

Jurnal Konstruksi dan Rekayasa Sipil

<https://jurnal.ppsuniyap.ac.id/index.php/jkrs>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

Kajian Aspek Geoteknik Pembangunan Infrastruktur Jalan di Kota Merauke, Papua Selatan

Franky E. P. Lopian ^(1*) Swastika Winduwardani ⁽²⁾

⁽¹⁾ Universitas Yapis Papua, Jayapura, Indonesia.

⁽²⁾ Universitas Yapis Papua, Jayapura, Indonesia.

Penulis Koresponden. Franky E. P. Lopian
E-mail: lapianedwin@gmail.com

Pernyataan Penulis

Penulis menyatakan bahwa penelitian ini dilakukan tanpa adanya hubungan komersial atau keuangan yang dapat dianggap sebagai potensi konflik kepentingan.

Abstrak

Tujuan: Kajian ini bertujuan untuk menganalisis aspek geoteknik yang berkaitan dengan pembangunan infrastruktur jalan di Kota Merauke, Papua Selatan, yang memiliki karakteristik geologi dan topografi khas. Penelitian ini melibatkan analisis sifat tanah, komposisi material, serta kemampuan daya dukung tanah untuk mendukung konstruksi jalan yang aman dan efisien.

Metode Penelitian: Metode yang digunakan meliputi pengambilan sampel tanah di beberapa titik lokasi proyek, uji laboratorium untuk menentukan parameter geoteknik, serta pemodelan perhitungan daya dukung tanah dan kestabilan lereng.

Hasil dan Pembahasan: Hasil kajian menunjukkan bahwa tanah di sebagian besar wilayah Kota Merauke memiliki kandungan liat tinggi dengan daya dukung yang bervariasi tergantung pada kedalaman dan jenis material. Disarankan untuk melakukan perbaikan tanah dan pemilihan material yang tepat, serta penggunaan teknik perkuatan tanah untuk mengurangi potensi masalah yang dapat timbul selama masa pakai jalan.

Implikasi: Temuan ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang berguna dalam merancang dan membangun infrastruktur jalan yang tahan lama di daerah tersebut, dengan memperhatikan kondisi geoteknik yang ada.

Kata Kunci: aspek geoteknik; infrastruktur jalan; pembangunan jalan.

Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur jalan merupakan fondasi utama dalam menunjang konektivitas wilayah, pertumbuhan ekonomi, pemerataan pembangunan, dan integrasi sosial budaya antar wilayah. Di kawasan timur Indonesia, termasuk Papua Selatan, pembangunan infrastruktur jalan memiliki makna strategis yang lebih luas, tidak hanya sebagai sarana transportasi, tetapi juga sebagai pengungkit utama dalam membuka keterisolasian wilayah, memperkuat konektivitas antar pusat kegiatan, serta mendukung pembangunan wilayah perbatasan negara. Kota Merauke sebagai ibukota Provinsi Papua Selatan menempati posisi

vital dalam konteks ini, karena berperan sebagai pusat pemerintahan, ekonomi, logistik, dan interaksi lintas batas dengan negara tetangga, Papua Nugini. Namun, tantangan utama dalam pembangunan infrastruktur jalan di Merauke terletak pada kondisi geoteknik dan geologi wilayah yang kompleks. Secara geografis, wilayah ini didominasi oleh dataran rendah, tanah rawa, dan kawasan pesisir yang memiliki jenis tanah aluvial, gambut, dan lempung lunak dengan tingkat kejenuhan tinggi. Kondisi ini menyebabkan permasalahan teknis seperti rendahnya daya dukung tanah (bearing capacity), tingginya tingkat kompresibilitas tanah, serta risiko penurunan tanah (long-term settlement) yang signifikan. Jika tidak ditangani dengan pendekatan geoteknik yang tepat, hal ini akan berdampak pada penurunan kualitas konstruksi jalan, peningkatan biaya pemeliharaan, serta penurunan umur layanan jalan yang dirancang.

Di sisi lain, kondisi iklim tropis basah dengan curah hujan tinggi dan sistem drainase alami yang terbatas juga memperparah tantangan teknis yang dihadapi. Air tanah yang tinggi dan genangan air musiman kerap menyebabkan kerusakan dini pada badan jalan, terutama pada jalan-jalan yang belum dilengkapi sistem fondasi dan perkuatan tanah yang sesuai. Dalam beberapa kasus, struktur jalan cepat mengalami deformasi, retak, bahkan amblas akibat pembebanan berulang dari kendaraan berat, khususnya pada jalan akses logistik atau jalan strategis nasional. Sementara itu, dari sisi perencanaan dan pelaksanaan proyek, masih terdapat keterbatasan dalam pemanfaatan data dan teknologi geoteknik yang mutakhir di Merauke. Survei tanah sering kali dilakukan secara terbatas karena kendala aksesibilitas, biaya tinggi, serta kurangnya tenaga ahli geoteknik di tingkat daerah. Padahal, keberhasilan pembangunan jalan di wilayah dengan karakteristik tanah seperti ini sangat bergantung pada pendekatan berbasis data geoteknik yang akurat serta penerapan teknologi perbaikan tanah seperti preloading, vertical drain, soil reinforcement, atau penggunaan geosintetik yang tepat.

Kajian aspek geoteknik menjadi krusial untuk menjawab tantangan-tantangan tersebut secara sistematis. Dengan kajian ini, berbagai parameter penting seperti jenis tanah, karakteristik fisik-mekanik, kedalaman muka air tanah, tekanan pori, dan konsolidasi tanah dapat dianalisis secara rinci. Kajian ini juga akan mengkaji bagaimana metode-metode perbaikan tanah dapat diadaptasikan dalam konteks lokal Merauke, termasuk tinjauan terhadap kelayakan teknis dan ekonomis dari setiap alternatif solusi perbaikan.

Lebih jauh lagi, kajian ini memiliki dimensi strategis dalam mendukung kebijakan pembangunan berkelanjutan dan inklusif di Papua Selatan. Pembangunan jalan yang tahan lama dan andal akan mendukung mobilitas masyarakat, distribusi barang dan jasa, akses terhadap layanan dasar, serta stabilitas kawasan perbatasan. Kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam penyusunan pedoman teknis, rekomendasi kebijakan, serta desain infrastruktur jalan yang adaptif terhadap kondisi tanah marginal di wilayah Merauke. Dengan demikian, melalui kajian aspek geoteknik yang mendalam dan kontekstual, pembangunan infrastruktur jalan di Kota Merauke dapat dilaksanakan secara lebih efektif, efisien, dan berkelanjutan. Ini merupakan langkah penting dalam mewujudkan infrastruktur berkualitas di wilayah timur Indonesia, sekaligus mendukung agenda pemerataan pembangunan nasional.

Tinjauan Pustaka

Aspek Geoteknik dalam Pembangunan Infrastruktur Jalan

Aspek geoteknik merupakan elemen penting dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan infrastruktur jalan, khususnya pada daerah dengan kondisi tanah yang bermasalah (*problematic soils*). Menurut Das (2010), geoteknik mencakup kajian terhadap sifat fisik dan mekanik tanah dan batuan, serta interaksinya terhadap struktur bangunan teknik sipil yang dibangun di atas atau di dalamnya. Dalam konteks jalan, kajian geoteknik melibatkan analisis terhadap daya dukung tanah dasar (*subgrade*), stabilitas lereng, potensi penurunan tanah (*settlement*), serta kemungkinan terjadinya kegagalan struktur akibat beban lalu lintas maupun beban lingkungan. Kondisi tanah yang lunak atau jenuh air, seperti tanah lempung berplastisitas tinggi, gambut, dan tanah aluvial, sering kali menimbulkan permasalahan serius dalam pembangunan jalan (Holtz et al., 2011). Tanah jenis ini memiliki modulus elastisitas rendah, kemampuan drainase yang buruk, serta mengalami konsolidasi jangka panjang ketika diberikan beban. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan perkuatan dan perbaikan tanah yang tepat dalam desain jalan, termasuk penggunaan material perkuatan (*geosintetik*), metode *preloading*, *sand drain*, hingga teknologi fondasi khusus.

Karakteristik Geoteknik Wilayah Merauke

Wilayah Merauke memiliki ciri geoteknik khas yang membedakannya dari daerah lain di Indonesia. Berdasarkan penelitian Balai Litbang Jalan dan Jembatan (2020), tanah di wilayah ini didominasi oleh tanah lempung jenuh, rawa gambut, dan lapisan tanah lunak dengan kedalaman bervariasi. Selain itu, muka air tanah relatif dangkal dan fluktuatif, sehingga sering menimbulkan genangan pada musim hujan. Tingginya kandungan air dalam tanah menyebabkan nilai California Bearing Ratio (CBR) rendah, yang berdampak pada lemahnya daya dukung tanah terhadap beban lalu lintas. Penelitian sebelumnya oleh Sihotang et al. (2017) menunjukkan bahwa struktur tanah di wilayah Merauke umumnya memerlukan metode stabilisasi kimia dan mekanis agar dapat mencapai kestabilan dan kekuatan yang sesuai standar teknis jalan. Beberapa lokasi bahkan memerlukan metode perbaikan tanah khusus karena nilai *undrained shear strength* yang sangat rendah (<25 kPa) dan potensi penurunan diferensial yang tinggi.

Teknologi Perbaikan Tanah untuk Tanah Lunak

Berbagai metode perbaikan tanah telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tanah lunak. Di antaranya adalah metode *preloading* dan *vertical drain*, yang bekerja mempercepat konsolidasi tanah dengan mengurangi tekanan pori air (Indraratna et al., 2005). Selain itu, teknik stabilisasi kimia menggunakan semen, kapur, atau bahan aditif lainnya juga umum diterapkan untuk meningkatkan kekuatan geser dan mengurangi plastisitas tanah (Little, 1999). Penggunaan *geosintetik* (*geotextile* dan *geogrid*) juga telah terbukti efektif dalam meningkatkan kapasitas dukung tanah dan distribusi beban lalu lintas (Koerner, 2012). Dalam kondisi rawa atau gambut, teknik *floating road* atau penggunaan *piled embankment* sering menjadi pilihan, meskipun memerlukan biaya yang tinggi dan perencanaan rinci.

Kebijakan dan Standar Teknis Infrastruktur Jalan

Pembangunan jalan di Indonesia merujuk pada sejumlah standar teknis seperti yang tercantum dalam Manual Desain Perkerasan Jalan (Departemen PU, 2017), Pedoman Perencanaan Perkuatan Tanah Lunak (PUPR, 2018), dan SNI 1732:2008 tentang prosedur perencanaan geoteknik. Standar-standar tersebut mengatur kriteria teknis minimal, metode investigasi tanah, parameter desain geoteknik, serta rekomendasi perbaikan dan stabilisasi tanah berdasarkan klasifikasi risiko.

Dalam konteks kebijakan pembangunan nasional, Papua Selatan masuk dalam Program Strategis Nasional (PSN) dan Kawasan Perbatasan Prioritas. Oleh karena itu, pembangunan infrastrukturnya – termasuk jalan – harus mempertimbangkan keberlanjutan lingkungan, ketahanan terhadap bencana, dan kesesuaian dengan kondisi geologi-geoteknik lokal.

Metode Penelitian

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif dengan metode studi kasus pada beberapa segmen jalan di wilayah Kota Merauke, Papua Selatan. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk menganalisis kondisi geoteknik tanah pada lokasi penelitian, mengevaluasi permasalahan teknis yang terjadi pada konstruksi jalan, serta mengkaji alternatif solusi perbaikan tanah yang dapat diterapkan secara efektif dan efisien.

Lokasi dan Ruang Lingkup Penelitian

Lokasi penelitian berfokus pada beberapa ruas jalan utama di Kota Merauke yang mewakili variasi kondisi geoteknik, antara lain:

- Jalan Lingkar Selatan
- Jalan Spadem – Wasur
- Jalan Trans Bupul – Sota (perbatasan RI-PNG)
- Jalan Poros Distrik Tanah Miring

Ruang lingkup penelitian mencakup:

- Investigasi kondisi tanah (sifat fisik dan mekanik)
- Analisis kerusakan jalan terkait kondisi geoteknik
- Evaluasi metode konstruksi yang telah digunakan
- Kajian solusi teknik perbaikan tanah yang relevan

Metode Pengumpulan Data

- Observasi langsung di lapangan terhadap kondisi eksisting jalan
- Pengambilan sampel tanah menggunakan metode disturbed dan undisturbed
- Wawancara dengan pihak pelaksana proyek, Dinas PUPR, dan konsultan teknis
- Studi literatur dan dokumen teknis proyek terdahulu

Tabel 1. Metode Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian	Metode Pengujian
Penyerapan Air	SNI 03-1969-1990
Berat Jenis	SNI 03-1969-1990
Indeks Kepipihan	RSNI T-01-2005
Keausan Agregat	SNI 2417-2008

Sumber: Sumber harus ditulis dengan teks miring dan ukuran font 9.

Hasil dan Pembahasan

Hasil

Investigasi Kondisi Tanah (Sifat Fisik dan Mekanik)

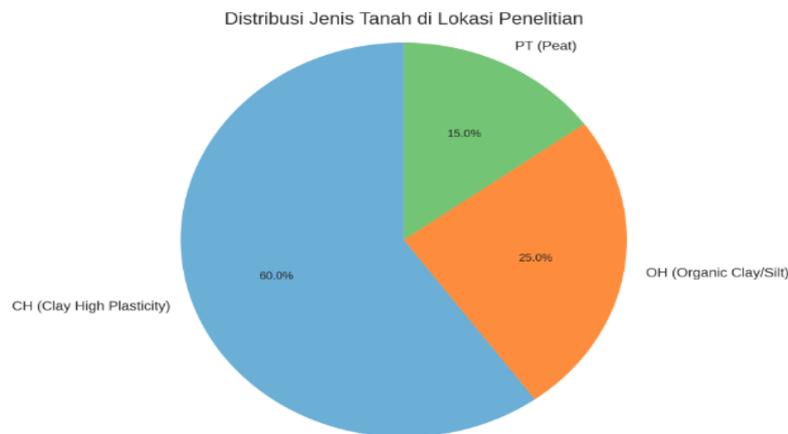
Karakteristik Fisik Tanah

Hasil uji laboratorium terhadap sampel tanah dari empat lokasi penelitian menunjukkan bahwa jenis tanah didominasi oleh lempung berplastisitas tinggi (CH) dan tanah gambut di beberapa lokasi dekat daerah rawa. Parameter hasil uji tanah dapat dirangkum sebagai berikut:

Tabel 1. Pengujian Tanah

Parameter	Nilai Rata-rata	Keterangan
Kadar air alami (w)	48% - 85%	Sangat tinggi
Batas plastis (PL)	35% - 60%	Tinggi
Batas cair (LL)	60% - 100%	Sangat plastis
Berat isi basah	1,4 - 1,6 gr/cm ³	Rendah
Void ratio (e)	>1,0	Sangat longgar
pH tanah	4,5 - 5,5	Asam (berisiko korosi)

Sumber: Sumber harus ditulis dengan teks miring dan ukuran font 9.



Gambar 1. Distribusi jenis tanah di lokasi Penelitian

Karakteristik Mekanik Tanah

Pengujian mekanik tanah seperti uji SPT dan triaxial menunjukkan nilai kuat geser yang rendah dan potensi konsolidasi jangka panjang:

- SPT-N rata-rata: 2-5 (tanah sangat lunak)
- Kuat geser kohesi (c'): 5-15 kPa
- Sudut geser dalam (ϕ'): 4°-10°
- Modulus elastisitas (E): <10 Mpa

- Koefisien konsolidasi (C_v): $1.0 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$

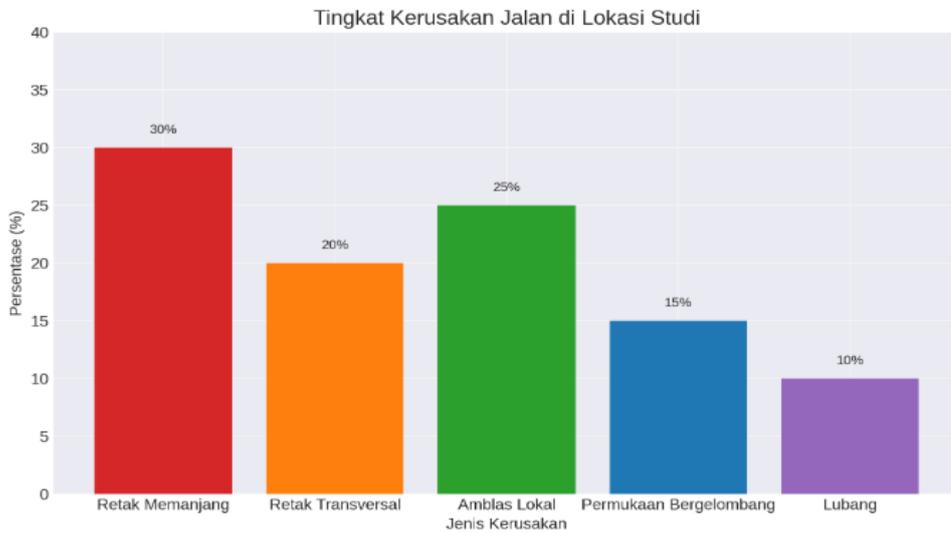
Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa tanah dasar pada ruas-ruas jalan di Merauke memiliki daya dukung rendah dan sangat rentan terhadap penurunan tanah (settlement), terutama di bawah beban berulang dari kendaraan berat.

Analisis Kerusakan Jalan Terkait Kondisi Geoteknik

Dari hasil survei visual dan pengumpulan data lapangan, ditemukan berbagai bentuk kerusakan jalan yang berkaitan langsung dengan kondisi geoteknik, antara lain:

- Retak memanjang dan transversal: terjadi akibat penurunan diferensial tanah dasar.
- Gelombang dan deformasi permukaan: terutama di jalan tanpa lapisan pondasi bawah yang memadai.
- Amblas lokal (spot settlement): ditemukan pada area dengan gambut tebal atau tanah jenuh air.
- Permukaan jalan bergelombang (undulation): akibat kurangnya stabilitas selama masa konsolidasi.

Kerusakan-kerusakan ini sebagian besar terjadi dalam waktu kurang dari 2 tahun setelah jalan dioperasikan, menunjukkan bahwa desain struktur jalan belum mempertimbangkan sepenuhnya parameter geoteknik setempat.



Gambar 2. Distribusi kerusakan Jalan di lokasi studi

Tabel 2. Rangkuman temuan di lapangan

Aspek	Temuan Utama	Rekomendasi
Kondisi tanah	Lempung lunak jenuh, gambut, plastisitas tinggi	Perlu perbaikan tanah sistematis
Kerusakan jalan	Retak, amblas, gelombang, deformasi	Sesuaikan desain dan metode pelaksanaan
Metode konstruksi	Umumnya konvensional, tanpa teknik perbaikan tanah	Gunakan PVD, stabilisasi kimia, geosintetik
Solusi perbaikan	Beberapa teknik relevan tersedia	Pilih berdasarkan biaya, efektivitas, lokasi

Evaluasi Metode Konstruksi yang Telah Digunakan

Metode konstruksi yang umum diterapkan pada ruas-ruas jalan di Merauke meliputi:

- Cut and fill tanpa perkuatan tanah
- Lapisan agregat pada tanah dasar tanpa stabilisasi
- Lapisan tanah urug langsung di atas tanah lunak
- Tidak dilakukan preloading atau vertical drain

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sebagian besar metode pelaksanaan belum menerapkan prinsip-prinsip perbaikan tanah pada kondisi tanah lunak. Tidak adanya sistem drainase vertikal menyebabkan tekanan pori tidak hilang selama konstruksi, sehingga penurunan tanah terus terjadi pasca konstruksi. Selain itu, ketebalan timbunan tidak disesuaikan dengan waktu konsolidasi yang dibutuhkan, sehingga tanah belum mencapai stabilitas saat diberi beban lalu lintas.

Kajian Solusi Teknik Perbaikan Tanah yang Relevan

Berdasarkan hasil investigasi dan evaluasi di lapangan, beberapa solusi teknis direkomendasikan sebagai berikut:

- a. Preloading dengan Vertical Drain (Prefabricated Vertical Drain / PVD)
 - Cocok untuk tanah lempung jenuh dengan kedalaman >3 m.
 - Mempercepat konsolidasi dan mengurangi potensi penurunan jangka panjang.
 - Masa preloading ideal: 3–6 bulan tergantung ketebalan timbunan.
- b. Stabilisasi Kimia (Kapur, Semen)
 - Efektif untuk meningkatkan kekuatan geser tanah dasar.
 - Dosis kapur/semen disesuaikan berdasarkan indeks plastisitas dan kadar air tanah.
 - Cocok diterapkan pada tanah lempung di lapisan atas (<1.5 m).
- c. Geosintetik (Geotextile, Geogrid)
 - Berfungsi sebagai separator dan perkuatan struktural.
 - Mempercepat konsolidasi horizontal dan mengurangi risiko geser lateral timbunan.
 - Umumnya dipasang di antara tanah dasar dan lapisan agregat bawah.
- d. Penggunaan Lightweight Fill (tanah urug ringan)
 - Untuk daerah dengan tanah sangat lunak atau gambut.
 - Mengurangi tekanan beban vertikal ke tanah dasar.
- e. Perencanaan Sistem Drainase yang Efektif
 - Drainase permukaan dan bawah permukaan penting untuk mengurangi kejenuhan tanah.
 - Diperlukan drainase melintang dan memanjang pada setiap sisi badan jalan.

Tabel 3. Rangkuman Solusi dan efektifitasnya

Solusi	Efektivitas	Kelebihan	Kekurangan
PVD + Preloading	Tinggi	Percepat konsolidasi	Perlu waktu pra-konstruksi
Stabilisasi Kimia	Sedang–Tinggi	Meningkatkan kuat geser	Kurang efektif untuk tanah dalam
Geosintetik	Sedang	Menahan deformasi lateral	Perlu spesifikasi tepat
Urugan ringan	Tinggi (untuk gambut)	Mengurangi tekanan tanah	Biaya tinggi

Kesimpulan

Karakteristik Tanah Dominan Lunak dan Bermasalah

Hasil investigasi geoteknik menunjukkan bahwa sebagian besar tanah di wilayah studi diklasifikasikan sebagai tanah lempung berplastisitas tinggi (CH), tanah organik (OH), dan gambut (PT). Tanah-tanah ini memiliki sifat fisik dan mekanik yang buruk, seperti nilai CBR rendah (<4%) dan nilai SPT < 10, yang tidak sesuai sebagai lapisan dasar perkerasan tanpa perbaikan.

Kerusakan Jalan Terkait Langsung dengan Kondisi Geoteknik

Kerusakan jalan yang ditemukan berupa retak memanjang, ambles lokal, lubang, dan permukaan bergelombang disebabkan oleh ketidakmampuan tanah dasar dalam menahan beban lalu lintas dan beban timbunan konstruksi. Ini diperparah oleh kurangnya sistem drainase yang efektif dan metode konstruksi tanpa perlakuan awal terhadap tanah dasar.

Metode Konstruksi Eksisting Belum Memadai

Evaluasi di lapangan menunjukkan bahwa metode konstruksi yang digunakan tidak mencakup teknik stabilisasi atau perbaikan tanah. Timbunan langsung di atas tanah lunak tanpa penggunaan prefabricated vertical drain (PVD), geotextile, atau sistem preloading mempercepat kerusakan struktural jalan.

Solusi Teknik yang Direkomendasikan

Kajian menunjukkan bahwa metode perbaikan tanah seperti penggunaan PVD dengan preloading, stabilisasi kimia (kapur/semen), dan penggunaan geosintetik dapat secara signifikan meningkatkan daya dukung tanah dan mengurangi risiko penurunan diferensial. PVD dan preloading menjadi solusi paling efektif di area dengan konsistensi gambut dan lempung lunak yang dominan.

Referensi

- Balai Litbang Jalan dan Jembatan. (2020). Laporan Studi Tanah Lunak di Wilayah Timur Indonesia. Kementerian PUPR.
- Das, B.M. (2010). Principles of Geotechnical Engineering. Cengage Learning.
- Holtz, R.D., Kovacs, W.D., & Sheahan, T.C. (2011). An Introduction to Geotechnical Engineering. Pearson.
- Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., & Chu, J. (2005). Ground Improvement Case Histories: Embankments with Special Reference to Consolidation and Other Physical Methods. Elsevier.
- Koerner, R.M. (2012). Designing with Geosynthetics. Xlibris Corporation.
- Little, D.N. (1999). Evaluation of Structural Properties of Lime Stabilized Soils and Aggregates. National Lime Association.
- Sihotang, D. et al. (2017). Kajian Stabilitas Tanah Dasar Jalan di Wilayah Merauke. Jurnal Teknik Sipil Indonesia, 24(3), 221-229.