

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian Secara Operasional

Karena penelitian ini termasuk dalam kategori eksperimen laboratorium, maka tujuan operasionalnya adalah untuk mengetahui perubahan sifat fisik dan mekanik tanah lempung setelah dilakukan proses stabilisasi menggunakan abu ampas tebu serta bakteri *Bacillus subtilis*. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi penambahan abu daun bambu dan larutan bakteri terhadap perubahan nilai kuat geser serta karakteristik tanah lainnya. Proses stabilisasi dilakukan melalui penambahan larutan bakteri dan bahan pendukung berupa air, urea, serta kalsium klorida (CaCl_2) pada beberapa variasi campuran yang telah dirancang sebelumnya.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.2.1 Lokasi Penelitian

1. Sampel tanah lempung diperoleh dari Kecamatan Jabung, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur, yang dijadikan sebagai material utama dalam penelitian ini.
2. Pengambilan daun bambu berlokasi di Kota Malang yang terdapat tumbuhan bambu sebagai bahan tambahan untuk proses stabilisasi tanah.
3. Seluruh rangkaian pengujian laboratorium, meliputi pengujian sifat fisik dan mekanik tanah sebelum serta sesudah pencampuran dengan abu daun bambu dan larutan bakteri *Bacillus subtilis*, dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang.

3.2.2 Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian beserta analisis hasilnya dilakukan dalam rentang waktu mulai bulan Desember 2025 hingga Januari 2026. Kegiatan penelitian tersebut meliputi beberapa tahapan, yaitu:

1. Persiapan penelitian.
2. Pengambilan sampel.

3. Pelaksanaan pengujian di laboratorium.
4. Analisis data hasil penelitian.
5. Penyusunan dan dokumentasi hasil penelitian.

3.3 Metode Penelitian

1. Pengambilan sampel tanah lempung dilakukan secara langsung di lapangan, berlokasi di Jabung, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur, dengan kedalaman pengambilan 2,0 meter dibawah permukaan tanah, dengan kondisi tanah bersih dari akar tanaman dan sampah-sampah.
2. Pelaksanaan penelitian dilakukan di laboratorium untuk memperoleh data yang diperlukan. Data hasil pengujian tersebut selanjutnya digunakan dalam proses pengolahan serta analisis guna memastikan kesesuaian hipotesis dengan tujuan penelitian. Adapun prosedur penelitian yang dilaksanakan dijelaskan sebagai berikut:
 - a. Pengujian kadar air tanah lempung.
 - b. Sampel tanah dicetak dalam ring dan silinder untuk dilakukan uji mekanis.
 - c. Sampel tanah di oven untuk mendapatkan tanah dalam kondisi kering.
 - d. Pengujian analisa saringan.
 - e. Pengujian berat jenis tanah halus.
 - f. Pengujian analisa butiran (hidrometer).
 - g. Pengujian batas cair tanah.
 - h. Pengujian batas plastis tanah.
 - i. Pengujian *Direct Shear*.
 - j. Pengujian *Unconfined Compressive Strength*.
 - k. Pengujian *Triaxial Compression*.
- l. Perencanaan campuran tanah dan bakteri.
- m. Pencampuran sampel tanah dengan bakteri serta pendukungnya.
- n. Pemeraman tanah dalam desikator vakum.

- o. Pengujian berat jenis tanah halus
 - p. Pengujian analisa butiran (hidrometer)
 - q. Pengujian batas cair tanah
 - r. Pengujian batas plastis tanah
 - s. Pengujian *Direct Shear*.
 - t. Pengujian *Unconfined Compressive Strength*.
 - u. Pengujian *Triaxial Compression*.
3. Analisis data hasil pengujian serta data rancangan campuran tanah lempung dengan bahan kimia.

3.4 Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh jenis tanah lempung yang memiliki karakteristik serupa dengan tanah lempung yang terdapat di wilayah Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur. Tanah lempung dipilih karena sifatnya yang plastis dan memiliki daya dukung rendah, sehingga memerlukan proses stabilisasi untuk meningkatkan kekuatan serta kestabilannya.

Tanah lempung asli diambil secara langsung dari lokasi pengambilan tanah di dengan kedalaman pengambilan 2,0 meter dibawah permukaan tanah, dengan kondisi tanah bersih dari akar tanaman dan sampah-sampah. Bahan perkuatan berupa daun bambu kering diambil di bawah sekelompok pohon bambu. Sampel tanah yang diperoleh kemudian digunakan untuk serangkaian pengujian laboratorium, baik pada kondisi asli maupun setelah dicampur dengan variasi abu daun bambu dan larutan bakteri *Bacillus subtilis*. Pemilihan sampel dilakukan secara *purposive*, yaitu berdasarkan pertimbangan karakteristik tanah yang mewakili kondisi lapangan dan relevan dengan tujuan penelitian.

3.5 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini merupakan peralatan yang tersedia di Laboratorium Mekanika Tanah, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang. Seluruh alat tersebut digunakan untuk melakukan pengujian sifat fisik dan

mekanik tanah lempung sebelum dan sesudah pencampuran dengan abu daun bambu serta bakteri *Bacillus subtilis*. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat

- a. Alat uji tes *Direct Shear*
- b. Alat uji tes *Unconfined Compressive Strength*
- c. Alat uji tes *Triaxial Compression (UU)*
- d. *Ring* dan *Silinder*
- e. *Desikator vacuum*
- f. Oven
- g. Gelas ukur 1000 ml
- h. Piknometer
- i. Kompor gas
- j. Timbangan digital
- k. *Mixer* (Mesin pengaduk)
- l. *Casagrande* dan *Grooving tools*
- m. Papan kaca
- n. Membran karet
- o. Peralatan pendukung seperti *Pan*, Cawan, Spatula, Jangka sorong, kertas saringan dan lain-lain.

2. Bahan

- a. Tanah lempung



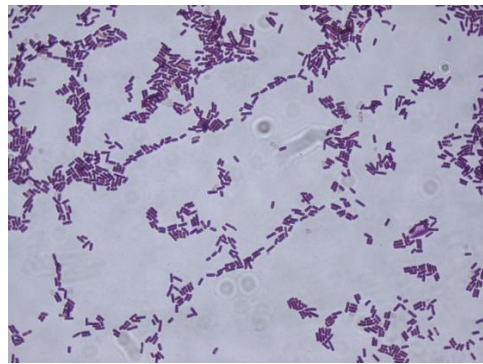
Gambar 3.1 Tanah lempung

- b. Abu daun bambu



Gambar 3.2 Daun bambu yang akan dijadikan abu

- c. Bakteri *Bacillus subtilis*



Gambar 3.3 Bakteri *Bacillus subtilis*

3.6 Perlakuan Benda Uji

Perlakuan terhadap benda uji dilakukan setelah proses pencampuran tanah lempung dengan abu daun bambu dan larutan bakteri *Bacillus subtilis* selesai. Setiap sampel kemudian melalui proses pemeraman (*curing*) selama periode waktu 3, 7, 14, dan 28 hari dalam kondisi suhu ruang yang relatif konstan, sehingga pengaruh suhu terhadap hasil pengujian tidak dianalisis. Tujuan dari pemeraman ini adalah untuk menjaga kestabilan kadar air dalam sampel, mencegah terjadinya retakan akibat pengeringan berlebih, serta memberikan waktu bagi bakteri untuk melakukan proses pengendapan kalsium karbonat (CaCO_3) di dalam struktur tanah. Masa pemeraman ini juga digunakan untuk mengamati sejauh mana pengaruh waktu terhadap peningkatan kekuatan geser dan perubahan sifat mekanik tanah. Setelah

proses pemeraman selesai, akan dilakukan pengujian laboratorium, yaitu meliputi pengujian sifat fisik dan mekanik tanah guna menentukan efek dari penambahan abu ampas tebu dan *Bacillus subtilis* terhadap parameter kekuatan tanah lempung.

3.7 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui pengujian laboratorium untuk memperoleh data mengenai sifat fisik dan mekanik tanah lempung sebelum dan sesudah dicampur dengan abu daun bambu dan bakteri *Bacillus subtilis*. Pengujian sifat fisik dilakukan untuk mengetahui karakteristik dasar tanah, seperti kadar air, berat jenis, batas Atterberg, dan ukuran butiran. Pengujian sifat mekanik juga dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai kuat geser tanah setelah dilakukan pencampuran. Karena penelitian ini bersifat perbandingan, maka pengujian dilakukan pada tanah asli (tanpa campuran) dan tanah yang telah dicampur dengan variasi kadar abu daun bambu dan konsentrasi larutan bakteri sesuai rencana penelitian.

3.7.1 Pengujian Fisik Tanah

A. Pengujian Kadar Air

1. Alat:
 - a. Cawan
 - b. Spatula
 - c. Oven
 - d. Timbangan Digital



Gambar 3.4 Oven dengan kalibrasi suhu 200°C



Gambar 3.5 Spatula

2. Bahan:
 - a. Sampel tanah lempung asli diambil langsung dari lapangan.
 3. Pelaksanaan:
 - a. 3 (Tiga) cawan yang sudah disiapkan sebagai tempat sampel tanah.
 - b. Cawan kosong ditimbang menggunakan timbangan digital.
 - c. Mengambil sampel tanah secara acak (sampling) menggunakan spatula, kemudian memasukkannya ke dalam masing-masing cawan (3 cawan tadi)
 - d. Menimbang berat cawan beserta tanah basah dan mencatat hasilnya.
 - e. Mengeringkan sampel tanah basah tersebut ke dalam oven dengan suhu konstan selama 24 jam.
 - f. Setelah proses pengeringan selesai, menimbang kembali berat cawan dan tanah kering, kemudian mencatat hasilnya untuk perhitungan kadar air tanah.
- B. Pengujian Analisa Butiran (Hidrometer)
1. Alat:
 - a. Saringan No. 10, 20, 40, 60, 120, 200.
 - b. *Mixer* (Pengaduk)
 - c. Gelas ukur 1000ml
 - d. Spatula dan Pan
 - e. Timbangan digital
 - f. Oven
 - g. Hidrometer jar



Gambar 3.6 Hidrometer Jar

2. Bahan:
 - a. Sampel tanah lempung dalam kondisi kering
 - b. Air Bersih
 - c. NaOH (natrium hidroksida)

3. Pelaksanaan:
 - a. Sampel tanah diayak menggunakan saringan No. 10, kemudian diambil bagian yang lolos sebanyak 50 gram.
 - b. Sampel tersebut dicampur dengan larutan NaOH untuk membantu memisahkan partikel tanah yang saling menggumpal.
 - c. Campuran kemudian ditambahkan air dan diaduk menggunakan mixer selama $\pm 10-15$ menit hingga homogen.
 - d. Larutan tanah dimasukkan ke dalam gelas ukur 1000 ml, lalu ditambahkan air hingga mencapai batas volume.
 - e. Pengukuran dilakukan menggunakan hidrometer jar pada waktu tertentu untuk memperoleh data kecepatan pengendapan partikel.
 - f. Setelah pembacaan selesai, larutan disaring menggunakan saringan No. 200, kemudian residu dikeringkan di oven dan diayak kembali dengan saringan No. 20, 40, 60, 120, dan 200 untuk menentukan gradasi tanah halus.

C. Berat Jenis Tanah Halus

1. Alat:
 - a. Piknometer
 - b. Timbangan digital

- c. kompor gas
- d. Saringan no. 4



Gambar 3.7 Piknometer

- 2. Bahan:
 - a. Sampel tanah lempung kondisi kering
 - b. Air bersih
- 3. Pelaksanaan:
 - a. Menyiapkan sampel tanah halus yang telah lolos saringan No. 4.
 - b. Menimbang piknometer kosong dalam kondisi bersih dan kering.
 - c. Memasukkan sampel tanah ke dalam piknometer sebanyak $\pm 1/3$ volume piknometer, kemudian menimbang beratnya.
 - d. Menambahkan air hingga mencapai $\pm 2/3$ volume piknometer, lalu menimbang kembali.
 - e. Meletakkan piknometer dalam panci berisi air panas untuk mengeluarkan gelembung udara dan kotoran yang mungkin masih terperangkap, kemudian dibiarkan selama 10–15 menit.
 - f. Setelah itu, piknometer dikeringkan dari luar dan didiamkan hingga suhu normal/suhu ruang.
 - g. Menambahkan air hingga piknometer terisi penuh, kemudian menimbang kembali beratnya.

D. Batas Cair Tanah

- 1. Alat:
 - a. *Casagrande* dan *Grooving Tools*
 - b. Cawan

- c. Timbangan digital



Gambar 3.8 *Casagrande dan Grooving Tools*

2. Bahan:

- a. Tanah lempung kondisi kering
- b. Air Bersih

3. Pelaksanaan:

- a. Menyiapkan sampel tanah halus yang telah lolos saringan No. 40.
- b. Menambahkan air pada tanah dan mengaduknya dengan spatula hingga tercampur merata.
- c. Memasukkan campuran tanah ke dalam alat *casagrande* dan meratakannya pada permukaan mangkuk.
- d. Membuat alur di tengah sampel menggunakan *grooving tool*.
- e. Menggunakan alat *casagrande* dengan memutar tuas hingga kedua sisi alur tanah bertemu.
- f. Mengambil sebagian tanah dari alat *casagrande* dan menimbanginya dengan cawan kadar air untuk menentukan kadar air pada saat batas cair.
- g. Pengujian dilakukan berulang kali pada beberapa kadar air untuk mendapatkan hubungan antara jumlah pukulan dan kadar air tanah.
- h. Mengosongkan isi piknometer, membersihkannya, lalu mengisinya penuh hanya dengan air dan menimbang untuk memperoleh data pembanding.

E. Batas Plastis Tanah

1. Alat:

- a. Papan Kaca

- b. Jangka Sorong
- c. Cawan
- d. Timbangan Digital



Gambar 3.9 Timbangan Digital



Gambar 3.10 Jangka Sorong

- 2. Bahan:
 - a. Tanah lempung kondisi kering
 - b. Air Bersih
- 3. Pelaksanaan:
 - a. Menyiapkan sampel tanah halus yang telah lolos saringan No. 40.
 - b. Menambahkan air pada tanah hingga mencapai konsistensi plastis yang dapat digulung.
 - c. Menggulung tanah di atas papan kaca hingga membentuk batang dengan diameter sekitar 3 mm, tepat sebelum tanah mengalami retakan.
 - d. Mengambil sebagian sampel tanah tersebut dan memasukkannya ke dalam cawan kadar air untuk menentukan kadar air pada saat batas

A. Direct Shear

1. Alat:

- a. Alat *Direct Shear*
- b. *Ring*
- c. *Shear box*
- d. Cawan
- e. Timbangan digital



Gambar 3.11 Alat *Direct Shear*

2. Bahan:

- a. Sampel tanah lempung.

3. Pelaksanaan:

- a. Mencetak sampel tanah ke dalam cincin (*ring*) uji dengan ukuran sesuai standar.
- b. Memasukkan sampel ke dalam shear box dan mengatur posisinya pada alat *Direct Shear*.
- c. Membiarkan sampel mengalami konsolidasi terlebih dahulu di bawah beban normal yang telah ditentukan.
- d. Memberikan pembebanan vertikal sebagai tegangan normal sesuai variasi yang digunakan.
- e. Melakukan pembacaan data geser hingga sampel mengalami keruntuhan.
- f. Setelah pengujian selesai, mengambil sampel tanah dari alat, memasukkannya ke dalam cawan kadar air, dan menimbanginya untuk menentukan kadar air akhir sampel.

B. *Triaxial Compression* (UU)

1. Alat:
 - a. Alat uji triaxial
 - b. Membran Karet
 - c. Silinder
 - d. Cawan
 - e. Timbangan Digital



Gambar 3.12 Alat *Triaxial Compression*

2. Bahan:
 - a. Sampel tanah lempung.
3. Pelaksanaan:
 - a. Mencetak sampel tanah dalam bentuk silinder.
 - b. Membungkus sampel menggunakan membran karet.
 - c. Memasang sampel pada alat uji triaxial dan memastikan posisi serta sambungan membran terpasang dengan baik.
 - d. Memberikan tekanan deviator secara bertahap pada sampel hingga terjadi keruntuhan sambil membaca data tegangan dan regangan.
 - e. Setelah pengujian selesai, mengambil sampel tanah, memasukkannya ke dalam cawan kadar air, kemudian menimbanginya untuk menentukan kadar air akhir.

C. *Unconfined Compressive Strength* (UCS)

1. Alat:
 - a. Alat uji *Unconfined Compressive Strength*
 - a. Silinder
 - b. Cawan

- c. Timbangan digital



Gambar 3.13 Alat *Unconfined Compressive Strength*

2. Bahan:
 - a. Sampel tanah.
3. Pelaksanaan:
 - a. Mencetak sampel tanah dalam bentuk silinder.
 - b. Menempatkan sampel pada alat uji tekan bebas dengan posisi sumbu vertikal sejajar.
 - c. Memberikan beban aksial secara bertahap dan kontinu hingga sampel mengalami keruntuhan.
 - d. Mencatat nilai beban maksimum serta perubahan yang terjadi selama pengujian.
 - e. Setelah selesai, mengambil sampel tanah, menempatkannya dalam cawan kadar air, dan menimbanginya untuk menentukan kadar air akhir sampel.

3.7.2 Abu Daun Bambu

Material ini berbentuk serbuk halus berwarna abu-abu kehitaman dan kaya akan unsur silika (SiO_2), kalsium oksida (CaO), dan alumina (Al_2O_3). Digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah dengan persentase 0%, 6%, 9%.

A. Alat:

1. Timbangan digital
2. Oven
3. Ayakan no. 200
4. Plastik / Wadah untuk menyimpan abu

5. Spatula dan sekop tanah

B. Bahan:

a. Abu daun bambu

C. Pelaksanaan:

a. Daun bambu yang telah dibakar sebelumnya, dikeringkan terlebih dahulu untuk menghilangkan kelembapan.

b. Setelah kering, abu diayak menggunakan saringan no. 200 untuk mendapatkan butiran halus yang seragam.

c. Abu halus disimpan dalam wadah tertutup untuk menghindari penyerapan kelembapan udara.

d. Abu yang telah siap kemudian ditimbang sesuai kebutuhan pencampuran pada masing-masing variasi campuran. (%)

3.8 Pembuatan Larutan Sementasi

3.8.1 Larutan Urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

Pembuatan larutan urea diawali dengan menyiapkan air sebanyak 50 ml, kemudian ditambahkan urea dengan tingkat kemurnian antara 46% hingga 99,5% sebanyak 47 gram. Kedua bahan tersebut dicampurkan dalam satu wadah dan diaduk secara merata hingga homogen. Setelah itu, larutan didiamkan selama kurang lebih 1–2 jam agar urea dapat larut sempurna di dalam air.

3.8.2 Kalsium Klorida (CaCl_2)

Pembuatan larutan kalsium klorida (CaCl_2) dilakukan dengan cara mencampurkan air sebanyak 50 ml dengan 87 gram CaCl_2 ke dalam satu wadah. Campuran tersebut diaduk secara merata hingga homogen, kemudian didiamkan selama 1–2 jam agar CaCl_2 larut sempurna di dalam air. Bahan CaCl_2 yang digunakan pada penelitian ini memiliki tingkat kemurnian mencapai 95%, sehingga dapat mendukung proses reaksi pembentukan kalsium karbonat (CaCO_3) secara optimal.

3.8.3 Larutan Bakteri

Dalam penelitian ini digunakan bakteri *Bacillus subtilis* dengan konsentrasi sekitar 10^7 – 10^{10} CFU/ml, yang berarti terdapat 10 juta hingga 10 miliar sel bakteri hidup dalam setiap mililiter larutan. Sebanyak 50 ml larutan bakteri dicampurkan dengan 50 ml air ke

dalam satu wadah dan diaduk hingga homogen. Selanjutnya, ketiga larutan yang telah dibuat sebelumnya yaitu larutan urea, CaCl₂, dan larutan bakteri dicampurkan menjadi satu di dalam gelas ukur dan diaduk hingga merata. Setelah campuran menjadi homogen, larutan disaring menggunakan kertas saring untuk menghilangkan endapan atau partikel kasar. Hasil penyaringan kemudian diencerkan kembali dengan air, dengan perbandingan 50 ml larutan campuran untuk setiap 100 ml air.

Tabel 3.1 Presentase campuran untuk larutan sementasi.

No	Campuran	Jumlah
1	Air (ml)	1000
2	<i>Bacillus subtilis</i> (ml)	50
3	CaCl ₂ (gr)	87
4	CO(NH ₂) ₂ (gr)	47

(Sumber : Data pribadi)

3.8.4 Pencampuran dan Pembuatan Sampel Tanah

Untuk memperoleh campuran larutan sementasi dengan variasi 6% terhadap tanah dilakukan uji pemadatan standar di laboratorium untuk menentukan jumlah air yang diperlukan saat tanah berada pada kondisi kadar air optimum. Uji pemadatan standar (Standard Proctor Test) ini bertujuan mengetahui hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah, dengan prosedur pengujian yang mengacu pada ASTM D698.

- Sampel tanah yang akan diuji disiapkan dengan cara diayak menggunakan saringan No. 4 untuk memperoleh butiran tanah yang seragam.
- Air ditambahkan dalam beberapa tahap dengan variasi kadar air berbeda, guna menentukan kadar air optimum pada saat pemadatan.
- Tanah kemudian dimasukkan ke dalam cetakan silinder (mold) sebanyak tiga lapis, dan setiap lapisan dipadatkan menggunakan hammer standar seberat 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm sebanyak 25 tumbukan per lapisan.
- Setelah proses pemadatan selesai, berat dan volume tanah hasil pemadatan diukur untuk menghitung nilai kepadatan kering tanah.

Pada penelitian ini, kadar air optimum (OMC) diperoleh dari hasil uji pemadatan tanah dan digunakan sebagai dasar penambahan air pada proses

pencampuran dan pemadatan tanah dengan variasi abu daun bambu sebesar 0%, 6%, dan 9% dari berat tanah kering.

Sampel tanah selanjutnya diberikan perlakuan Microbial Induced Calcite Precipitation (MICP) dengan konsentrasi 6% sebagai metode stabilisasi biologis. Jumlah larutan MICP yang diberikan sudah termasuk dalam kebutuhan air pada kondisi kadar air optimum.

Diketahui:

Penambahan air kondisi optimum: x (sama untuk setiap variasi pencampuran)

Variasi abu daun bambu dengan kebutuhan:

$$0 \% = \text{Berat tanah kering} \times 0\%$$

$$= W_t \times 0$$

$$= 0W_t$$

$$6 \% = \text{Berat tanah kering} \times 6\%$$

$$= W_t \times 0,06$$

$$= 0,06 W_t$$

$$9 \% = \text{Berat tanah kering} \times 9\%$$

$$= W_t \times 0,09$$

$$= 0,09 W_t$$

Setelah campuran yang diperlukan diperoleh, langkah berikutnya adalah pembuatan sampel uji, yaitu dengan melakukan uji pemadatan standar kembali menggunakan tanah dan kadar air optimum yang telah ditentukan sebelumnya, serta campuran larutan sesuai variasi yang telah ditetapkan.

3.9 Metode Uji – F (*Two-Way ANOVA*)

ANOVA dua arah merupakan metode statistik yang digunakan untuk menganalisis pengaruh dua variabel independen (bebas) terhadap satu variabel dependen (terikat). Dalam penelitian ini, terdapat 3 faktor variabel independen, yaitu variasi persentase penambahan bakteri optimum 6% (Indriani, dkk tahun 2023) dan penambahan abu daun bambu 0%, 6%, 9% serta variasi waktu pemeraman 3, 7,14, dan 28 hari, sedangkan nilai kekuatan geser tanah lempung berperan sebagai variabel dependen dan tanah ekspansif sebagai variabel kontrol.

Tabel 3.2 Komponen variabel

Variable Independen		Variabel Dependen	Variabel Kontrol
Faktor A	Faktor B		
Variasi persentase penambahan abu daun bambu (0%, 6%, 9%)	Variasi waktu (3, 7, 14, 28 hari)	Nilai kuat geser tanah	Persentase optimum MICP (6%)

(Sumber : Data pribadi)

1. Hipotesis untuk Faktor A

- a. H_0 : Variabel dependen tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antar level faktor A.
- b. H_1 : Variabel dependen menunjukkan perbedaan yang signifikan antar level faktor A.

2. Hipotesis untuk B

- a. H_0 : Variabel dependen tidak berbeda secara signifikan antar level faktor B.
- b. H_1 : Variabel dependen berbeda secara signifikan antar level faktor B.

Dengan hipotesis ini, analisis dapat dilakukan menggunakan metode *Two-Way ANOVA* sebagai berikut:

1. Menghitung rata-rata variabel dependen untuk tiap level faktor A dan faktor

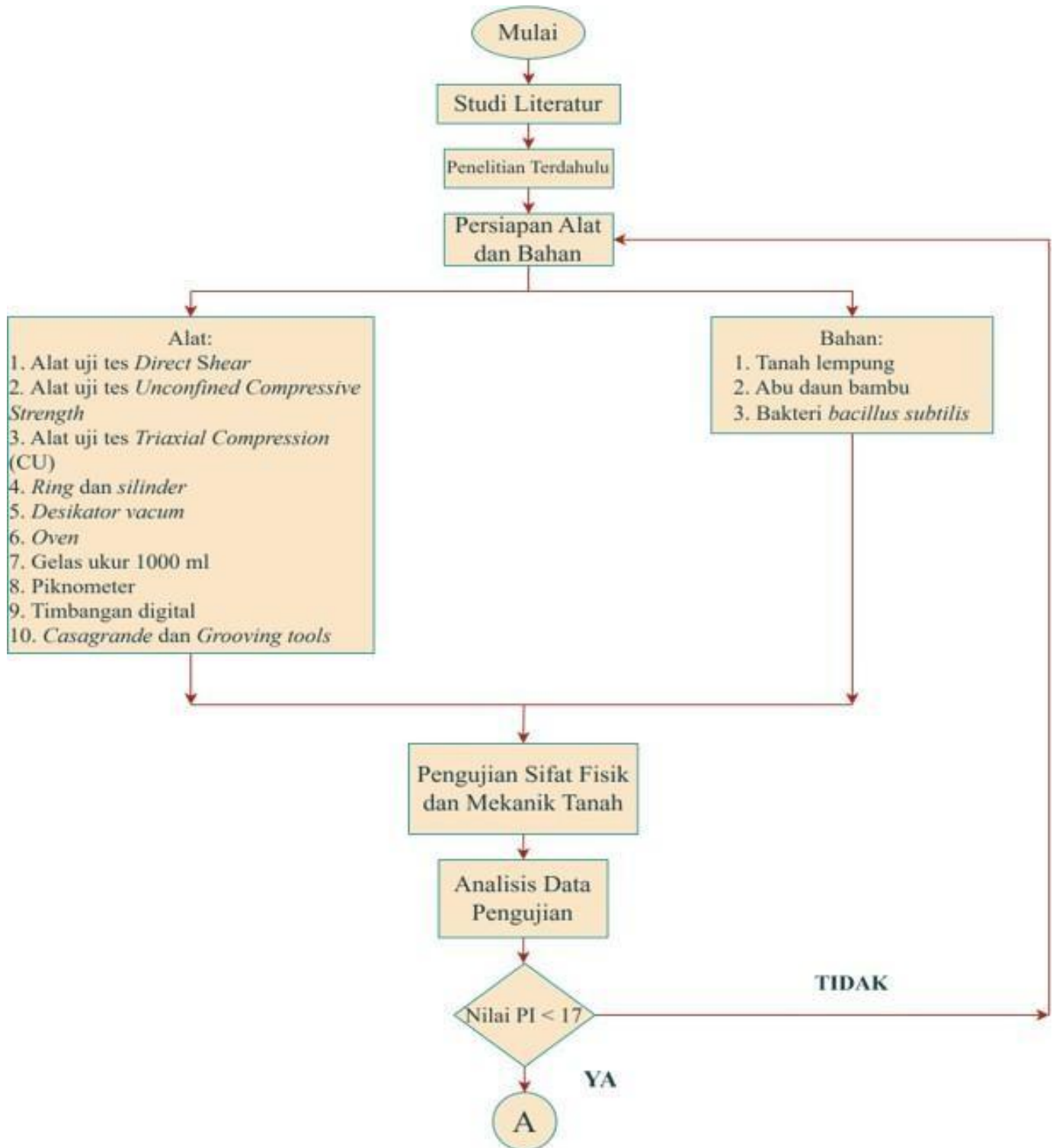
Tabel 3.3 Rata-rata variabel dependen

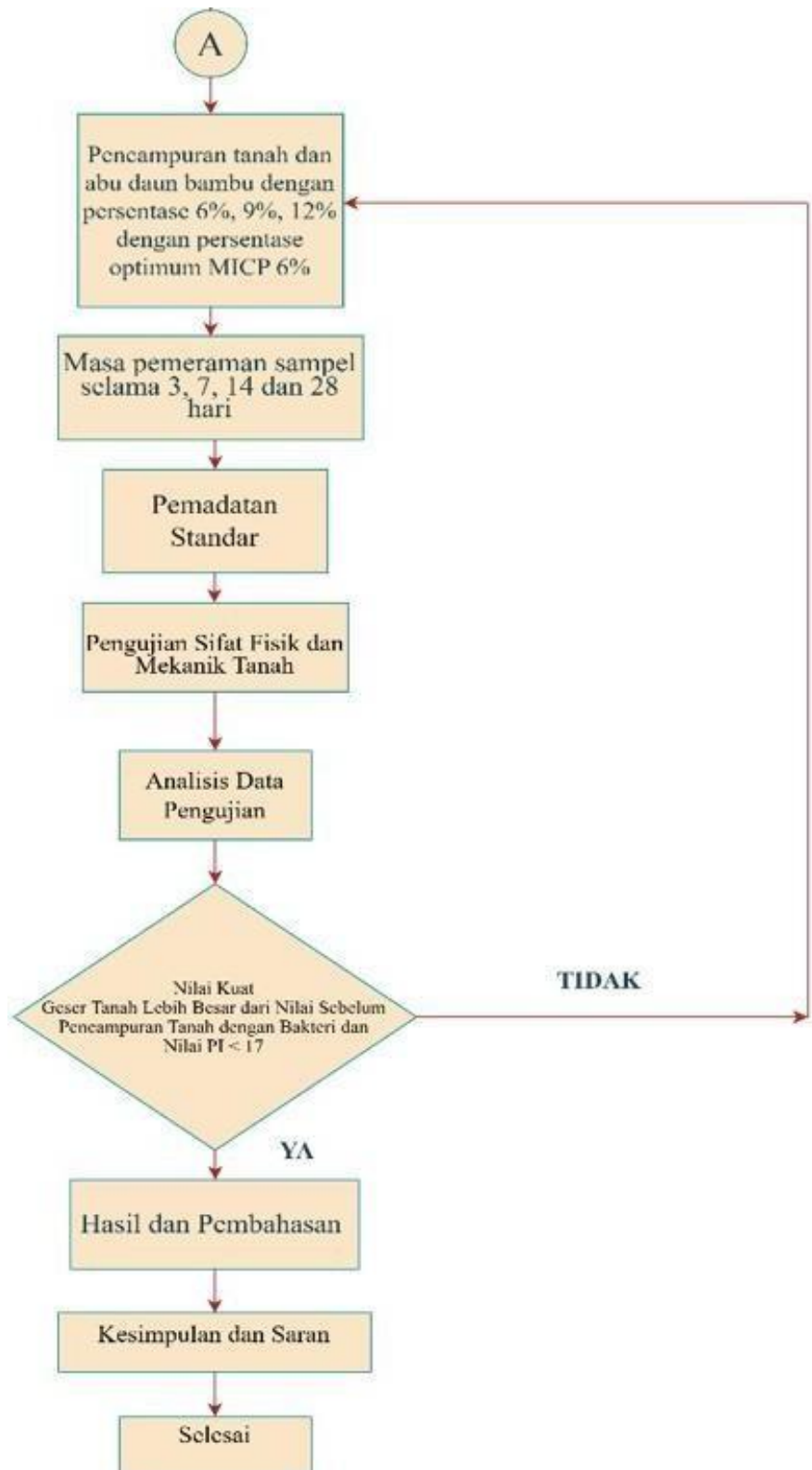
Persentase abu daun bambu (%)	Waktu (Hari)			
	3	7	14	28
0	x	x	x	x
Persentase abu daun bambu (%)	Waktu (Hari)			
	3	7	14	28
6	x	x	x	x
Persentase abu daun bambu (%)	Waktu (Hari)			
	3	7	14	28
9	x	x	x	x

(Sumber : Data pribadi)

2. Menghitung *Sum of Squares* (SS)
3. Menghitung *Degrees of Freedom* (dF)
4. Menghitung *Mean Square* (MS) dan *Mean Square Error* (MSE)
5. Menghitung Nilai F
6. Membandingkan terhadap Nilai F-Kritis

3.10 Bagan Alir Penelitian





Gambar 3.14 Diagram Alir Penelitian

3.11 Time Schedule Penelitian

Tabel berikut menunjukkan rencana jadwal kegiatan penelitian berdasarkan jadwal semester ganjil 2025-2026 Prodi S-1 ITN Malang.

Tabel 3.4 *Time Schedule* Penelitian

No.	Kegiatan	Rentang Pelaksanaan
1	Bimbingan proposal TA	30 Okt-30 Nov 2025
2	Seminar proposal TA	Hingga 2 Desember 2025
3	Penelitian/ Uji lab	Desember- Januari 2026
4	Pengajuan bimbingan TA	Hingga Desember 2025
5	Bimbingan TA	Hingga 26 Januari 2026
6	Seminar hasil TA	Hingga 30 Januari 2026
7	Ujian komprehensif	Hingga 9 Februari 2026