

**ANALISA PENURUNAN TANAH LEMPUNG PADA
PEMBANGUNAN JALAN TOL PROBOLINGGO - BANYUWANGI
STA 42+075**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana
Teknik**



Disusun Oleh :

Risa Ayu Arika

221.010.510.07

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM MALANG**

2025

**ANALISA PENURUNAN TANAH LEMPUNG PADA
PEMBANGUNAN JALAN TOL PROBOLINGGO - BANYUWANGI
STA 42+075**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana
Teknik**



Disusun Oleh :

Risa Ayu Arika

221.010.510.07

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM MALANG
2025**

RINGKASAN

Risa Ayu Arika 221.010.510.07. Analisa Penurunan Tanah lempung Pada Pembangunan jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi STA 42+075. Skripsi Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Malang. **Pembimbing (I) : Ir. Reny Rochmawati, S.T., M.Eng (II) : Gilang Ramadan Kololikiye, S.T., M.T**

Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi merupakan bagian dari jaringan Jalan Tol Trans Jawa, tanah dasar yang berada di proyek ini berupa tanah sawah dengan karakteristik tanah lempung. Berdasarkan klasifikasinya, tanah ini tergolong lunak. Tanah merupakan material dasar yang sangat penting dalam bidang konstruksi, sebab pada tanah inilah suatu konstruksi bertumpu. Pembangunan konstruksi diatas tanah lunak akan menghadapi beberapa masalah geoteknik, salah satunya adalah ketidakstabilan timbunan dan terjadinya penurunan tanah. Hasil analisa penurunan konsolidasi primer pada pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi STA 42+075 adalah 2,655 cm pada U90% dimana pada layer 1 terjadi penurunan sebesar 1,179 cm, layer 2 sebesar 0,909 cm, layer 3 sebesar 0,567 cm dan layer 4 sebesar 0,000 cm. Hasil karakteristik tanah pada lokasi tersebut di dapat nilai kadar air = 32,90%, batas cair = 35,47%, batas plastis = 31,40%, indeks plastisitas = 4,04%, berat jenis = 2,58 gram/cm³, berat volume basah = 1,44 gram/cm³ dan berat volume kering = 0,72 gram/cm³. Karakteristik tanah berdasarkan tekstur termasuk ke dalam kelompok tanah liat, berdasarkan USCS termasuk ke dalam kelompok tanah ML dan berdasarkan AASHTO termasuk ke dalam kelompok tanah A-4. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penurunan tanah dasar tersebut dikategorikan aman karena ≤ 10 cm sesuai standar manual desain perkerasan jalan nomor 02/M/BM/2013.

Kata Kunci: Jalan tol, karakteristik tanah, konsolidasi primer, penurunan, tanah lempung.

SUMMARY

Risa Ayu Arika 221.010.510.07. Analisa Penurunan Tanah lempung Pada Pembangunan jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi STA 42+075. Skripsi Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Malang. **Pembimbing (I) : Ir. Reny Rochmawati, S.T., M.Eng (II) : Gilang Ramadan Kololikiye, S.T., M.T**

The Probolinggo – Banyuwangi Toll Road is part of the Trans Java Toll Road network. The subgrade soil in this project consists of rice field soil with clay characteristics. Based on its classification, this soil is considered soft. Soil is a crucial foundation material in construction, as it is the base upon which structures are built. Constructing on soft soil can lead to several geotechnical issues, including instability of embankments and soil settlement. The results of the primary consolidation settlement analysis for the construction of the Probolinggo – Banyuwangi Toll Road at STA 42+075 show a settlement of 2.655 cm at U90%, with layer 1 experiencing a settlement of 1.179 cm, layer 2 of 0.909 cm, layer 3 of 0.567 cm, and layer 4 of 0.000 cm. The soil characteristics at the site yielded the following values: moisture content = 32.90%, liquid limit = 35.47%, plastic limit = 31.40%, plasticity index = 4.04%, specific gravity = 2.58 g/cm³, wet bulk density = 1.44 g/cm³, and dry bulk density = 0.72 g/cm³. Based on texture, the soil characteristics fall into the clay soil group, based on USCS classification into the ML soil group, and based on AASHTO classification into the A-4 soil group. Therefore, it can be concluded that the settlement of the subgrade is categorized as safe since it is ≤ 10 cm, in accordance with the standards of the Road Pavement Design Manual No. 02/M/BM/2013.

Keywords: *clay soil, primary consolidation, settlement, soil characteristics, toll road.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur jalan adalah fondasi penting bagi perkembangan suatu negara. Jalan yang baik memperlancar aliran barang dan jasa, membuka akses ke pasar yang lebih luas, dan mendorong pertumbuhan ekonomi. Jalan yang memadai meningkatkan kualitas hidup masyarakat dengan mempermudah akses ke layanan publik, dalam pembangunan zaman globalisasi ini, terutama bangunan konstruksi seperti jalan raya dan jalan tol kuat dukung tanah sangat mempengaruhi struktur dan kualitas suatu konstruksi, semakin kuat daya dukung tanah maka semakin mudah perencanaan melaksanakan pembangunan konstruksi (Nasrullah, 2022). Jalan sangat penting untuk mendukung pertumbuhan ekonomi seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan sarana transportasi yang dapat menjangkau daerah-daerah yang menjadi sentra produksi pertanian (Kololikiye et al., 2024)

Berdasarkan Undang-Undang No.13 Tahun 1980, Jalan adalah suatu prasarana perhubungan darat dalam bentuk apapun meliputi bagian jalan termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukan bagi lalu-lintas. Bagian jalan yang dimaksud adalah Daerah Manfaat Jalan (DAMAJA), Daerah Milik Jalan (DAMIJA), Daerah Pengawasan Jalan (DAWASJA). Jalan adalah suatu infrastruktur di bidang transportasi yang dirancang sebagai prasarana penghubung lalu lintas, mendistribusikan barang dan jasa yang mempunyai peranan penting dalam mendukung perkembangan perekonomian bangsa. Dengan adanya jalan memudahkan perpindahan dari satu lokasi ke lokasi lainnya (Hafid et al., 2024). Jalan merupakan infrastruktur transportasi darat yang mencakup seluruh bagian jalan, termasuk bangunan dan peralatan yang diperuntukkan bagi moda transportasi, baik yang berada di atas tanah, di bawah tanah, maupun di atas air, kecuali rel kereta api, jalan truk, dan jalan kabel (Putra et al., 2023).

Berdasarkan PP No. 15 Tahun 2005 tentang jalan tol, dijelaskan bahwa definisi jalan tol adalah jalan umum yang merupakan bagian sistem jaringan jalan dan sebagai jalan nasional yang penggunaannya diwajibkan membayar tol. Tol merupakan sejumlah uang tertentu yang dibayarkan untuk penggunaan jalan tol. Besarnya tarif tol berbeda untuk setiap golongan kendaraan dan ketentuan tersebut telah ditetapkan berdasarkan keputusan presiden. Jalan Tol Probolinggo –

Banyuwangi merupakan bagian dari jaringan Jalan Tol Trans Jawa, yang berlokasi di ujung timur Pulau Jawa sebagai akses menuju Pelabuhan Ketapang. Hadirnya Jalan Tol Trans Jawa akan menghubungkan ujung barat hingga ujung timur Pulau Jawa untuk meingkatkan konektivitas serta mempermudah mobilitas orang, barang dan jasa. Pada pembangunan jalan tol Probolinggo – Banyuwangi 3 yang dilaksanakan oleh PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk. Tersebut dimana pada tahap ini menghubungkan Paiton – Besuki dengan panjang jalan 6.70 km.

Tanah merupakan bagian penting dalam konstruksi baik berupa bangunan maupun jalan, hal ini dikarenakan tanah sangat mempengaruhi berbagai konstruksi yang akan dibangun diatasnya (Rochmawati & Sitorus, 2023). Namun, tidak semua tanah baik digunakan dalam bidang konstruksi, karena ada beberapa jenis tanah dasar yang bermasalah baik dari segi daya dukung tanahnya maupun dari segi penurunan (deformasi) tanahnya. Untuk itu, dalam perencanaan suatu konstruksi harus dilakukan penyelidikan terhadap karakteristik dan kekuatan tanah terutama sifat-sifat tanah yang mempengaruhi daya dukung tanah dalam menahan beban konstruksi yang ada di atasnya. (Lestari, 2014). Tanah berperan penting dalam suatu proyek sebagai dasar perletakan struktur, maka harus memiliki daya dukung yang baik. Di Indonesia terdapat berbagai macam tanah yang mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. Peran tanah yang sangat besar ini harus diketahui karakteristik tanah itu sendiri sebelum pekerjaan konstruksi dilakukan. Perlu adanya penyelidikan tanah (*soil investigation*) karena penyelidikan tersebut merupakan langkah awal dalam memulai sebuah proyek konstruksi. Penyelidikan ini bertujuan untuk memberikan informasi terkait kondisi tanah, jenis tanah, muka air tanah, lapisan struktur tanah dan sifat-sifat untuk perencanaan berikutnya.

Tanah lempung merupakan jenis tanah yang memiliki karakteristik yakni daya dukung yang rendah dan kembang susut yang besar, ini menjadikan tanah lempung sebagai material yang kurang baik dalam suatu pekerjaan konstruksi. Daya dukung yang rendah dapat mengakibatkan ketidak stabilan suatu pondasi bangunan yang didirikan di atas tanah lempung dan sifat kembang susut tanah lempung dapat mengakibatkan retak pada perkerasan jalan raya, juga terjadi pecah atau jebol pada lantai dasar bendungan. (Landangkasiang, 2020). Tanah lempung memiliki kemampuan menyerap air yang cukup tinggi dan kondisi pengaliran air sangat rendah. Tanah lempung merupakan jenis tanah dengan daya dukung rendah, pengaruh air sangat besar terhadap perilaku fisik dan mekanisnya dimana kadar air

memegang peranan yang sangat penting. Jenis tanah ini daya dukung rendah apabila dijadikan untuk (*subgrade*) tanah dalam pembangunan jalan, dikarenakan kuat geser rendah dan kompresibilitasnya yang besar. (Harwanto et al., 2021).

Pada proyek pembangunan Tol Probolinggo-Banyuwangi khususnya di STA 42+075, tanah dasar yang berada di proyek ini berupa tanah sawah dengan karakteristik tanah lempung. Berdasarkan klasifikasinya, tanah ini tergolong lunak. Pembangunan konstruksi diatas tanah lunak akan menghadapi beberapa masalah geoteknik, salah satunya adalah ketidakstabilan timbunan dan terjadinya penurunan (*settlement*) tanah yang apabila mengalami pembebanan diatasnya maka tekanan air pori akan naik dan keluar yang berkurangnya volume tanah. (Nofal Nugerah, 2021)

Penurunan tanah adalah permasalahan umum yang sering terjadi pada pembangunan jalan tol di atas tanah lempung. Sifat tanah lempung yang lunak, mudah mampat, dan memiliki kadar air tinggi menyebabkan penurunan yang signifikan akibat beban konstruksi. Penurunan ini dapat terjadi secara cepat pada awal pembangunan (penurunan segera) maupun secara perlahan dalam jangka waktu yang lama (penurunan konsolidasi). Penurunan terjadi pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus kering atau tidak jenuh terjadi dengan segera sesudah beban bekerja. Penurunan pada kondisi ini disebut penurunan segera (*immediate settlement*). Penurunan segera merupakan bentuk penurunan elastis. Dalam praktek, sangat sulit memperkirakan besarnya penurunan segera. Hal ini tidak hanya karena tanah dalam kondisi alam tidak homogen dan anisotropis (Anwar et al., 2024). Penurunan yang tidak merata dapat menyebabkan kerusakan pada perkerasan jalan, seperti retak, amblas, dan gelombang, yang membahayakan pengguna jalan. Penurunan muka tanah (*landsubsidence*) merupakan suatu proses gerakan penurunan muka tanah yang didasarkan atas suatu datum tertentu (kerangka referensi geodesi) dimana terdapat berbagai macam variabel penyebabnya (Marfai, 2006). Penurunan muka tanah ini di akibatkan oleh banyak hal seperti pembebanan di atas permukaan, hilangnya air tanah akibat eksploitasi berlebihan, gempa yang mengakibatkan rusaknya struktur tanah, ketidakstabilan bidang tanah akibat proses tertentu, dan sebagainya. Penurunan terjadi akibat dari adanya penambahan beban diatas suatu permukaan tanah yang menyebabkan pemampatan lapisan tanah di bawahnya. Penurunan tanah dibagi menjadi 3 jenis yaitu kompresi awal (elastis), konsolidasi primer, dan konsolidasi sekunder. Penurunan tanah yang besar pada suatu konstruksi jalan dapat menyebabkan kerusakan pada permukaan jalan

sehingga diperlukan adanya perhitungan penurunan tanah.

Konsolidasi yang terjadi pada tanah lunak berlangsung dalam kurun waktu yang relatif lama. Perbandingan antara pemampatan tanah pada saat t dengan pemampatan total terjadi disebut juga sebagai derajat konsolidasi. Pemampatan pada lapisan tanah dasar yang terjadi karena keluarnya air pori ke lapisan yang lebih porous yaitu ke atas dan ke bawah saja (*single drainage*) atau ke atas dan ke bawah (*double drainage*). (Ahsan et al., 2022)

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan diatas, masalah dapat diidentifikasi sebagai berikut :

1. Kondisi tanah di lapangan yang didominasi tanah lempung memiliki kemampuan dukung yang rendah, sehingga berpotensi adanya penurunan pada nilai daya dukung tanah.
2. Kondisi tanah lempung di lapangan menunjukkan potensi mengganggu stabilitas konstruksi jalan akibat penurunan.

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari pembahasan ini sesuai dengan judul yang dikemukakan sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik tanah yang ada di lokasi Pembangunan Jalan tol Probolinggo Banyuwangi STA 42+075?
2. Berapa nilai penurunan tanah di lokasi Pembangunan Jalan Tol Probolinggo Banyuwangi Paket 3 pada STA 42+075?

1.4 Tujuan

Tujuan dari pembahasan ini sesuai dengan judul yang dikemukakan sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik tanah yang ada di lokasi Pembangunan Jalan Tol Probolinggo - Banyuwangi STA 42+075.
2. Mengetahui nilai penurunan tanah di lokasi Pembangunan Jalan Tol Probolinggo - Banyuwangi STA 42+075.

1.5 Batasan Masalah

Dalam studi ini penulis perlu membatasi hal-hal yang tidak masuk dalam bahasan penelitian antara lain :

1. Penelitian ini hanya terbatas pada tanah yang ditemukan di lokasi STA 42+075 yang menjadi studi kasus.
2. Sampel tanah diambil dari lokasi STA 42+075 yang telah dipilih untuk analisis,

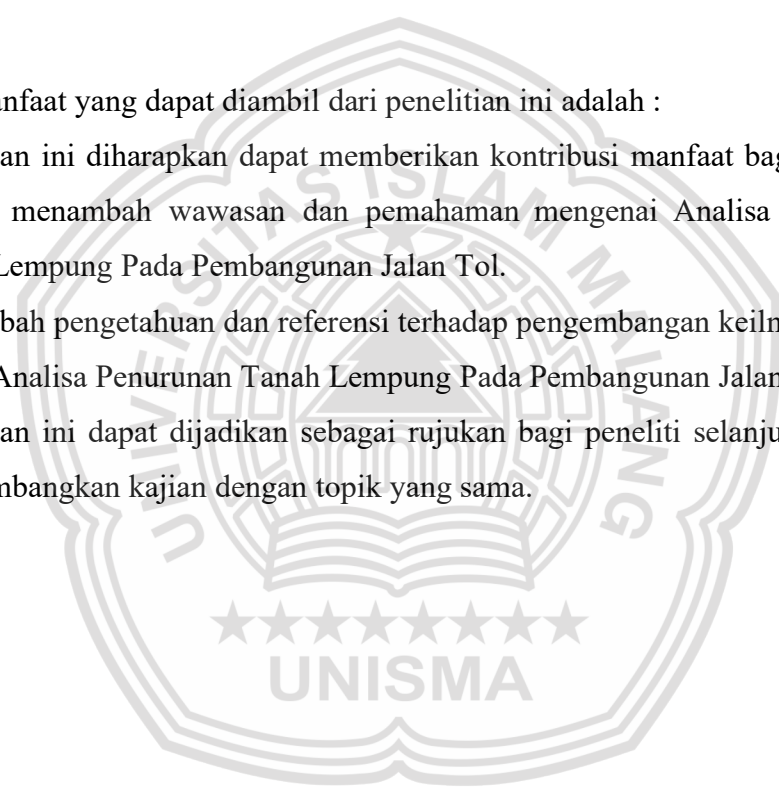
dan tidak mencakup seluruh area proyek jalan tol yang lebih luas.

3. Pengujian di laboratorium dilakukan menggunakan metode-metode standar seperti uji kadar air, batas-batas *atterberg*, analisa saringan, berat jenis, berat volume basah dan volume kering. Menggunakan sumber data sekunder uji sondir dan uji spt
4. Tidak membahas tentang analisa lalu lintas seperti lalu lintas harian rata-rata dan lainnya.
5. Hanya menganalisa besarnya penurunan yang terjadi. Proses perbaikan tanah atau studi terkait metode stabilisasi tanah tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian ini.

1.6 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi manfaat bagi pembaca dengan menambah wawasan dan pemahaman mengenai Analisa Penurunan Tanah Lempung Pada Pembangunan Jalan Tol.
2. Menambah pengetahuan dan referensi terhadap pengembangan keilmuan dalam bidang Analisa Penurunan Tanah Lempung Pada Pembangunan Jalan Tol.
3. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai rujukan bagi peneliti selanjutnya untuk mengembangkan kajian dengan topik yang sama.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian tentang Analisa Penurunan Tanah Lempung Pada Pembangunan Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi STA 42+075 dapat disimpulkan bahwa :

1. Karakteristik tanah pada lokasi tersebut, yaitu :
 - a. Berdasarkan tekstur termasuk kelompok tanah liat dengan fraksi partikel tanah kerikil (*gravel*) $> 4,75 \text{ mm} = 0 \%$, pasir (*sand*) $0,075 \text{ mm} - 4,75 \text{ mm} = 49,83\%$, debu dan lempung (*silt & clay*) $< 0,075 \text{ mm} = 50,17\%$,
 - b. Berdasarkan metode *Unified Soil Classification System* (USCS) termasuk kelompok tanah berbutir halus (*fine grained soil*) karena nilai lolos saringan No. 200 $> 50\%$ yaitu $50,17\%$, dengan kelompok tanah ML karena $LL < 50$.
 - c. Berdasarkan metode *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) termasuk kelompok tanah A-4 yaitu tanah lanau lempung, dengan nilai lolos saringan no. 10 = 98% , lolos saringan no. 40 = $88,10\%$, dan lolos saringan no. 200 = $50,17\%$
2. Nilai Penurunan

Berdasarkan analisis perhitungan, nilai penurunan pada $U_{90\%}$ di dapat nilai penurunan sebesar $2,655 \text{ cm}$. Maka dapat disimpulkan bahwa penurunan pada tanah dasar tersebut dikategorikan aman karena $\leq 10 \text{ cm}$ sesuai standar Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013.

5.2.Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan diatas dapat diambil beberapa saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Perlu disediakan instrumen penelitian di laboratorium sehingga mahasiswa/i yang ingin melakukan penelitian memiliki acuan.
2. Peneliti selanjutnya dapat membahas penurunan yang diakibatkan oleh beban timbunan dan menganalisa penurunan menggunakan *software* sehingga dapat dibandingkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahsan, A. D., Yanti, G., & Megasari, S. W. 2022. "Analisis Penurunan Tanah Menggunakan Metode Vacuum Consolidation Dengan Variasi Jarak Pemasangan Pvd." *Konstruksia*, 13(1), 54. <https://doi.org/10.24853/Jk.13.1.54-68>
- Anwar, S., Rochmawati, I. R., & Eng, M. (N.D.). 2024. "Analisis Penurunan Tanah Di Ruas Jalan Garuda Sta. 0+094."
- Bilal Alhuda, K. P. 2022. "Analisa Penurunan Konsolidasi Dengan Metode Preloading Kombinasi Pvd Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta 47+300." *Jurnal Inersia, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda*, 14 No. 1.
- Darmawan, A. (N.D.). 2022. "Analisis Karakteristik Tanah Asli Dan Tanah Timbunan Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak Paket 2."
- Hafid, F. S. A., Suprpto, B., & Ingsih, I. S. (N.D.). 2024. "Studi Evaluasi Kerusakan Jalan Menggunakan Metode Bina Marga Dan Pci Pada Jalan Lingkar Timur Kabupaten Sidoarjo."
- Hakim, N. 2019. "Analisis Penurunan Tanah (Settlement) Pada Proyek Pembangunan Flyover di Jalan Tuanku Tambusai - Jalan Soekarno Hatta Kota Pekanbaru dengan Menggunakan Data Geomatika Tanah." *Journal UIR*.
- Harwanto, A., Amran, Y., & Sriharyani, L. 2021. "Analisis Sifat Fisik Dan Mekanis Tanah Lempung Menggunakan Bahan Additive Difa Soil Stabilizer Dan Semen. *Jumatisi: Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, 2(2), 156–166. <https://doi.org/10.24127/Jumatisi.V2i2.3690>
- Hidayat, A. R. 2023. "Analisis Penurunan Konsolidasi dan Stabilitas Timbunan Pada Tanah Lempung dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga".
- Ikhsan, M., Pratama, S., Ramadhan, F., & Putra, A. S. 2023. "Analisis Kelayakan Tanah Untuk Pembangunan Jalan Tol Ruas Serbelawan – Pematang Siantar."
- Kololikiye, G. R., Gaus, A., & Saputra, M. T. Y. (2024). Rigid Pavement Design With Aashto 1993 In Subaim – Buli Road. *Journal Innovation Of Civil Engineering (Jice)*, 5(2).
- Landangkasiang, F. N., Sompie, O. B. A., & Sumampouw, J. E. R. 2020. "Analisis Geoteknik Tanah Lempung Terhadap Penambahan Limbah Gypsum."

- Lestari, I. G. 2014. "Karakteristik Tanah Lempung Ekspansif (Studi Kasus Di Desa Tanah Awu, Lombok Tengah)." 8 No. 2.
- Manurung, N. R. Y., Meyanthi, L., & Surbakti, R. 2024. "Analisis Potensi Penurunan Timbunan Badan Jalan Pada Pembangunan Jalan Tol Indrapura - Kisaran Sta 112+550."
- Ma'ruf, Z. R., Khoiri, M., & Mt, S. 2018. "Perbaikan Tanah Dasar Pada Proyek Jalan Tol Porong – Gempol Sta 35+060 S.D Sta 37+340 Menggunakan Metode Prefabricated Vertical Drained Dan Perkuatan Timbunan."
- Nasrullah. 2022. "Analisis Daya Dukung Tanah Lapisan Pondasi Jalan Pada Proyek Jalan Tol Tebing Tinggi – Parapat Tahap I (Zona 1)."
- Nofal Nugerah. 2021. "Analisis Stabilitas Tanah Timbunan Pada Jalan Tol Medan – Kualanamu – Tebing Tinggi Seksi 7a : Sei Rampah – Sei Bamban (Sta 81 + 000) Beserta Metode Pemadatannya."
- Prihatin, K., Ahmad, R., & Alhuda, B. 2023. "Analisa Penurunan Konsolidasi Dengan Metode Preloading Kombinasi Pvd Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta 47+300." Jurnal Inersia, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.46964/Inersia.V14i1.371>
- Putra, K. H., Ita Suhermin Ingsih, Theresia Maria Candra Agusdini, Mila Kusuma Wardani, Felicia Tria Nuciferani, & Muhammad Exchel Cakra Putra. 2023. "The Effect Of Overload On The Design Of Life Of Road Pavement (Case Study: Koti Road, Jayapura City)." Journal Innovation Of Civil Engineering (Jice), 4(1), 98–108. <https://doi.org/10.33474/Jice.V4i1.19936>
- Rochmawati, R., & Sitorus, P. H. 2023. "Stabilisasi Tanah Lanau Dengan Abu Tongkol Jagung Sebagai Lapis Pondasi Jalan."
- Sihite, W. A. 2018. "Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area 2016/2017."
- Silaban, M. E., Sitorus, P. H., & Rochmawati, R. (N.D.). "Perkuatan Sifat Tanah Lempung Dengan Modifikasi Geopolimer Berbasis Metakaolin."
- Titu-Eki, A. T., & Dethan, N. K. F. 2023. " Korelasi Sifat Fisik-Sifat Mekanis Lempung Bobonaro Di Timor, Serta Implikasinya Dalam Pekerjaan Geoteknik. 6."