BOUWPLANK
Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan
Vol. 6 No. 2, Oktober 2026

E-ISSN 2807-5579
P-ISSN 2807-5889
Halaman 97-106

Analisis Hubungan Distribusi Ukuran Butir Material Timbunan Terhadap Nilai Kohesi dan Sudut Geser Dalam Menggunakan Uji *Large Scale Direct Shear*

Decandyo Risqi Ramadhana Putra[1*], Agus Tugas Sudjianto[2], M. Cakrawala[3]

[1]PT. Agrinas Palma Nusantara (Direktorat Konsultan Konstruksi)
[2,3]Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widya Gama, Malang
*Email Korespondensi: decandyorizqi@gmail.com

ABSTRAK

Kekuatan geser tanah merupakan parameter penting dalam perencanaan geoteknik, khususnya pada konstruksi timbunan dan struktur tanah. Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan distribusi ukuran butir terhadap parameter kuat geser berdasarkan hasil pengujian *Large Scale Direct Shear* (LSDS). Penelitian menggunakan 40 sampel material yang terdiri atas 31 sampel random kasar dan 9 sampel random halus. Karakteristik distribusi ukuran butir dianalisis berdasarkan D10, D30, D60, koefisien keseragaman (Cu), koefisien kelengkungan (Cc), serta persentase *coarse part* dan *finer part*. Parameter kuat geser berupa kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ) diperoleh dari pengujian LSDS berdasarkan kriteria *Mohr-Coulomb*. Analisis hubungan dilakukan menggunakan regresi linier dan koefisien determinasi (R^2). Hasil klasifikasi menunjukkan material terdiri atas GW 25%, GP 42,5%, GC 30%, dan SP 2,5%. Nilai kohesi berkisar 0,2 – 7,0 kg/cm² dengan rata-rata 3,1 kg/cm², sedangkan sudut geser dalam berkisar 18,7° – 44,7° dengan rata-rata 34,6°. Hubungan distribusi ukuran butir terhadap kohesi relatif lemah dengan R^2 0,0158–0,1347. Sebaliknya, *coarse part* dan *finer part* menunjukkan hubungan lebih kuat terhadap sudut geser dalam dengan R^2 sebesar 0,5477. Hasil tersebut menunjukkan bahwa komposisi butiran lebih representatif dalam menjelaskan variasi sudut geser dalam.

Kata kunci : Distribusi Ukuran Butir, Kohesi, Sudut Geser Dalam, Large Scale Direct Shear dan Kuat Geser.

ABSTRACT

Soil shear strength is an important parameter in geotechnical design, particularly in the construction of embankments and soil structures. This study aims to analyze the relationship between grain size distribution and shear strength parameters based on the results of Large Scale Direct Shear (LSDS) tests. The study used 40 material samples, consisting of 31 coarse random samples and 9 fine random samples. The characteristics of the particle size distribution were analyzed based on D10, D30, D60, the uniformity coefficient (Cu), the kurtosis coefficient (Cc), and the percentages of coarse and finer particles. Shear strength parameters—namely cohesion (c) and internal friction angle (φ)—were obtained from LSDS testing based on the Mohr-Coulomb criteria. The relationship was analyzed using linear regression and the coefficient of determination (R^2). The classification results showed that the material consisted of 25% GW, 42.5% GP, 30% GC, and 2.5% SP. Cohesion values ranged from 0.2 to 7.0 kg/cm² with an average of 3.1 kg/cm², while the internal friction angle ranged from 18.7° to 44.7° with an average of 34.6°. The relationship between particle size distribution and cohesion was relatively weak, with R^2 values ranging from 0.0158 to 0.1347. In contrast, the coarse and finer fractions showed a stronger relationship with the angle of internal friction, with an R^2 of 0.5477. These results indicate that particle composition is a more representative factor in explaining variations in the angle of internal friction.

***Keywords* :** *Particle Size Distribution, Cohesion, Internal Friction Angle, Large Scale Direct Shear, and Soil Shear Strength.*

1. PENDAHULUAN

Tanah merupakan salah satu material utama dalam pekerjaan konstruksi dan rekayasa geoteknik. Karakteristik tanah perlu dipahami karena material tersebut berperan sebagai bagian dari sistem pendukung berbagai struktur, seperti fondasi, timbunan, lereng, dan konstruksi lainnya. Salah satu karakteristik mekanik yang penting dalam analisis geoteknik adalah kuat geser tanah. Kuat geser menunjukkan kemampuan material dalam menahan tegangan geser sebelum mengalami keruntuhan dan umumnya dinyatakan melalui parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ) [1], [2]. Kuat geser tanah dipengaruhi oleh berbagai karakteristik material, antara lain ukuran dan distribusi butiran, bentuk butiran, kepadatan, kadar air, serta kondisi tegangan. Pada material berbutir kasar, interaksi antar butir, gesekan, dan mekanisme *interlocking* menjadi bagian penting dalam pembentukan tahanan geser. Oleh karena itu, perubahan komposisi dan distribusi ukuran butiran dapat menghasilkan perubahan terhadap perilaku kuat geser material [1], [3]. Distribusi ukuran butiran merupakan karakteristik yang menggambarkan penyebaran partikel berdasarkan ukurannya. Analisis distribusi ukuran butiran dapat digunakan untuk menentukan diameter karakteristik D10, D30, dan D 60. Ketiga parameter tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan koefisien keseragaman (Cu) dan koefisien kelengkungan (Cc) sebagai parameter yang menggambarkan karakteristik gradasi material [4].

Hubungan antara ukuran butir dan kuat geser telah menjadi perhatian dalam berbagai penelitian. Islam et al. [5] menunjukkan bahwa ukuran partikel dapat memengaruhi perilaku kuat geser pasir. Perubahan ukuran partikel menghasilkan perubahan terhadap karakteristik geser material, terutama melalui mekanisme kontak dan gesekan antar butir [6]. Hal tersebut menunjukkan bahwa karakteristik distribusi ukuran butiran perlu dipertimbangkan dalam analisis parameter kuat geser. Pada material yang mengandung fraksi halus, pengaruh distribusi ukuran butiran terhadap kuat geser menjadi lebih kompleks. Umam et al. [13] menunjukkan bahwa gradasi pasir dan kadar lempung dapat memengaruhi kuat geser tanah. Penambahan material lempung dapat meningkatkan kontribusi kohesi, sedangkan perubahan komposisi material dapat menyebabkan perubahan terhadap sudut geser dalam. Rambe [7] juga membahas keterkaitan fraksi lempung dengan nilai kohesi dan indeks plastisitas.

Pengujian *direct shear* merupakan salah satu metode laboratorium yang umum digunakan untuk menentukan parameter kuat geser. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan tegangan normal dan gaya geser pada benda uji hingga terjadi kondisi keruntuhan. Hasil pengujian dapat digunakan untuk memperoleh parameter kohesi dan sudut geser dalam berdasarkan hubungan tegangan normal dan tegangan geser [8]. Penggunaan *Large Scale Direct Shear* (LSDS) menjadi solusi untuk menguji material berbutir besar yang tidak dapat direpresentasikan secara optimal oleh benda uji kecil. Berdasarkan pengujian 40 sampel dari Laboratorium Geoteknik PT Agrinas Palma Nusantara, penelitian ini menganalisis hubungan antara parameter distribusi ukuran butiran (Cu, Cc, *coarse part*, dan *finer part*) terhadap parameter kuat geser (kohesi dan sudut geser dalam). Mengingat masih terbatasnya kajian yang membandingkan parameter indeks gradasi dan komposisi terhadap hasil pengujian LSDS, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan tersebut serta menentukan parameter distribusi ukuran butiran yang paling representatif dalam menjelaskan variasi kuat geser material.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Distribusi Ukuran Butir

Distribusi ukuran butir merupakan penyebaran ukuran partikel yang terdapat dalam suatu sampel material [4]. Distribusi tersebut dapat digunakan untuk menggambarkan karakteristik gradasi dan membantu mengidentifikasi perilaku material. Dalam penelitian geoteknik, distribusi ukuran butir umumnya diperoleh melalui analisis saringan untuk material berbutir kasar dan analisis hidrometer untuk material berbutir halus [9]. Hasil kedua pengujian dapat digabungkan menjadi kurva distribusi ukuran butir. Parameter D10, D30, dan D60 merupakan diameter partikel yang masing-masing menunjukkan ukuran ketika 10%, 30%, dan 60% material lolos secara kumulatif. Ketiga parameter tersebut digunakan untuk menghitung koefisien keseragaman dan koefisien kelengkungan.

Koefisien keseragaman dihitung menggunakan:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

Sedangkan koefisien kelengkungan dihitung menggunakan:

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

Nilai Cu yang semakin besar menunjukkan rentang ukuran butir yang semakin beragam. Sementara itu, nilai Cc digunakan untuk menggambarkan bentuk kurva distribusi ukuran butir [10].

Pada penelitian ini, selain Cu dan Cc, distribusi material juga dianalisis berdasarkan *coarse part* dan *finer part*. *Coarse part* didefinisikan sebagai persentase material yang tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm), sedangkan *finer part* merupakan persentase material yang lolos saringan No. 4. Dengan demikian, *finer part* dalam penelitian ini bukan hanya *fines* (<0,075 mm), melainkan mencakup seluruh material berukuran di bawah 4,75 mm.

2.2 Kuat Geser Material

Kuat geser merupakan kemampuan material untuk menahan gaya geser sebelum mengalami keruntuhan [6]. Kuat geser dipengaruhi oleh interaksi antarpartikel, tegangan normal, karakteristik butiran, kadar air, kepadatan, dan kondisi pengujian. Dalam kriteria *Mohr-Coulomb*, hubungan antara kuat geser dan tegangan normal dinyatakan sebagai:

$$\tau = c + \sigma' \tan \phi \quad (3)$$

Dengan τ sebagai tegangan geser maksimum, c sebagai kohesi, σ' sebagai tegangan normal efektif, dan ϕ sebagai sudut geser dalam [8].

Kohesi merupakan komponen kuat geser yang berkaitan dengan ikatan antar partikel. Pada tanah berbutir halus, terutama lempung, kohesi dapat berkaitan dengan gaya tarik dan sifat plastisitas material. Sebaliknya, pasir dan kerikil umumnya memiliki kohesi yang rendah sehingga tahanan gesernya lebih banyak dipengaruhi oleh gesekan antar butir [11]. Sudut geser dalam menggambarkan tahanan geser akibat gesekan dan *interlocking* antar partikel. Parameter tersebut dipengaruhi oleh bentuk, kekasaran, kepadatan, dan distribusi ukuran butir. Material berbutir kasar cenderung memiliki kontribusi gesekan dan *interlocking* yang lebih dominan [12].

2.3 *Large Scale Direct Shear* (LSDS)

Large Scale Direct Shear (LSDS) merupakan metode pengujian laboratorium yang dikembangkan dari prinsip *direct shear* konvensional dengan memanfaatkan ukuran sampel benda uji serta dimensi kotak geser yang jauh lebih besar. Secara prinsip, mekanisme pengujian ini tetap melibatkan pemberian variasi tegangan normal dan penambahan gaya geser secara bertahap hingga material uji benar-benar mencapai titik keruntuhan struktural. Hasil pencatatan data berupa besaran tegangan normal dan tegangan geser maksimum tersebut kemudian diolah untuk memperoleh kurva atau garis hubungan *Mohr-Coulomb* yang menentukan parameter kuat geser material [8]. Penggunaan LSDS menjadi penting untuk material dengan fraksi kasar karena ukuran kotak geser yang lebih besar memungkinkan butiran kasar tetap dipertahankan dalam sampel [13]. Kondisi tersebut dapat mengurangi efek batas dan memberikan representasi yang lebih baik terhadap perilaku material granular dalam skala yang lebih besar.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan analisis korelasional. Penelitian bertujuan menganalisis hubungan antara karakteristik distribusi ukuran butir dengan parameter kuat geser, yaitu kohesi dan sudut geser dalam. Data yang digunakan merupakan hasil pengujian laboratorium distribusi ukuran butir dan LSDS yang telah tersedia.

3.2 Lokasi dan Data Penelitian

Data penelitian diperoleh dari Laboratorium Geoteknik PT Agrinas Palma Nusantara (Persero) Divisi Survei dan Investigasi. Data pengujian berasal dari kegiatan laboratorium pada tahun 2025–2026. Penelitian menggunakan 40 sampel pada Tabel 1, yang terdiri atas:

Tabel 1. Jumlah Sampel Penelitian

Kode Sampel	Jenis Material	Jumlah Sampel
RK	Random Kasar	31
RH	Random Halus	9
Total		**40**

Dari 40 sampel tersebut, tidak seluruh sampel memiliki nilai D10. Oleh karena itu, nilai Cu dan Cc hanya tersedia pada sampel yang memiliki D10, D30, dan D60 yang dapat ditentukan. Dalam data set penelitian terdapat 27 sampel dengan nilai Cu dan Cc, sedangkan sampel lainnya tidak memiliki nilai tersebut.

3.3 Pengujian Distribusi Ukuran Butir

Analisis distribusi ukuran butir dilakukan untuk memperoleh persentase material yang lolos pada berbagai ukuran saringan [14]. Data tersebut digunakan untuk menentukan D10, D30, D60, Cu, Cc, *coarse part*, dan *finer part*. Pengujian distribusi ukuran butir mengacu pada metode analisis saringan yang digunakan dalam penelitian.

3.4 Pengujian *Large Scale Direct Shear*

Pengujian LSDS dilakukan untuk memperoleh nilai kohesi dan sudut geser dalam. Sampel diberikan beberapa variasi tegangan normal kemudian dikenai gaya geser sampai mencapai kondisi keruntuhan. Hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser maksimum digunakan untuk memperoleh parameter kuat geser berdasarkan:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (4)$$

3.5 Analisis Data

Analisis data dilakukan melalui tiga tahap utama, yaitu analisis deskriptif, analisis regresi linier, dan analisis interpretatif. Analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan distribusi ukuran butir dan parameter kuat geser. Analisis regresi digunakan untuk mengetahui kecenderungan hubungan antara variabel distribusi ukuran butir dengan c dan φ.

Hubungan yang dianalisis meliputi:

- Cu terhadap c (Kohesi)
- Cc terhadap c (Kohesi)
- *coarse part* terhadap c (Kohesi)
- *finer part* terhadap c (Kohesi)
- Cu terhadap φ (Sudut Geser Dalam)
- Cc terhadap φ (Sudut Geser Dalam)
- *coarse part* terhadap φ (Sudut Geser Dalam)
- *finer part* terhadap φ (Sudut Geser Dalam)

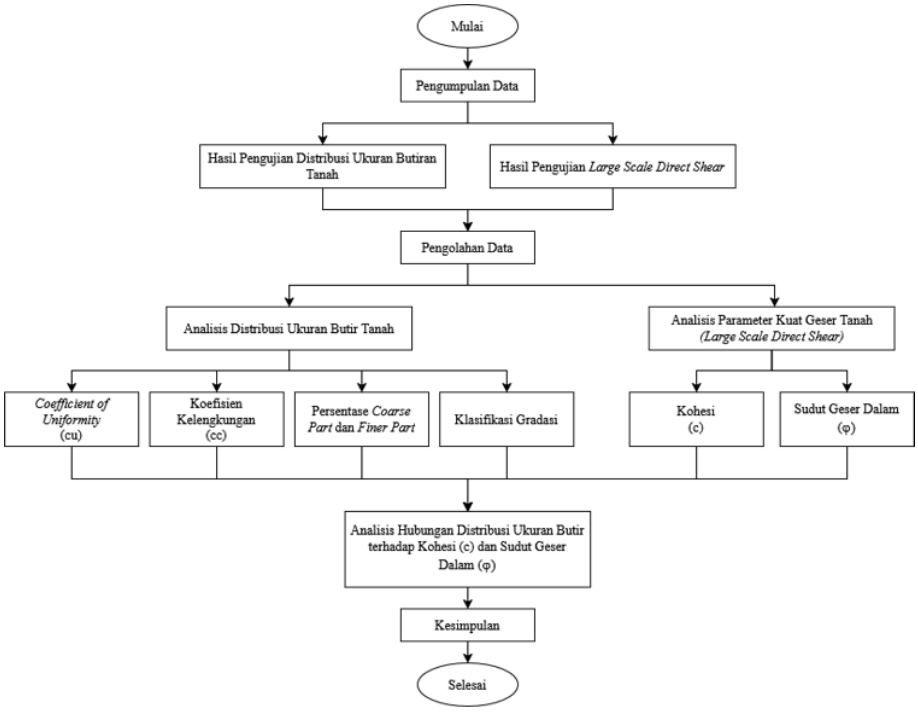
Persamaan regresi linier digunakan dalam bentuk :

$$Y = aX + b \quad (5)$$

sedangkan tingkat kemampuan variabel dalam menjelaskan variasi parameter kuat geser dievaluasi menggunakan nilai R^2.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian dapat dijelaskan pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Distribusi Ukuran Butir

Hasil analisis menunjukkan bahwa material memiliki variasi distribusi ukuran butir yang cukup besar. Nilai D10, D30, dan D 60 menunjukkan rentang yang berbeda pada masing-masing sampel. Variasi tersebut menunjukkan bahwa material penelitian tidak memiliki karakteristik gradasi yang seragam.

Tabel 2. Klasifikasi Material

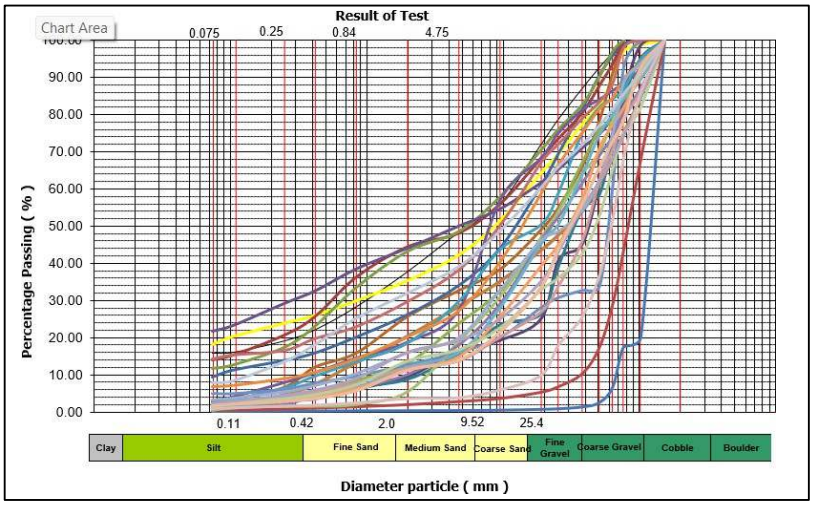
Klasifikasi	Jumlah Sampel	Persentase (%)
Well Graded Gravel	10.0	25.0
Poorly Graded Gravel	17.0	42.5
Clayey Gravel	12.0	30.0
Poorly Graded Sand	1.0	2.5
Total	40	100

Sumber : Perhitungan Excel 2026

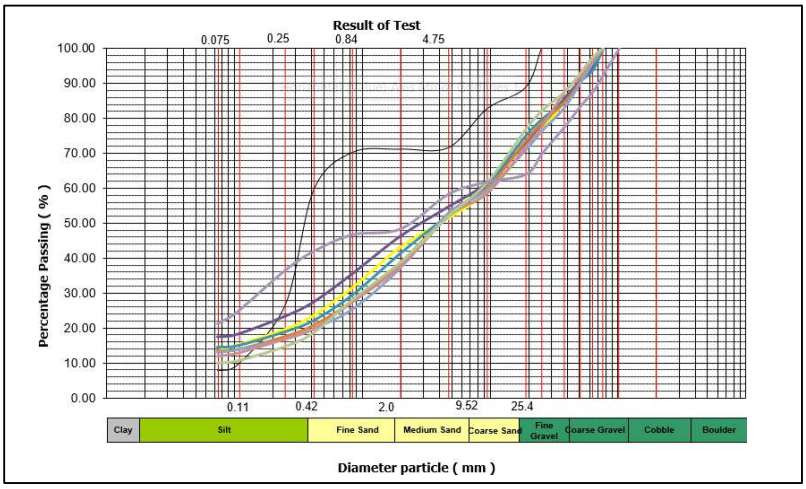
Klasifikasi material pada Tabel 2 tersebut menunjukkan dominasi material berbutir kasar. *Poorly Graded Gravel* merupakan kelompok terbesar dengan 42,5%, sedangkan *Well Graded Gravel* mencapai 25%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar material memiliki kandungan fraksi kasar yang cukup besar sehingga pengujian LSDS relevan digunakan untuk mengevaluasi karakteristik kuat gesernya. Selain parameter Cu dan Cc, hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata *coarse part* sebesar sekitar 63%, sedangkan *finer part* sekitar 37%. *Coarse part* berada pada rentang 25 – 90%, sedangkan *finer part* berada pada rentang 0 – 75%. Kurva distribusi ukuran butir material random kasar dan halus disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

4.2 Parameter Kuat Geser

Berdasarkan hasil pengujian LSDS, nilai kohesi berada pada rentang 0,2–7,0 kg/cm² dengan nilai rata-rata 3,1 kg/cm². Sementara itu, sudut geser dalam berada pada rentang 18,7–44,7° dengan nilai rata-rata 34,6°. Variasi nilai tersebut menunjukkan adanya perbedaan karakteristik kuat geser antar sampel. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh distribusi ukuran butir (Gambar 2 dan 3), komposisi material, kepadatan, bentuk butiran, serta kondisi pengujian.



Gambar 2. Kurva Distribusi Ukuran Butir Material Random Kasar



Gambar 3. Kurva Distribusi Ukuran Butir Material Random Halus

4.3 Hubungan Distribusi Ukuran Butir terhadap Kohesi

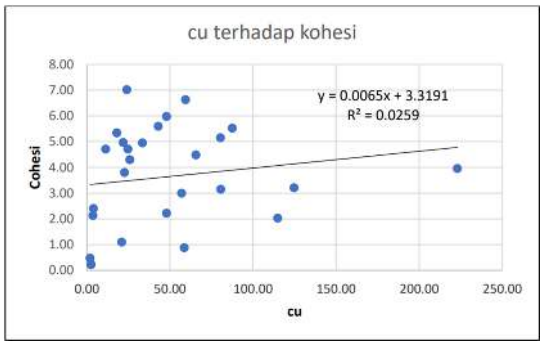
Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa hubungan antara parameter distribusi ukuran butir dengan kohesi relatif lemah.

Tabel 3. Rekapitulasi Analisis Hubungan terhadap Kohesi

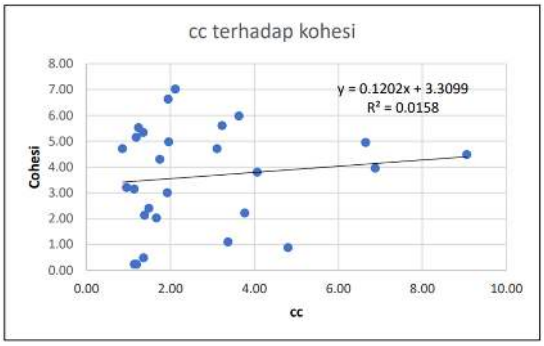
Parameter	Persamaan	R^2	Interpretasi
Cu	0,0065x+3,3191	0,0259	Sangat lemah
Cc	0,1202x+3,3099	0,0158	Sangat lemah
Finer Part	-0,0385x+4,3102	0,1347	Lemah
Coarse Part	0,0316x+0,887	0,0963	Sangat lemah

Sumber : Perhitungan Excel 2026

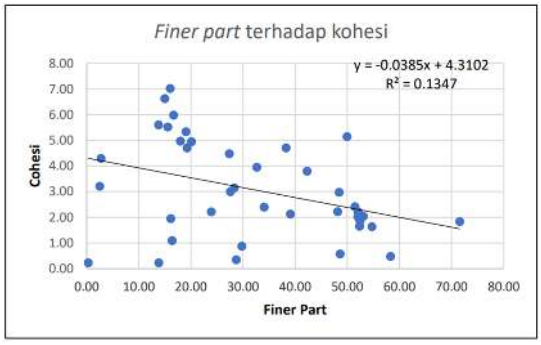
Tabel 3 menunjukkan bahwa analisis regresi antara parameter distribusi ukuran butir dan kohesi secara umum tergolong sangat lemah hingga lemah. Koefisien keseragaman (Cu) dan koefisien kelengkungan (Cc) masing-masing hanya menghasilkan R^2 sebesar 0,0259 (y = 0,0065x + 3,3191) dan 0,0158 (y = 0,1202x + 3,3099). Sementara itu, *coarse part* juga tergolong sangat lemah dengan R^2 sebesar 0,0963 (y = 0,0316x + 0,887). Rendahnya R^2 tersebut mengindikasikan bahwa distribusi ukuran butir belum mampu menjelaskan variasi kohesi pada data penelitian. Adapun *finer part* menghasilkan R^2 tertinggi sebesar 0,1347 (y = -0,0385x + 4,3102), meski hubungannya tetap lemah. Hal ini terjadi karena *finer part* mencakup seluruh material di bawah 4,75 mm yang masih didominasi pasir, sehingga tidak dapat langsung dianggap sebagai material kohesif. Oleh karena itu, pengaruh material kohesif seperti lempung dan lanau sebaiknya dianalisis secara terpisah. Grafik hubungan tiap-tiap parameter disajikan pada Gambar 4, 5, 6, dan 7.



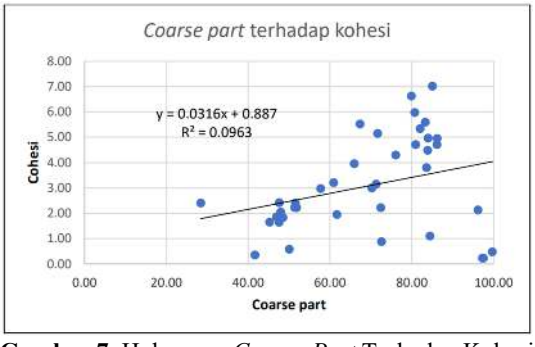
Gambar 4. Hubungan Cu Terhadap Kohesi



Gambar 5. Hubungan Cc Terhadap Kohesi



Gambar 6. Hubungan *Fine Part* Terhadap Kohesi



Gambar 7. Hubungan *Coarse Part* Terhadap Kohesi

4.4 Hubungan Distribusi Ukuran Butir terhadap Sudut Geser Dalam

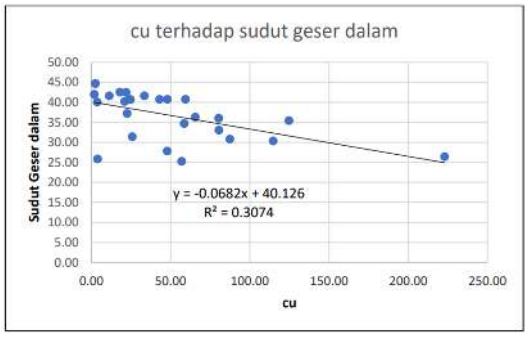
Hasil regresi terhadap sudut geser dalam menunjukkan hubungan yang lebih jelas dibandingkan hubungan terhadap kohesi.

Tabel 4. Rekapitulasi Analisis Hubungan terhadap Sudut geser dalam

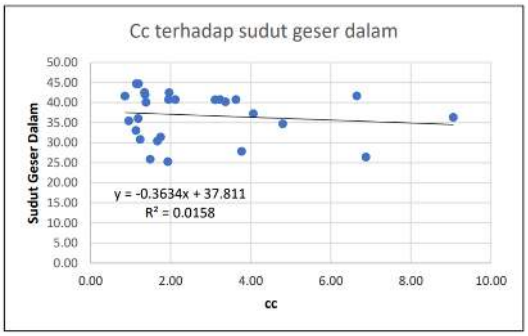
Parameter	Persamaan	R^2	Interpretasi
Cu	φ = -0,0682Cu + 40,126	0,3074	Lemah–Sedang
Cc	φ = -0,3634Cc + 37,811	0,0158	Sangat Lemah
Finer Part	φ = -0,2692(Finer) + 43,055	0,5477	Sedang
Coarse Part	φ = 0,2692(Coarse) + 16,137	0,5477	Sedang

Sumber : Perhitungan Excel 2026

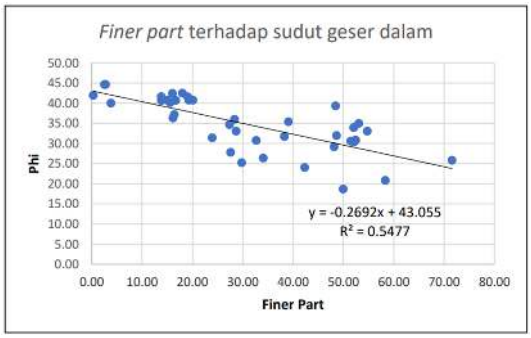
Pada Tabel 4 parameter *coarse part* menghasilkan hubungan positif dengan sudut geser dalam. Nilai R^2 sebesar 0,5477 menunjukkan hubungan sedang. Kecenderungan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan proporsi material kasar diikuti oleh peningkatan nilai φ pada data penelitian. Kondisi tersebut dapat dikaitkan dengan meningkatnya kontak antar butir kasar dan mekanisme *interlocking*. Penelitian mengenai campuran *soil-rock* menunjukkan bahwa peningkatan kandungan gravel meningkatkan kontribusi kontak antar partikel gravel terhadap perilaku geser [4]. Penelitian lain pada campuran pasir-gravel juga menunjukkan bahwa kandungan gravel merupakan salah satu faktor yang memengaruhi perilaku geser material. Sebaliknya, *finer part* memiliki hubungan negatif terhadap φ dengan nilai R^2 sebesar 0,5477. Hal tersebut merupakan konsekuensi langsung dari hubungan komposisi antara *coarse part* dan *finer part*. Semakin besar persentase *finer part*, semakin kecil persentase *coarse part*. Hubugan Cu, Cc, Finer Part, dan *Coarse Part* terhadap sudut geser dalam ditampilkan pada Gambar 8, 9, 10, dan 11.



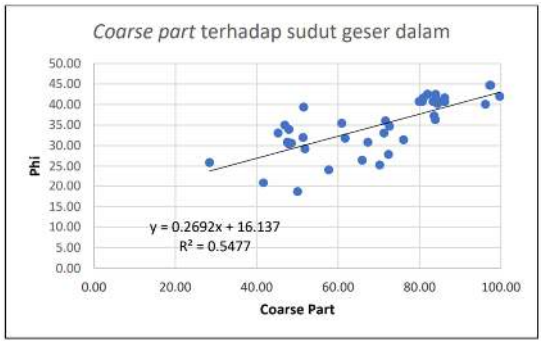
Gambar 8. Hubungan Cu Terhadap Sudut Geser Dalam



Gambar 9. Hubungan Cc Terhadap Sudut Geser Dalam



Gambar 10. Hubungan *Finer Part* Terhadap Sudut Geser Dalam



Gambar 11. Hubungan *Coarse Part* Terhadap Sudut Geser Dalam

4.5 Pembahasan terhadap Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan antara karakteristik ukuran butiran dan sudut geser dalam lebih terlihat dibandingkan hubungannya dengan kohesi. Temuan tersebut sejalan dengan konsep dasar mekanika tanah bahwa material granular umumnya memperoleh tahanan geser dari mekanisme gesekan dan interaksi antar partikel [1],[2]. Islam et al. [5] menunjukkan bahwa ukuran partikel berpengaruh terhadap perilaku kuat geser pasir. Hal ini memberikan dasar bahwa perubahan karakteristik ukuran partikel dapat memengaruhi sudut geser dalam material granular.

Sementara itu, Umam et al. [11] menunjukkan bahwa kadar lempung dapat memengaruhi kuat geser. Hasil tersebut memberikan gambaran bahwa fraksi halus perlu diperhatikan secara lebih spesifik. Dalam penelitian ini, *finer part* masih mencakup pasir, lanau, dan lempung sehingga belum dapat menggambarkan pengaruh material kohesif secara spesifik. Richefeu et al. [15] juga menunjukkan pentingnya mekanisme kontak dan kondisi material granular dalam perilaku kuat geser. Hal tersebut mendukung interpretasi bahwa peningkatan proporsi material kasar dapat berkaitan dengan perubahan mekanisme interaksi antar partikel.

4.6 Faktor Lain yang Memengaruhi Hasil

Nilai R^2 yang belum mencapai 1,00 menunjukkan bahwa distribusi ukuran butiran bukan satu-satunya faktor yang memengaruhi parameter kuat geser. Beberapa faktor yang kemungkinan berkontribusi terhadap variasi nilai tersebut antara lain:

1. Kepadatan material. Material dengan susunan partikel yang lebih rapat memiliki kontak antar partikel yang lebih banyak sehingga dapat menghasilkan tahanan geser yang lebih tinggi.
2. Bentuk dan angularitas butiran. Butiran bersudut cenderung menghasilkan mekanisme *interlocking* yang lebih kuat dibandingkan butiran yang membulat.
3. Kadar air. Perubahan kadar air dapat memengaruhi kondisi kontak antar partikel serta respons material terhadap pembebanan.
4. Karakteristik material halus. Kandungan lempung, plastisitas, dan karakteristik mineralogi dapat memberikan pengaruh terhadap kohesi.
5. Kondisi pengujian LSDS. Tegangan normal, persiapan sampel, dan kondisi pelaksanaan pengujian dapat memengaruhi hasil.

Beberapa penelitian mengidentifikasi jenis material, kepadatan, bentuk butiran, kadar air, tegangan normal, dan persiapan sampel sebagai faktor yang dapat memengaruhi hasil LSDS, tetapi faktor-faktor tersebut tidak dianalisis secara khusus dalam penelitian ini. Oleh karena itu, model regresi yang diperoleh dalam penelitian ini harus dipahami sebagai hubungan empiris berdasarkan data set penelitian, bukan persamaan universal yang dapat digunakan untuk semua material.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian *Large Scale Direct Shear* (LSD) terhadap 40 sampel material yang didominasi oleh kelompok *gravel* (GW 25,0%, GP 42,5%, GC 30,0%, dan SP 2,5%), diperoleh nilai kohesi rata-rata sebesar 3,1 kg/cm² (rentang 0,2 – 7,0 kg/cm²) serta sudut

geser dalam (φ) rata-rata sebesar 34,6° (rentang 18,7°– 44,7°). Analisis menunjukkan bahwa hubungan distribusi ukuran butir terhadap kohesi relatif lemah (R^2 antara 0,0158 – 0,1347), sedangkan hubungannya terhadap sudut geser dalam jauh lebih jelas, terutama pada parameter *coarse part* (hubungan positif, $R^2 = 0{,}5477$) dan *finer part* (hubungan negatif, $R^2 = 0{,}5477$) yang terbukti paling representatif. Dengan demikian, proporsi material kasar dan material berukuran di bawah 4,75 mm memiliki korelasi yang lebih baik dalam menjelaskan variasi sudut geser dalam dibandingkan parameter Cu ($R^2 = 0{,}3074$) dan Cc ($R^2 = 0{,}0158$), meskipun hubungan empiris ini masih dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti kepadatan, bentuk butir, kadar air, sifat material halus, dan kondisi pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

[1] B. M. Das and K. Sobhan, "Geotechnical engineering," 2018.

[2] M. Budhu, *Soil mechanics and foundations*. John Wiley and Sons, 2010.

[3] J. Knappett and R. F. Craig, *Craig's soil mechanics*. CRC press, 2019.

[4] A. S. for T. and Materials, *Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*, vol. 34. 2017.

[5] M. N. Islam, A. Siddika, M. B. Hossain, A. Rahman, and M. A. Asad, "Effect of particle size on the shear strength behaviour of sands," *Australian Geomechanics*, vol. 46, no. 3, pp. 75–86, 2011.

[6] R. Hidayat, "Peninjauan Perilaku Geser Pasir Dengan Variasi Kepadatan Tanah Menggunakan Uji Geser Langsung," 2025, *Universitas Gadjah Mada*.

[7] R. P. RAMBE, "Pengaruh Fraksi Lempung Pada Pasir Terhadap Nilai Kohesi Tanah Dan Indeks Plastisitas," 2016.

[8] B. S. Nasional, *Cara uji kuat geser langsung tanah terkonsolidasi dan terdrainase (SNI 2813 : 2008)*. Indonesia, 2008.

[9] H. Darwis, *Dasar - Dasar Mekanika Tanah*, I. Yogyakarta: Pena Indis, 2018.

[10] B. S. Nasional, *Metode uji kuat geser langsung tanah tidak terkonsolidasi dan tidak terdrainase (SNI 3420 : 2016)*. Indonesia, 2016.

[11] K. Umam, S. A. Nugroho, and G. Wibisono, "Pengaruh gradasi pasir dan kadar lempung terhadap kuat geser tanah," 2017, *Riau University*.

[12] F. F. Yolanda, "Kajian Sifat Mekanik Tanah Terhadap Risiko Longsor Tebing Sungai Batang Lubuh Di Kecamatan Rambah, Kabupaten Rokan Hulu," 2026, *Universitas Pasir Pengaraian*.

[13] A. Sahadewa, "Perkembangan Uji Geser Langsung Skala Ukuran Besar untuk Material Acak Bendungan di Indonesia," *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL*, vol. 31, no. 1, pp. 1–15, 2025.

[14] S. N. Indonesia, *Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus Dan Agregat Kasar (SNI ASTM C16-2012)*. Indonesia, 2012.

[15] V. Richefeu, M. S. El Youssoufi, and F. Radjai, "Shear strength properties of wet granular materials," *Physical Review E—Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, vol. 73, no. 5, p. 51304, 2006.