E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 439 - 450
Volume 3 Nomor 2 Tahun 2026

Pengaruh Pengembangan Material Tanah Terhadap Daya Dukung Jalan Hauling Tambang Batubara Tenggarong Kutai Kartanegara Kalimantan Timur

Sajidin[1], Andy Erwin Wijaya[2], Hill G. Hartono[3]
[1,2,3] Magister Teknik Geologi Fakultas Teknik dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
e-mail: sajidinas@gmail.com andyerwin@itny.ac.id
hilghartono@itny.ac.id

Abstrak

Jalan hauling merupakan salah satu infrastruktur penting dalam kegiatan pertambangan batubara karena berfungsi sebagai jalur utama pengangkutan material dari lokasi tambang menuju tempat penimbunan maupun fasilitas pengolahan. Kondisi tanah dasar yang mengalami pengembangan (swelling) akibat perubahan kadar air dapat menyebabkan perubahan volume, penurunan kekuatan tanah, deformasi, serta menurunnya daya dukung jalan hauling. Kondisi tersebut dapat meningkatkan kerusakan jalan berupa retakan, gelombang, alur (rutting), dan penurunan permukaan jalan yang pada akhirnya dapat menghambat kegiatan operasional dan meningkatkan biaya pemeliharaan. Permasalahan penelitian ini adalah belum diketahui secara optimal hubungan antara karakteristik pengembangan material tanah dengan perubahan daya dukung tanah dasar pada jalan hauling tambang batubara di Desa Separi, Tenggarong, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik material tanah pada jalan hauling, menentukan tingkat pengembangan (swelling) material tanah, mengetahui nilai daya dukung tanah, serta menganalisis pengaruh pengembangan material tanah terhadap daya dukung jalan hauling. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif melalui pengamatan lapangan, pengambilan sampel tanah, dan pengujian laboratorium geoteknik. Identifikasi karakteristik tanah dilakukan melalui pengujian kadar air, berat jenis, analisis ukuran butir, batas Atterberg, pemadatan, dan pengembangan material. Daya dukung tanah

ditentukan berdasarkan pengujian California Bearing Ratio (CBR), sedangkan hubungan antara tingkat pengembangan material dan daya dukung dianalisis secara statistik untuk mengetahui tingkat pengaruh dan hubungan kedua variabel tersebut. Hasil penelitian diharapkan dapat menunjukkan bahwa peningkatan potensi pengembangan material tanah akibat perubahan kadar air berpengaruh terhadap penurunan daya dukung tanah dasar jalan hauling. Material tanah dengan tingkat pengembangan yang tinggi cenderung mengalami perubahan volume yang lebih besar dan memiliki kemampuan mendukung beban kendaraan yang lebih rendah. Dengan demikian, pengembangan material tanah merupakan salah satu faktor penting yang perlu diperhatikan dalam evaluasi kondisi tanah dasar jalan hauling tambang batubara. Kesimpulan penelitian diarahkan pada penentuan tingkat pengembangan material, nilai daya dukung tanah, serta besarnya pengaruh pengembangan terhadap daya dukung jalan hauling. Saran yang diberikan meliputi perlunya pengendalian kadar air, perbaikan atau stabilisasi tanah dasar yang memiliki potensi pengembangan tinggi, peningkatan sistem drainase, serta pemantauan kondisi jalan hauling secara berkala. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam menentukan metode penanganan tanah dasar dan meningkatkan kinerja serta umur layanan jalan hauling tambang batubara di Desa Separi.

Kata kunci: *Pengembangan Tanah, Swelling, Daya Dukung, CBR, Jalan Hauling, Tambang Batubara, Desa Separi.*

Abstract

Haul roads are a critical component of coal mining infrastructure, serving as the primary routes for transporting material from mining sites to stockpiles or processing facilities. Subgrade conditions involving soil swelling—triggered by fluctuations in moisture content—can lead to volume changes, reduced soil strength, deformation, and a decline in the haul road's load-bearing capacity. Such conditions can exacerbate road deterioration, manifesting as cracks, undulations, rutting, and surface subsidence, which ultimately hinder operational activities and drive up maintenance costs. The specific problem addressed in this study is the lack of a clear understanding regarding the relationship between soil swelling characteristics and changes in subgrade load-bearing

capacity on coal mine haul roads in Separi Village, Tenggarong, Kutai Kartanegara, East Kalimantan. This study aims to identify the characteristics of soil materials on hauling roads, determine the degree of soil material swelling, ascertain the soil bearing capacity, and analyze the impact of soil material swelling on hauling road bearing capacity. A quantitative research method was employed, involving field observations, soil sampling, and geotechnical laboratory testing. Soil characteristics were identified through tests for moisture content, specific gravity, grain size analysis, Atterberg limits, compaction, and material swelling. Soil bearing capacity was determined using the California Bearing Ratio (CBR) test, while the relationship between the degree of material swelling and bearing capacity was statistically analyzed to assess the extent of the influence and the nature of the relationship between the two variables. The study aims to demonstrate that the potential for soil swelling—driven by changes in moisture content—contributes to a reduction in the load-bearing capacity of the subgrade for coal mine hauling roads. Soils with high swelling potential tend to undergo significant volume changes and possess a lower capacity to support vehicle loads. Consequently, soil swelling is a critical factor to consider when evaluating the subgrade conditions of coal mine hauling roads. The study's conclusions focus on determining the soil's swelling potential and load-bearing capacity, as well as quantifying the impact of swelling on the hauling road's load-bearing performance. Recommendations include controlling moisture content, improving or stabilizing subgrade soils with high swelling potential, enhancing drainage systems, and conducting periodic monitoring of hauling road conditions. These findings are expected to serve as a basis for selecting appropriate subgrade treatment methods and for improving the performance and service life of coal mine hauling roads in Separi Village.

Keywords: *soil swelling, swelling, load-bearing capacity, CBR, hauling road, coal mine, Separi Village.*

LATAR BELAKANG

Pertambangan batubara merupakan salah satu kegiatan industri yang memiliki peranan penting dalam perekonomian Indonesia. Dalam pelaksanaan kegiatan penambangan terbuka, keberadaan infrastruktur jalan hauling menjadi bagian penting

karena kegiatan pengangkutan material dilakukan secara terus-menerus menggunakan kendaraan angkut dengan beban yang besar.

Jalan hauling pada tambang batubara memiliki karakteristik yang berbeda dengan jalan umum. Jalan tersebut harus mampu menerima beban berulang dari alat angkut dengan berat yang besar, memiliki tingkat keamanan yang memadai, serta mempertahankan kondisi permukaan agar produktivitas pengangkutan tetap optimal. Kerusakan jalan hauling dapat meningkatkan waktu siklus kendaraan, konsumsi bahan bakar, biaya pemeliharaan, dan risiko keselamatan kerja.

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kinerja jalan hauling adalah kondisi material tanah yang digunakan sebagai lapisan pembentuk badan jalan. Material tanah tertentu, terutama tanah berbutir halus dengan kandungan mineral lempung tinggi, dapat mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Perubahan volume berupa peningkatan volume akibat masuknya air dikenal sebagai pengembangan atau *swelling*.

Fenomena pengembangan material dapat menyebabkan perubahan bentuk pada lapisan jalan. Ketika material mengalami peningkatan kadar air, partikel tanah dapat mengalami ekspansi sehingga permukaan jalan menjadi bergelombang, terbentuk retakan, terjadi *rutting*, dan stabilitas lapisan jalan berkurang. Sebaliknya, ketika kadar air mengalami penurunan, material dapat mengalami penyusutan yang berpotensi menimbulkan retakan.

Wilayah Tenggarong, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur, merupakan salah satu wilayah yang memiliki aktivitas pertambangan batubara. Kondisi iklim dengan curah hujan yang relatif tinggi menyebabkan pengelolaan air menjadi salah satu aspek penting dalam pemeliharaan jalan hauling.

Perubahan kadar air pada material jalan akibat infiltrasi air hujan dapat meningkatkan potensi pengembangan pada material yang memiliki sifat ekspansif. Kondisi tersebut pada akhirnya dapat memengaruhi daya dukung jalan. Oleh sebab itu, diperlukan kajian mengenai hubungan antara karakteristik pengembangan material tanah dengan daya dukung jalan hauling.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai

pengaruh *swelling* material terhadap daya dukung jalan hauling serta memberikan rekomendasi teknis yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kinerja jalan pada kegiatan pertambangan batubara.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif dan analitis untuk mengetahui karakteristik material tanah, potensi pengembangan (swelling), serta daya dukung material pada jalan hauling tambang batubara. Penelitian dilaksanakan pada area jalan hauling tambang batubara di wilayah Tenggarong, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur, khususnya pada Jalan Intermilan Hauling 305 PT. Pamapersada Nusantara pada beberapa titik pengamatan, yaitu KM 27+150, KM 27+250, KM 27+350, KM 27+450, dan KM 27+550. Data penelitian diperoleh melalui kegiatan pengamatan lapangan, pengambilan sampel tanah, serta pengujian laboratorium terhadap material yang digunakan pada badan jalan hauling.

Pengambilan sampel dilakukan pada lima titik badan jalan hauling dengan kedalaman 0–1,00 meter. Sampel yang diperoleh selanjutnya diuji di laboratorium untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik material. Pengujian meliputi kadar air, berat jenis, analisis saringan, hidrometer apabila diperlukan, batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, pemadatan Proctor, California Bearing Ratio (CBR), serta pengujian pengembangan atau swelling. Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi potensi pengembangan, kadar air, kepadatan material, dan karakteristik butiran, sedangkan variabel terikat berupa daya dukung material yang dinyatakan melalui nilai CBR.

Data hasil pengujian kemudian dianalisis secara deskriptif dan analitis dengan membandingkan karakteristik material, tingkat pengembangan, dan nilai daya dukung pada setiap sampel. Analisis selanjutnya dilakukan untuk mengetahui hubungan antara tingkat swelling dengan nilai CBR. Hubungan tersebut digunakan untuk melihat kecenderungan pengaruh pengembangan material terhadap daya dukung jalan hauling. Semakin tinggi nilai swelling yang terjadi, maka akan dianalisis kecenderungannya terhadap perubahan nilai CBR sebagai indikator kemampuan material dalam menerima beban. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai pengaruh

pengembangan material tanah terhadap daya dukung jalan hauling serta menjadi dasar dalam menentukan upaya pengendalian, seperti perbaikan drainase, stabilisasi material, pengendalian kadar air, dan peningkatan pemadatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Material

Hasil pengujian karakteristik material ditunjukkan pada Tabel 1

Tabel 1. Hasil pengujian karakteristik material

No	Lolos No.200 (%)	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	MDD (grm/cm3)	OMC (%)
1	98,06	43,00	24,36	1,810	13,90
2	99,70	38,80	18,78	1,935	10,80
3	98,74	42,70	23,17	1,878	11,85
4	96,08	38,40	21,91	1,890	11,65
5	94,98	40,50	21,75	1,838	14,25

Berdasarkan data ilustratif tersebut, material S-04 mempunyai kandungan butiran halus dan indeks plastisitas paling tinggi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa material S-04 berpotensi mempunyai sifat pengembangan yang lebih besar dibandingkan sampel lainnya.

Semakin tinggi indeks plastisitas, secara umum semakin besar perubahan perilaku material akibat perubahan kadar air. Oleh karena itu, material dengan karakteristik seperti S-04 memerlukan perhatian lebih dalam penggunaannya sebagai material badan jalan.

Hasil Pemadatan

Hasil pengujian pemadatan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2.Hasil pengujian pemadatan

Nomor	Berat Isi Kering Maksimum (gr/cm3)	Kadar Air Optimum (%)

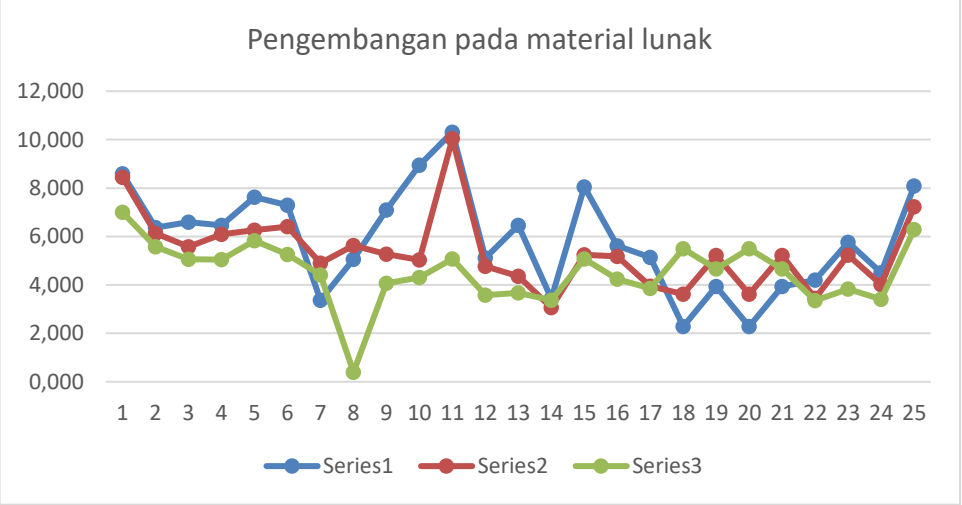
1	1,810	13,90
2	1,935	10,80
3	1,878	11,85
4	1,890	11,65
5	1,838	14,25

Sampel No. 1 menunjukkan berat isi kering maksimum paling rendah. Hal ini berkaitan dengan tingginya kandungan material berbutir halus dan sifat plastisitasnya. Dalam pelaksanaan konstruksi jalan hauling, pengendalian tingkat kepadatan sangat penting karena kepadatan yang rendah dapat meningkatkan rongga dan memungkinkan masuknya air ke dalam lapisan material.

Hasil Pengujian Pengembangan

Hasil pengujian pengembangan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian pengembangan



Berdasarkan data tersebut, pengujian no.11 memiliki nilai pengembangan paling tinggi. Tingginya nilai tersebut diduga berkaitan dengan tingginya kandungan butiran halus dan indeks plastisitas material.

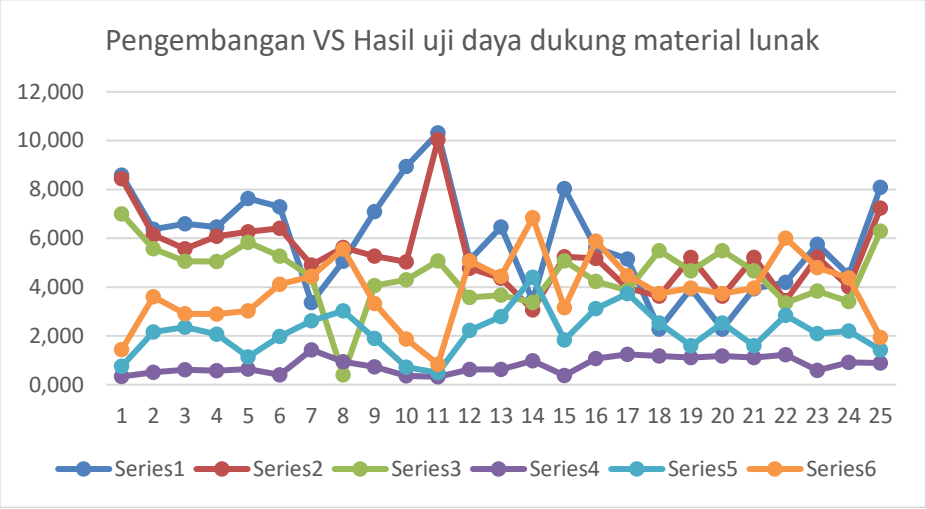
Pengembangan sebesar 10,13% menunjukkan bahwa material memiliki potensi

perubahan volume yang perlu diperhatikan apabila digunakan sebagai material utama badan jalan tanpa perlakuan atau stabilisasi.

Hasil Pengujian CBR

Hubungan antara pengembangan dan CBR ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hubungan antara pengembangan dan CBR



Dari data ilustratif terlihat adanya kecenderungan bahwa peningkatan nilai *swelling* diikuti dengan penurunan nilai CBR. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa material yang lebih ekspansif cenderung mengalami penurunan daya dukung ketika berada dalam kondisi jenuh atau mendekati kondisi jenuh.

Analisis Hubungan Swelling dan CBR

Secara konseptual, hubungan antara *swelling* dan CBR dapat dinyatakan sebagai hubungan negatif. Artinya, semakin tinggi potensi pengembangan, semakin rendah nilai CBR yang diperoleh. Berdasarkan data contoh, kecenderungan hubungan tersebut dapat dinyatakan secara sederhana sebagai:

$$\mathbf{CBR = a - b(Swelling)}$$

dengan:

- CBR = daya dukung material;
- *Swelling* = persentase pengembangan;
- a = konstanta;
- b = koefisien penurunan daya dukung.

Untuk penelitian final, nilai koefisien harus dihitung berdasarkan seluruh data aktual menggunakan analisis regresi.

Jika nilai koefisien korelasi menunjukkan hubungan negatif yang kuat, maka dapat disimpulkan bahwa peningkatan pengembangan material memiliki hubungan yang kuat dengan penurunan daya dukung.

Pengaruh Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi perilaku material jalan hauling. Air dapat masuk ke lapisan jalan melalui infiltrasi air hujan, genangan, rembesan dari lereng, maupun drainase yang tidak berfungsi dengan baik.

Pada material yang bersifat plastis dan ekspansif, peningkatan kadar air dapat menyebabkan:

1. peningkatan volume;
2. penurunan kekuatan geser;
3. penurunan CBR;
4. peningkatan deformasi;
5. terbentuknya gelombang dan *rutting*.

Oleh karena itu, sistem drainase merupakan bagian yang sangat penting dalam mempertahankan daya dukung jalan hauling.

Pengaruh Tingkat Pemadatan

Pemadatan bertujuan meningkatkan berat isi kering dan mengurangi rongga udara di dalam material. Material yang dipadatkan secara optimal memiliki struktur yang lebih stabil terhadap beban kendaraan.

Namun, pemadatan yang tidak sesuai kadar air optimum dapat menghasilkan kondisi material yang kurang stabil. Apabila material dipadatkan pada kadar air terlalu tinggi, nilai daya dukung dapat menjadi lebih rendah.

Dengan demikian, pekerjaan pemadatan harus dikontrol melalui pengujian kepadatan lapangan dan kadar air.

Dampak terhadap Operasional Tambang

Penurunan daya dukung jalan hauling dapat memberikan dampak langsung terhadap kegiatan operasional, antara lain:

- meningkatnya waktu tempuh kendaraan;
- meningkatnya waktu siklus (*cycle time*);
- meningkatnya konsumsi bahan bakar;
- meningkatnya frekuensi perawatan alat angkut;
- menurunnya produktivitas pengangkutan;
- meningkatnya risiko kecelakaan;
- meningkatnya biaya pemeliharaan jalan.

Dengan demikian, pengendalian *swelling* tidak hanya berkaitan dengan aspek geoteknik, tetapi juga berhubungan dengan efisiensi operasional pertambangan.

UPAYA PENANGANAN MATERIAL EKSPANSIF

Beberapa metode yang dapat diterapkan untuk mengurangi pengaruh pengembangan material pada jalan hauling adalah sebagai berikut.

Pengendalian Drainase

Drainase harus dirancang agar air tidak tertahan di permukaan jalan. Saluran samping, *cross drain*, dan gorong-gorong harus dipelihara secara berkala.

Penggantian Material

Apabila material eksisting memiliki potensi pengembangan sangat tinggi, material tersebut dapat diganti dengan material pilihan yang mempunyai sifat lebih stabil.

Stabilisasi Material

Stabilisasi dapat dilakukan dengan menggunakan bahan seperti kapur, semen, atau bahan stabilisasi lain yang sesuai dengan karakteristik material.

Pemilihan metode stabilisasi harus berdasarkan pengujian laboratorium agar dosis bahan yang digunakan dapat ditentukan secara tepat.

Peningkatan Pemadatan

Pemadatan harus dilakukan dengan kadar air mendekati kadar air optimum dan mencapai tingkat kepadatan yang ditentukan dalam spesifikasi teknis.

Peningkatan Ketebalan Lapisan Perkerasan

Pada kondisi tertentu, penambahan lapisan material granular dapat mengurangi pengaruh material tanah dasar terhadap deformasi permukaan.

Pemeliharaan Rutin

Pemeliharaan jalan harus dilakukan secara berkala melalui kegiatan *grading*, pengisian lubang, perbaikan *rutting*, pembersihan drainase, dan penambahan material permukaan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengembangan material tanah terhadap daya dukung jalan hauling tambang batubara di wilayah Tenggarong, Kabupaten Kutai Kartanegara, dapat disimpulkan bahwa karakteristik material tanah pada setiap titik pengambilan sampel memiliki perbedaan dalam kandungan butiran halus, plastisitas, kadar air, dan kepadatan. Material dengan kandungan butiran halus dan indeks plastisitas yang lebih tinggi cenderung memiliki potensi pengembangan (swelling) yang lebih besar akibat perubahan kadar air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa material dengan tingkat pengembangan yang tinggi mengalami perubahan volume yang lebih besar sehingga berpotensi memengaruhi kestabilan dan kinerja badan jalan hauling.

Hasil analisis juga menunjukkan adanya kecenderungan hubungan negatif antara nilai swelling dan daya dukung material yang dinyatakan melalui nilai California Bearing Ratio (CBR). Peningkatan nilai swelling cenderung diikuti dengan penurunan nilai CBR, terutama ketika material berada pada kondisi jenuh atau mendekati jenuh. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengembangan material merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan dalam mempertahankan daya dukung jalan hauling. Selain swelling, kadar air, tingkat kepadatan, karakteristik material, dan kondisi drainase juga menjadi faktor penting yang memengaruhi perilaku dan daya dukung material jalan.

Dengan demikian, pengendalian pengembangan material perlu dilakukan untuk mempertahankan kinerja jalan hauling dan mendukung kelancaran operasional

pertambangan. Upaya yang dapat diterapkan meliputi pengendalian dan pemeliharaan sistem drainase, penggantian material yang memiliki potensi pengembangan tinggi, stabilisasi material, peningkatan kualitas pemadatan, penambahan lapisan material granular, serta pemeliharaan jalan secara berkala. Hasil penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan dalam evaluasi kondisi material tanah dan penentuan metode penanganan yang sesuai untuk meningkatkan daya dukung serta umur layanan jalan hauling tambang batubara.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM International. (2021). *ASTM D1883: Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils*. ASTM International.

ASTM International. (2021). *ASTM D698: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort*. ASTM International.

ASTM International. (2017). *ASTM D4318: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. ASTM International.

Bowles, J. E. (1992). *Engineering Properties of Soils and Their Measurement*. McGraw-Hill.

Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning.

Hardiyatmo, H. C. (2017). *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. C. (2018). *Mekanika Tanah II*. Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. C. (2015). *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. Gadjah Mada University Press.

Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley & Sons.