

JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil

Volume 9, Nomor 3, Agustus 2026

Redaksi

Ketua Dewan Editor
(Editor-in-Chief)

Ir. Andy Prabowo, Ph.D. (Universitas Tarumanagara)

Editor Pelaksana
(Executive Editors)

Dr. Ir. Arif Sandjaya, S.T., M.T. (Universitas Tarumanagara)
Lidwina Sri Ayu DR Sianturi, S.T., M.T. (Universitas Tarumanagara)

Dewan Editor
(Editorial Board)

Prof. Ir. Leksmono Suryo Putranto, M.T., Ph.D. (Universitas Tarumanagara)
Dr. Widodo Kushartomo, S.Si., M.Si. (Universitas Tarumanagara)
Dr. Ir. Daniel Christianto, S.T., M.T. (Universitas Tarumanagara)
Ir. Yenny Untari Liucius, S.T., M.T. (Universitas Tarumanagara)
Ir. Arianti Sutandi, M.Eng. (Universitas Tarumanagara)
Ir. Sunarjo Leman, M.T. (Universitas Tarumanagara)
Dr. Ir. Wati Asriningsih Pranoto, M.T. (Universitas Tarumanagara)
Erwin Lim, S.T., M.S., Ph.D. (Institut Teknologi Bandung)
Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D. (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)

Advisory International
Editorial Boards

Prof. Monty Sutrisna, Ph.D. (Massey University, New Zealand)
Prof. Buntara Sthenly Ghan, Ph.D. (Nihon University, Japan)

Mitra Bestari Nasional
(National Reviewers)

Dr. Ir. Najid, M.T. (Universitas Tarumanagara)
Dr. Ir. Henny Wiyanto, M.T. (Universitas Tarumanagara)
Ir. Oei Fuk Jin, S.T., M.Eng., D.Eng. (Universitas Tarumanagara)
Dr. Mega Waty, M.T. (Universitas Tarumanagara)
Alfred J. Susilo, S.T., M.Eng., Ph.D. (Universitas Tarumanagara)
Dr. Ir. Onnyxiforus Gondokusumo, M.Eng. (Universitas Tarumanagara)
Dr. Ida Ayu Oka Suwati Sideman, S.T., M.Sc. (Universitas Mataram)
Prof. Ir. Didi S. Agustawijaya, M.Eng., Ph.D. (Universitas Mataram)
Dr. Nurul Fajar Januriyadi (Universitas Pertamina)
Dr. Ir. Usman Wijaya, S.T., M.T. (Universitas Trisakti)
Vienti Hadsari, S.T., MCRES, Ph.D. (Universitas Atma Jaya Yogyakarta)
Ir. Andryan Suhendra, M.T. (Binus University)
Reynaldo Siahaan, S.T., M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas)
Helmy H. Tjahjanto, S.T., M.T., Ph.D. (Universitas Katholik Parahyangan)
Dr. Tilaka Wasanta, S.T., M.T. (Universitas Katholik Parahyangan)
Dr. Eng. Mia Wimala, S.T., M.T. (Universitas Katholik Parahyangan)
Anissa Noor Tadjudin, S.T., M.Sc., Ph.D. (cand) (Universitas Gadjah Mada)
Dr. Amelia Yuwono, S.T., S.Kom., M.T. (PT. Tarumanagara BumiYasa)
Dr. Ir. F.X. Supartono (PT Midasindo Teknik Utama)
Ir. Ali Iskandar, S.T., M.T. (PT. Solusi Andal Geointegra)

**Mitra Bestari
Internasional
(*International
Reviewers*)**

Prof. Bonaventura W. Hadikusumo (Asian Institute Technology, Bangkok)
Prof. Dr.-Ing. Joewono Prasetyo (University Tun Hussein Onn Malaysia)
Andri Setiawan, Ph.D. (DIC) (Universitat Politècnica de València, Spain)
Ir. Wong Widjaja, M.Sc. (WYN (South East Asia) Pte Ltd, Singapore)

**Alamat Redaksi
(*Editorial Address*)**

Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara
Alamat: Jl. Letjen S. Parman No.1, Jakarta Barat, 11440
Kampus 1 Gedung L Lantai 5
Telepon: 021-5672548 ext.331
E-mail: jmts@untar.ac.id

JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil

Volume 9, Nomor 3, Agustus 2026

Kata Pengantar

JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil (E-ISSN 2622-545X) merupakan jurnal *peer-reviewed* yang dipublikasikan oleh Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara (UNTAR) sebagai wadah peneliti, mahasiswa, dan dosen dari dalam maupun luar UNTAR untuk mempublikasikan makalah hasil penelitian dan studi ilmiah dalam bidang Teknik Sipil.

JMTS mempublikasikan artikel ilmiah pada bidang Teknik Sipil dengan sub-bidang sebagai berikut:

- Struktur
- Material Konstruksi
- Geoteknik
- Sistem dan Teknik Transportasi
- Manajemen Konstruksi
- Keairan

Tim editor JMTS menerima artikel yang berisi laporan kegiatan pengujian laboratorium/lapangan disertai simulasi numerik berbasis metode teruji yang bertujuan untuk memperoleh temuan baru, evaluasi terhadap hasil temuan eksisting, kritik terhadap metode eksisting. Luaran artikel yang diterbitkan di JMTS tidak terbatas pada hasil penelitian dari metode kuantitatif, namun juga metode kualitatif dengan pembahasan dan justifikasi yang *prudent* serta dapat diterima oleh dewan editorial.

Penerbitan JMTS dilakukan secara berkala setiap 3 bulan, yaitu pada bulan Februari, Mei, Agustus, dan November.

JMTS berhasil mendapatkan peringkat 4 (Sinta 4) akreditasi jurnal ilmiah periode 3 tahun 2025.

JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil terbitan Vol. 9 No. 3 bulan Agustus 2026 merupakan terbitan ke-33 sejak terbitan pertama pada Agustus 2018.

Penerbitan jurnal ini dapat berlangsung secara maksimal berkat kontribusi berbagai pihak. Terima kasih kepada tim editor yang telah membantu proses penerbitan dan Reviewer yang telah berkenan memberikan saran perbaikan untuk menjaga kualitas jurnal. Semoga jurnal ini dapat bermanfaat dalam pengembangan ilmu Teknik Sipil.

Salam,

Tim Redaksi Jurnal Mitra Teknik Sipil

JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil

Vol. 9 No. 3, Agustus 2026

Daftar Isi

- IDENTIFIKASI PERILAKU TIDAK AMAN PEKERJA OPERATOR ASPHALT PAVER DENGAN METODE AHP KOTA SURABAYA 623-632
Muhammad Shafiudin, Feri Harianto, dan Felicia Tria Nuciferani
<https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.35480>
- SPT-EFFECTIVE SHEAR PARAMETER CORRELATION FOR MEDIUM STIFF TO STIFF CLAY IN JAKARTA 633-642
Oei Fuk Jin, Aksan Kawanda, Ali Iskandar, Felicia Yohana dan Felicia Refalina Tantobudiono
<https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.36991>
- ANALISIS KINERJA NONLINEAR DINDING GESER BERANGKAI BETON BERTULANG DENGAN VARIASI TINGGI BANGUNAN 643-658
Shendy Saputra dan Sunarjo Leman
<https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37348>
- PENGARUH TEMPERATUR PEMBAKARAN TERHADAP SIFAT MEKANIK SCC BERPENGUAT SERAT BAJA 659-670
Louis Sutomo Limbo, Widodo Kushartomo, dan Philipus Hermawan
<https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37383>
- PENGARUH SERBUK CANGKANG TELUR NON-KALSINASI TERHADAP PLASTISITAS DAN PEMADATAN TANAH DASAR EKSPANSIF GADING SERPONG 671-682
Steve Jourdane Saputra dan Andryan Suhendra
<https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37390>
- ANALISIS FAKTOR KEAMANAN LERENG TANAH LEMPUNG AKIBAT ELEVASI MUKA AIR TANAH 683-692
Angeline Valance dan Gregorius Sandjaja Sentosa
<https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37393>
- ANALISIS HASIL UJI TRIAXIAL TANAH LANAU KELEMPUNGAN DENGAN VARIASI KADAR KAPUR DAN WAKTU PEMERAMAN 693-704
Joddie Calviano, Daniel Christianto, dan Amelia Yuwono
<https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37394>
- ANALISIS PENGARUH STABILISASI TANAH MENGGUNAKAN KAPUR TOHOR DAN WAKTU PEMERAMAN TERHADAP NILAI CBR RENDAM 705-714
Thomas Ian Zali, Daniel Christianto, dan Amelia Yuwono
<https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37396>

- | | |
|---|---------|
| ANALISIS PENGARUH REKAYASA GRADASI CAMPURAN PASIR TERHADAP KARAKTERISTIK PERMEABILITAS DAN DAYA DUKUNG MATERIAL GRANULAR
<i>Marcellino Adam, Alfred Jonathan Susilo, dan Aniek Prihatiningsih</i>
https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37401 | 715-724 |
| ANALISIS NUMERIK PENGARUH RASIO TULANGAN TERHADAP DAKTILITAS BALOK BETON BERTULANG MENGGUNAKAN LS-DYNA
<i>Christopher Ngadiman dan Sunarjo Leman</i>
https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37402 | 725-738 |
| THERMAL CONSOLIDATION OF ORGANIC CLAY: COMPARATIVE ANALYSIS OF CV VIA TAYLOR'S METHOD FOR SUSTAINABLE INFRASTRUCTURE
<i>Angelyn Julita Sing, Hendy Wijaya, dan Ali Iskandar</i>
https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37403 | 739-746 |
| ANALISIS PENGARUH GRADASI CAMPURAN PASIR–KERIKIL TERHADAP KOEFISIEN PERMEABILITAS DAN SUDUT GESER DALAM
<i>Chandra Radian Yudhayanto, Alfred Jonathan Susilo, dan Aniek Prihatiningsih</i>
https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37411 | 747-760 |
| KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-WC DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK SACHET MULTILAYER MENGGUNAKAN METODE DRY PROCESS
<i>Cindi Natalia, Lidwina Sri Ayu DR Sianturi, dan Najid</i>
https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37315 | 761-768 |
| PENGARUH SERBUK CANGKANG KEONG SEBAGAI BAHAN PENGANTI FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-WC
<i>Rivaldo Kurniawan, Lidwina Sri Ayu DR Sianturi, dan Najid</i>
https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37340 | 769-778 |
| KARAKTERISTIK KECELAKAAN LALU LINTAS PADA RUAS JALAN IR. SUTAMI KOTA BANDAR LAMPUNG
<i>Inaya Vidiadari, Hokbyan R.S Angkat, dan Najid</i>
https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37345 | 779-786 |
| KARAKTERISTIK PERJALANAN PENUMPANG LRT JABODEBEK RUTE HARJAMUKTI–DUKUH ATAS PADA PERIODE JAM SIBUK
<i>Alifia Cahyaningtias, Hokbyan R.S Angkat, dan Najid</i>
https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37349 | 787-800 |
| DESAIN MODULAR PRACETAK PADA REKONSTRUKSI PERKERASAN KAKU JALAN TOL TANGERANG–MERAK
<i>Agus Budiyanto, Sunarjo Leman, dan Andy Prabowo Pho</i>
https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.34570 | 801-812 |
| STUDI OVERSTRENGTH BETON MUTU FC 65 MPA PENAMBAHAN MATERIAL AKIBAT KADAR AIR AGREGAT
<i>David Wibowo, R. Basuki Anondho, Widodo Kushartomo, dan Arianti Sutandi</i>
https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37384 | 813-822 |

ANALISIS PENYEBAB <i>COST OVERRUN</i> BERDASARKAN PERBANDINGAN RAB DAN RAP PADA LIMA PROYEK GEDUNG <i>Ahmad Septian Dewanto dan Mega Waty</i> https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37387	823-830
ANALISIS METODE <i>IMPORTANCE PERFORMANCE ANALYSIS</i> PADA PELAYANAN DAN FASILITAS DI DALAM BUS TRANSJAKARTA KORIDOR S11 <i>Alexander Christopher Sukardi dan Leksmono Suryo Putranto</i> https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37392	831-840
ANALISIS KAPASITAS SISTEM DRAINASE EKSISTING DALAM PENGENDALIAN BANJIR DI PERUMAHAN PENGAIRAN PESING KONENG <i>Jason Tabaraka dan Wati Asriningsih Pranoto</i> https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37398	841-852
STUDI KINERJA OPERASIONAL BENDUNG KATULAMPA SEBAGAI SISTEM PERINGATAN DINI BANJIR SUNGAI CILIWUNG <i>Shane Sebastian dan Wati Asriningsih Pranoto</i> https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37399	853-862
PENGARUH INTEGRASI <i>MASS RAPID TRANSIT</i> DAN TRANSJAKARTA DALAM Mendukung Transportasi Publik Terintegrasi di DKI Jakarta <i>Keanu Isaac Winoko dan Leksmono Suryo Putranto</i> https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37397	863-872
ANALISIS KESESUAIAN INSTALASI CONCRETE LEVEL CROSSING PADA PERLINTASAN KERETA API SEBIDANG <i>Gilbert Matthew dan Leksmono Suryo Putranto</i> https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37364	873-880
ANALISIS <i>CRITICAL SUCCESS FACTORS</i> PADA PERUSAHAAN KONTRAKTOR BANGUNAN GEDUNG DI INDONESIA <i>Jonathan Setiadi Pratjojo dan Arianti Sutandi</i> https://doi.org/10.24912/jmts.v9i3.37389	881-890

ANALISIS PENGARUH REKAYASA GRADASI CAMPURAN PASIR TERHADAP KARAKTERISTIK PERMEABILITAS DAN DAYA DUKUNG MATERIAL GRANULAR

Marcellino Adam¹, Alfred Jonathan Susilo¹, dan Aniek Prihatiningsih^{1*}

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, JL. Letnan S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
*alfred@ft.untar.ac.id

Masuk: 29-05-2026, revisi: 06-07-2026, diterima untuk diterbitkan: 31-07-2026

ABSTRACT

Permeability and bearing capacity are key parameters in geotechnical engineering that are strongly influenced by grain gradation, particle morphology, and the arrangement of granular materials. This study aims to investigate the effect of engineered sand gradation on the permeability and bearing capacity characteristics of granular materials through theoretical and experimental approaches. The materials consisted of Bali Sand, Cibeet Sand, and Serayu Sand, which were combined using mixture theory to produce different gradation configurations. Material characterization included specific gravity testing, sieve analysis, particle morphology observation, and laboratory permeability testing. The measured permeability coefficients were subsequently compared with theoretical predictions obtained from the Hazen and Chapuis equations. Furthermore, the relationship between permeability and bearing capacity was evaluated through empirical correlations with the California Bearing Ratio (CBR) and estimated N-SPT values, followed by verification using direct shear testing based on the internal friction angle. The results demonstrate that engineered gradation producing denser particle arrangements through a void filling mechanism effectively reduces permeability while improving the mechanical performance of granular materials. These findings indicate that engineered sand gradation is a promising approach for enhancing granular material performance in geotechnical applications and contributes to the achievement of Sustainable Development Goal (SDG) 9 by promoting more efficient and sustainable construction materials.

Keywords: engineered gradation, permeability, granular materials, mixture theory, California Bearing Ratio (CBR), direct shear test

ABSTRAK

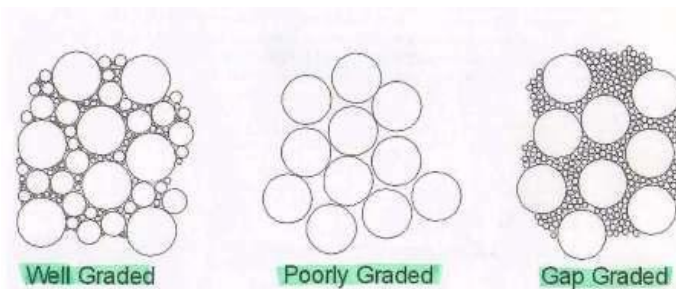
Permeabilitas dan daya dukung merupakan parameter penting dalam rekayasa geoteknik yang dipengaruhi oleh gradasi, morfologi butiran, dan susunan material granular. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh rekayasa gradasi campuran pasir terhadap karakteristik permeabilitas dan daya dukung material granular melalui pendekatan teoritis dan eksperimental. Material yang digunakan terdiri atas Pasir Bali, Pasir Cibeet, dan Pasir Serayu yang dikombinasikan menggunakan *mixture theory* untuk memperoleh variasi gradasi yang berbeda. Karakterisasi material dilakukan melalui pengujian *specific gravity*, *sieve analysis*, pengamatan morfologi butiran, dan uji permeabilitas laboratorium. Nilai koefisien permeabilitas hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis menggunakan persamaan Hazen dan Chapuis. Selanjutnya, hubungan antara permeabilitas dan daya dukung dianalisis melalui korelasi empiris terhadap nilai *California Bearing Ratio* (CBR) dan estimasi N-SPT, kemudian diverifikasi menggunakan pengujian *direct shear* berdasarkan nilai sudut geser dalam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rekayasa gradasi yang menghasilkan susunan butiran lebih rapat melalui mekanisme *void filling* mampu menurunkan permeabilitas sekaligus meningkatkan karakteristik mekanik material. Temuan ini menunjukkan bahwa rekayasa gradasi campuran pasir merupakan pendekatan yang efektif dalam meningkatkan kinerja material granular untuk aplikasi geoteknik serta mendukung pencapaian Sustainable Development Goal (SDG) 9 melalui pengembangan material konstruksi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Kata kunci: rekayasa gradasi, permeabilitas, material granular, *mixture theory*, CBR, *direct shear*

1. PENDAHULUAN

Dalam ilmu geoteknik dan mekanika tanah satu parameter sifat tanah yang penting adalah permeabilitas, yaitu kemampuan suatu jenis tanah dalam meloloskan air melalui rongga antar butiran (Zamara, 2022). Nilai permeabilitas sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti ukuran butiran, gradasi tanah, angka pori, dan susunan partikel tanah. Pada tanah dengan jenis butiran kasar seperti pasir, nilai permeabilitas umumnya cenderung tinggi karena memiliki rongga antarbutiran yang cukup besar sehingga air dapat mengalir dengan mudah (Prihatiningsih et al., 2025).

Selain permeabilitas, *California Bearing Ratio* (CBR) adalah parameter yang juga tidak kalah berperan penting dalam ilmu geoteknik. Nilai CBR digunakan untuk mengetahui seberapa jauh kemampuan suatu tanah atau material ketika diberikan beban, yang biasanya sangat berkaitan dengan konstruksi perkerasan jalan. Nilai CBR sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanah, kepadatan tanah, kadar air, hingga distribusi ukuran butiran (Hardiyatmo, 2002). Material dengan susunan butiran yang lebih rapat umumnya memiliki nilai CBR yang lebih tinggi karena memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap penetrasi beban. Karakteristik gradasi butiran memiliki pengaruh terhadap permeabilitas dan nilai CBR suatu material. Material dengan gradasi baik (*well graded*) memiliki distribusi ukuran butiran yang beragam sehingga butiran halus dapat mengisi rongga di antara butiran kasar, gambarannya dapat dilihat pada Gambar 1. Kondisi tersebut menyebabkan rongga antarbutiran menjadi lebih kecil sehingga aliran air lebih terhambat dan nilai permeabilitas menurun (Kaothon et al., 2022). Di sisi lain, susunan butiran yang lebih rapat juga dapat meningkatkan kepadatan material sehingga nilai CBR cenderung meningkat.



Gambar 1. Karakter gradasi butiran campuran (Building research Institute (P) Ltd., 2026)

Dalam proses analisa jenis gradasi butiran umumnya parameter yang digunakan adalah diameter butiran efektif D_{10} , D_{30} , dan D_{60} , serta koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c) yang didapatkan dari pengujian *Sieve Analysis*. Parameter tersebut digunakan untuk mengetahui karakteristik distribusi ukuran butiran dan hubungannya terhadap perilaku material (Ma et al., 2023). Dalam penelitian ini, analisis gradasi digunakan untuk mengevaluasi hubungan karakteristik material pasir terhadap nilai permeabilitas dan nilai CBR. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh gradasi butiran terhadap nilai permeabilitas dan nilai CBR pada material pasir. Pengujian dilakukan di laboratorium dengan menggunakan beberapa jenis pasir yang memiliki karakteristik gradasi berbeda. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi nilai D_{10} , D_{30} , D_{60} , koefisien keseragaman (C_u), koefisien gradasi (C_c), nilai permeabilitas, dan nilai CBR.

Rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi bagaimana pengaruh gradasi butiran terhadap nilai permeabilitas material pasir, bagaimana pengaruh gradasi butiran terhadap nilai CBR, serta bagaimana hubungan antara nilai permeabilitas dan nilai CBR pada material pasir. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh gradasi butiran terhadap permeabilitas dan nilai CBR serta mengetahui hubungan antara kedua parameter tersebut berdasarkan hasil pengujian laboratorium. Hasil dari penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik material pasir yang memiliki permeabilitas rendah dan mendapatkan korelasi nilai K permeabilitas terhadap nilai CBR dari sampel yang diuji.

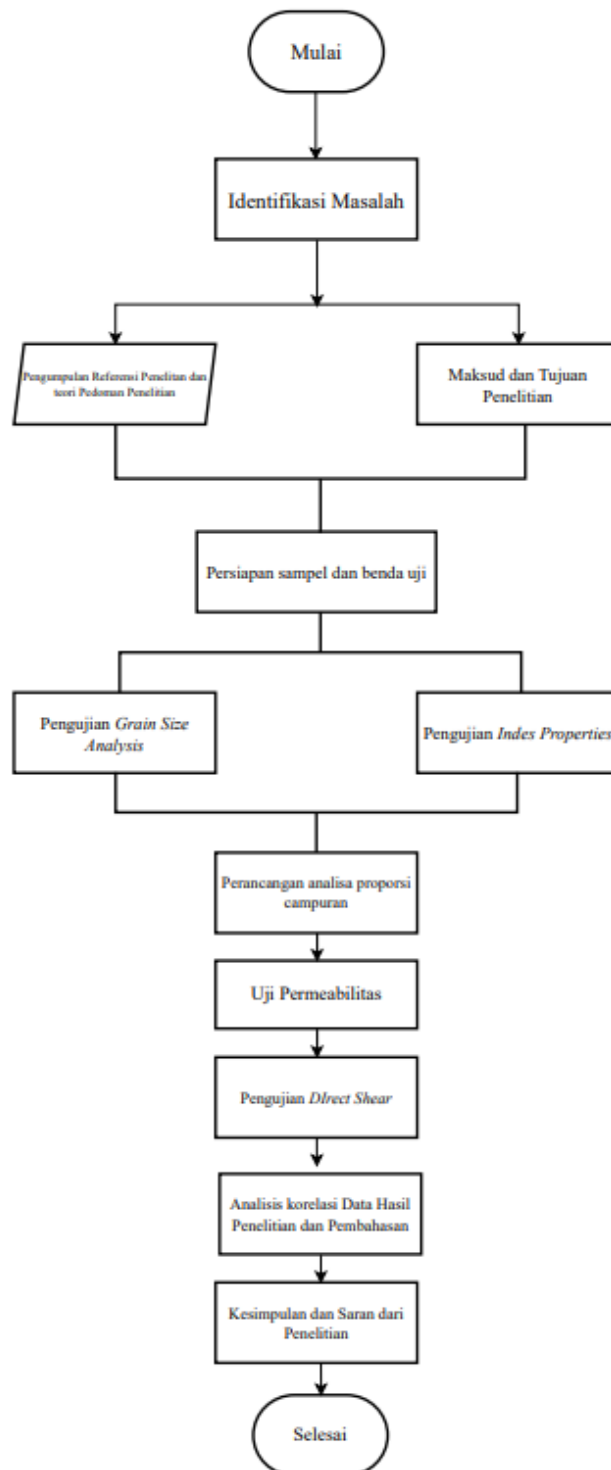
2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan melakukan pengujian terhadap beberapa jenis pasir yang memiliki karakteristik ukuran dan gradasi berbeda untuk menganalisis pengaruh gradasi butiran terhadap nilai permeabilitas dan hubungannya terhadap nilai *California Bearing Ratio* (CBR). Pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Tarumanagara.

Penelitian dimulai dengan pengambilan dan persiapan sampel pasir dari beberapa lokasi berbeda, yaitu Pasir Cibeet, Pasir Bali, dan Pasir Serayu. Selanjutnya dilakukan pengujian sifat fisik dan karakteristik butiran pasir melalui pengujian *Index Properties* dan *Grain Size Analysis*. Hasil analisis gradasi digunakan untuk menentukan parameter D_{10} , D_{30} , D_{60} , koefisien keseragaman (C_u), dan koefisien gradasi (C_c).

Setelah karakteristik masing-masing pasir diketahui, dilakukan rekayasa campuran pasir berdasarkan pendekatan *mixture theory* dengan beberapa variasi proporsi campuran dengan tujuan untuk memperoleh karakteristik susunan gradasi yang lebih rapat (Lu et al., 2024). Sampel pasir dengan gradasi butiran yang lebih halus diharapkan menjadi pendukung atau berperan sebagai *void filling mechanism* yang berperan signifikan dalam menurunkan nilai permeabilitas dalam campuran. Campuran tersebut kemudian diuji menggunakan metode untuk memperoleh nilai koefisien permeabilitas (k). Selain itu dilakukan korelasi terhadap nilai CBR untuk mengetahui daya dukung material hasil campuran. Data hasil korelasi kemudian dianalisis untuk mengetahui hubungan antara gradasi butiran, nilai

permeabilitas, dan nilai CBR pada material pasir. Kemudian dilakukan pengujian *direct shear* sebagai bentuk korelasi dan pembuktian terhadap hasil hubungan antara apermabilitas dan CBR. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Persiapan Sampel Pengujian

Persiapan sampel dilakukan dengan mengeringkan dan membersihkan pasir dari kotoran yang dapat memengaruhi hasil pengujian. Setelah itu, sampel disiapkan sesuai kebutuhan pengujian dan dibuat beberapa variasi campuran berdasarkan proporsi tertentu dari masing-masing jenis pasir. Variasi campuran ini dirancang untuk menghasilkan gradasi butiran yang berbeda sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap nilai permeabilitas. Setiap campuran diaduk hingga homogen sebelum dilakukan pengujian. Perencanaan campuran bertujuan untuk memperoleh kombinasi pasir yang menghasilkan susunan butiran lebih rapat, nilai permeabilitas yang lebih rendah, serta karakteristik gradasi yang paling optimum. Sampel pasir yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada gambar 3, 4, dan 5. Serta perencanaan campuran sampel dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Pasir Bali



Gambar 4. Pasir Cibeet



Gambar 5. Pasir Serayu

Tabel 1. Perencanaan campuran sampel pengujian Permeabilitas *Constant Head*

Variasi	Pasir Kasar-Sedang (%) (Pasir Bali)	Pasir Sedang (%) (Pasir Cibeet)	Pasir sedang- halus (%) (Pasir Serayu)
V1	15	35	50
V2	20	40	40
V3	30	35	35

Pengujian *Index Properties*

Pengujian index properties dilakukan untuk mengetahui karakteristik dasar material pasir yang digunakan dalam penelitian. Parameter yang diuji meliputi berat jenis butiran (*specific gravity*/Gs) menggunakan metode piknometer. Nilai berat jenis digunakan sebagai parameter awal untuk mengidentifikasi sifat fisik material serta sebagai data pendukung dalam analisis hubungan karakteristik butiran terhadap permeabilitas. (ASTM International, 2023) Nilai Gs dari sampel yang diuji dapat dihitung nilainya menggunakan rumus pada persamaan 1.

$$G_s = \frac{w_2 - w_1}{(w_2 - w_1) + (w_4 - w_3)} \quad (1)$$

Pengujian *Sieve Analysis*

Pengujian *sieve analysis* dilakukan untuk mengetahui dan menganalisa karakteristik dari distribusi ukuran butiran pada masing-masing sampel pasir dan campuran. Pengujian dilakukan dengan menyaring sampel melalui susunan saringan standar ASTM D6913 sehingga diperoleh persentase lolos dan tertahan pada setiap ukuran saringan. Hasil pengujian kemudian digunakan untuk menyusun kurva distribusi ukuran butiran dan menentukan parameter gradasi seperti D_{10} , D_{30} , D_{60} , koefisien keseragaman (Cu), dan koefisien gradasi (Cc) (ASTM International, 2017). Data tersebut digunakan untuk menganalisis pengaruh karakteristik butiran terhadap nilai permeabilitas campuran pasir menggunakan persamaan 2 dan 3.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2)$$

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10}D_{60}} \quad (3)$$

Pengujian *Constant Head Permeability*

Pengujian permeabilitas dilakukan menggunakan metode *Constant Head* untuk menentukan koefisien permeabilitas (k) pada masing-masing sampel dan variasi campuran pasir. Pengujian dengan metode ini dipilih karena sesuai untuk jenis sampel yang merupakan tanah berbutir seperti pasir yang memiliki kemampuan meloloskan air relatif tinggi (Tamimi & Yuwono, 2025). Pengujian dilakukan dengan mengalirkan air melalui sampel pada kondisi tinggi muka air yang konstan. Data waktu debit aliran, panjang sampel, luas penampang, dan perbedaan tinggi hidrolik digunakan untuk menghitung nilai permeabilitas (ASTM International, 2017). Ketentuan jenis dan klasifikasi karakteristik butiran berdasarkan nilai K permeabilitas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Permeabilitas Tanah (Holtz et al., 2022)

Jenis Tanah	Koefisien Permeabilitas (k) (m/s)	Klasifikasi Permeabilitas
Kerikil (<i>gravel</i>)	10^{-1} - 10^{-3}	Sangat tinggi
Pasir Kasar	10^{-3} - 10^{-4}	Tinggi
Pasir Sedang	10^{-4} - 10^{-5}	Sedang
Pasir Halus	10^{-5} - 10^{-6}	Agak rendah
Lanau (<i>silt</i>)	10^{-5} - 10^{-7}	Rendah
Lempung (<i>clay</i>)	10^{-7} - 10^{-9}	Sangat rendah
Lempung sangat plastis	$< 10^{-9}$	Hampir kedap

Korelasi terhadap nilai *California Bearing Ratio* (CBR)

Penentuan nilai CBR pada penelitian ini dilakukan secara empiris berdasarkan parameter ukuran butiran efektif yang diperoleh dari hasil pengujian sieve analysis. Pendekatan nilai CBR dihitung menggunakan persamaan empiris berdasarkan nilai D_{60} (Rehman et al., 2017). Persamaan empiris yang digunakan terlampir apd apersamaan 4

$$CBR = 28,09 \times D_{60}^{0.358} \quad (4)$$

Di mana D_{60} merupakan ukuran butiran yang menunjukkan 60% material lolos pada kurva distribusi ukuran butiran. Setelah nilai CBR diperoleh, dilakukan analisis korelasi antara nilai CBR dan koefisien permeabilitas (k) hasil pengujian Constant Head. Korelasi ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara karakteristik gradasi butiran, kemampuan tanah dalam meloloskan air, dan potensi daya dukung tanah. Hasil analisis kemudian digunakan untuk mengidentifikasi campuran pasir yang memiliki nilai permeabilitas rendah dan nilai CBR yang relatif tinggi sebagai campuran yang paling optimum.

Korelasi terhadap nilai sudut geser dalam berdasarkan pengujian *Direct Shear*

Untuk memverifikasi hasil korelasi empiris antara permeabilitas dan nilai CBR, dilakukan pengujian *direct shear* pada variasi campuran yang telah diuji. Pengujian ini bertujuan memperoleh parameter kuat geser berupa sudut geser dalam (ϕ) sebagai representasi perilaku mekanik material granular. Secara konsep, nilai CBR dan sudut geser dalam dipengaruhi oleh faktor yang sama, yaitu gradasi butiran, kepadatan, dan mekanisme *interlocking* antarpartikel. Oleh karena itu, apabila hasil korelasi menunjukkan peningkatan nilai CBR akibat penurunan permeabilitas, maka kecenderungan tersebut seharusnya diikuti oleh peningkatan nilai sudut geser dalam hasil pengujian *direct shear*. Keselarasan tren antara nilai permeabilitas, CBR, dan sudut geser dalam menunjukkan bahwa perbaikan gradasi melalui rekayasa campuran tidak hanya meningkatkan karakteristik hidrolik dengan menurunkan kemampuan material meloloskan air, tetapi juga meningkatkan karakteristik mekanik material. Dengan demikian, pengujian *direct shear* pada penelitian ini berfungsi sebagai verifikasi eksperimental terhadap hasil korelasi empiris, sehingga hubungan antara permeabilitas dan CBR tidak hanya didukung oleh pendekatan teoritis, tetapi juga memiliki dasar mekanika tanah yang konsisten.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian sampel Campuran Pasir

Berdasarkan hasil pengujian *Index Properties* dengan metode piknometer, dapat diperoleh nilai *specific gravity* / G_s dari setiap sampel campuran, dimana nilai G_s akan digunakan sebagai parameter dalam menghitung nilai K . Nilai G_s dari sampel dapat dilihat pada Tabel 3.

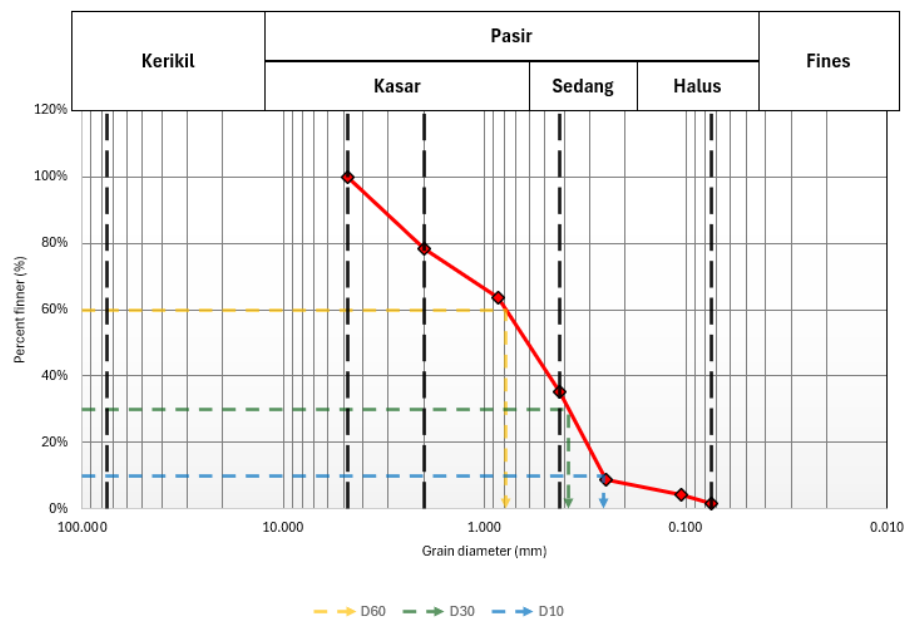
Tabel 3. Hasil Uji *Index Properties*

No.	Sampel	Gs			Average Gs
		1	2	3	
1	Campuran 1	2,68	2,64	2,67	2,66
2	Campuran 2	2,69	2,65	2,64	2,65
3	Campuran 3	2,63	2,69	2,71	2,67

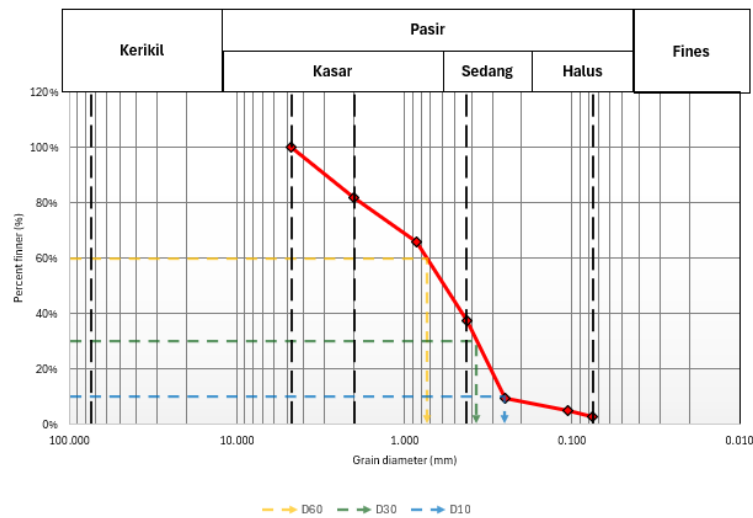
Melalui pengujian *Sieve Analysis*, dapat diperoleh parameter D_{10} , D_{30} , D_{60} , koefisien keseragaman (Cu), dan koefisien gradasi (Cc), parameter D_{60} akan digunakan untuk menghitung prediksi nilai CBR sampel melalui persamaan empiris, sedangkan koefisien keseragaman (Cu) dan koefisien gradasi (Cc) akan digunakan untuk menentukan kategori kualitas gradasi butiran. Hasil pengujian, parameter, dan grafik *sieve analysis* terlampir pada Tabel 4 dan Gambar 6, 7, dan 8.

Tabel 4. Hasil Uji *Sieve Analysis*

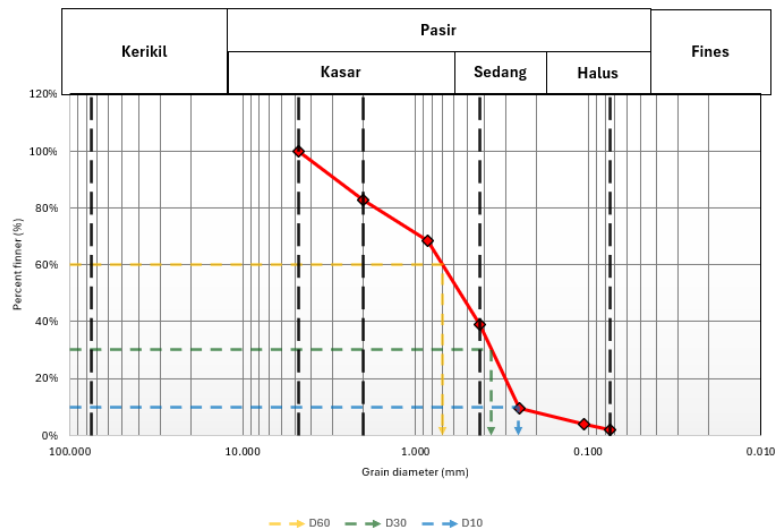
	Percentage (%)				
	D_{10}	D_{30}	D_{60}	Cu	Cc
Campuran 1	0,2559	0,3818	0,7804	3,0496	0,7299
Campuran 2	0,2571	0,3902	0,8494	3,3038	0,6971
Campuran 3	0,2571	0,3687	0,7166	2,7686	0,7378



Gambar 6. Grafik *Sieve Analysis* Campuran 1



Gambar 7. Grafik *Sieve Analysis* Campuran 2



Gambar 8. Grafik *Sieve Analysis* Campuran 3

Berdasarkan pengujian *Permeability Constant Head*, akan diperoleh nilai K permeabilitas yang kemudian sampel dapat dikategorikan karakteristik jenis permeabilitasnya berdasarkan nilai K. Hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian *Mixture Permeability Constant Head*

Variasi Campuran	Nilai K (Permeabilitas)	Kategori Permeabilitas
Campuran 1	0,0112	15
Campuran 2	0,0028	20
Campuran 3	0,0002	30

Berdasarkan hasil pengujian permeabilitas, campuran 3 yang terdiri dari 15% Pasir Bali, 35 % Pasir Cibeet, dan 50% Pasir Serayu menunjukkan nilai permeabilitas paling kecil, dengan nilai K sebesar 0.0002 cm/s. Campuran 1 dengan komposisi dari 20% Pasir Bali, 40 % Pasir Cibeet, dan 40% Pasir Serayu menunjukkan angka K permeabilitas yang lebih besar dibanding campuran 3 yaitu sebesar 0.0028 cm/s, sedangkan campuran 1 memiliki nilai K permeabilitas yang paling besar yaitu sebesar 0.0112 cm/s. Dapat dianalisa bahwa Campuran 3 dapat menghasilkan nilai permeabilitas yang paling kecil, hal ini disebabkan dari karakteristik susunan gradasi butiran halus pada campuran 3

jauh lebih besar daripada campuran 1 dan 2, hal ini membuktikan pentingnya peran dari pasir bergradasi butiran halus dalam campuran sebagai *void filling mechanism* yang dapat menurunkan nilai permeabilitas secara signifikan.

Setelah didapat parameter diameter butiran efektif khususnya D_{60} dari *sieve analysis*, dan juga nilai K permeabilitas dari pengujian permeabilitas metode *constant head*, dihitung nilai prediksi CBR dari sampel pengujian menggunakan persamaan empiris, dimana nilai korelasi CBR terhadap butiran efektif dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Korelasi nilai CBR dengan persamaan empiris

Variasi Campuran	Nilai k (Permeabilitas)	D_{60}	CBR
Campuran 1	0,0112	0,7804	25,7041
Campuran 2	0,0028	0,8494	26,4956
Campuran 3	0,0002	0,7166	24,9311

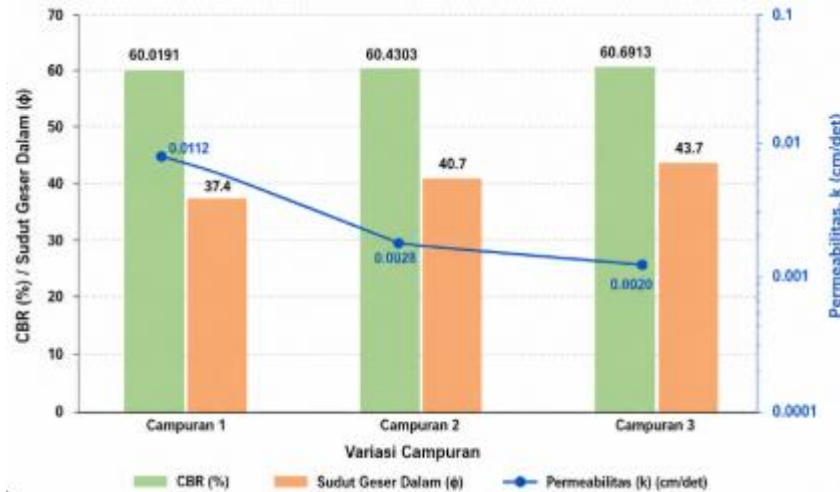
Hasil perhitungan menunjukkan bahwa variasi nilai D_{60} berpengaruh terhadap nilai CBR yang diperoleh. Pada variasi campuran 2, nilai D_{60} sebesar 0,8494 mm menghasilkan nilai CBR tertinggi yaitu 26,4956%, sedangkan campuran 3 memiliki nilai D_{60} sebesar 0,7166 mm dengan nilai CBR terendah yaitu 24,9311%. Sementara itu, campuran 1 dengan nilai D_{60} sebesar 0,7804 mm menghasilkan nilai CBR sebesar 25,7041%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin besar nilai D_{60} , maka nilai CBR cenderung meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa ukuran butiran yang lebih besar memberikan kontribusi terhadap peningkatan daya dukung material karena mampu membentuk struktur granular yang lebih stabil dalam menerima beban. Di sisi lain jika nilai CBR dikorelasikan dengan hasil pengujian permeabilitas, diperoleh kecenderungan yang berbeda. Variasi campuran 2 memiliki nilai D_{60} terbesar dan CBR tertinggi, namun nilai permeabilitasnya sebesar 0,0028 cm/s. Di sisi lain, campuran 3 memiliki nilai permeabilitas paling rendah yaitu 0,0002 cm/s, tetapi nilai CBR yang diperoleh justru paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pada penelitian ini hubungan antara permeabilitas dan CBR tidak sepenuhnya berbanding terbalik. Nilai CBR lebih dipengaruhi oleh besarnya nilai D_{60} yang digunakan dalam persamaan empiris, sedangkan nilai permeabilitas dipengaruhi oleh keseluruhan distribusi ukuran butiran dan susunan rongga dalam campuran pasir.

Perbandingan Hasil pengujian terhadap hasil pengujian *Direct Shear*

Sebagai pembuktian tambahan terhadap hubungan antara permeabilitas, CBR, dan N-SPT, dilakukan pengujian *direct shear* pada setiap variasi campuran. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh parameter kuat geser material yang berfokus pada perolehan sudut geser dalam (ϕ) yang dapat digunakan sebagai verifikasi mekanis terhadap hasil korelasi empiris. Peningkatan kuat geser yang ditunjukkan oleh nilai ϕ yang dimana hasil pengujian menunjukan sejalan dengan penurunan permeabilitas dan peningkatan daya dukung material, sehingga korelasi yang diperoleh tidak hanya didasarkan pada pendekatan statistik, tetapi juga didukung oleh perilaku fisik material granular. Perbandingan hasil pengujian dan grafik perbandingan dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 9.

Tabel 7. Perbandingan hasil pengujian k lab dan nilai CBR terhadap nilai sudut geser dalam

Jenis Sampel	D_{10}	D_{60}	k Lab (cm/det)	CBR (%)	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Campuran 1	0,2556	0,7799	0,0112	60,0191	37,4
Campuran 2	0,254	0,7411	0,0028	60,4303	40,7
Campuran 3	0,2571	0,7166	0,0020	60,6913	43,7



Gambar 9. Grafik perbandingan parameter hasil pengujian

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai ϕ meningkat dari $37,4^\circ$ pada Campuran 1 menjadi $43,7^\circ$ pada Campuran 3, sejalan dengan penurunan permeabilitas dan kenaikan nilai CBR. Kecenderungan ini membuktikan bahwa peningkatan daya dukung yang diprediksi melalui parameter CBR benar-benar diikuti oleh peningkatan kuat geser material yang terukur secara langsung di laboratorium. Dengan kata lain, parameter hidraulik (k), parameter empiris (CBR), dan parameter mekanik ϕ menunjukkan hubungan yang konsisten dan saling mendukung. Hal ini juga turut menjelaskan menegaskan pentingnya peran fraksi halus dalam campuran granular. Selain berfungsi mengurangi ukuran pori dan menurunkan permeabilitas, fraksi halus meningkatkan kepadatan susunan partikel dan memperkuat mekanisme interlocking antar butiran. Akibatnya, tahanan terhadap deformasi geser meningkat dan menghasilkan nilai sudut geser dalam yang lebih besar. Oleh karena itu, hasil pengujian *direct shear* dapat dijadikan sebagai pembuktian bahwa korelasi empiris antara ukuran butiran efektif, permeabilitas, dan CBR pada penelitian ini tidak hanya bersifat statistik, tetapi juga memiliki dasar mekanis yang kuat dan sejalan dengan perilaku fisik material granular yang diuji.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Rekayasa gradasi campuran pasir menggunakan pendekatan *mixture theory* menghasilkan karakteristik gradasi yang berbeda pada setiap variasi campuran. Perbedaan distribusi ukuran butir, morfologi partikel, dan proporsi fraksi halus memengaruhi mekanisme *void filling*, sehingga menghasilkan susunan butiran yang lebih rapat dan memengaruhi karakteristik hidraulik maupun geoteknik material granular.
- Hasil pengujian permeabilitas menunjukkan bahwa Campuran 3 memiliki nilai koefisien permeabilitas paling rendah sebesar 0,0020 cm/det, diikuti Campuran 2 sebesar 0,0028 cm/det, dan Campuran 1 sebesar 0,0112 cm/det. Penurunan permeabilitas terjadi akibat meningkatnya proporsi fraksi halus yang mampu mengisi rongga antarbutir, sehingga jalur aliran air menjadi lebih terbatas. Hasil perhitungan teoritis menggunakan metode Hazen dan Chapuis menunjukkan kecenderungan yang sejalan dengan hasil pengujian laboratorium, meskipun terdapat perbedaan nilai akibat asumsi dan keterbatasan masing-masing persamaan empiris.
- Korelasi empiris menunjukkan bahwa penurunan nilai permeabilitas diikuti oleh peningkatan nilai CBR dari 60,02% menjadi 60,69%, serta estimasi nilai N-SPT dari 30,01 menjadi 30,35. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rekayasa gradasi yang menghasilkan struktur butiran lebih rapat tidak hanya memperbaiki karakteristik hidraulik, tetapi juga meningkatkan potensi daya dukung material granular.
- Hasil pengujian *direct shear* menunjukkan peningkatan sudut geser dalam dari $37,4^\circ$ pada Campuran 1 menjadi $43,7^\circ$ pada Campuran 3. Kecenderungan ini sejalan dengan peningkatan nilai CBR hasil korelasi empiris, sehingga memberikan verifikasi bahwa perbaikan gradasi dan peningkatan *interlocking* antarbutir berkontribusi terhadap peningkatan karakteristik mekanik material. Dengan demikian, Campuran 3 merupakan komposisi yang paling optimum karena mampu menghasilkan permeabilitas paling rendah sekaligus menunjukkan karakteristik geoteknik yang lebih baik dibandingkan variasi campuran lainnya.

Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, dapat diperoleh beberapa saran penelitian sebagai berikut:

- Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan jumlah variasi campuran yang lebih banyak sehingga hubungan antara karakteristik gradasi butiran, nilai permeabilitas, dan nilai CBR dapat dianalisis dengan lebih detail.
- Pengujian CBR sebaiknya dilakukan secara langsung di laboratorium agar hasil yang diperoleh dapat dibandingkan dengan nilai CBR hasil perhitungan empiris berdasarkan parameter D60.
- Penelitian berikutnya dapat menambahkan analisis terhadap jenis sampel dengan fokus terhadap karakteristik bentuk butiran dari sampel pengujian, untuk mengetahui bagaimana karakteristik permeabilitas dan CBR dari campuran sampel pasir berdasarkan bentuk butiran tertentu dalam sebuah campuran

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2017). ASTM D2434–68: Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head). ASTM International.
- ASTM International. (2017). ASTM D2487-17: *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. ASTM International.
- ASTM International. (2017). ASTM D6913/D6913M *Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*. ASTM International.
- ASTM International. (2023). ASTM D854-23: *Standard test methods for specific gravity of soil solids by the water displacement method*. ASTM International.
- Building research Institute (P) Ltd. (2026, May 25). *Building Research. Gradation of Coarse Aggregates*: <https://www.buildingresearch.com.np/services/ct/ct6.php#gradation>
- Hardiyatmo, C. H. (2002). *Mekanika Tanah I*. Gadjah Mada University Press. <https://doi.org/ISBN 979-420 504-4>
- Holtz, R., Kovacs, W., & Sheahan, T. (2022). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Pearson. <https://doi.org/ISBN-13: 9780137604388>
- Kaathon, P., Lee, S.-H., Choi, Y.-T., & Yune, C.-Y. (2022). The effect of fines content on compressional behavior when using sand–kaolinite mixtures as embankment materials. *Applied Sciences*, 12(6550), 3-4. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app12126050>
- Lu, C., Li, L., Xu, J., Zhao, H., & Mingyue, C. (2024). Research on the critical value of sand permeability particle size and its permeability law after mixing. *Water*, 3(16), 393. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w16030393>
- 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(3469), 4-5. <https://doi.org/10.3390/w15193469>
- Prihatiningsih, A., Pranoto, A. W., & Yuwono, A. (2025). Analysis of sand grain characteristics and permeability using hazen formula and laboratory test. *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi*, 7(2), 250-251. <https://doi.org/225/E/KPT/2022>
- Rehman, Z. U., Khalid, U., Farooq, K., & Mujtaba, H. (2017). Prediction of CBR value from index properties of different soils. *Technical Journal, University of Engineering and Technology (UET) Taxila, Pakistan*, 22(2), 18-20.
- Tamimi, A. C., & Yuwono, A. (2025). Analisis pengaruh bentuk butiran pasir pada pengujian permeabilitas campuran tanah BSD Metode Constant Head. *JMTS: Jurna Mitra Teknik Sipil*, 8(4), 1151. <https://doi.org/https://doi.org/10.24912/jmts.v8i4.34231>
- Zamara, K. (2022, November 17). *Tensar International : Soil Permeability: Definition, Tests, and Formulae*. *Tensar International*: <https://www.tensarinternational.com/resources/articles/the-permeability-of-soils-explained>