

Kajian Eksperimental Daya Dukung Tanah Pasir Berdasarkan Variasi Ukuran Butiran Partikel Terhadap Penurunan

Experimental Study of the Bearing Capacity of Sandy Soil Based on Variations in Particle Size Against Subsidence

Fitridawati Soehardi^{1,2}, Abdul Hakam¹, Rendy Thamrin¹, Mas Mera¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lancang Kuning, Pekanbaru, Indonesia

Article Info

Article history:

Received 24, Januari, 2025

Revised 18, Maret, 2025

Accepted 28, Maret, 2025

Kata Kunci

Daya dukung

Pasir

Penurunan

Ukuran butiran partikel

Abstrak

Kinerja daya dukung tanah pasir sangat dipengaruhi oleh karakteristik ukuran dan distribusi butiran partikel. Pemahaman terhadap hubungan ini penting untuk menjamin kestabilan pondasi bangunan, khususnya di daerah dengan dominasi tanah berpasir. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara eksperimental pengaruh variasi ukuran butiran pasir terhadap daya dukung dan penurunan pondasi. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental di laboratorium. Pengujian dilakukan terhadap tiga konfigurasi tanah, yaitu konfigurasi 1 (pasir kasar), konfigurasi 2 (pasir sedang), dan konfigurasi 3 (pasir halus), menggunakan metode pembebanan bertahap dengan pencatatan beban dan penurunan pada interval tertentu untuk mengevaluasi perubahan kapasitas daya dukung dan tingkat penurunan tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban–penurunan, dan daya dukung ultimit–penurunan, diperoleh bahwa konfigurasi 1 (pasir kasar) menunjukkan performa terbaik dengan nilai tegangan, beban, dan daya dukung ultimit tertinggi serta ketahanan terhadap deformasi yang lebih baik. Hal ini disebabkan oleh kuatnya mekanisme *interlocking* antar butiran kasar yang meningkatkan kekuatan geser internal tanah. Konfigurasi 2 (pasir sedang) menunjukkan kapasitas dukung tanah yang sedang dengan perilaku transisi antara pasir kasar dan pasir halus, sedangkan konfigurasi 3 (pasir halus) memiliki daya dukung paling rendah dan mengalami penurunan lebih cepat saat diberikan beban. Kesimpulan yang diperoleh yaitu semakin kasar ukuran butiran pasir dan semakin bersudut bentuk partikelnya maka semakin besar daya dukung dan ketahanan terhadap deformasi tanah. Sebaliknya, pasir halus dengan bentuk butiran membulat menunjukkan kecenderungan mengalami penurunan lebih cepat di bawah beban. Temuan ini menegaskan pentingnya mempertimbangkan karakteristik fisik tanah dalam desain pondasi untuk meningkatkan kestabilan dan keamanan struktur.

Abstract

The bearing capacity performance of sandy soil is significantly influenced by the characteristics of particle size and distribution. Understanding this relationship is crucial to ensuring the stability of building foundations, especially in areas dominated by sandy soils. This study aims to experimentally examine the effect of sand grain size variations on the bearing capacity and settlement of foundations. The research method employed is an experimental

Keywords:

Sand

Particle Grain Size

Bearing Capacity

Subsidence

approach conducted in the laboratory. Tests were performed on three soil configurations: configuration 1 (coarse sand), configuration 2 (medium sand), and configuration 3 (fine sand), using a staged loading method with load and settlement recorded at specific intervals to evaluate changes in bearing capacity and the degree of settlement. The results show that in terms of load-settlement and ultimate bearing capacity-settlement relationships, configuration 1 (coarse sand) demonstrated the best performance with the highest stress, load, and ultimate bearing capacity values, as well as better resistance to deformation. This is attributed to the strong interlocking mechanism among coarse grains, which enhances the internal shear strength of the soil. Configuration 2 (medium sand) showed moderate soil bearing capacity with transitional behavior between coarse and fine sand, while configuration 3 (fine sand) exhibited the lowest bearing capacity and experienced faster settlement under load. In conclusion, the coarser and more angular the sand grains, the greater the bearing capacity and resistance to deformation. Conversely, fine sand with rounded grain shapes tends to settle more quickly under load. These findings emphasize the importance of considering the physical characteristics of soil in foundation design to improve structural stability and safety.

Corresponding Author: Hakam, Abdulahakam2008@gmail.com

A. PENDAHULUAN

Pasir merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam berbagai proyek teknik sipil, terutama dalam bidang konstruksi dan rekayasa geoteknik (Rivianto, dkk., 2023), (Ahmad & Sheble, 2024), (Thakur & Sharma, 2024). Tanah pasir memiliki karakteristik khusus, diantaranya ukuran partikel yang bervariasi, tingkat kepadatan yang relatif tinggi serta permeabilitas yang besar. Variasi dalam ukuran butiran pasir diketahui berpengaruh signifikan terhadap perilaku mekanis tanah, termasuk kapasitas daya dukung dan potensi terjadinya penurunan (Kara, dkk., 2013), (Mitchell & Soga, 2005).

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan pembangunan infrastruktur di wilayah pesisir dan daerah yang didominasi oleh tanah berpasir, maka penelitian mengenai daya dukung tanah pasir menjadi semakin penting. Variasi ukuran butiran (Farooq, dkk., 2021), distribusi gradasi, serta bentuk partikel pasir dapat menyebabkan perbedaan

yang berarti dalam respons tanah terhadap pembebanan. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif mengenai hubungan antara variasi butiran partikel dan perilaku penurunan tanah sangat krusial dalam memastikan desain pondasi yang aman, efisien, dan ekonomis (Budiman, 2019).

Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa gradasi butiran memiliki pengaruh yang besar terhadap kekuatan geser dan daya dukung tanah (Guo, dkk., 2023). Tanah dengan gradasi baik, yang memiliki rentang ukuran partikel yang lebih luas, umumnya menunjukkan kepadatan yang lebih tinggi serta kapasitas daya dukung yang lebih besar dibandingkan tanah dengan gradasi buruk (Terzaghi, dkk., 1996). Selain itu, bentuk partikel pasir, baik yang berbentuk bulat maupun bersudut, juga mempengaruhi sudut geser internal serta tingkat kepadatan tanah, yang pada akhirnya berdampak langsung terhadap performa pondasi yang dibangun di atasnya (Santamarina, dkk., 2001).

Walaupun telah banyak penelitian yang mengkaji perilaku umum tanah pasir, studi yang secara khusus mengeksplorasi pengaruh variasi ukuran butiran terhadap penurunan tanah di bawah beban statis masih relatif terbatas. Sebagian besar literatur lebih berfokus pada aspek kekuatan geser tanah tanpa mengaitkannya secara rinci dengan besarnya penurunan yang terjadi dalam kondisi pembebanan aktual (Gupta & Sitharam, 2020). Padahal, penurunan atau *settlement* merupakan faktor kritis yang sangat menentukan kestabilan struktur, terutama pada pondasi dangkal, sehingga kajian yang lebih mendalam terhadap aspek ini menjadi sangat diperlukan.

Pada konteks keruntuhan pondasi, kegagalan dapat terjadi melalui dua mekanisme utama, yakni keruntuhan geser pada tanah di bawah pondasi atau deformasi berlebihan yang menyebabkan penurunan struktur. Menurut (Terzaghi, 1943), kapasitas daya dukung ultimit pondasi dangkal pada tanah pasir lebih dipengaruhi oleh gesekan internal antar partikel dibandingkan dengan kohesi. Dengan demikian, parameter seperti kepadatan relatif, distribusi ukuran butiran, dan bentuk partikel memainkan peran penting dalam menentukan mekanisme keruntuhan pondasi. Misalnya, pasir dengan butiran berbentuk bulat cenderung mengalami deformasi lebih besar dibandingkan pasir dengan butiran bersudut, yang memiliki tingkat gesekan internal yang lebih tinggi (Cho, dkk., 2006).

Berbagai studi eksperimental telah mengevaluasi hubungan antara ukuran butiran pasir dan karakteristik daya dukung tanah. Penelitian oleh (Farooq, dkk., 2021), menunjukkan bahwa peningkatan ukuran butiran pasir serta gradasi yang lebih baik secara konsisten meningkatkan kekuatan geser tanah dan

kapasitas dukung pondasi. Selain itu, distribusi ukuran butiran juga terbukti berpengaruh terhadap nilai sudut geser internal (ϕ), yang menjadi faktor utama dalam perhitungan kapasitas daya dukung ultimit pondasi dangkal (Nejad, dkk., 2017). Hasil penelitian tersebut tidak hanya penting untuk pemahaman teoritis, tetapi juga untuk mengkalibrasi model-model prediksi perilaku tanah secara lebih akurat (Das, 2010).

Beberapa penelitian juga mengungkapkan bahwa variasi kecil dalam proporsi butiran halus dalam campuran pasir dapat secara signifikan mengubah perilaku densifikasi dan deformasi tanah (Lackner, dkk., 2013). Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan ditinjau secara sistematis variasi ukuran butiran pasir untuk mengamati dampaknya terhadap kapasitas daya dukung maksimum serta tingkat penurunan yang terjadi. Dengan melakukan kajian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai mekanisme dasar perilaku tanah pasir, khususnya terkait distribusi ukuran butiran dan hubungannya dengan daya dukung serta potensi keruntuhan tanah.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (USCS) pertama kali diperkenalkan oleh Casagrande pada tahun 1942 dan telah diakui secara internasional. Sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan teknik pondasi, seperti pembangunan bendungan, bangunan, serta konstruksi sejenis lainnya. Seiring perkembangan zaman, sistem ini juga diterapkan dalam perancangan lapangan udara serta spesifikasi pekerjaan tanah untuk jalan.

Klasifikasi tanah dalam sistem USCS sepenuhnya didasarkan pada hasil pengujian laboratorium, seperti analisis ukuran butir dan batas-batas *atterberg*. Informasi lengkap mengenai sistem USCS, tanah diklasifikasikan menjadi tanah berbutir kasar dan tanah berbutir

halus. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang mempunyai persentase lolos saringan no.200 < 50% sedangkan tanah berbutir halus adalah tanah dengan persentase lolos saringan no.200 > 50%. Tabel 1 merupakan simbol yang digunakan dalam klasifikasi USCS.

Tabel 1. Simbol klasifikasi USCS

Kelompok	Tanah	Simbol
Komponen	Kerikil	G
	Pasir	S
	Lanau	M
	Lempung	C
	Organic	O
	Humus	Pt
Gradasi	Baik	W
	Buruk	P
Batas Cair	Tinggi	H
	Rendah	L

(Sumber : [Bowles, 1993](#))

2. Tanah Pasir

Tanah pasir terbentuk dari batuan beku dan batuan sedimen, dengan karakteristik butiran kasar dan berkerikil. Menurut ([Terzaghi, dkk., 1996](#)), pasir dan kerikil merupakan agregat yang tidak berkohesi, tersusun dari fragmen-fragmen sub-angular dan angular yang berasal dari batuan atau mineral yang belum mengalami perubahan. Pasir berukuran 0,0074 mm sampai 250 mm.

Tanah pasir memiliki sifat butiran yang terpisah ketika dalam kondisi kering dan hanya melekat saat basah karena adanya gaya tarik permukaan air. Jenis tanah ini bersifat non-kohesif, sehingga tidak memiliki batas antara keadaan plastis dan tidak plastis, karena tidak menunjukkan sifat plastis pada berbagai kadar air. Namun, dalam kondisi tertentu dengan kadar air yang cukup tinggi, tanah non-kohesif dapat berperilaku seperti cairan kental. Tarikan permukaan memberikan kohesi semu

(*apparent cohesion*) pada tanah non-kohesif, tetapi kohesi ini akan hilang saat tanah benar-benar kering atau jenuh sepenuhnya ([Bowles, 1997](#)).

3. Kepadatan Tanah Relatif

Kepadatan relatif (*relative density*) merupakan istilah yang digunakan untuk menunjukkan tingkat kepadatan tanah berbutir (*granular soil*) di lapangan ([Herwandi, dkk., 2017](#)), ([Simamora, 2021](#)). Dalam proses pemadatan di lapangan, jika penambahan air tidak menyebabkan kerusakan pada tanah sekitarnya, maka melimpahi pasir dengan air hingga mencapai kejenuhan penuh ($S_r = 100\%$) dapat membantu meningkatkan berat isi tanah.

Kepadatan optimum pada tanah berbutir menghasilkan berat isi tertinggi dan angka pori yang paling kecil. Sebaliknya, kepadatan minimum menyebabkan tanah berada dalam kondisi paling lepas, dengan berat isi terendah dan angka pori (e) yang

terbesar. Kepadatan relatif juga dapat dihitung sebagai perbandingan antara $\gamma_{d_{lap}}$, yaitu berat isi kering tanah yang diperoleh melalui uji *sand cone* di

lapangan, dengan $\gamma_{d_{lab}}$, yaitu berat isi kering tanah yang dihasilkan dari uji proctor standar di laboratorium (ASTM D1556-90).

Tabel 2. Istilah dan identifikasi lapangan untuk kepadatan relatif pasir

Keadaan Tanah	Dr (%)	Identifikasi Lapangan
Sangat Lepas	0-20	Mudah ditandai dengan jari
Lepas	20-40	Mudah disekop
Agak Padat (Kompak)	40-70	Cukup sukar untuk disekop
Padat	70-90	Membutuhkan garpu untuk memisahkan tanah sehingga dapat disekop
Sangat Padat	90-100	Memerlukan ledakan atau alat berat untuk memisahkan

(Sumber : Bowles, 1984)

4. Distribusi Ukuran Butiran (Gradasi)

Distribusi ukuran butiran tanah ditentukan dengan cara penyaringan (Guo, dkk., 2023), (Soehardi, 2018), (Basri, dkk., 2024). Sampel tanah disaring menggunakan satu set saringan berstandar, kemudian berat tanah yang tertinggal pada masing-masing saringan ditimbang. Selanjutnya, persentase berat kumulatif pada tiap saringan dihitung untuk memperoleh data distribusi ukuran butiran. Kurva distribusi ini dapat digunakan untuk membandingkan berbagai jenis tanah yang berbeda. Dari kurva tersebut, terdapat tiga parameter dasar yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berbutir kasar, yaitu ukuran efektif (*effective size*), koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*), dan koefisien gradasi (*coefficient of gradation*). Ukuran efektif, yang dinotasikan sebagai D_{10} , didefinisikan sebagai diameter butiran di mana 10% dari total berat sampel memiliki ukuran butiran yang lebih kecil dari nilai tersebut.

Kurva distribusi ukuran butiran tidak hanya menunjukkan rentang (*range*) dari ukuran butir yang terkandung dalam tanah, tetapi juga menunjukkan

tipe dan kurva distribusi ukuran butir tersebut dimana $C_u < 4$ adalah *uniform graded* dan $C_u > 6$ adalah *well graded* sedangkan C_c $1 < C_c < 3$ adalah gradasi baik. Tanah yang ukuran butirnya berpersentasi rata antara yang kecil sampai yang besar dikatakan bergradasi baik (*well graded*). Bilamana didalam distribusi ukuran butiran terdapat loncatan ukuran butiran dinamakan tanah bergradasi buruk (*poorly graded soil*). Jika besar semua butiran hampir sama maka dipakai istilah tanah bergradasi seragam (*uniformly graded*).

5. Daya Dukung Tanah Pasir

Kapasitas dukung mengacu pada kemampuan tanah dalam menahan geseran di sepanjang bidang gesernya guna mencegah penurunan akibat beban. Dalam perancangan pondasi, penting untuk mempertimbangkan potensi keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan. Untuk memastikan pondasi yang aman, perlu memenuhi dua kriteria utama, yaitu stabilitas dan batas penurunan yang diizinkan.

Daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah untuk menahan beban tanpa mengalami keruntuhan atau penurunan yang berlebihan. Konsep ini

sangat penting dalam perencanaan dan desain pondasi bangunan. Menurut (Terzaghi, dkk., 1996), daya dukung tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk jenis tanah, kepadatan, kadar air, serta beban yang diterapkan. Dalam konteks tanah berpasir, daya dukung sangat bergantung pada interaksi antar butiran pasir, yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel.

C. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metode yang dilakukan berupa pengujian eksperimental di laboratorium dengan menggunakan 3 variasi jenis pasir yaitu pasir kasar berasal dari saringan ukuran diameter lubang 4,75 mm yaitu saringan no.4 dan tertahan saringan ukuran diameter lubang 2,00 mm yaitu saringan no.10. Untuk pasir sedang berasal dari saringan ukuran diameter lubang 2,00 mm yaitu saringan no.10 dan tertahan saringan ukuran diameter lubang 0,42 mm yaitu saringan no.40. Untuk pasir halus berasal dari saringan ukuran diameter lubang 0,42 mm yaitu saringan no.40 dan tertahan saringan ukuran diameter lubang 0,15 mm yaitu saringan no.100. Kemudian dilakukan pengujian terhadap analisis ukuran butiran menggunakan SNI 3423:2008, berat volume menggunakan SNI-0303637-1994, kepadatan relatif menggunakan SNI 1976-2008, uji geser langsung menggunakan SNI 2813-2008.

Menurut (Terzaghi, dkk., 1996), daya dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*) (q_u) adalah sebagai beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih dapat mendukung beban tanpa mengalami keruntuhan dinyatakan dalam persamaan :

$$q_u = \frac{P_u}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

q_u = Daya dukung ultimit

P_u = Beban ultimit

A = Luas pondasi

Pengujian dilakukan dengan menambahkan beban secara bertahap pada pondasi dengan kecepatan penurunan sekitar 1 mm per menit. Selama proses pembebanan, besarnya beban dicatat pada setiap interval penurunan sebesar 2,52 mm (setara dengan 1 inci). Pembebanan dilanjutkan hingga mencapai total penurunan 25,2 mm atau hingga terjadi kondisi keruntuhan pada tanah. Berdasarkan hasil pengujian pada tiga konfigurasi, yaitu konfigurasi 1 (pasir pasang), konfigurasi 2 (pasir sedang), dan konfigurasi 3 (pasir sedang), diperoleh diagram hubungan antara beban dan penurunan pondasi. Dari diagram tersebut, nilai beban ultimit (P) pondasi telapak pada masing-masing kondisi tanah dapat ditentukan. Selanjutnya, daya dukung ultimit tanah (q_u) dihitung dengan membandingkan beban ultimit (P) terhadap luas penampang pondasi (A) untuk setiap konfigurasi yang diuji.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

Hasil pengujian karakteristik tanah yang dilakukan pada ketiga konfigurasi dapat dilihat pada Tabel 3. Tabel 3 menunjukkan data karakteristik fisik ketiga konfigurasi tanah, seluruh jenis pasir yang digunakan tergolong ke dalam klasifikasi SP (*sand, poorly graded*) menurut sistem klasifikasi tanah USCS. Ketiga konfigurasi memiliki 100% partikel pasir tanpa kandungan kerikil maupun lempung. Nilai diameter karakteristik menunjukkan perbedaan signifikan, di mana pasir kasar memiliki D_{10} sebesar 2,091 mm, jauh lebih besar dibandingkan pasir sedang (0,483 mm) dan pasir halus (0,108 mm). Koefisien keseragaman (C_u) tertinggi terdapat pada

pasir sedang sebesar 2,547, yang mengindikasikan gradasi partikel lebih baik dibandingkan pasir kasar (1,475) dan pasir halus (1,981), meskipun semua masih dalam kategori gradasi buruk.

Kerapatan relatif (D_r) menunjukkan kecenderungan meningkat dari pasir kasar ke pasir halus, dimana pasir halus memiliki D_r tertinggi sebesar 66,427%, menandakan kondisi yang lebih padat alami. Dari sisi kekuatan, sudut geser dalam (*internal friction angle*) menurun seiring bertambah halusnya ukuran butiran, yakni 42,476° untuk pasir

kasar, 37,668° untuk pasir sedang, dan 35,061° untuk pasir halus. Ini menunjukkan bahwa semakin halus butiran pasir, semakin kecil sudut geser internalnya, yang berakibat pada penurunan daya dukung tanah, sebagaimana dijelaskan oleh (Budhu, 2015), (Martini & Cristina, 2021). Sementara nilai kohesi relatif kecil untuk semua konfigurasi, dengan pasir halus sedikit lebih tinggi (0,56 kPa), meski secara teknis pasir dianggap material tanpa kohesi (*non-cohesive soil*).

Tabel 3. Hasil pengujian analisa saringan pasir

Keterangan	Pasir Kasar	Pasir Sedang	Pasir Halus
Kerikil (%)	0	0	0
Pasir (%)	100	100	100
Lempung (%)	0	0	0
% Tertahan no.200 (0,075 mm)	100	100	100
% Lolos no.4 (4,74 mm)	100	100	100
D_{10} (mm)	2,091	0,483	0,108
D_{30} (mm)	2,453	0,638	0,153
D_{60} (mm)	3,084	1,230	0,214
Koefisien keseragaman (C_u)	1,475	2,547	1,981
Koefisien gradasi (C_c)	0,933	0,685	1,031
USCS	SP	SP	SP
Kadar air	1,467	0,640	0,482
Kerapatan relatif, D_r (%)	29,735	46,642	66,427
Kohesi	0,066	0,061	0,56
Sudut gesek dalam ($^\circ$)	42,476	37,668	35,061

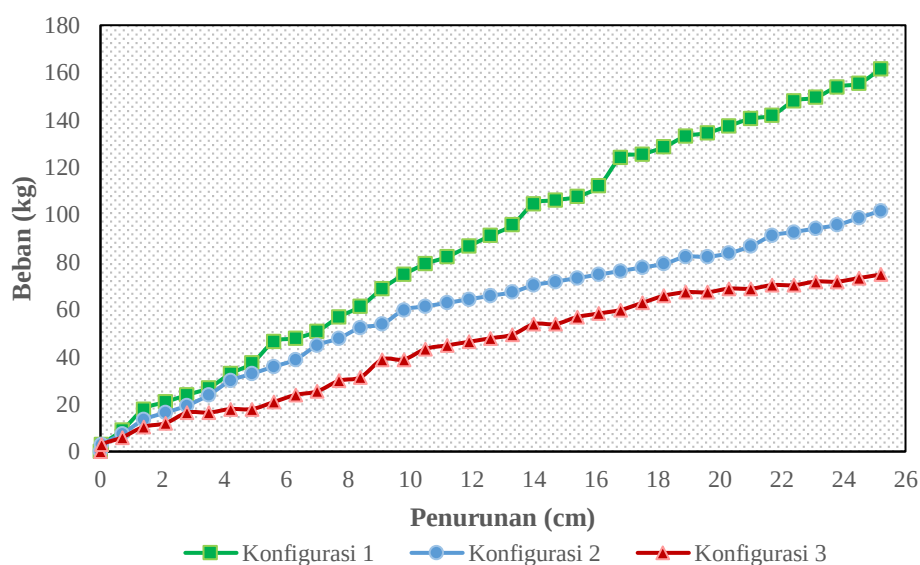
2. Analisis Hubungan Antara Beban Terhadap Penurunan

Hasil pengujian menunjukkan berat maksimum yang diterima oleh konfigurasi 1 (pasir kasar) mencapai beban maksimum yaitu 161,46 kg, diikuti oleh konfigurasi 2 (pasir sedang) yaitu 101,66 kg dan konfigurasi 3 (pasir halus) yaitu 74,750 kg pada penurunan yang sama, yaitu sekitar 25 cm. Hubungan antara beban terhadap penurunan dapat disajikan pada Gambar 1.

Gambar 1 mempertegas bahwa semakin besar ukuran butiran maka semakin besar kapasitas beban yang dapat ditahan sebelum penurunan tanah signifikan terjadi. Kapasitas beban tinggi ini menunjukkan bahwa pasir kasar memiliki daya dukung ultimit yang besar dan deformasi yang relatif lambat terhadap beban bertambah. Mekanisme ini dapat dijelaskan melalui teori *interlocking* antar butiran kasar, di mana gesekan internal meningkat secara signifikan akibat kontak antar partikel bersudut, sebagaimana dijelaskan oleh

(Buragadda, dkk., 2024). Selain itu, struktur butiran kasar yang tidak seragam memperkecil ruang pori, memperbaiki distribusi beban, dan meningkatkan kekuatan geser tanah (Guo, dkk., 2023). Sebaliknya, material pasir halus menunjukkan rendah kapasitas beban yang diterima seiring dengan kecepatan penurunan yang lebih tinggi. Kondisi ini sesuai dengan temuan (Kara, dkk., 2013), yang menyatakan bahwa pasir halus

memperlihatkan densifikasi lebih besar, tetapi memiliki kekuatan dukung yang rendah, terutama di bawah beban statis jangka panjang. Temuan ini memperkuat prinsip mekanika tanah granular sebagaimana dijelaskan oleh (Santamarina, dkk., 2001), bahwa perilaku kekuatan dan deformasi tanah sangat dipengaruhi oleh karakteristik mikrostruktur partikel seperti ukuran, bentuk, dan distribusi gradasi.



Gambar 1. Hubungan antara beban terhadap penurunan

3. Analisis Hubungan Antara Daya Dukung Terhadap Penurunan

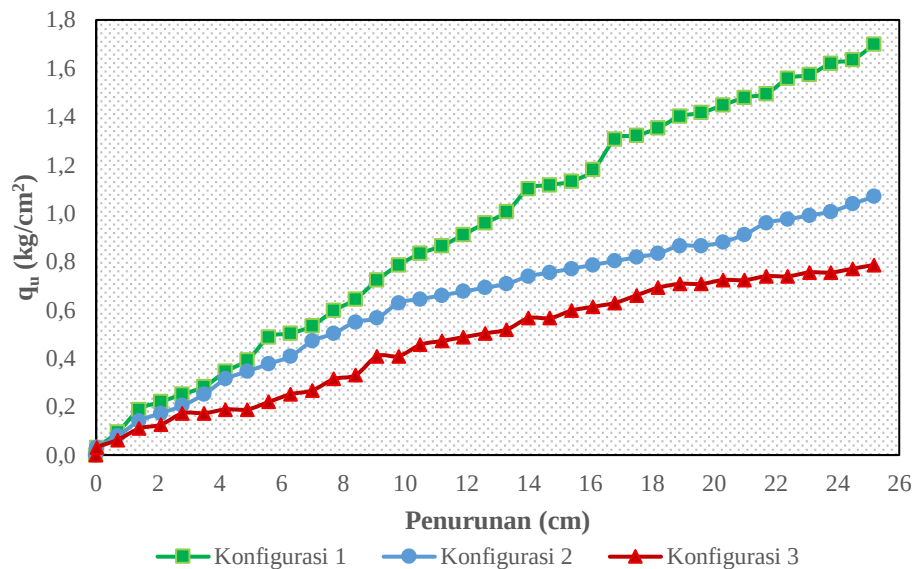
Gambar 2 menunjukkan hubungan antara daya dukung (kg/cm^2) dengan penurunan (cm) dari tiga konfigurasi pasir. Hasil pengujian menunjukkan bahwa konfigurasi 1 (pasir kasar) mampu menahan q_u tertinggi hingga $1,70 \text{ kg/cm}^2$, jauh lebih tinggi dibandingkan konfigurasi 2 sebesar $1,07 \text{ kg/cm}^2$ dan konfigurasi 3 sebesar $0,787 \text{ kg/cm}^2$ pada penurunan yang sama, yaitu sekitar 25 cm (1 inci).

Gambar 2 secara keseluruhan memperjelas bahwa semakin besar ukuran butiran pasir dan semakin tidak teratur bentuk partikelnya, maka

semakin tinggi daya dukung ultimit tanah terhadap penurunan. Sebaliknya, material pasir memperlihatkan kapasitas dukung yang terbatas dan mengalami penurunan lebih awal. Perilaku ini menandakan bahwa pasir halus memiliki ketahanan terhadap deformasi yang lebih rendah akibat gaya gesekan antar partikel yang kecil dan dominasi bentuk butiran yang lebih membulat. Seperti dijelaskan oleh (Mitchell & Soga, 2005), tanah berbutir halus cenderung mengalami densifikasi cepat di bawah beban, namun kekuatan geser internalnya relatif kecil, sehingga daya dukung ultimitnya lebih rendah dibandingkan tanah berbutir kasar atau sedang.

Dengan demikian, pada Tabel 3 memperkuat hasil eksperimen bahwa pasir kasar memiliki kapasitas dukung lebih besar dan deformasi lebih lambat, sedangkan pasir halus lebih cepat

mengalami penurunan di bawah beban, terutama akibat sudut geser dalam yang lebih rendah dan kekuatan antar butiran yang lemah.



Gambar 2. Hubungan antara nilai daya dukung dengan penurunan

E. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis tiga grafik beban–penurunan, dan daya dukung ultimit–penurunan, diperoleh bahwa konfigurasi 1 (pasir kasar) menunjukkan performa terbaik dengan nilai tegangan, beban, dan daya dukung ultimit tertinggi serta ketahanan terhadap deformasi yang lebih baik. Hal ini disebabkan oleh kuatnya mekanisme *interlocking* antar butiran kasar yang meningkatkan kekuatan geser internal tanah. Konfigurasi 2 (pasir sedang) memperlihatkan perilaku transisional dengan kapasitas dukung yang moderat, sementara konfigurasi 3 (pasir halus tanpa perkuatan) memiliki performa terendah, menunjukkan penurunan cepat di bawah beban. Temuan ini konsisten dengan teori bahwa ukuran dan bentuk butiran sangat mempengaruhi kekuatan dan deformasi tanah. Semakin kasar dan bersudut butiran pasir, semakin besar daya

dukung tanah terhadap beban. Hasil ini menegaskan bahwa sangat penting mempertimbangkan karakteristik tanah dalam desain pondasi untuk mencapai stabilitas dan keandalan struktur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Tim *Promotor* dan *Co-promotor* atas bimbingan, kritik, dan saran yang telah diberikan sepanjang pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Laboratorium Teknik Sipil Universitas Andalas yang telah menyediakan fasilitas untuk pelaksanaan pengujian, serta kepada seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung kelancaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, H., & Sheble, A. (2024). Effects of Including Fully Wraparound Geogrid Layers on The Load-

- Bearing Capacity and Settlement of a Strip Footing Resting on Sandy Soil. *Discover Applied Sciences*, 6(82), 1-24.
<https://doi.org/10.1007/s42452-024-05711-w>
- Basri, D. R., Putri, E. E., Adji, B. M., Hakam, A., & Kunci, K. (2024). The Effect of Sand Grading on The Use of Foamed Plastic Mortar As a Substitute For The Foundation Layer of a Road in Peaty Soils. *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 203–214.
<https://doi.org/https://doi.org/10.31849/siklus.v10i2.22654>
- Bowles, J. E. (1984). *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah Mekanika Tanah Edisi I* (1st ed.). Erlangga. Jakarta.
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design*. 5th Edition, McGraw Hill Companies, Inc., Singapore.
<https://www.scribd.com/doc/139025162>
- Budhu, M. (2015). *Soil Mechanics Fundamentals*. Edition Imperial, West Sussex, United Kingdom.
<https://www.academia.edu/82691170>
- Budiman, B. (2019). Limbah Beton Sebagai Material Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Karakteristik. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 6(2), 145-149.
<https://doi.org/10.31963/intek.v6i2.1571>
- Buragadda, V. T. T., Dhiman, R., Orekanti, E. R., & Maddileti, T. K. (2024). Influence of Geosynthetic Reinforcement Geometrical Parameters on Load-Bearing Capacity of Sand: An Experimental Study. *Transportation Infrastructure Geotechnology*, 11(5), 3424–3450.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s40515-024-00416-4>
- Cho, G. C., Dodds, J., & Santamarina, J. C. (2006). Particle Shape Effects on Packing Density, Stiffness, and Strength: Natural and Crushed Sands. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(5).
[https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2006\)132:5\(591\)](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:5(591))
- Das, B. M. (2010). *Principle of Geotechnical Engineering*. 7th Edition. Cengage Learning.
- Farooq, M. U., Adnan, M., Iqbal, A., & Ali, A. (2021). Effect of Grain Size Distribution on Geotechnical Properties of Alluvial Soils. *Pakistan Journal Of Engineering and Technology, PakJET*, 3(1), 31–35.
<https://www.hpej.net/journals/index.php/pakjet/article/view/178>
- Guo, H., Wang, S., gup, C., Yang, K., Guo, R., Fu, J., Nan, Y., & Tao, M. (2023). Effect of Grain Size Distribution on The Shear Properties of Sand. *Frontiers in Materials*, 10, 1–9.
<https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1219765>
- Gupta, A., & Sitharam, T. G. (2020). Experimental and Numerical Investigations on Interference of Closely Spaced Square Footings on Sand. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 14(2), 142–150.
<https://doi.org/10.1080/19386362.2018.1454386>
- Herwandi, H., Marsudi, M., & Aprianto, A. (2017). Pengaruh Gradasi Dan Kepadatan Relatif (Dr) Terhadap Nilai Permeabilitas Tanah Pasir. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*, 4, 1–13.

- <https://www.neliti.com/publications/192887/>
- Kara, E. M., Meghachou, M., & Aboubekr, N. (2013). Contribution of Particles Size Ranges to Sand Friction. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 3(4), 497–501.
<https://doi.org/10.48084/etasr.361>
- Lackner, C., Bergado, D. T., & Semprich, S. (2013). Prestressed reinforced soil by geosynthetics - Concept and experimental investigations. *Geotextiles and Geomembranes*, 37, 109–123.
<https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2013.02.002>
- Martini, M., & Cristina, V. I. (2021). Daya Dukung Tanah Pasir Dengan Perkuatan Geotekstil Tipe UW 150 Terhadap Variasi Lebar Pondasi dan Perkuatan. *Rekonstruksi Tadulako: Civil Engineering Journal on Research and Development*, 2(2) 99–106.
<https://doi.org/10.22487/renstra.v2i2.261>
- Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behavior* (3rd Edition (ed.)). John Wiley & Sons, Hoboken.
- Nejad, A. A., Lashkari, A., & Shourijeh, P. T. (2017). Influence of Particle Shape on The Shear Strength and Dilation of Sand-Woven Geotextile Interfaces. *Geotextiles and Geomembranes*, 45(1), 54–66.
<https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2016.07.005>
- Rivianto, A., Candra, A. I., Ali, M. K. K., Kottama, G. W., Prasetyo, M. W., Budiawan, M. R. A. J., Rohman, M. R. F., & Taufani, M. S. (2023). Perilaku Mekanis Tanah Pasir Bergradasi Buruk Menggunakan Uji Pemadatan dan Direct Shear Test. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(2), 223–233.
<https://doi.org/10.28932/jts.v19i2.6042>
- Santamarina, J. C., Klein, A., & Fam, M. A. (2001). Soils and Waves: Particulate Materials Behavior, Characterization and Process Monitoring. *J Soils Sediments*, 130(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF02987719>
- Simamora, E. (2021). *Analisis Potensi Likuifaksi Menggunakan Data SPT*. Universitas Sumatera Utara. Thesis. Universitas Sumatera Utara, Medan.
<https://repository.usu.ac.id/handle/123456789/40366>
- Soehardi, F. (2018). Penggunaan material Lokal Quarry Muara Takus Sebagai Bahan Campuran Lapisan Pondasi Atas Pada perkerasan Jalan Raya. *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, 4(1), 43–50.
<https://doi.org/10.31849/siklus.v4i1.957>
- Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. In *Géotechnique*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
<https://doi.org/10.1680/geot.1963.13.4.267>
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley & Sons, Inc.
<https://doi.org/10.1097/00010694-194911000-00029>
- Thakur, V., & Sharma, R. K. (2024). Experimental Evaluation on Behavior of Geocell–Geogrid Reinforced Sand Subjected to Combined Static and Cyclic Loading. *Indian Geotechnical Journal*, 54(4), 1406–1419.
<https://doi.org/10.1007/s40098-023-00815-3>



© 2025 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY Licens (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)