 2020).

Jalan Tol merupakan jalan bebas hambatan yang dirancang dengan daya tampung yang besar dan beban yang berat. Beban jalan yang berat ini tentu perlu daya dukung tanah dasar yang baik agar memberi layanan yang baik terhadap pengguna jalan Tol. Pada jalan Tol Binjai – Pangkalan Brandan terdapat tanah lunak yang membuat timbunan tanah terjadi *settlement* yang tidak seragam. Permasalahan ini tentu perlu dilakukan penanganan untuk menjadikan tanah dasar tersebut mencapai mutu *subgrade* yang diinginkan dan pemampatan yang diinginkan.

Berbagai metode penanganan tanah lunak telah banyak dilakukan pada proyek – proyek jalan dan bandara. Beberapa metode yang dilakukan untuk stabilisasi tanah lunak yaitu dapat dengan cara kimia dan juga mekanis (Panguriseng, 2017). Pada pekerjaan jalan tol, banyak menggunakan pendekatan mekanis karena dianggap paling efisien dalam pelaksanaan dengan volume yang besar. Beberapa metode mekanis yang dapat dilakukan yaitu dengan penggunaan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* (Hardiyatmo, 2017). Analisis ini dilakukan untuk mengetahui waktu konsolidasi, dan *safety factor* metode stabilisasi tanah lunak dengan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*.

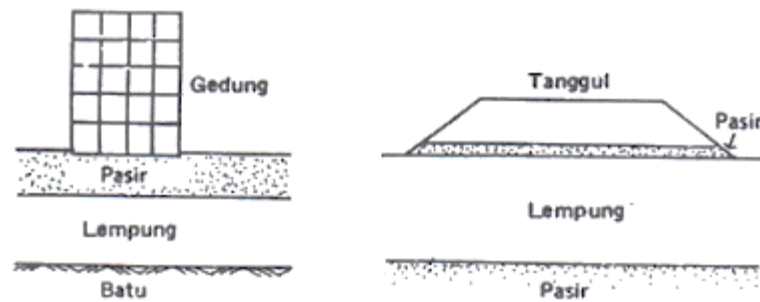
TINJAUAN PUSTAKA

Tanah

Semua beban yang terjadi di atas tanah dasar maupun itu beban dari timbunan tanah itu sendiri dan beban struktur akan disalurkan ke tanah dasar. Sehingga tanah dasar harus mampu menahan seluruh beban yang terjadi. Di beberapa kasus harus dilakukan stabilitas tanah dasar agar dapat memikul beban yang terjadi tanpa mengalami keruntuhan. Stabilitas tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi teknis tertentu (Hardiyatmo, 2019).

Konsolidasi

Bilamana suatu lapisan tanah mengalami tambahan beban di atasnya, maka air pori akan mengalir dari lapisan tersebut dan isinya (volume) akan menjadi lebih kecil, yaitu akan terjadi konsolidasi. Pada umumnya konsolidasi ini akan berlangsung dalam satu jurusan saja, yaitu jurusan vertikal, karena lapisan yang kena tambahan beban itu tidak dapat bergerak dalam jurusan horizontal / ditahan oleh tanah di sekelilingnya (Hardiyatmo, 2018). Keadaan-keadaan demikian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 6 Konsolidasi Tanah Satu Jurusan

Kelongsoran pada Tanah

Berdasarkan Buku Petunjuk Teknis Perencanaan dan Penanganan Longsor, longsor pada tanah dapat didefinisikan sebagai perpindahan massa tanah/batuan pada arah gerak mendatar atau miring dari kedudukan semula. Dalam definisi ini termasuk juga deformasi lambat atau jangka panjang dari suatu lereng yang biasa disebut rayapan (*creep*). Persoalan-persoalan yang terjadi pada lereng timbunan adalah keruntuhan/kelongsoran lereng timbunan karena terjadi perpindahan massa tanah/batuan pada arah gerak mendatar atau miring (Wihardi dkk, 2018).

Drainase Vertikal

Drainase vertikal adalah jalur drainase buatan yang digunakan untuk mempercepat proses konsolidasi, dengan cara memperpendek jalur aliran air pori yang semula besarnya adalah setebal lapisan tanah lunak menjadi hanya setengah jarak antar drainase vertikal saja, sehingga air pori lebih cepat terdisipasi keluar dari tanah dan konsolidasi primer lebih cepat tercapai. Drainase vertikal dapat berupa kolom pasir, pita geosintetik, atau bahan lain yang ditanam di dalam tanah secara vertikal (Hardiyatmo, 2017).

Penentuan waktu konsolidasi didasarkan pada teori aliran air vertikal di dalam kolom pasir (Barron, 1948) dengan menggunakan asumsi teori Terzaghi tentang konsolidasi linier satu dimensi. Teori tersebut menetapkan hubungan antara waktu, diameter *drain*, jarak antara *drain*, koefisien konsolidasi dan rata-rata derajat konsolidasi. Penentuan waktu konsolidasi dari teori (Barron, 1948) adalah:

$$t = \left(\frac{D^2}{8Ch}\right) F(n) \ln\left(\frac{1}{1-\bar{U}_h}\right) \quad (1)$$

Di mana :

t : waktu untuk menyelesaikan konsolidasi primer.

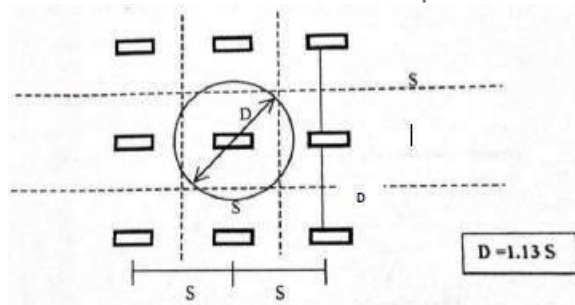
D : diameter *equivalen* dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh dari PVD.

D : 1,13 x S untuk pola susunan bujur sangkar.

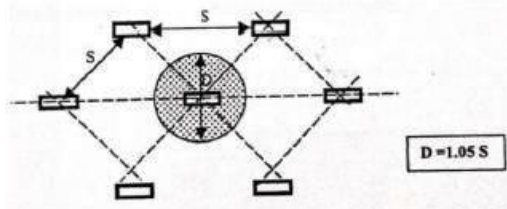
D : 1,05 x S untuk pola susunan segitiga.

Ch : koefisien konsolidasi untuk aliran air arah horizontal.

\bar{U}_h : derajat konsolidasi tanah (arah horizontal)



Gambar 7 Pola Pemasangan Bujur Sangkar, $D = 1,13 S$



Gambar 8 Pola Pemasangan Segitiga, $D = 1,05 S$

Safety Factor

Parameter yang dihasilkan dalam analisis stabilitas lereng adalah bentuk bidang keruntuhan dan faktor keamanan (FK), sedangkan untuk menaikkan kekuatan tanah maka lereng diperkuat dengan tiang sehingga lereng akan menjadi lebih stabil. Faktor keamanan digunakan untuk mengidentifikasi stabilitas lereng yang didefinisikan sebagai perbandingan antara kuat geser tanah (*shear strength*) dan tegangan geser (*shear stress*) yang bekerja pada masa tanah (Wihardi dkk, 2018).

$$FK = \frac{\text{Shear strenght}}{\text{Shear stress}} \quad (2)$$

Di mana :

FK > 1 menunjukkan lereng stabil;

FK < 1 menunjukkan lereng tidak stabil; dan

FK = 1 menunjukkan lereng dalam kondisi keseimbangan batas kritis.

Software Plaxis

Plaxis adalah program elemen hingga, yang dikembangkan untuk analisis deformasi, stabilitas dan aliran air tanah pada rekayasa geoteknik. (Bentley, 2021)

Beberapa perencanaan dan penelitian tentang geoteknik telah banyak menggunakan *software PLAXIS* sebagai alat bantu untuk pemodelan.

Beberapa fitur yang disediakan dalam PLAXIS antara lain (Bentley, 2021):

Analisis Konsolidasi

Peluruhan tekanan pori berlebih dengan waktu dapat dihitung dengan menggunakan analisis konsolidasi. Sebuah konsolidasi analisis memerlukan masukan koefisien permeabilitas di berbagai lapisan tanah. Batas geometri dapat diatur terbuka atau tertutup untuk konsolidasi. Prosedur *time stepping* otomatis membuat analisis menjadi kuat dan mudah digunakan.

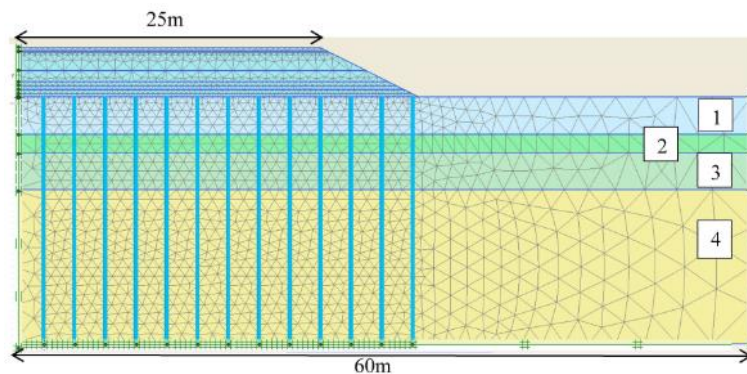
Pendekatan Desain Seperangkat faktor parsial yang koheren untuk beban dan parameter model dapat ditentukan sesuai dengan yang berlaku Metode desain *Ultimate Limit State* (misalnya *Eurocode 7* atau

LRFD) dan diterapkan selama perhitungan, selain Perhitungan Status Batas Servis. Fitur ini hanya tersedia di PLAXIS 2D.

Analisis aliran air tanah tingkat lanjut

PLAXIS 2D dan PLAXIS 3D dapat digunakan untuk aliran kondisi tunak, aliran air tanah transien dan aliran berpasangan penuh analisis deformasi. PLAXIS menggabungkan model canggih untuk aliran air tanah jenuh / tak jenuh, menggunakan hubungan Van Genuchten yang terkenal antara tekanan pori, saturasi dan permeabilitas. PLAXIS menyediakan fasilitas canggih untuk menggabungkan kondisi batas yang bergantung pada waktu.

Pemodelan elemen hingga dengan aplikasi plaxis 2D telah banyak digunakan. Salah satunya yang dilakukan (Rajesh dkk, 2018) pada penelitian dengan judul "*Finite Element Modeling of Embankment Resting on Soft Ground Stabilized with Prefabricated Vertical Drains*", yang menganalisis penggunaan PVD pada tanah dasar dengan *software plaxis*.



Gambar 9 Pemodelan PVD pada Plaxis 2D

Hasilnya penyelesaian yang diperkirakan dari analisis FEM dan nilai aktual yang diukur di lapangan untuk tanah yang diolah PVD cukup sesuai satu sama lain. Permukiman yang diprediksi oleh analisis FEM sedikit lebih rendah dari pemukiman yang dipantau di lapangan. Hal ini dapat terjadi karena penurunan permeabilitas tanah dengan peningkatan tegangan efektif, yang belum diperhitungkan dengan baik dalam analisis. Selain itu, pembebanan dan konsolidasi simultan tidak dapat dimodelkan menggunakan model konstitutif tanah yang tersedia. Selain itu, ketidakpastian dalam penentuan parameter model tanah dari data uji lapangan dan laboratorium yang tersedia, yang sering gagal dalam penentuan parameter model yang tepat dalam banyak kasus, juga dapat mengakibatkan ketidaksesuaian antara pengukuran lapangan dan prediksi FEM.

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh (Balasubramaniam dkk, 2010) dalam jurnalnya yang berjudul "*Settlements of Embankments in Soft Soils*" penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja PVD dan memprediksi penurunan timbunan pada tanah lunak dengan metode Terzaghi, BS8006 Hewlett and Randolph, dan juga analisis numerik dengan bantuan Plaxis 2D.

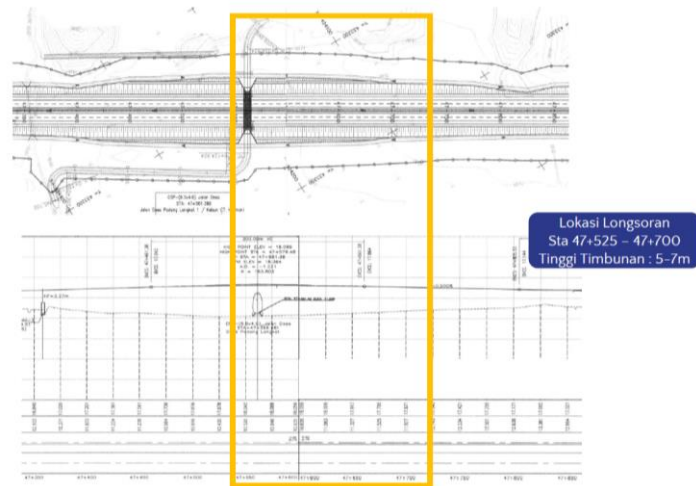
Pada penelitian lainnya juga (Hamdhan & Iskandar, 2019) melakukan "Analisis Perkuatan Timbunan Di Atas Tanah Lunak Menggunakan Dinding Turap dengan Pendekatan Model Numerik" dengan bantuan aplikasi Plaxis 2D.

MODEL EKSISTING

Desain jalan tol pada lokasi ini dilakukan dengan timbunan dengan tinggi 5 – 7 meter. Karena pada *station* ini merupakan oprit dari BUP untuk jalan masyarakat sekitar.

KoNTekS17

Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-17



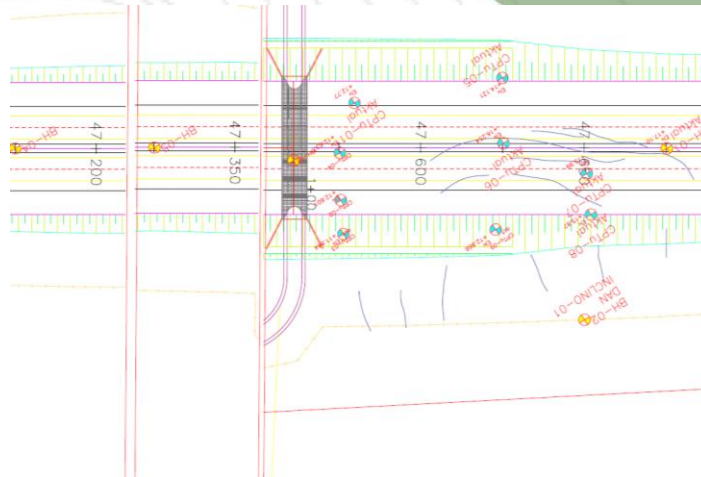
Gambar 10 Profil Lokasi Longsoran Sta 47+525 – 47+700

Pada pekerjaan timbunan ini terjadi longsor pada timbunan badan jalan. Pekerjaan dimulai pada tanggal 6 Januari 2022 yang dimulai dengan pergantian tanah sedalam 1 meter, kemudian tanggal 10 Januari mulai dilakukan penimbunan sampai level timbunan 5 meter terjadi retakan pertama pada tanggal 21 April 2022 dan retakan membesar menyebabkan penurunan badan jalan sedalam kurang lebih 2 meter pada tanggal 22 April 2022 seperti terlihat pada gambar 6



Gambar 11 Longsoran pada Badan Jalan

Selanjutnya dilakukan penyelidikan tanah lapangan dengan Pengeboran dalam dan tes CPTu. Dengan titik lokasi penyelidikan tanah sebagai berikut :



Gambar 12 Titik Penyelidikan Tanah

Dari data penyelidikan tanah diambil 3 titik sentral untuk lapisan tanah eksisting yaitu titik cPTU 04, cPTU 06, dan BH – 01. Dari ketiga data tersebut didapat lapisan tanah dan parameter tanah yang diperoleh dari studi literatur dan korelasi sebagai berikut :

Tabel 1. Parameter Tanah cPTU 04

No	Jenis Tanah	Konsistensi Lapisan Tanah	Kedalaman	$\Delta h(m)$	Avg N _{SPT}	Keterangan	Soil Model	Drainage Type	Saturated Unit Weight	Unsaturated Unit Weight	Void ratio	Secant stiffness in standard drained triaxial test	Tangent stiffness for primary oedometer loading	Unloading / reloading stiffness	Power for stress-level dependency of stiffness	Cohesion (constant)	Friction angle	Dilatancy angle	Horizontal permeability	Vertical permeability
1	Lempung Organik	Lempung Sangat Lunak	0 - 6	6	1.74	Tanah Asli	Hardening Soil	Undrained	14.64	7.76	2.38	1600	1600	4800	1.000	2.000	22.000	0.000	0.0047520	0.0047520
2	Lanau Lempung	Lempung Lunak	6 - 7	1	3.1	Tanah Asli	Hardening Soil	Undrained	15.19	8.64	2.01	1900	1900	5700	0.750	2.000	25.000	0.000	0.0047520	0.0047520
3	Lanau Lempung	Lempung Sedang	7 - 9	2	4.5	Tanah Asli	Hardening Soil	Undrained	16.14	10.17	1.56	2700	2700	8100	0.500	3.000	30.000	0.000	0.0047520	0.0047520
4	Lanau Lempung	Lempung Kaku	9 - 10	1	14.82	Tanah Asli	Hardening Soil	Undrained	18.51	13.97	0.88	18000	18000	54000	0.500	1.000	32.000	2.000	0.3145000	0.3145000
5	Lempung	Lempung Sangat Kaku	10 - 16	6	20.35	Tanah Asli	Hardening Soil	Undrained	19.39	15.38	0.69	42000	42000	126000	0.500	1.000	35.000	5.000	0.3145000	0.3145000
6	Lempung Berpasir	Lempung Keras	16 - 23	7	37.97	Tanah Asli	Hardening Soil	Drained	20.01	16.38	0.59	60000	60000	180000	0.500	1.000	37.000	7.000	0.2877000	0.2877000

Tabel 2. Parameter Tanah cPTU 06

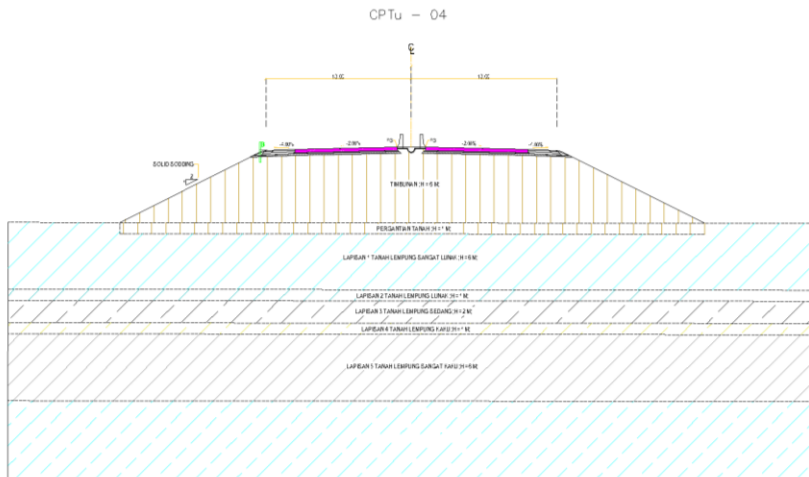
No	Jenis Tanah	Konsistensi Lapisan Tanah	Kedalaman	$\Delta h(m)$	Avg N _{SPT}	Keterangan	Soil Model	Drainage Type	Saturated Unit Weight	Unsaturated Unit Weight	Void ratio	Secant stiffness in standard drained triaxial test	Tangent stiffness for primary oedometer loading	Unloading / reloading stiffness	Power for stress-level dependency of stiffness	Cohesion (constant)	Friction angle	Dilatancy angle	Horizontal permeability	Vertical permeability
1	Lanau Lempung	Lempung Lunak	1 - 7	6	3.1	Tanah Asli	Hardening Soil	Undrained	15.19	8.64	2.01	2700	2700	8100	0.750	2.000	25.000	0.000	0.0047520	0.0047520
2	Lanau Lempung	Lempung Sedang	7 - 8	1	4.5	Tanah Asli	Hardening Soil	Undrained	16.14	10.17	1.56	3000	3000	9000	0.500	3.000	30.000	0.000	0.0047520	0.0047520
3	Lanau Lempung	Lempung Kaku	8 - 11	3	14.82	Tanah Asli	Hardening Soil	Drained	18.51	13.97	0.88	18000	18000	54000	0.500	1.000	32.000	2.000	0.3145000	0.3145000
4	Lempung Berpasir	Lempung Sangat Kaku	11 - 17	6	20.35	Tanah Asli	Hardening Soil	Drained	19.39	15.38	0.69	42000	42000	126000	0.500	1.000	35.000	5.000	0.3145000	0.3145000

Tabel 3. Parameter Tanah BH 01

No	Jenis Tanah	Konsistensi Lapisan Tanah	Kedalaman	Ah(m)	Avg N _{SPT}	Keterangan	Soil Model	Drainage Type	Saturated Unit Weight	Unsaturated Unit Weight	Void ratio	Secant stiffness in standard drained triaxial test	Tangent stiffness for primary oedometer loading	Unloading / reloading stiffness	Power for stress-level dependency of stiffness	Cohesion (constant)	Friction angle	Dilatancy angle	Horizontal permeability	Vertical permeability
									ysat	yunsat	e	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	$^\circ$	$^\circ$	m/day	m/day	
1	Lanau Lempung	Lempung Sedang	0 - 2	2	35.25	Tanah Asli	Hardening Soil	Undrained	16.14	10.17	1.56	2700	2700	8100	0.500	3.000	30.000	0.000	0.0047520	0.0047520
2	Lanau Lempung	Lempung Lunak	2 - 5	3	36.83	Tanah Asli	Hardening Soil	Undrained	15.19	8.64	2.01	1900	1900	5700	0.750	2.000	25.000	0.000	0.0047520	0.0047520
3	Lanau Lempung	Lempung Sedang	5 - 9	4	39.13	Tanah Asli	Hardening Soil	Undrained	16.14	10.17	1.56	2700	2700	8100	0.500	3.000	30.000	0.000	0.0047520	0.0047520
4	Lempung	Lempung Sangat Kaku	9 - 10	1	42.00	Tanah Asli	Hardening Soil	Undrained	19.39	15.38	0.69	42000	42000	126000	0.500	1.000	35.000	5.000	0.3145000	0.3145000
5	Lempung Berpasir	Lempung Keras	10 - 37	27	46.47	Tanah Asli	Hardening Soil	Drained	20.01	16.38	0.59	60000	60000	180000	0.500	1.000	37.000	7.000	0.2877000	0.2877000

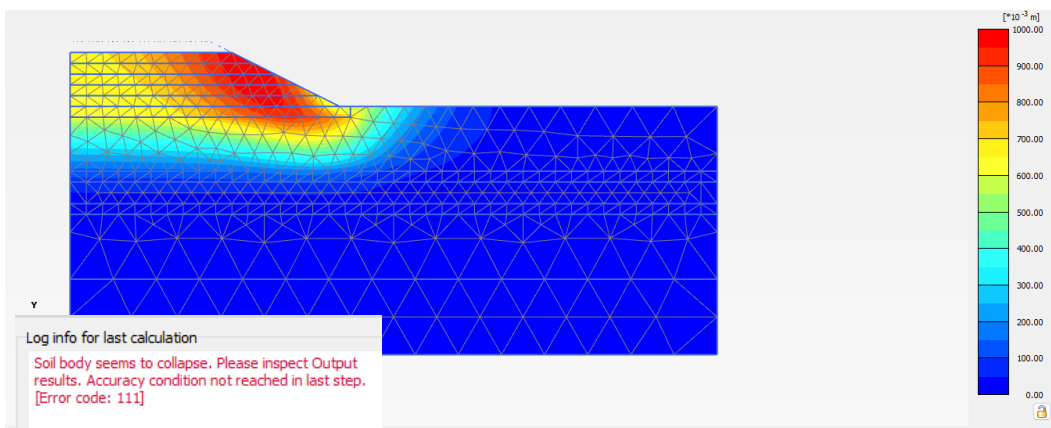
Dari parameter tersebut dicoba dimodelkan ketiga model tanah dasar eksisting sehingga dapat diketahui model Plaxis yang paling mendekati dengan kondisi eksisting.

Model Eksisting cPTU 04



Gambar 13 Gambar Model Timbunan cPTU 04

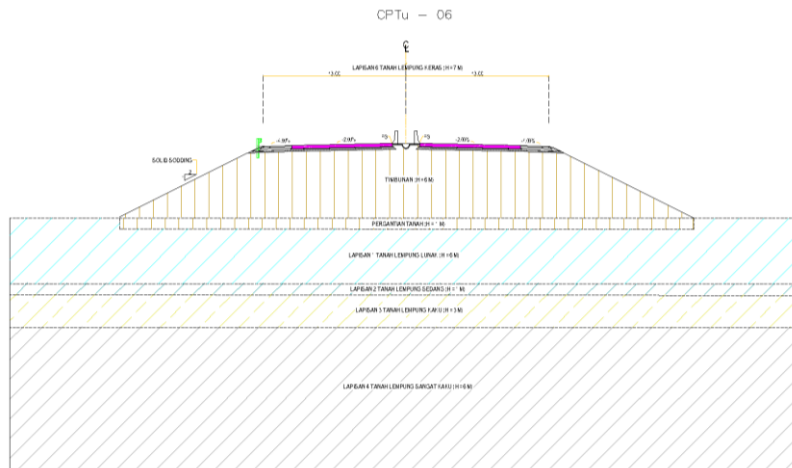
Setelah dilakukan *running* pada program *plaxis*, tidak terjadi keruntuhan sampai fase akhir timbunan, terlihat seperti gambar 3 berikut.



Gambar 14 Deformasi pada Plaxis 2D titik cPTU 04

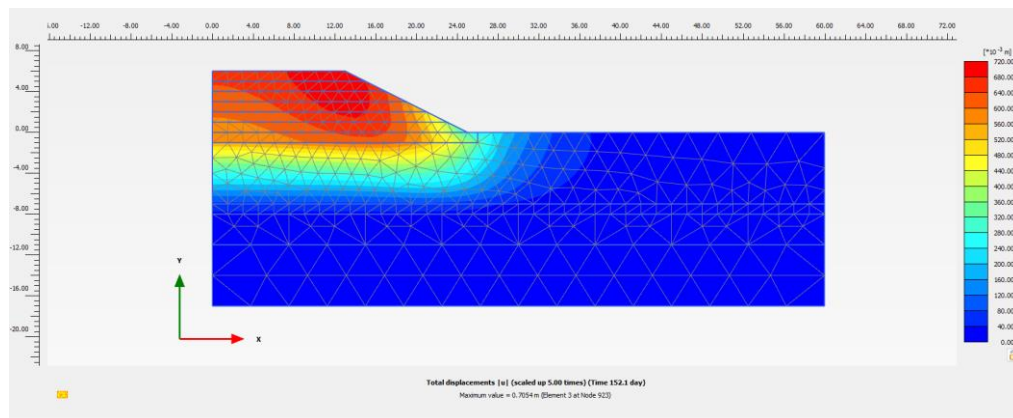
Terlihat pada gambar 3 menerangkan tanah dasar yang ada mengalami keruntuhan. Hal ini sesuai dengan keadaan di lapangan yang terjadi keruntuhan setelah dilakukan penimbunan setinggi 5 meter.

Model Eksisting cPTU 06



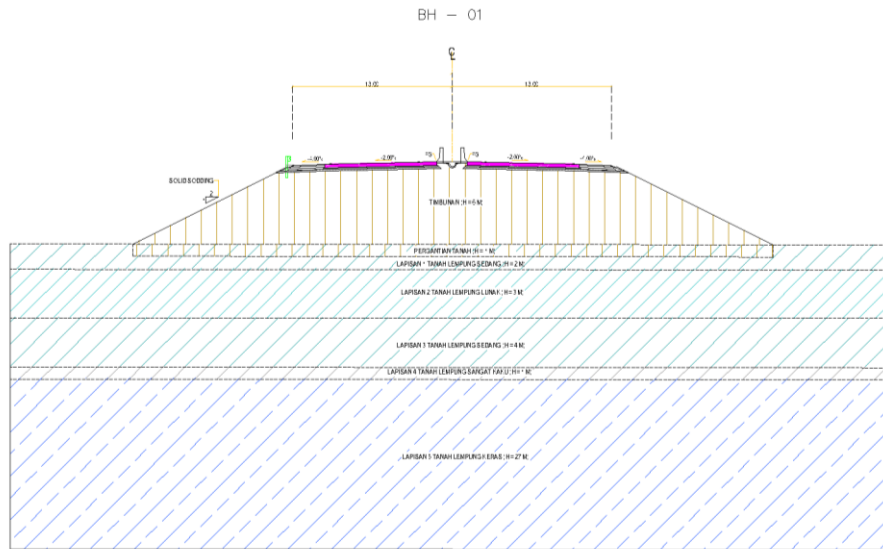
Gambar 15 Gambar Model Timbunan cPTU 06

Terlihat pada log informasi yang ada pada gambar 5 menerangkan tanah dasar yang ada mampu menahan beban tanah timbunan sampai akhir timbunan setinggi 6 meter.



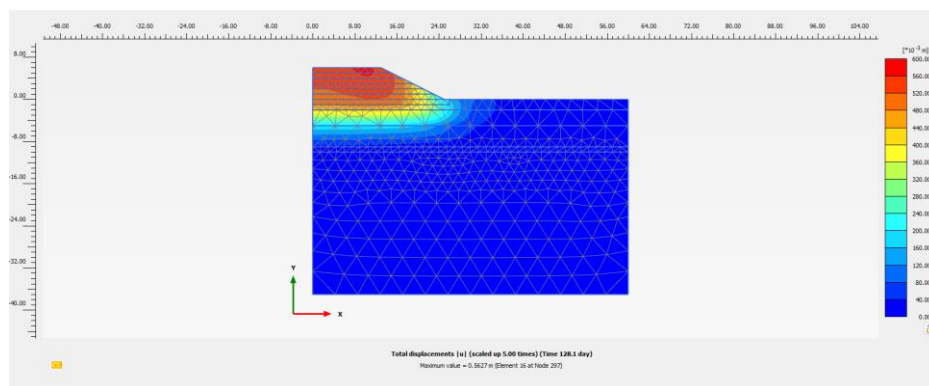
Gambar 16 Deformasi pada Plaxis 2D titik cPTU 06

Model Eksisting BH 01



Gambar 17 Gambar Model Timbunan BH 01

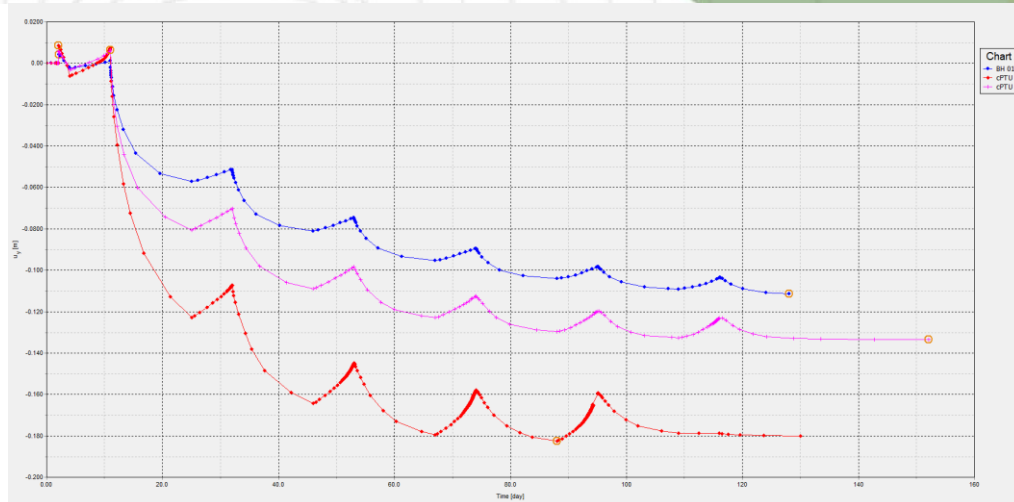
Setelah dilakukan *running* pada program plaxis, tanah dasar BH 01 mampu menahan beban timbunan sampai akhir timbunan, terlihat seperti gambar 7 berikut.



Gambar 18 Deformasi pada Plaxis 2D titik BH 01

Pada titik BH 01 ini juga tidak terjadi keruntuhan hingga akhir timbunan 6 meter.

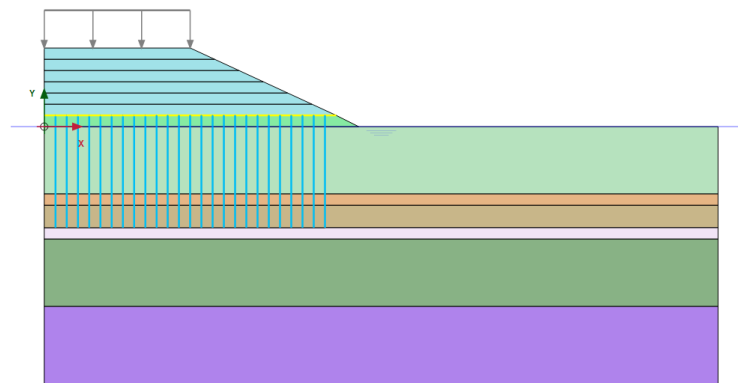
Dari ketiga model eksisting timbunan tersebut terlihat seperti gambar 8 penurunan tanah paling besar terjadi pada titik cPTU 04, dan terlihat pada hari ke 110 mulai terjadi keruntuhan ini sesuai dengan keadaan *eksisting* yang runtuh pada hari ke 106. Sehingga digunakan titik cPTU 04 untuk analisis penanganannya karena paling mendekati kondisi eksisting.



Gambar 19 Grafik Konsolidasi Eksisting

MODEL PVD *PRELOADING*

Pemodelan dilakukan berdasarkan tanah dasar cPTU 04. Berikut model PVD *Preloading* pada aplikasi Plaxis.



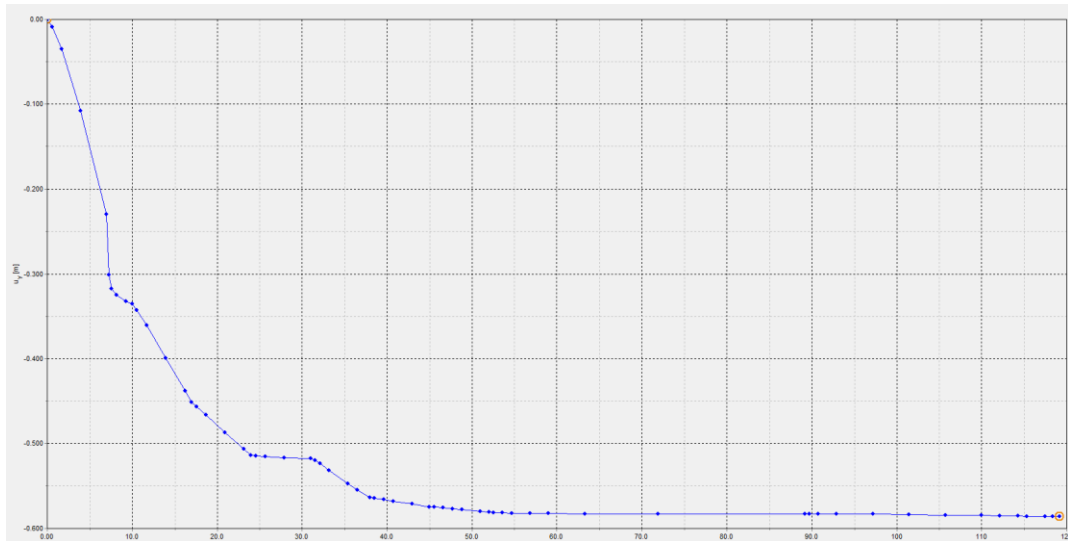
Gambar 20 Model PVD *Preloading*

Tahapan model PVD *Preloading* tanah ini yaitu sebagai berikut :

1. Tahapan pertama *Initial Phase* : Fase ini dimana fase awal sebelum dilakukan pekerjaan
2. Tahapan kedua dilakukan penimbunan lapisan pasir : Fase ini dilakukan pekerjaan *sand platform* setebal 1 meter.
3. Tahap kedua pengaktifan PVD : Fase ini dilakukan pengaktifan seluruh model PVD sedalam 9 meter dan pengaktifan model geotekstile.
4. Tahap ketiga dilakukan penimbunan bertahap dengan tebal masing -masing tahap 1 meter sampai dengan tebal 6 meter
5. Tahap keempat dilakukan konsolidasi sampai mencapai konsolidasi 90%
6. Tahap keenam dilakukan pengaktifan beban operasional yaitu beban lalulintas sebesar 15 kPa selama 30 hari.

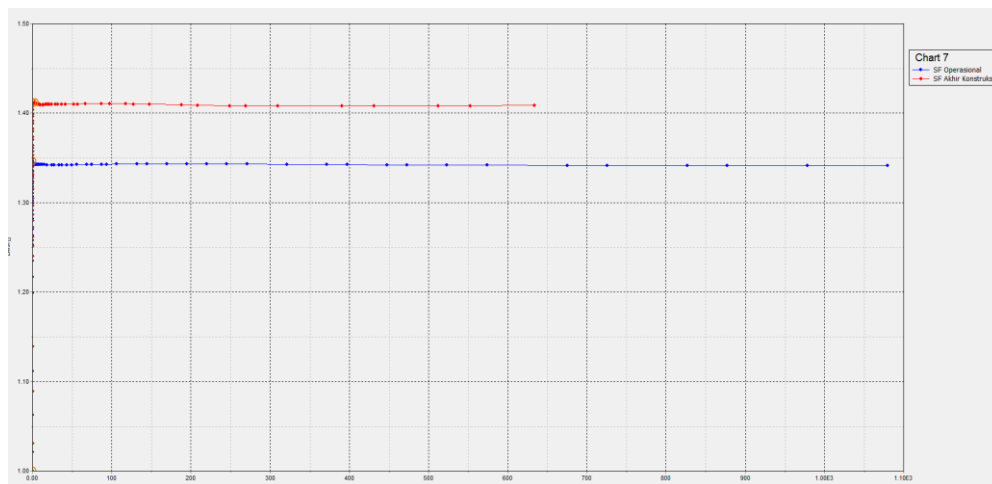
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil model PVD *preloading* ini terlihat tidak terjadi keruntuhan. Berikut grafik konsolidasi dari model PVD *Preloading* :



Gambar 21 Grafik Konsolidasi PVD *Preloading*

Konsolidasi 90% dari timbunan ini terjadi pada hari ke 89 dengan penurunan sebesar 0.583 m. Pada pengaktifan beban operasional masih terjadi konsolidasi sebesar 0.003 m.



Gambar 22 Grafik *Safety factor* PVD *Preloading*

Dari hasil analisis Plaxis 2D didapatkan *safety factor* pada akhir konsolidasi adalah sebesar 1.409. Nilai ini lebih besar dari nilai ambang batas *safety factor* 1.35 (Ali, 2020) sehingga timbunan jalan ini masih aman dari kelongsoran. Dan saat beban operasional diaktifkan *safety factor* nya sebesar 1.341, sedikit di bawah ambang batas *safety factor* untuk lereng jalan.



KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisis yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Penurunan tanah yang paling mendekati kondisi kelongsoran eksisting terjadi pada titik cPTU 04, dan terlihat pada hari ke 110 mulai terjadi keruntuhan ini mendekati dengan keadaan *eksisting* yang runtuh pada hari ke 106,
- Metode PVD *preloading* dapat meningkatkan stabilitas tanah lunak yang pada model eksisting awal yang terjadi keruntuhan,
- Waktu konsolidasi 90% terjadi pada waktu 89 hari dengan *safety factor* pada akhir konsolidasi adalah sebesar 1.409 dan saat beban operasional diaktifkan selama 30 hari *safety factor* nya menjadi sebesar 1.341.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, R. (2020). Perbaikan Tanah Lempung Lunak Dengan Metode Prefabricated Vertical Drain (PVD). *Jurnal Poli-Teknologi*, 19(2), 197–206. <https://doi.org/10.32722/pt.v19i2.2745>
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Produk Regional Domestik Bruto Provinsi-Provinsi di Indonesia Berdasarkan Pengeluaran Tahun 2017-2021*.
- Balasubramaniam, A. S., Cai, H., Zhu, D., Surarak, C., & Oh, E. Y. N. (2010). Settlements of embankments in soft soils. *Geotechnical Engineering*, 41(2).
- Barron, R. A. (1948). Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain Wells. *Transactions of ASCE*, 113, 718–742.
- Darmawandi, A., Waruwu, A., Halawa, T., Harianto, D., & Muammar, M. (2020). Karakteristik Tanah Lunak Sumatera Utara Berdasarkan Pengujian Kuat Tekan Bebas. *Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK) UISU*, 3(1), 16–20. <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/semnastek/article/view/2984>
- Hamdhan, I. N., & Iskandar, F. F. (2019). Analisis Perkuatan Timbunan Di Atas Tanah Lunak Menggunakan Dinding Turap dengan Pendekatan Model Numerik. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 25(1), 48. <https://doi.org/10.14710/mkts.v25i1.18006>
- Hardiyatmo, H. C. (2017). *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya* (Edisi Ke-2). Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2019). *Mekanika Tanah I* (Edisi Ke-7). Gadjah Mada University Press.
- Hardjowigeno, S. (2007). *Ilmu Tanah* (Edisi Baru). Akademika Pressindo.
- Ikhsan, M., Farid, F., Samsidar, S., & Handayani, L. (2018). Penentuan Struktur Tanah Sebagai Dasar Uji Kelayakan Kekuatan Bangunan Perumahan Di Muaro Jambi Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole. *Komunikasi Fisika Indonesia*, 15(2), 139. <https://doi.org/10.31258/jkfi.15.2.139-145>
- Panguriseng, D. (2017). Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah. *Pustaka AQ, Agustus*, 240.
- Rajesh, B. G., Chukka, S. K., & Dey, A. (2018). Finite element modeling of embankment resting on soft ground stabilized with prefabricated vertical drains. *Geotechnical Engineering*, 49(4), 63–72.
- Sinarta, I. N., Rifa, A., Fathani, T. F., & Wilopo, W. (2020). *Spatial Analysis of Safety Factors due to Rain Infiltration in the Buyan-Beratan Ancient Mountains*. 11(March), 90–97.
- Sinarta, I. N., Wahyuni, P. I., & Mahendrayani, A. . I. W. (2021). Analisis Ancaman Gerakan Tanah dan Kerusakan Lingkungan Pada Pembangunan Infrastruktur Shortcut. *Prosiding A Blended Conference*, 1–10.
- Wihardi, W., Munirwansyah, M., & Saleh, S. M. (2018). Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Software Plaxis 8.6 Dengan Dinding Penahan Tanah (Retaining Wall) (Studi Kasus Ruas Jalan Nasional Banda Aceh-Medan Sta 83+135 Gunung Seulawah). *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, 1(3), 76–82. <https://doi.org/10.24815/jarisp.v1i3.11768>