

Pengaruh Kandungan Senyawa Kuarsa Terhadap Sifat Plastisitas dan Nilai Kuat Geser Tanah pada Ruas Jalan Elelim, Arso, Koya, Pasir 6 dan Sentani

Atika Reski Amalia¹

Civil Engineering, Cenderawasih University, Jayapura^{1,2}
e-mail: atikareski012@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kandungan senyawa kuarsa terhadap sifat plastisitas dan kuat geser tanah pada beberapa ruas jalan di wilayah Papua, yaitu Elelim, Arso, Koya, Pasir 6, dan Sentani. Pengujian laboratorium meliputi analisis kandungan mineral menggunakan X-Ray Diffraction (XRD), uji batas Atterberg untuk menentukan indeks plastisitas (IP), serta uji Triaksial UU untuk memperoleh nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Hasil analisis menunjukkan bahwa kuarsa merupakan mineral dominan dengan proporsi 44,1%–77,7%. Peningkatan kandungan kuarsa berbanding terbalik dengan nilai indeks plastisitas, di mana tanah dengan kadar kuarsa tinggi menunjukkan plastisitas rendah. Sebaliknya, kadar kuarsa rendah dengan dominasi mineral lempung menghasilkan nilai IP tinggi. Selain itu, semakin tinggi kandungan kuarsa, semakin besar pula nilai kohesi dan sudut geser dalam yang menandakan peningkatan kuat geser tanah. Dengan demikian, kandungan kuarsa terbukti menjadi faktor penting yang meningkatkan kestabilan dan daya dukung tanah terhadap beban geser, sehingga dapat dijadikan acuan dalam perencanaan konstruksi jalan di wilayah dengan kondisi geoteknik serupa.

Kata kunci: kuarsa, indeks plastisitas, kuat geser, XRD, Triaksial UU, tanah lempung

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tanah merupakan salah satu komponen utama yang mempengaruhi kestabilan dan kekuatan struktur suatu bangunan karena memiliki fungsi dasar sebagai material penerima dan penahan beban dari suatu struktur di atasnya. Tanah memiliki sifat berbeda-beda di setiap daerah dan hanya sebagian yang layak digunakan sebagai penopang atau penahan konstruksi. Kesalahan dalam desain yang tidak memperhatikan jenis tanah dan kandungan senyawanya seperti indeks plastisitas dapat menyebabkan kegagalan struktur, kerugian materil, korban jiwa, dan terhambatnya proyek.

Wilayah Papua, khususnya Kota Jayapura, memiliki kondisi tanah yang bervariasi dengan banyak ruas jalan mengalami kerusakan seperti di daerah Sentani, Pasir 6, Koya, Arso, dan Elelim. Kerusakan jalan yang sering terjadi, seperti longsor dan ambles, menyebabkan terhambatnya distribusi bahan pokok dan meningkatnya biaya pekerjaan. Salah satu faktor utama penyebab kerusakan tersebut adalah jenis tanah lempung yang memiliki daya dukung rendah dan tingkat plastisitas tinggi. Kandungan senyawa tanah lempung yang dipengaruhi oleh air menyebabkan plastisitas, kembang susut besar, dan kekuatan tanah yang lemah.

Untuk itu, penelitian ini dilakukan untuk menentukan dan mengeksplorasi hubungan antara kandungan senyawa tanah dan sifat plastisitas serta nilai kuat geser tanah. Dalam konteks ini, kandungan senyawa yang dimaksud merupakan komposisi mineralogi tanah yang dapat mempengaruhi interaksi antarpartikel. Sebagai contoh, tanah yang kaya mineral kaolinit memiliki kohesi lebih tinggi, sedangkan tanah dengan kandungan kuarsa lebih tinggi menunjukkan perilaku plastis lebih besar tetapi dengan kuat geser lebih rendah saat jenuh.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini mengkaji “Pengaruh Kandungan Senyawa Kuarsa terhadap Sifat Plastisitas dan Nilai Kuat Geser Tanah pada Ruas Jalan Elelim, Arso, Koya, Pasir 6 dan Sentani.” Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis karakteristik kandungan senyawa kuarsa tanah lunak pada ruas jalan tersebut serta hubungan kandungan senyawa kuarsa terhadap nilai indeks plastisitas dan kuat geser tanah.

Dengan demikian, tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan karakteristik kandungan senyawa kuarsa tanah lunak, serta mengetahui pengaruh kandungan senyawa kuarsa terhadap nilai indeks plastisitas dan nilai kuat geser tanah pada lokasi penelitian di ruas jalan Elelim, Arso, Koya, Pasir 6, dan Sentani.

2. KAJIAN PUSTAKA

Tanah

Tanah merupakan material alam yang terbentuk melalui proses pelapukan batuan dan dekomposisi bahan organik, yang memiliki komposisi yang kompleks dan variatif. Tanah terdiri dari partikel-partikel mineral, air, udara, dan bahan organik yang memiliki peran penting dalam mendukung kehidupan tanaman dan berfungsi sebagai pondasi dalam konstruksi. Tanah dikelompokkan berdasarkan ukuran partikel, seperti pasir, debu, dan lempung, yang masing-masing memiliki sifat fisik yang berbeda (Fitzpatrick et al., 2011). Proses pembentukan tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti iklim, organisme, waktu, dan jenis batuan induk, yang akan menghasilkan sifat tanah yang berbeda-beda di setiap lokasi (Maricar, 2021). Kualitas tanah sangat dipengaruhi oleh komponen mineralogi dan kimiawi yang terkandung di dalamnya, yang dapat memengaruhi daya dukung tanah untuk keperluan teknik sipil. Tanah lempung, yang banyak digunakan dalam penelitian ini, memiliki ukuran partikel yang sangat kecil, sehingga memiliki luas permukaan yang tinggi. Ini membuat tanah lempung memiliki kemampuan untuk menyerap air dalam jumlah banyak dan mengubah sifat fisiknya saat kadar air berubah (Kenichi & Soga, 2005). Mineral-mineral lempung merupakan produk pelapukan batuan yang terbentuk dari penguraian kimiawi mineral-mineral silikat lainnya dan selanjutnya terangkut ke lokasi pengendapan oleh berbagai kekuatan. Mineral-mineral lempung digolongkan ke dalam golongan besar yaitu Kuarsa (SiO_2), Kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), Illite ($\text{K}_y\text{Al}_2(\text{Fe}_2\text{Mg}_2\text{Mg}_3)(\text{Si}_{4y}\text{Al}_y)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$), dan Montmorillonite ($\text{Al}_2\text{Mg}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$). Pemahaman tentang sifat-sifat tanah sangat penting dalam merancang teknik pemanjangan tanah untuk pondasi bangunan atau infrastruktur lainnya. Tanah yang terlalu plastis atau terlalu cair dapat menyebabkan kegagalan struktural jika tidak dikelola dengan baik (Wibowo, 2025).

Sifat Kimiawi Tanah

Sifat kimiawi tanah merujuk pada komposisi senyawa kimia yang terkandung dalam tanah dan bagaimana senyawa tersebut berinteraksi dengan air dan udara. Komponen utama dalam kandungan senyawa tanah antara lain kandungan kation (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), bahan organik, dan kapasitas tukar kation (CTC), yang mempengaruhi kesuburan tanah serta kestabilan mekanik tanah tersebut (Bohn, 2014). Kandungan bahan organik juga memainkan peran penting dalam sifat kimia tanah, di mana bahan organik berfungsi untuk meningkatkan kapasitas tukar kation, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan ketersediaan unsur hara untuk tanaman (Nenobesi et al., 2017). Komposisi kation dapat mempengaruhi kekuatan tanah dan kemampuan tanah untuk menahan air. Tanah dengan kandungan ion kalsium tinggi biasanya memiliki kohesi yang lebih kuat dan menunjukkan nilai kuat geser yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah yang kaya akan natrium atau kalium (Huang et al., 2018). Kandungan senyawa tanah dapat diukur melalui analisis laboratorium, seperti difraksi sinar-X (XRD) dan kandungan senyawa atau komposisi kimia dapat diukur dengan pengujian X-ray Fluorescence (XRF). Pengujian XRF dan XRD digunakan untuk mengidentifikasi kandungan unsur dan struktur kristal tanah:

- Pengujian XRF: dijelaskan melalui efek fotolistrik

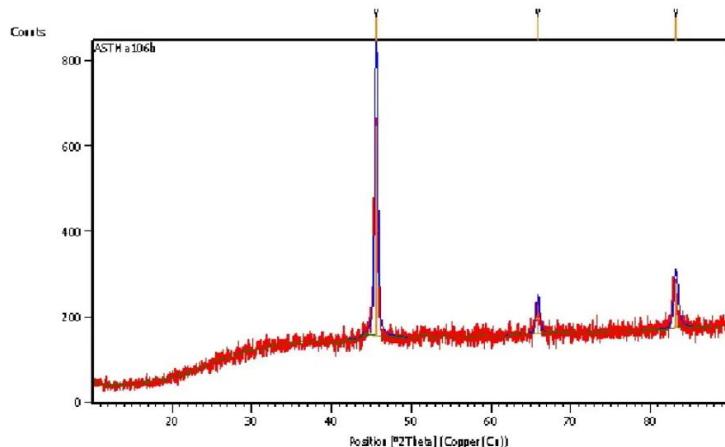
Tabel 1 Hasil Pengujian XRF

No	Nama Logam	Uji XRF
1	Silikon	✓
2	Calsium	✓
3	Cadmium	-
4	Timbal	-
5	Kalium	✓
6	Natrium	-
7	Magnesium	-
8	Aluminium	-
9	Tembaga	✓
10	Mangan	✓
11	Besi	✓
12	Nikel	✓

13	Chromium	✓
14	Seng	-
15	Bismut	-
16	Boron	-
17	Tulium	-
18	Posfor	✓
19	Iterbium	✓

Sumber : Google Chrome

- b. Pengujian XRD: menggunakan hukum Bragg dengan data intensitas dan sudut difraksi



Gambar 1 Contoh Hasil Pengujian XRD

Sifat Plastisitas

Sifat plastisitas tanah menggambarkan kemampuan tanah untuk berubah bentuk tanpa mengalami kerusakan atau retak. Plastisitas sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel tanah, komposisi mineralogi, serta kandungan air dalam tanah (Kenichi & Soga, 2005). Indeks plastisitas (IP) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat plastisitas tanah, yang dihitung sebagai selisih antara batas cair dan batas plastis tanah (Head, 1994). Tanah lempung memiliki nilai plastisitas yang tinggi karena memiliki partikel halus dengan luas permukaan yang besar, yang memungkinkan adanya interaksi antara molekul air dan mineral tanah (Fitzpatrick et al., 2011). Plastikitas tanah dapat berkurang dengan adanya bahan stabilisasi, seperti kapur atau semen, yang mengubah struktur tanah dan mengurangi kemampuan tanah untuk mempertahankan air (Zhou et al., 2016). Tanah yang berbutir halus biasanya memiliki sifat plastis. Atterberg (1911) memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar airnya. Batas-batas tersebut adalah batas cair, batas plastis dan batas susut.

Batas cair merupakan kadar air tanah pada keadaan batas peralihan antara cair dan batas plastis. Adapun rumus untuk batas cair adalah:

$$\text{Batas Cair} = \frac{W2 - W3}{W3 - W1} \times 100\%$$

Keterangan :

W1 = Berat cawan

W2 = Berat Tanah Basah

W3 = Berat Tanah Kering

Batas plastis adalah kadar air minimum yang dikandung tanah tersebut dimana tanah itu masih dalam keadaan plastis atau untuk menentukan kadar air contoh tanah pada peralihan keadaan plastis keadaan semi padat. Adapun rumus untuk batas plastis adalah:

$$\text{Batas Plastis} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%.$$

$$\text{Indeks Platisitas (IP)} = LL - PL$$

Keterangan :

W1 = Berat cawan

W2 = Berat Tanah Basah

W3 = Berat Tanah Kering

Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan ilmu yang mempelajari cara-cara membedakan sifat-sifat tanah satu sama lain, dan mengelompokkan tanah kedalam kelas-kelas tertentu berdasarkan kesamaan sifat yang dimiliki (Hardjowigeno, 2003). Tujuan dari sistem klasifikasi tanah yaitu untuk memberikan informasi karakteristik dan sifat-sifat fisik tanah (Bowles, 1986). Ada banyak pengklasifikasian tanah yang berkembang di dunia namun terdapat dua jenis klasifikasi tanah yang sering digunakan yaitu USCS (*Unified Soil Classification System*).

Analisa USCS (*Unified Soil Classification System*) didasarkan pada sifat tekstur tanah dan sistem ini menempatkan tanah dalam dua kelompok yaitu tanah berbutir kasar (*coarse-grained soil*) dan tanah berbutir halus (*fine-grained soil*). Tanah berbutir kasar yaitu tanah kerikil dan pasir kurang dari 50% berat total (lebih dari 50% tertahan pada saringan No.200) Tanah berbutir kasar dibagi menjadi kerikil (G=Gravel) dan pasir (S=Sand) Setiap grup dari bagian ini dibagi kembali menjadi empat golongan yaitu W (*Well Graded*), P (*Poorly Graded*), C (*Clay*), dan M (*Silt*, untuk membedakan terhadap Sand maka digunakan notasi M). Sementara tanah berbutir halus yaitu tanah yang lebih dari 50% berat total (kurang dari 50% tertahan pada saringan No.200) Tanah berbutir halus dibagi menjadi M (*Silt*), C (*Clay*), O (*Organic*), PT (*Peat*).

Nilai Kuat Geser Tanah

Nilai kuat geser tanah adalah parameter yang menunjukkan kemampuan tanah untuk menahan gaya geser tanpa mengalami kegagalan struktural (Kenichi & Soga, 2005). Kuat geser tanah juga dipengaruhi oleh kadar air dalam tanah, di mana tanah yang lebih basah cenderung memiliki nilai kuat geser yang lebih rendah karena air yang mengurangi kohesi antar partikel tanah (Fitzpatrick et al., 2011).

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel (Bowles, 1986).

Adapun perhitungan untuk tes pemadatan ini adalah:

$$\text{Berat Isi Bersih} : \gamma = \frac{B_1 - B_2}{V}$$

Keterangan:

B1= Berat *mold*

B2= Berat *mold* + berat tanah

V = Volume *mold*

$$\text{Berat Isi Kering} : \gamma_d = \frac{\gamma \times 100}{(100 + W)}$$

Keterangan:

W= Kadar air sesuai kompaksi

Nilai kuat geser dapat ditentukan menggunakan lingkaran Mohr untuk mendapatkan kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) (Das, 1995).

Dilakukan pada sampel tanah benda uji tanah campuran dengan 3 buah sampel dengan persamaan berikut.

$$\Delta\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_1 = \Delta\sigma + \sigma_3$$

dengan:

P = Beban

A = Luas permukaan benda uji

$\Delta\sigma$ = Tegangan deviator

σ_1 = Tegangan total

σ_3 = Tegangan sel

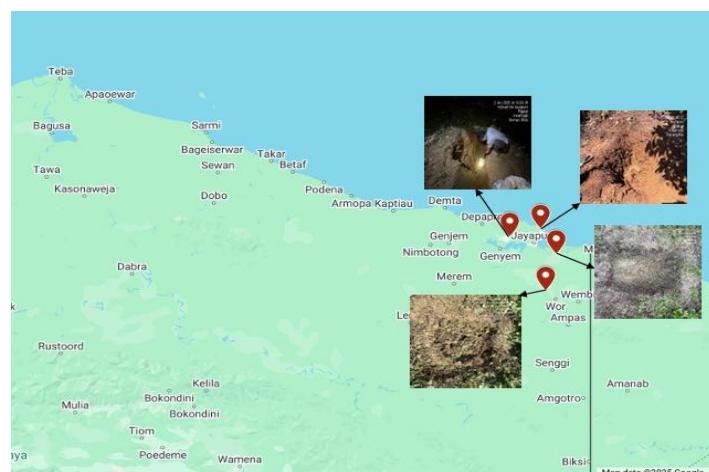
3. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan sampel tanah lempung berlokasi di ruas jalan Elelim, Arso, Koya, Pasir 6, dan Sentani.



Gambar 2 Peta Lokasi Pengambilan Sampel di sekitar Distrik Elelim



Gambar 3 Peta Lokasi Pengambilan Sampel dilokasi Arso, Koya, Pasir 6 dan Sentani

Jenis dan Sumber Data

Dalam penulisan tugas akhir ini dilakukan beberapa cara untuk dapat mengumpulkan data pendukung agar tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Jenis data yang digunakan merupakan data kualitatif dan data kuantitatif. Beberapa sumber data yang digunakan antara lain data primer dan data sekunder.

Teknik Pengumpulan Data dan Pengujian Laboratorium

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih. Beberapa pengujian yang dilakukan antara lain pengujian sifat fisis tanah, pengujian sifat mekanis tanah, dan pengujian kandungan senyawa kimia.

a. Pengujian Sifat Fisis Tanah

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik tanah tersebut. Pengujian sifat fisis yang dilakukan diantaranya adalah kadar air, analisis saringan, dan batas-batas konsistensi.

Kadar air tanah (SNI 03-1965-1990) merupakan perbandingan antara berat air yang dikandung tanah dengan berat kering tanah:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

dengan W_w adalah berat air dan W_s berat tanah kering.

Pengujian analisis saringan (SNI 3423:2008) adalah untuk mengetahui ukuran butir tanah dan susunan butir tanah (gradasi) dengan cara mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui satu set ayakan.

Batas cair (SNI 03-1967-1990) merupakan kadar air tanah pada keadaan batas peralihan antara cair dan plastis.

Batas plastis (SNI 03-1966-2008) adalah kadar air minimum yang dikandung tanah tersebut dimana tanah itu masih dalam keadaan plastis atau pada peralihan keadaan plastis ke keadaan semi padat.

b. Pengujian Sifat Mekanis Tanah

Pengujian Pemadatan Standar (SNI 1742-2008) dilakukan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah dengan cara memadatkan sampel dalam cetakan silinder berukuran tertentu dengan menggunakan alat penumbuk 2,5 kg dan tinggi jatuh 30 cm. Tujuan pemasatan tanah adalah memadatkan tanah pada kadar air optimum dan memperbaiki karakteristik mekanik tanah yang akan memberikan keuntungan yaitu memperkecil pengaruh air terhadap tanah, bertambahnya kekuatan tanah, memperkecil pemampatan dan daya rembes airnya.

Peralatan yang digunakan:

- a) Cetakan
- b) Alat penumbuk
- c) Alat pengeluarn benda uji (*extruder*)
- d) Timbangan
- e) Oven pengering
- f) Pisau perata
- g) Saringan
- h) Alat pencampur

c. Pengujian Kuat Geser Tanah (Triaksial UU)

Pengujian Triaksial adalah uji laboratorium yang dilakukan untuk mengetahui nilai-nilai dari parameter kuat geser tanah yaitu c (kohesi) dan ϕ (sudut geser dalam) dalam tegangan total maupun efektif.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

dengan τ = kuat geser tanah, c = kohesi, σ = tegangan normal, dan ϕ = sudut geser dalam.

Uji triaksial UU adalah uji kompresi triaksial dimana tidak diperkenankan perubahan kadar air dalam contoh tanah. Sampel tidak dikonsolidasikan dan air pori tidak teralir saat pemberian tegangan geser.

d. Pengujian Kandungan Senyawa Kimia

X-ray Diffraction (XRD) merupakan teknik analisis yang digunakan untuk menentukan struktur kristal dan komposisi mineral dalam sampel tanah. Metode ini memanfaatkan prinsip difraksi sinar-X yang terjadi ketika sinar-X mengenai permukaan kristal, menghasilkan pola difraksi yang unik untuk setiap mineral. X-ray Fluorescence (XRF) adalah teknik analisis yang digunakan untuk menentukan komposisi senyawa kimia dalam sampel tanah. Metode ini bekerja dengan cara memancarkan sinar-X ke sampel, yang kemudian menyebabkan elemen dalam sampel mengeluarkan sinar-X sekunder.

Teknik Analisis Data

Penelitian kali ini menggunakan teknik analisis data dari hasil pengujian laboratorium dengan standar SNI. Penelitian dilakukan pada tanah dari 10 sampel dari lokasi yang berbeda-beda. Melalui penelitian ini akan diketahui bagaimana pengaruh kandungan senyawa kimia terhadap nilai indeks plastisitas dan nilai kuat geser tanah. Selanjutnya dilakukan analisis data yaitu mengelompokkan data ke dalam masing-masing kelompok pengujian, dilakukan perhitungan hasil uji laboratorium kemudian menganalisis hasil perhitungan terkait pengaruh kandungan senyawa kimia terhadap nilai indeks plastisitas tanah dan nilai kuat geser tanah.

4. HASIL

Pengujian kandungan senyawa kimia menggunakan metode XRD dan XRF dengan menggunakan masing-masing satu sampel pada setiap titik lokasi. Untuk mengetahui jenis senyawa dan proporsinya dilakukan pengujian pada masing-masing sampel. Berikut merupakan hasil pengujian kandungan senyawa kimia menggunakan XRD.

Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Pengujian XRD

Nama Sampel	Proporsi Kandungan Senyawa
Lokasi 1	76,1% Kuarsa
Lokasi 2	56,9% Kuarsa

Lokasi 3	44,1% Kuarsa
Lokasi 4	77,7% Kuarsa
Lokasi 5	70,9% Kuarsa
Lokasi 6	65,5% Kuarsa
Lokasi 7	72,8% Kuarsa
Lokasi 8	67,0% Kuarsa
Lokasi 9	79,0% Goethite
Lokasi 10	68,5% Kaolinite, 24,2% Kuarsa

(Sumber: Data Primer, 2025)

Hasil analisis XRD pada 10 lokasi diketahui bahwa kandungan senyawa kimia yang terdapat dan dominan pada semua sampel merupakan senyawa Quartz atau kuarsa. Dapat dilihat pada tabel di atas, nilai kandungan senyawa kuarsa terbesar dengan nilai proporsi sebanyak 77,7% pada lokasi 4 dan nilai kandungan senyawa terkecil dengan nilai proporsi hampir tidak ada pada lokasi 9.

Dari masing-masing data kandungan senyawa terdapat perbedaan jumlah atau proporsi kandungan senyawa dan ditemukan bahwa senyawa yang mendominasi adalah senyawa kuarsa, di mana senyawa kuarsa terbentuk oleh silikon dioksida atau silika (SiO_2) yang merupakan senyawa yang terdiri dari atom silikon (Si) dan atom oksigen (O), serta merupakan salah satu senyawa yang paling umum ditemukan di bumi.

Setelah diketahui kandungan senyawa dominan pada masing-masing lokasi melalui pengujian XRD, langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi sifat fisik tanah melalui pengujian Atterberg. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat plastisitas tanah dengan menentukan batas cair (liquid limit), batas plastis (plastic limit), dan indeks plastisitas (IP). Nilai indeks plastisitas digunakan untuk menggambarkan kemampuan tanah dalam berubah bentuk akibat kadar air dan menunjukkan jenis tanah berdasarkan klasifikasinya.

Pengujian Atterberg terdiri dari dua pengujian yaitu pengujian batas cair (liquid limit) dan batas plastis (plastic limit). Batas cair merupakan sifat tanah pada batas dari keadaan cair menjadi plastis, sedangkan batas plastis merupakan batas terendah kondisi kadar air ketika tanah masih pada kondisi plastis. Selisih antara batas cair tanah dan batas plastis tanah disebut Indeks Plastisitas (IP).

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat plastisitas tanah pada sepuluh lokasi yang berbeda. Rekapitulasi hasil pengujian batas cair, batas plastis, dan nilai indeks plastis pada masing-masing sampel tanah ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Rekapan Hasil Pengujian Atterberg Tanah Asli di 10 Lokasi

Varian Pengujian	Batas Cair (LL)	Batas Plastis (PL)	Indeks Plastisitas (IP)
Lokasi 1	40,81%	31,45%	9,36%
Lokasi 2	37,31%	19,55%	17,76%
Lokasi 3	38,25%	19,57%	18,68%
Lokasi 4	38,99%	30,98%	8,01%
Lokasi 5	34,81%	19,84%	14,97%
Lokasi 6	37,02%	20,32%	16,69%
Lokasi 7	41,90%	31,2%	10,71%
Lokasi 8	40,59%	25,23%	15,36%
Lokasi 9	42,98%	19,57%	23,41%
Lokasi 10	43,79%	21,48%	22,31%

(Sumber: Data Primer, 2025)

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 3, nilai batas cair (LL) tanah asli di sepuluh lokasi berkisar antara 34,81% hingga 43,79%, sedangkan nilai batas plastis (PL) berkisar antara 18,84% hingga 31,45%. Nilai indeks plastisitas (IP), yang diperoleh dari selisih antara LL dan PL, menunjukkan variasi plastisitas tanah yang cukup beragam pada tiap lokasi, dengan rentang 9,36% hingga 23,41%.

Nilai IP yang relatif rendah, seperti yang terlihat pada Lokasi 1 (9,36%) dan Lokasi 7 (10,71%), menunjukkan bahwa tanah pada lokasi tersebut memiliki sifat plastisitas rendah, cenderung bersifat lebih granular atau berpasir. Sementara itu, nilai IP yang lebih tinggi, seperti pada Lokasi 9 (23,41%) dan Lokasi 10 (22,31%), menunjukkan bahwa tanah memiliki sifat plastisitas sedang hingga tinggi, yang menandakan adanya kandungan lempung yang lebih dominan.

Secara umum, variasi nilai indeks plastisitas ini menunjukkan perbedaan sifat mineral lempung dan kandungan fraksi

halus pada setiap lokasi. Hasil ini juga mengindikasikan bahwa meskipun senyawa kuarsa mendominasi sebagaimana ditunjukkan pada hasil analisis XRD, keberadaan fraksi lempung dengan sifat plastisitas sedang hingga tinggi tetap memengaruhi perilaku fisik tanah, terutama dalam hal kemampuan mengembang dan mengkerut saat mengalami perubahan kadar air. Dengan demikian, hasil pengujian Atterberg ini memperkuat temuan sebelumnya bahwa karakteristik mineral dan komposisi tanah berperan penting terhadap perilaku plastisitas tanah pada masing-masing lokasi penelitian.

Setelah diperoleh nilai indeks plastisitas dari pengujian Atterberg, dilakukan pengujian kuat geser tanah menggunakan metode Triaksial UU (Unconsolidated Undrained). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat geser tanah asli melalui parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) yang merepresentasikan daya ikat antar butiran dan kemampuan tanah menahan gaya geser pada kondisi tak terkonsolidasi dan tak terdrainase.

Pengujian Triaksial UU dilakukan dengan memberikan tekanan konstan pada sampel tanah hingga terjadi keruntuhan untuk mendapatkan parameter kuat geser berupa nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Hasil rekapitulasi nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah asli dari sepuluh lokasi pengujian dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Rekapan Hasil Pengujian Triaksial Tanah Asli di 10 Lokasi

Varian Pengujian	Kohesi	Sudut Geser Dalam
Lokasi 1	31,28	23,39
Lokasi 2	26,62	19,92
Lokasi 3	25,52	19,00
Lokasi 4	32,50	23,95
Lokasi 5	29,26	21,95
Lokasi 6	27,10	20,87
Lokasi 7	30,14	22,71
Lokasi 8	28,48	21,24
Lokasi 9	22,21	16,87
Lokasi 10	24,05	18,14

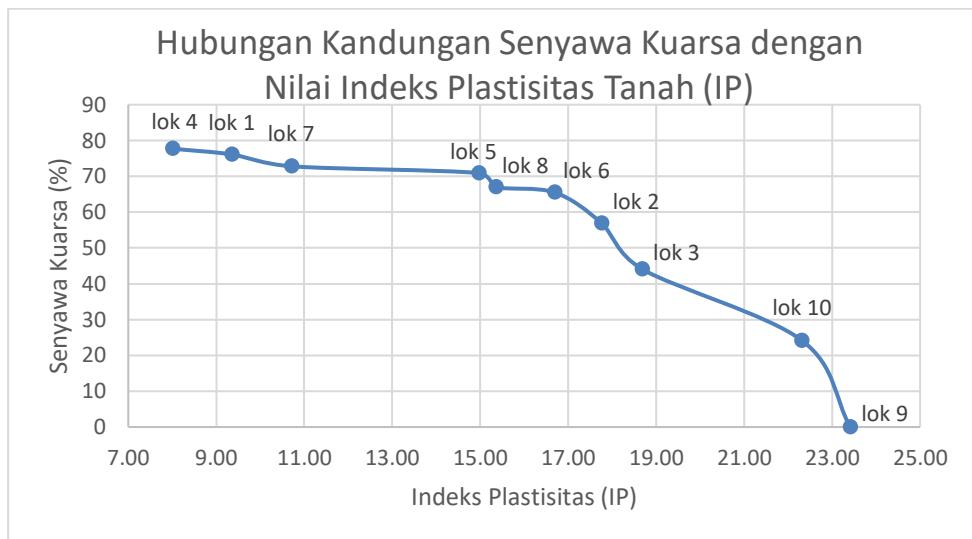
(Sumber: Data Primer, 2025)

Berdasarkan hasil pengujian Triaksial UU pada tanah asli di sepuluh lokasi, diketahui bahwa nilai kohesi (c) berkisar antara $22,21 \text{ kN/m}^2$ hingga $32,50 \text{ kN/m}^2$, sedangkan nilai sudut geser dalam (ϕ) berkisar antara $16,87^\circ$ hingga $23,95^\circ$. Nilai kohesi tertinggi terdapat pada Tanah Asli Lokasi 4 sebesar $32,50 \text{ kN/m}^2$ dan nilai terendah pada Tanah Asli Lokasi 9 sebesar $22,21 \text{ kN/m}^2$. Sedangkan nilai sudut geser dalam tertinggi juga terdapat pada Tanah Asli Lokasi 4 sebesar $23,95^\circ$ dan nilai terendah pada Tanah Asli Lokasi 9 sebesar $16,87^\circ$.

Nilai kohesi dan sudut geser yang bervariasi antar lokasi menunjukkan perbedaan karakteristik tanah yang disebabkan oleh variasi kandungan mineral dan sifat fisik tanah. Tanah yang memiliki kandungan kuarsa tinggi seperti pada lokasi 4 dan 1 menunjukkan nilai sudut geser yang lebih besar karena kuarsa memiliki sifat keras dan tidak plastis, sehingga meningkatkan gaya gesek antar butiran. Sebaliknya, tanah dengan kandungan mineral lempung lebih tinggi seperti lokasi 9 dan 10 memiliki sudut geser rendah karena butirannya lebih halus dan mudah bergerak ketika jenuh air.

Semakin besar nilai kohesi dan sudut geser dalam, maka semakin tinggi pula kekuatan geser tanah terhadap gaya luar. Kuat geser tanah tidak hanya dipengaruhi oleh tekstur dan kepadatan, tetapi juga oleh jenis mineral dominan yang membentuk massa tanah. Dengan demikian, hasil pengujian Triaksial UU ini memperkuat keterkaitan antara kandungan senyawa hasil XRD dan karakteristik plastisitas hasil pengujian Atterberg terhadap parameter kuat geser tanah.

Selanjutnya, hasil analisis X-Ray Diffraction (XRD) dan nilai Indeks Plastisitas (IP) menunjukkan hubungan yang signifikan antara kandungan kuarsa dengan sifat plastisitas tanah. Berdasarkan Gambar 4, tampak bahwa semakin tinggi persentase kandungan senyawa kuarsa di dalam tanah, maka nilai IP cenderung semakin rendah



Gambar 4 Grafik Hubungan Kandungan Senyawa Kuarsa dengan Nilai Indeks Plastisitas (IP) Tanah

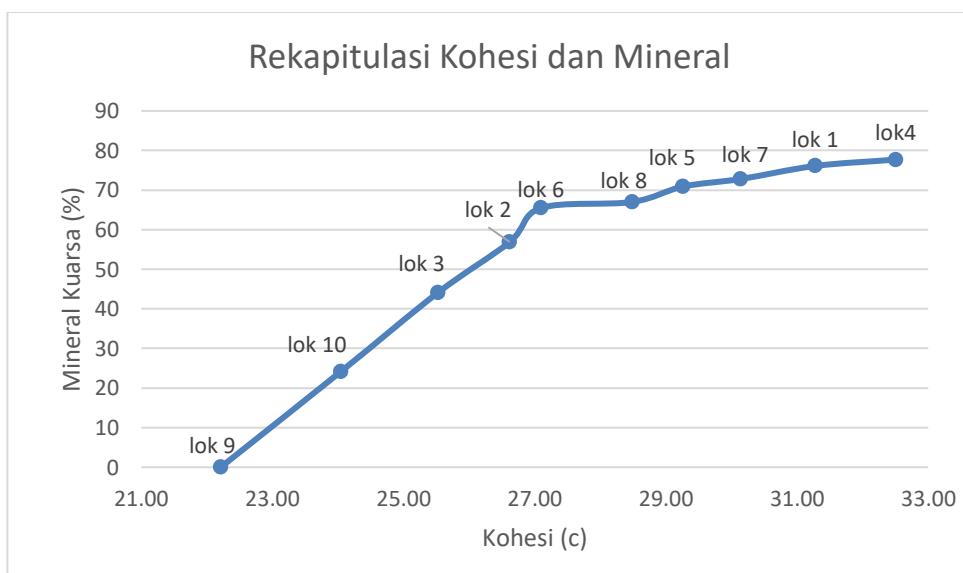
Tanah pada lokasi 4, 1, dan 7 yang memiliki kandungan kuarsa tinggi menunjukkan nilai IP yang rendah, menandakan bahwa tanah tersebut bersifat lebih non-plastis. Sebaliknya, pada lokasi 9 dan 10 yang kandungan kuarsanya sangat rendah, nilai IP terukur tinggi karena dominasi mineral lempung seperti kaolinit dan montmorilonit yang bersifat plastis dan mudah mengalami deformasi.

Fenomena ini sejalan dengan karakteristik dasar kuarsa yang bersifat keras, inert, dan tidak plastis. Keberadaan kuarsa dalam proporsi tinggi menyebabkan partikel tanah lebih kaku dan menurunkan kemampuan ikatan air antar butiran, sehingga indeks plastisitas menurun. Hal ini mengindikasikan bahwa kandungan kuarsa berperan sebagai faktor pengontrol utama plastisitas tanah, yang selanjutnya berpengaruh terhadap kuat geser.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kandungan kuarsa akan menurunkan nilai IP tanah karena sifat non-plastis kuarsa menghambat kemampuan deformasi plastis.

Selain berpengaruh terhadap plastisitas tanah, kandungan senyawa kuarsa juga memiliki peranan penting terhadap nilai kohesi tanah. Kohesi menggambarkan daya ikat antar butiran tanah yang berkontribusi langsung pada kekuatan geser. Oleh karena itu, analisis hubungan antara kandungan kuarsa dengan nilai kohesi diperlukan untuk memahami pengaruh mineralogi terhadap perilaku mekanik tanah pada masing-masing lokasi penelitian.

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara kandungan senyawa kuarsa dengan nilai kohesi tanah pada sepuluh lokasi pengujian. Terlihat adanya kecenderungan positif antara kedua parameter tersebut, di mana peningkatan kandungan kuarsa diikuti oleh kenaikan nilai kohesi.



Gambar 5 Grafik Hubungan Kandungan Senyawa Kuarsa dengan Nilai Kohesi Tanah

Tanah dengan kandungan kuarsa tinggi seperti pada lokasi 4, 1, dan 7 menunjukkan nilai kohesi yang lebih besar dibandingkan lokasi 9 dan 10 yang memiliki kadar kuarsa rendah atau bahkan tidak terdeteksi. Fenomena ini mengindikasikan bahwa keberadaan mineral kuarsa mampu memperkuat struktur mikro tanah melalui peningkatan gaya kontak antar partikel.

Sifat fisik kuarsa yang keras dan stabil menyebabkan partikel-partikel tanah menjadi lebih rapat dan memiliki kemampuan menahan beban lebih baik. Dengan meningkatnya kerapatan partikel, interaksi antar butiran menjadi lebih kuat sehingga menghasilkan kohesi yang lebih tinggi. Sebaliknya, tanah dengan dominasi mineral lempung plastis memiliki daya ikat yang lemah ketika terpapar air, sehingga nilai kohesinya menurun.

Hasil ini memperlihatkan bahwa kandungan kuarsa berperan langsung terhadap peningkatan kekuatan ikatan internal tanah, terutama pada jenis tanah berbutir halus.

5. PEMBAHASAN

Hubungan Kandungan Kuarsa terhadap Sifat Plastisitas Tanah

Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa kandungan senyawa kuarsa mendominasi sebagian besar sampel tanah dengan variasi antara 44,1% hingga 77,7%. Kuarsa merupakan mineral inert yang bersifat keras dan tidak plastis, sehingga kehadirannya dalam jumlah besar menurunkan kemampuan tanah untuk mengalami deformasi plastis. Hal ini terbukti dari hasil uji Atterberg, di mana lokasi dengan kandungan kuarsa tinggi seperti Lokasi 1 (76,1%), Lokasi 4 (77,7%), dan Lokasi 7 (72,8%) menunjukkan nilai indeks plastisitas rendah (masing-masing 9,36%, 8,01%, dan 10,71%).

Fenomena ini mengindikasikan hubungan berbanding terbalik antara kadar kuarsa dan nilai IP tanah. Semakin tinggi kandungan kuarsa, semakin rendah plastisitas tanah karena kurangnya kemampuan partikel tanah untuk mengikat air dan membentuk struktur kohesif. Sebaliknya, pada lokasi yang memiliki kandungan kuarsa rendah seperti Lokasi 9 (didominasi goethite) dan Lokasi 10 (kaolinite 68,5%), nilai IP meningkat signifikan hingga 23,41% dan 22,31%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa dominasi mineral lempung seperti kaolinit dan montmorilonit meningkatkan kemampuan deformasi tanah akibat tingginya interaksi molekul air dengan permukaan mineral.

Temuan ini sejalan dengan pendapat Fitzpatrick et al. (2011) dan Head (1994) yang menyatakan bahwa tanah berfraksi halus dengan kandungan mineral lempung lebih tinggi akan memiliki nilai plastisitas lebih besar. Oleh karena itu, keberadaan kuarsa menjadi salah satu faktor pengontrol utama terhadap sifat plastisitas tanah di daerah penelitian.

Hubungan Kandungan Kuarsa terhadap Kuat Geser Tanah

Hasil uji Triaksial UU menunjukkan variasi nilai kohesi antara 22,21–32,50 kN/m² dan sudut geser dalam antara 16,87°–23,95°. Lokasi dengan kandungan kuarsa tinggi, seperti Lokasi 4 dan Lokasi 1, memperlihatkan nilai kohesi dan sudut geser yang lebih besar dibanding lokasi dengan kadar kuarsa rendah. Hal ini menandakan bahwa kuarsa berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan geser tanah melalui peningkatan gaya kontak antarbutir.

Sifat kuarsa yang keras dan tidak plastis menyebabkan partikel tanah saling menekan lebih kuat ketika terpadatkan, menghasilkan struktur mikro yang lebih stabil. Dengan meningkatnya kepadatan dan kurangnya kadar air bebas, kohesi efektif antarparticel meningkat sehingga nilai kuat geser tanah pun lebih tinggi. Sebaliknya, pada lokasi 9 dan 10 yang kaya akan mineral lempung, kuat geser menurun akibat kemampuan tanah menyerap air yang tinggi dan menurunkan gaya gesek internal.

Hasil ini memperkuat teori Das (1995) bahwa kuat geser tanah ditentukan oleh interaksi antara kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ), yang keduanya sangat bergantung pada jenis dan sifat mineral penyusunnya. Dengan demikian, semakin tinggi kandungan kuarsa, semakin besar kontribusi terhadap peningkatan kuat geser tanah, terutama melalui perbaikan gaya kontak antar butir dan pengurangan deformasi plastis.

Keterkaitan Antara Plastisitas dan Kuat Geser

Dari hasil korelasi antara nilai indeks plastisitas dan kuat geser, terlihat bahwa tanah dengan IP rendah umumnya memiliki nilai kohesi dan sudut geser yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan adanya hubungan terbalik antara plastisitas dan kekuatan geser tanah. Kandungan kuarsa yang tinggi menurunkan plastisitas tanah sekaligus meningkatkan ketahanan terhadap gaya geser. Dengan kata lain, sifat non-plastis kuarsa tidak hanya menurunkan kemampuan tanah untuk berubah bentuk, tetapi juga memperkuat kestabilan struktur tanah.

Kondisi ini sangat penting dalam konteks teknik sipil, karena tanah dengan plastisitas rendah dan kuat geser tinggi lebih ideal untuk dijadikan lapisan dasar konstruksi jalan. Sementara itu, tanah dengan plastisitas tinggi seperti pada lokasi 9 dan 10 perlu dilakukan perbaikan tanah (soil stabilization) sebelum digunakan sebagai lapisan pondasi agar

tidak menimbulkan deformasi berlebih saat jenuh air.

Implikasi terhadap Kondisi Lapangan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi kandungan mineral, khususnya kuarsa, menjadi salah satu faktor utama yang menyebabkan perbedaan karakteristik tanah di Papua, terutama pada ruas jalan Elelim, Arso, Koya, Pasir 6, dan Sentani. Lokasi dengan kandungan kuarsa tinggi memiliki potensi kestabilan tanah yang lebih baik, sedangkan lokasi dengan dominasi mineral lempung berisiko mengalami penurunan kekuatan geser ketika kadar air meningkat.

Oleh karena itu, hasil ini dapat dijadikan dasar dalam perencanaan dan desain perkerasan jalan di wilayah Papua. Daerah dengan kandungan lempung tinggi perlu mendapatkan perlakuan khusus, seperti stabilisasi dengan semen, kapur, atau material granular untuk meningkatkan daya dukung dan mengurangi plastisitas tanah.

6. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan senyawa kuarsa berpengaruh nyata terhadap sifat plastisitas dan kuat geser tanah di ruas jalan Elelim, Arso, Koya, Pasir 6, dan Sentani. Kuarsa yang bersifat keras dan tidak塑性 menurunkan nilai indeks plastisitas tanah, sehingga tanah dengan kandungan kuarsa tinggi cenderung lebih kaku dan stabil. Sebaliknya, tanah dengan kandungan kuarsa rendah dan dominasi mineral lempung memiliki plastisitas lebih tinggi dan kekuatan geser yang lebih rendah.

Peningkatan kandungan kuarsa juga terbukti meningkatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam, menandakan kuat geser tanah yang lebih baik. Dengan demikian, semakin tinggi kadar kuarsa, semakin rendah plastisitas dan semakin besar kemampuan tanah menahan beban geser. Hasil ini menegaskan bahwa kandungan kuarsa menjadi faktor penting dalam menentukan kestabilan tanah dan kelayakannya sebagai lapisan dasar konstruksi jalan, terutama di wilayah Papua yang memiliki variasi mineralogi tanah yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bohn, T. (2014). Dietary factors affecting polyphenol bioavailability. *Nutrition Reviews*, 72(7), 429–452. <https://doi.org/10.1111/nure.12114>
- Bowles, J. E. (1986). *Sifat-sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah: (mekanika Tanah)*. Erlangga.
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)* (2nd ed.). Erlangga.
- Fitzpatrick, J. L., Sanders, J. R., & Worthen, B. R. (2011). *Program Evaluation: Alternative Approaches and Practical Guidelines*. Pearson Education. <https://doi.org/10.3946/kjme.2008.20.4.377>
- Hardjowigeno, S. (2003). *Klasifikasi Tanah & Pedogenesis*. Akademika Pressindo.
- Huang, R., Tian, D., Liu, J., Lv, S., He, X., & Gao, M. (2018). Responses of soil carbon pool and soil aggregates associated organic carbon to straw and straw-derived biochar addition in a dryland cropping mesocosm system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 265(1), 576–586. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.013>
- Kenichi, J. K. M., & Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behavior* (3rd ed., Vol. 158, Issue 1). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1097/00010694-199407000-00009>
- Maricar, N. R. (2021). *Klasifikasi Tanah Pada Sistem Lahan Baraja (BRA) Dataran Karstik Di Kecamatan Mangarabombang Kabupaten Takalar*. Universitas Hasanuddin.
- Nenobesi, D., Mella, W., & Soetedjo, P. (2017). Pemanfaatan Limbah Padat Kompos Kotoran Ternak dalam Meningkatkan Daya Dukung Lingkungan dan Biomassa Tanaman Kacang Hijau (*Vigna radiata L.*) Animal Waste Compost Treatments in The Improvement of Crop Yield and Biomass of Mungbeans (*Vigna radiata L.*). *Jurnal Pangan*, 26(1), 43–56. <https://doi.org/10.33964/jp.v26i1.344>
- Wibowo, A. (2025). Teknologi Konstruksi Bawah Tanah. In *Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik*. Yayasan Prima Agus Teknik.
- Zhou, G., Liu, C., Chu, L., Tang, Y., & Luo, S. (2016). Rapid and efficient treatment of wastewater with high-concentration heavy metals using a new type of hydrogel-based adsorption process. In *Bioresource Technology* (Vol. 219, pp. 451–457). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.038>