

PENGARUH LUMPUR TERHADAP KEPADATAN DAN PERMEABILITAS PASIR MUNTILAN

Bambang Widodo^{1,*}, Vemi Widoanindyawati²

¹Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945
Semarang

Jl. Pawiyatan Luhur, Bendan Dhuwur, Kecamatan Gajahmungkur,
Kota Semarang, Jawa tengah, 50235

²Program Studi Teknik Sipil Bangunan Politeknik Negeri Semarang
Jln. Prof. H. Soedarto, S.H. Tembalang, Kota Semarang 50275

^{*)}Correspondent Author: bambang-widodoft@untagsmg.ac.id

Abstract

Soil permeability controls the ability of water to pass through voids in soil. Muntilan sand is widely used as a construction material, yet its relatively open gradation may produce high seepage when applied as fill or drainage-related material. This paper evaluates the effect of mud content on the compaction characteristics and permeability of Muntilan sand using laboratory testing. The study used sand from Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, and mixed it with mud at 0%, 5%, 10%, 20%, and 40% by weight. Physical testing consisted of water content, specific gravity, grain-size distribution, and unit weight. Mechanical testing used the Standard Proctor method, while hydraulic testing used the constant-head permeability method for granular soil. The test results indicate that increasing mud content raised the maximum dry density from 1.903 g/cm³ in original sand to 2.180 g/cm³ at 40% mud. Conversely, the coefficient of permeability decreased from 6.5862×10^{-3} cm/s in original sand to 7.6982×10^{-4} cm/s at 40% mud. The decrease is attributed to fine particles filling the pore space of the sand skeleton. These results show that mud addition can reduce seepage potential but must be controlled to avoid drainage and surface ponding problems.

Keywords: constant head, compaction, mud, Muntilan sand, permeability

PENDAHULUAN

Pasir Muntilan merupakan material lokal yang banyak digunakan dalam pekerjaan konstruksi karena ketersediaannya tinggi, butirannya relatif bersih, dan mudah diperoleh dari wilayah Magelang. Dalam pekerjaan timbunan, bangunan air, lapisan drainase, dan resapan, pasir tidak hanya ditinjau dari aspek gradasi, tetapi juga dari kepadatan dan kemampuan meloloskan air. Nilai permeabilitas yang terlalu tinggi dapat meningkatkan potensi rembesan, sedangkan kandungan halus yang terlalu besar dapat menurunkan fungsi drainase

dan memicu genangan. Oleh karena itu, pengendalian kandungan lumpur pada pasir Muntilan penting dikaji agar penggunaannya sesuai dengan kebutuhan konstruksi (Craig, 2012).

Penambahan lumpur atau partikel halus dapat mengubah struktur pori pasir. Hardiyatmo (1992) dan Terzaghi dkk. (1996) menjelaskan bahwa butiran kecil pada gradasi campuran dapat mengisi rongga antarbutir yang lebih besar sehingga angka pori berubah. Menurut Bowles (1991), Das (1993), Holtz dkk. (2011), serta Lambe dan Whitman (1969),

gradasi, ukuran pori, angka pori, derajat kejenuhan, dan kepadatan merupakan faktor penting yang memengaruhi permeabilitas tanah berpasir. Dengan demikian, lumpur berpotensi meningkatkan kepadatan pasir sekaligus menurunkan kemampuan aliran air melalui pori.

Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kandungan butiran halus dan kondisi pemadatan berperan besar terhadap sifat hidraulik pasir. Fan dkk. (2022) melaporkan bahwa peningkatan fines pada campuran pasir-lanau menurunkan konduktivitas hidraulik. Fraccica dkk. (2022) menunjukkan bahwa komposisi campuran lanau-pasir memengaruhi perilaku permeasi. Julianto dkk. (2021) meneliti permeabilitas tanah yang dipadatkan dengan modified proctor cubic permeameter, sedangkan Onyelowe dkk. (2024) menegaskan bahwa fines memengaruhi perilaku hidro-mekanis pasir untuk aplikasi konstruksi. Mbarki dkk. (2023) juga menunjukkan bahwa tingkat pemadatan yang lebih tinggi dapat menurunkan konduktivitas hidraulik jenuh karena pori menjadi lebih sedikit dan kurang terhubung.

Penelitian lain oleh Bagarello dkk. (2025), Ma dkk. (2023), serta Zhang dan Wang (2023) memperlihatkan bahwa perubahan berat volume kering, metode persiapan sampel, dan perubahan mikrostruktur tanah dapat mengubah sifat hidraulik secara signifikan. Namun, kajian yang secara khusus menjelaskan pengaruh variasi lumpur terhadap hubungan kepadatan dan permeabilitas pada pasir Muntilan masih perlu dipertegas, karena material lokal dapat memiliki karakter gradasi dan kandungan halus alami yang berbeda.

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi lumpur 0%, 5%, 10%, 20%, dan 40% terhadap berat isi

kering maksimum dan koefisien permeabilitas pasir Muntilan. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi sebagai data awal untuk pengendalian kandungan lumpur pada pasir lokal, terutama pada pekerjaan timbunan, pengendalian rembesan, dan evaluasi fungsi drainase.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium dan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas 17 Agustus 1945 Semarang. Material pasir diambil dari Kecamatan Dukun, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah, sebagai salah satu daerah sumber pasir Muntilan. Lumpur digunakan sebagai fraksi halus tambahan dengan variasi 0%, 5%, 10%, 20%, dan 40% terhadap berat total benda uji.

Setiap variasi campuran disiapkan berdasarkan komposisi pada Tabel 1. Pasir dan lumpur ditimbang sesuai persentase campuran, kemudian diaduk hingga homogen sebelum dilakukan pengujian. Tahapan penelitian meliputi pengujian sifat fisis, pengujian pemadatan standar, dan pengujian permeabilitas.

Pengujian sifat fisis mencakup kadar air, berat jenis butiran, analisis saringan, dan berat volume. Pengujian pemadatan dilakukan dengan Standard Proctor untuk memperoleh kadar air optimum dan berat isi kering maksimum setiap variasi campuran. Prosedur pemadatan mengacu pada SNI 1742:2008 yang diterbitkan Badan Standardisasi Nasional (2008) dan ASTM D698 dari ASTM International (2012).

Benda uji permeabilitas disiapkan berdasarkan berat isi kering maksimum hasil Proctor agar kondisi kepadatan benda uji mendekati kepadatan rencana. Pengujian permeabilitas dilakukan dengan

metode constant head sesuai Head (1982), SNI 03-6871-2002 dari Badan Standardisasi Nasional (2002), dan ASTM D2434-19 dari ASTM International (2019). Permeameter memiliki diameter penampang 6,50 cm, tinggi sampel 8,00 cm, luas penampang 33,17 cm², volume penampang 265,33 cm³, dan beda tinggi energi 94,00 cm. Volume air keluar dicatat pada interval 60 detik setelah aliran stabil. Perhitungan koefisien permeabilitas menggunakan prinsip aliran Darcy (Darcy, 1856). Persamaan dasar volume aliran melalui benda uji dituliskan sebagai berikut.

$$Q = k i A t \quad (1)$$

Dengan menyesuaikan kondisi uji constant head, koefisien permeabilitas dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$k = QL / (A h t) \quad (2)$$

Keterangan: Q adalah volume air keluar (cm³), k adalah koefisien permeabilitas (cm/s), i adalah gradien hidraulik, A adalah luas penampang benda uji (cm²), t adalah waktu pengaliran (s), L adalah tinggi sampel (cm), dan h adalah beda tinggi energi (cm). Nilai k pada setiap variasi campuran diperoleh dari debit rata-rata hasil pembacaan.

Tabel 1. Komposisi Campuran Pasir-Lumpur untuk Setiap Jenis Uji laboratorium.

Pengujian	0% lumpur	5% lumpur	10% lumpur	20% lumpur	40% lumpur
Berat jenis (g)	10	9,5 pasir + 0,5 lumpur	9 pasir + 1 lumpur	8 pasir + 2 lumpur	6 pasir + 4 lumpur
Analisis butiran (g)	200	190 pasir + 10 lumpur	180 pasir + 20 lumpur	160 pasir + 40 lumpur	120 pasir + 80 lumpur
Standard Proctor (g)	2500	2375 pasir + 125 lumpur	2250 pasir + 250 lumpur	2000 pasir + 500 lumpur	1500 pasir + 1000 lumpur
Permeabilitas (g)	2500	2375 pasir + 125 lumpur	2250 pasir + 250 lumpur	2000 pasir + 500 lumpur	1500 pasir + 1000 lumpur

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisik Pasir Muntitan

Hasil pengujian sifat fisis menunjukkan kadar air rata-rata pasir sebesar 8,509%, berat jenis butiran 2,677, kandungan lolos saringan No. 200 sebesar 4,35%, dan berat volume basah rata-rata 2,074 g/cm³. Berat jenis 2,677 berada pada rentang umum pasir mineral, yaitu sekitar 2,65-2,68 (Hardiyatmo, 1992). Persentase lolos saringan No. 200 yang lebih kecil dari 50% menunjukkan bahwa material dominan termasuk tanah berbutir kasar.

Kandungan halus alami sebesar 4,35% masih relatif kecil, sehingga pasir asli tetap memiliki jalur pori yang terbuka. Namun, ketika fraksi lumpur ditambahkan secara bertahap, struktur campuran menjadi lebih padat. Fenomena ini konsisten dengan konsep gradasi campuran, yaitu butiran halus mengisi ruang antarbutir pasir sehingga angka pori menurun dan berat isi kering meningkat (Terzaghi dkk., 1996). Ringkasan sifat-sifat fisik pasir Muntitan ditampilkan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Ringkasan sifat fisik pasir Muntilan asli

Parameter	Nilai rata-rata	Keterangan
Kadar air	8,509%	Kondisi awal material
Berat jenis butiran (Gs)	2,677	Rentang umum pasir mineral
Lolos saringan No. 200	4,35%	Dominan berbutir kasar
Berat volume basah	2,074 g/cm ³	Rata-rata hasil uji

Karakteristik Pemadatan

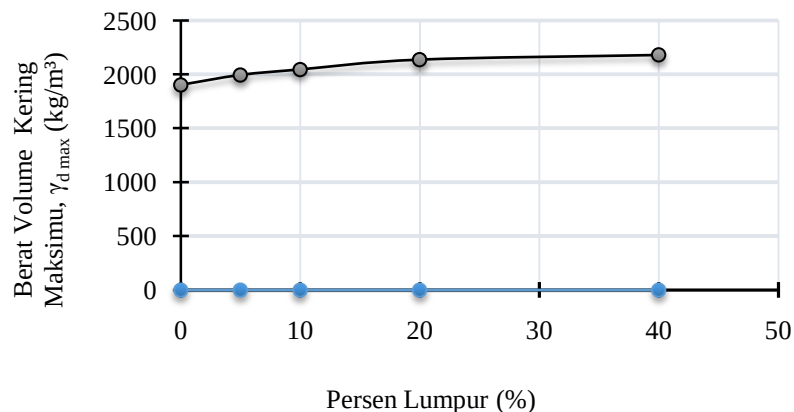
Hasil uji Standard Proctor menunjukkan bahwa semakin besar persentase lumpur, kadar air optimum dan berat isi kering maksimum cenderung meningkat. Kadar air optimum naik dari 7,014% pada pasir asli menjadi 8,663% pada campuran 40% lumpur. Kenaikan ini dapat terjadi karena partikel halus memiliki luas permukaan lebih besar sehingga membutuhkan air lebih banyak untuk mencapai kondisi pemadatan optimum.

Berat isi kering maksimum meningkat dari 1,903 g/cm³ pada pasir

asli menjadi 2,180 g/cm³ pada campuran 40% lumpur ditampilkan pada Tabel 3 dan ditampilkan dengan grafik pada Gambar 1. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan lumpur mengisi rongga antarbutir pasir dan meningkatkan kepadatan campuran. Walaupun demikian, kandungan lumpur yang terlalu tinggi perlu dipertimbangkan secara teknis karena dapat mengubah material dari dominan granular menjadi lebih halus dan kurang mengalirkan air.

Tabel 3. Ringkasan sifat fisik pasir Muntilan asli

Variasi tanah	Wopt (%)	γ_b maks (g/cm ³)	γ_d maks (g/cm ³)
Pasir asli	7,014	2,037	1,903
95% pasir + 5% lumpur	7,642	2,148	1,995
90% pasir + 10% lumpur	7,656	2,203	2,046
80% pasir + 20% lumpur	8,026	2,314	2,137
60% pasir + 40% lumpur	8,663	2,369	2,180



Gambar 1. Pengaruh Kadar Lumpur terhadap Berat Volume Kering Maksimum

Karakteristik Permeabilitas

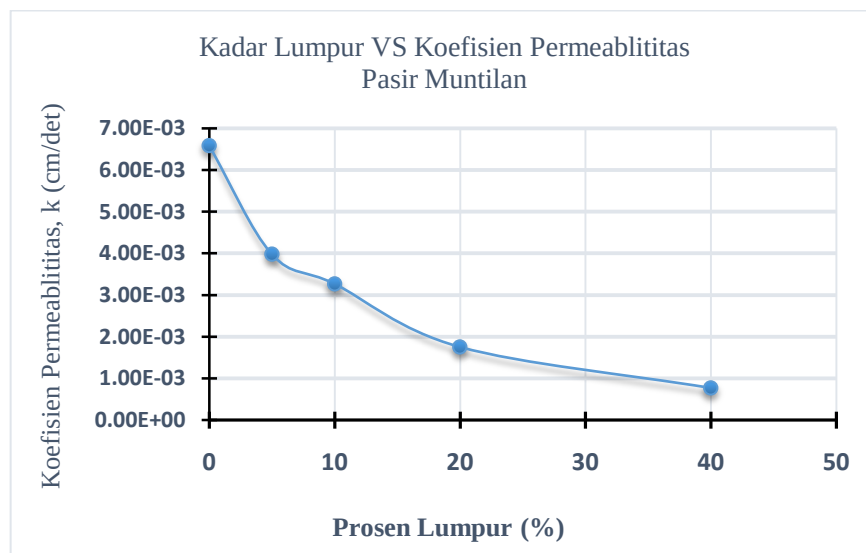
Berdasarkan Tabel 4. dan ditampilkan dengan grafik pada Gambar 2. dapat dijelaskan bahwa nilai koefisien permeabilitas menurun secara konsisten ketika persentase lumpur meningkat. Pasir asli memiliki nilai k sebesar $6,5862 \times 10^{-3}$ cm/s. Pada campuran 5% lumpur, nilai k turun menjadi $3,9774 \times 10^{-3}$ cm/s. Penurunan berlanjut pada campuran 10% dan 20% lumpur, masing-masing menjadi $3,2675 \times 10^{-3}$ cm/s dan $1,7534 \times 10^{-3}$ cm/s. Nilai terendah

terjadi pada campuran 40% lumpur, yaitu $7,6982 \times 10^{-4}$ cm/s.

Kecenderungan tersebut menunjukkan bahwa lumpur efektif mengurangi kemampuan pasir untuk meloloskan air. Partikel lumpur mengisi rongga antarbutir pasir dan memperkecil jalur pori yang saling terhubung. Dalam konsep aliran jenuh, semakin kecil dan berliku jalur pori, semakin rendah koefisien permeabilitasnya. Hasil ini juga sejalan dengan penelitian terkait pengaruh gradasi, pemadatan, dan kandungan halus pada tanah berpasir (Fan dkk., 2022; Julianto dkk., 2021; Onyelowe dkk., 2024).

Table 4. Hubungan antara kepadatan kering maksimum dan koefisien permeabilitas

Variasi tanah	k (cm/s)	Penurunan k terhadap pasir asli
Pasir asli	$6,5862 \times 10^{-3}$	0%
95% pasir + 5% lumpur	$3,9774 \times 10^{-3}$	39,6%
90% pasir + 10% lumpur	$3,2675 \times 10^{-3}$	50,4%
80% pasir + 20% lumpur	$1,7534 \times 10^{-3}$	73,4%
60% pasir + 40% lumpur	$7,6982 \times 10^{-4}$	88,3%



Gambar 2. Pengaruh Kadar Lumpur terhadap Permeabilitas.

Implikasi Teknik

Pada pekerjaan timbunan, tanggul, atau konstruksi yang membutuhkan

pengendalian rembesan, penambahan fraksi lumpur dapat menjadi mekanisme sederhana untuk

menurunkan koefisien permeabilitas pasir. Akan tetapi, penerapan di lapangan harus mempertimbangkan persyaratan teknis lain, seperti kuat geser, potensi perubahan volume, ketahanan terhadap erosi internal, dan kestabilan kadar air.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa, untuk material drainase jumlah lumpur harus dibatasi karena penambahan lumpur memperkecil pori dan menurunkan debit aliran. Pada kondisi lapangan, kandungan halus yang berlebihan dapat menimbulkan genangan, penyumbatan, dan penurunan fungsi drainase. Oleh sebab itu, nilai optimum campuran tidak hanya ditentukan oleh k terendah, tetapi juga oleh tujuan konstruksi dan batasan perilaku mekanis material.

Pengendalian Mutu dan Interpretasi Data

Pengendalian mutu data dilakukan dengan menjaga keseragaman prosedur pencampuran, pemadatan, penjenuhan benda uji, dan pembacaan debit. Pada uji constant head, pembacaan volume air keluar dilakukan setelah aliran dianggap stabil agar nilai debit yang digunakan mencerminkan aliran jenuh melalui sampel. Pengulangan pembacaan pada interval yang sama juga membantu mengurangi pengaruh fluktuasi sesaat akibat perubahan muka air atau kondisi penjenuhan.

Data permeabilitas menunjukkan penurunan paling besar pada rentang campuran 20% sampai 40% lumpur. Hal ini mengindikasikan bahwa pada kadar halus tinggi, sebagian besar pori utama pasir telah terisi sehingga jalur

air menjadi lebih sempit. Dalam praktik geoteknik, perubahan kecil pada struktur pori dapat menyebabkan perubahan k yang relatif besar karena aliran air hanya terjadi melalui pori yang saling terhubung.

Pada campuran 5% dan 10% lumpur, nilai k masih berada pada orde 10^{-3} cm/s. Nilai tersebut menunjukkan bahwa material masih relatif permeabel, namun sudah mengalami penurunan dibanding pasir asli. Pada campuran 40% lumpur, nilai k turun ke orde 10^{-4} cm/s, sehingga material menjadi lebih sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan reduksi rembesan dibandingkan fungsi drainase cepat.

Kenaikan berat isi kering maksimum juga perlu dibaca bersama dengan kadar air optimum. Kadar air yang bertambah membantu pelumasan antarbutir saat pemadatan sehingga butiran dapat tersusun lebih rapat. Setelah melewati kadar air optimum, tambahan air umumnya akan mengisi ruang pori dan menurunkan berat isi kering. Oleh karena itu, pengendalian kadar air lapangan menjadi faktor penting apabila hasil laboratorium ini diterapkan pada pekerjaan timbunan.

Interpretasi hasil penelitian ini dibatasi pada kondisi material, variasi campuran, dan prosedur laboratorium yang digunakan. Pada skala lapangan, nilai k dapat dipengaruhi oleh segregasi material, ketidakseragaman pemadatan, perubahan kadar air, dan rembesan melalui bidang lemah. Dengan demikian, hasil penelitian lebih tepat digunakan sebagai indikasi perilaku material dan dasar awal

penentuan campuran, bukan sebagai satu-satunya parameter desain akhir.

Pengembangan penelitian dapat dilakukan dengan membuat variasi campuran yang lebih rapat pada rentang 10% sampai 30% untuk mencari kadar lumpur yang memberikan keseimbangan antara kepadatan dan kemampuan meloloskan air. Penelitian lanjutan juga dapat menambahkan uji kuat geser, dan uji permeabilitas pada tingkat kepadatan yang berbeda agar rekomendasi teknis menjadi lebih lengkap.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, penambahan lumpur pada pasir Muntiran meningkatkan kepadatan campuran. Berat isi kering maksimum naik dari 1,903 g/cm³ pada pasir asli menjadi 2,180 g/cm³ pada campuran 40% lumpur. Kenaikan ini terjadi karena partikel halus mengisi rongga antarbutir pasir sehingga susunan butiran menjadi lebih rapat.

Penambahan lumpur menurunkan koefisien permeabilitas pasir Muntiran. Nilai k pasir asli sebesar $6,5862 \times 10^{-3}$ cm/s turun menjadi $7,6982 \times 10^{-4}$ cm/s pada campuran 40% lumpur. Penurunan ini menunjukkan bahwa peningkatan kandungan halus mengurangi konektivitas pori dan menghambat aliran air.

Hubungan kepadatan dan permeabilitas menunjukkan kecenderungan berbanding terbalik. Semakin tinggi berat isi kering, semakin kecil koefisien permeabilitas. Material pasir dengan campuran

lumpur dapat dipertimbangkan untuk pekerjaan yang memerlukan pembatasan rembesan, tetapi kandungan lumpur harus dikontrol apabila material digunakan untuk fungsi drainase.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Semarang dan Laboratorium Mekanika Tanah yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International, 2012, ASTM D698-12e2: Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort. ASTM International.
- ASTM International, 2019, ASTM D2434-19: Standard test method for permeability of granular soils (constant head). ASTM International.
- Badan Standardisasi Nasional, 2002, SNI 03-6871-2002: Cara uji kelulusan air untuk tanah berbutir kasar dengan tinggi energi tetap. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 1742:2008: Cara uji kepadatan ringan untuk tanah. BSN.
- Bagarello, V., Caltabellotta, G., Fusco, M., Vaccaro, G., & Autovino, D., 2025, Investigating soil compaction and its impact on physical and hydraulic properties

- using a simple testing apparatus. *Water*, 17(5), 723.
- Bowles, J.E., 1991, Sifat-sifat fisis dan geoteknis tanah. Erlangga.
- Craig, R.F., 2012, Craig's soil mechanics (8th ed.). Spon Press.
- Darcy, H., 1856, Les fontaines publiques de la ville de Dijon. V. Dalmont.
- Das, B.M., 1993, Principles of geotechnical engineering. PWS Publishing.
- Fan, J., Rowe, R.K., & Brachman, R.W.I., 2022, Compressibility and permeability of sand-silt tailings mixtures. *Canadian Geotechnical Journal*, 59(8), 1348-1357.
- Fraccica, A., Spagnoli, G., Romero, E., Arroyo, M., & Gómez, R., 2022, Permeation grouting of silt-sand mixtures. *Transportation Geotechnics*, 35, 100800.
- Hardiyatmo, H.C., 1992, Mekanika tanah I. Gramedia Pustaka Utama.
- Head, K.H., 1982, Manual of soil laboratory testing: Vol. 2. Permeability, shear strength and compressibility tests. Pentech Press.
- Holtz, R.D., Kovacs, W.D., & Sheahan, T.C., 2011, An introduction to geotechnical engineering (2nd ed.). Pearson.
- Julianto, A., Afriani, L., Iswan, I., & Putra, A.D., 2021, Pengujian permeabilitas tanah yang dipadatkan dengan metode modified proctor cubic permeameter. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 9(4), 705-716.
- Lambe, T.W., & Whitman, R.V., 1969, Soil mechanics. John Wiley & Sons.
- Ma, J., Qiu, Y., Gao, Y., An, Y., Duan, Z., & Li, S., 2023, Effects of sample preparation methods on permeability and microstructure of remolded loess. *Water*, 15(19), 3469.
- Mbarki, Y.M., Gumiere, S.J., Celicourt, P., & Brédy, J., 2023, Study of the effect of the compaction level on the hydrodynamic properties of loamy sand soil in an agricultural context. *Frontiers in Water*, 5, 1255495.
- Onyelowe, K.C., Ebid, A.M., Hanandeh, S., Moghal, A.A.B., Onuoha, I.C., Obianyo, I.I., Stephen, L.U., & Ubachukwu, O.A., 2024, The influence of fines on the hydro-mechanical behavior of sand for sustainable compacted liner and sub-base construction applications. *Asian Journal of Civil Engineering*, 25, 623-635.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., & Mesri, G., 1996, Soil mechanics in engineering practice (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Zhang, L., & Wang, J., 2023, Prediction of the soil saturated hydraulic conductivity in a mining area based on CT scanning technology. *Journal of Cleaner Production*, 383, 135364.