

EFEKTIFITAS ABU SABUT KELAPA DALAM MENSTABILISASI TANAH LEMPUNG

HERMAN¹, FERNANDO. D²

Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Institut Teknologi Padang¹, Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Institut Teknologi Padang²

Abstrak: Keberadaan tanah dasar (*subgrade*) sangat penting pada konstruksi jalan raya. Tanah dasar yang tidak stabil akan mendatangkan kerusakan badan jalan di atasnya, tanah ini terdiri dari tanah yang mengandung mineral yang sangat peka terhadap pengaruh air. Jika kadar air meningkat tanah akan mengembang dan lunak, sebaliknya jika kadar air menurun tanah ini akan menyusut. Proses kembang susut sangat berperan dalam merusak struktur jalan raya. Untuk meminimalisir kembang susut tanah, pada penelitian ini digunakan abu sabut kelapa. Tanah dasar sebagai sampel diambil dari Kompleks Taman Asri III Sungai Sapih Kecamatan Kuranji Kodya Padang. Penambahan abu sabut kelapa kedalam campuran tanah ditetapkan 0%, 6%, 9% dan 12% dari berat kering tanah dengan masa perawatan 3 hari. Pengujian dilakukan terdiri dari uji sifat-sifat fisis dan uji sifat-sifat mekanis. Uji sifat-sifat fisis diantaranya uji berat jenis, analisa saringan, batas-batas Atterberg. Sedangkan uji sifat-sifat mekanis antara lain uji pemadatan, uji pengembangan dan tekanan pengembangan. Hasil penelitian sampel tanah masuk kelompok MH (USCS), dari klasifikasi AASHTO tanah masuk kelompok A-7-5(32). Hasil pengujian sifat-sifat fisis tanah, abu sabut kelapa dapat menurunkan plastisitas tanah, sementara persen butiran kasar meningkat. Hasil pengujian sifat-sifat mekanis menunjukkan, keberadaan abu sabut kelapa didalam kandungan tanah dapat meningkatkan kepadatan tanah dan stabilitas tanah. Meningkatnya stabilitas tanah dapat dilihat dengan menurunnya nilai persen pengembangan dan nilai tekanan pengembangan tanah. Nilai persen pengembangan turun 0,54% atau 91,53% dari nilai pengembangan tanah asli dicapai pada 9% abu sabut kelapa didalam kandungan tanah dan nilai tekanan pengembangan turun 132 kPa atau 85,16% dari nilai tekanan pengembangan tanah asli, terjadi pada 12% abu sabut kelapa didalam kandungan tanah

Kata - kata kunci : tanah dasar, kadar air, kembang susut, sifat fisis, sifat mekanis, pengembangan, tekanan pengembangan

A. Pendahuluan

Keberadaan tanah dasar (*subgrade*) sangat penting bagi pekerjaan sipil, terutama konstruksi jalan raya. Tanah dasar ini tempat menumpu dari konstruksi, kekokohan dan keawetan konstruksi ditentukan oleh kondisi dari tanah dasar ini. Tanah dasar yang kokoh dan stabil akan menjaga kekuatan dan keawetan konstruksi jalan di atasnya dan tidak mendatangkan permasalahan pada konstruksi jalan, sebaliknya tanah dasar yang tidak stabil akan mendatangkan kerusakan konstruksi jalan raya di atasnya. Kondisi tanah dasar yang tidak stabil ini terdiri dari tanah yang mengandung mineral yang sangat peka terhadap pengaruh air. Jika kadar air meningkat tanah ini akan mengembang dan lunak dan jika kadar air menurun tanah ini akan menyusut. Proses kembang susut sangat berperan dalam merusak struktur jalan yang berada di atasnya. Kerusakan yang terjadi bisa dilihat berupa timbulnya retak-retak melintang dan memanjang pada permukaan jalan, kondisi yang lebih parah terjadinya pecah-pecah, timbul rekahan dan ambles di beberapa bagian jalan sampai terjadinya penurunan pada permukaan jalan. Kondisi ini tentu sangat merugikan dan akan memperpendek umur rencana dari jalan.

Upaya mengatasi perilaku tanah jenis ini sudah dilakukan dengan bermacam-macam tindakan, salah satunya dengan menggunakan bahan kimia sebagai penstabilisasi. Penggunaan bahan kapur dan semen sudah umum dilaksanakan. Beberapa penelitian dengan menggunakan bahan lain berupa abu dari beberapa limbah dengan maksud agar bahan-bahan yang tidak terpakai ini dapat dimanfaatkan. Beberapa bahan abu dari limbah yang digunakan dalam penelitian diantaranya, abu sampah (*eco-cement*), abu sabut kelapa, abu batu bara (*fly ash*), abu

cangkang kelapa sawit, abu kertas dan lain-lain, dari hasil penelitian bahan-bahan ini dapat memperbaiki sifat-sifat fisis maupun sifat-sifat mekanis tanah lempung.

Penggunaan abu batu bara (*fly ash*) sebagai bahan stabilisasi dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% abu batu bara (*fly ash*) dalam kandungan tanah dengan pemeraman 0 hari, 7 hari dan 14 hari di suhu ruang menunjukkan nilai *CBR* meningkat seiring penambahan persentase abu batu bara (*fly ash*) serta lama pemeraman. Peningkatan nilai *CBR* optimum terjadi pada penambahan 15% *fly ash* dengan waktu pemeraman 14 hari sebesar 23,89% di suhu ruang. Penambahan persentase *fly ash* juga mempengaruhi sifat plastis tanah yang mengalami penurunan dari tanah asli sebesar 28,19% menjadi 9,02% pada penambahan 15% *fly ash* (Wahyuni ND., dkk, 2021). Untuk mengetahui pengaruh penambahan abu cangkang kelapa sawit pada tanah lempung terhadap nilai *CBR* rendaman, faktor pengembangan dan kuat tekan bebas tanah dimana persentase penambahan abu cangkang kelapa sawit sebesar 6%, 8% dan 10% terhadap tanah kering dengan masa pemeraman selama 3 hari dan masa perendaman sampel *CBR* dan *Swelling* selama 4 hari. Nilai *CBR* rendaman tanah asli sebesar 1,90% dengan nilai pengembangannya sebesar 7,70% serta nilai kuat tekan bebasnya sebesar 6,745 Kg/cm². Pada pengujian *CBR* rendaman tanah yang dicampur dengan abu cangkang sawit terjadi peningkatan nilai *CBR* dengan nilai tertinggi sebesar 4,81% terjadi pada penambahan 10% abu cangkang sawit, lalu dari pengujian pengembangan terjadi penurunan nilai pengembangan tanah dengan nilai optimumnya sebesar 5,86% terjadi pada penambahan 8% abu cangkang sawit dan pada pengujian kuat tekan bebas pada penambahan 6% abu cangkang sawit terjadi penurunan nilai kuat tekan bebas tanah, namun pada persentase penambahan selanjutnya terjadi peningkatan nilai kuat tekan bebas dengan nilai optimumnya sebesar 9,903 kg/cm² pada penambahan 8% abu cangkang sawit (Fadillah, dkk. 2021). Penggunaan abu sabut kelapa terhadap tanah lempung yang dilakukan oleh Fatah. A. (2017) menunjukkan hasilnya dapat meningkatkan kuat geser tanah, hasil Triaksial *UU* untuk campuran *ASK* sebesar 5%, 10% dan 15% dapat menaikkan nilai kohesif (*c*) Dari hasil uji Triaksial *UU* nilai optimum penambahan Abu Sabut Kelapa (*ASK*) terjadi pada campuran 10%.

Penambahan Abu Sampah (*Eco-cement*) dengan variasi campuran 1%, 3%, 5% dengan lama pemeraman 1 hari, 7 hari dan 14 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan parameter kuat geser tanah setelah tanah pasir dicampur dengan Abu Sampah (*Eco-cement*). Pengujian Triaksial Tipe *UU* peningkatan maksimum terjadi pada persentase campuran 5% dengan lama pemeraman 14 hari yaitu nilai *c* = 0,710 kg/cm² dan $\phi = 34,405^\circ$. Pada pemeraman 1 hari dengan persentase campuran 1% kuat geser tanah sebesar 1,459 kg/cm² kemudian pada pemeraman 14 hari dengan persentase campuran 5% kuat gesernya naik menjadi 2,725 kg/cm² atau naik 86,77%. Pada pengujian geser langsung peningkatan maksimum terjadi pada kadar campuran 5% dengan lama pemeraman 14 hari yaitu nilai *c* = 0,765 kg/cm² dan $\phi = 34,800^\circ$ dibandingkan dengan tanah aslinya yaitu *c* = 0,030 kg/cm² dan $\phi = 25,600$. Pada tanah asli kuat geser tanah sebesar 0,522 kg/cm² kemudian pada pemeraman 14 hari dengan persentase campuran 5% kuat gesernya naik menjadi 1,479 kg/cm² atau naik 183,33% (Idrus I, 2017). Keberadaan abu limbah kertas dalam tanah dengan komposisi abu limbah kertas 0%, 5%, 10% terhadap berat kering tanah, dapat meningkatkan nilai *specific gravity* (*G_s*), batas plastis (*PL*), batas susut (*SL*), kepadatan tanah dan menurunkan nilai batas cair (*LL*), indeks plastisitas (*PI*), persen lolos saringan no. 200, pengembangan dan tekanan pengembangan tanah (Herman, Sari OP, 2018). Pada penelitian ini digunakan abu sabut kelapa untuk mengetahui sejauh mana pengaruhnya terhadap stabilitas tanah lempung.

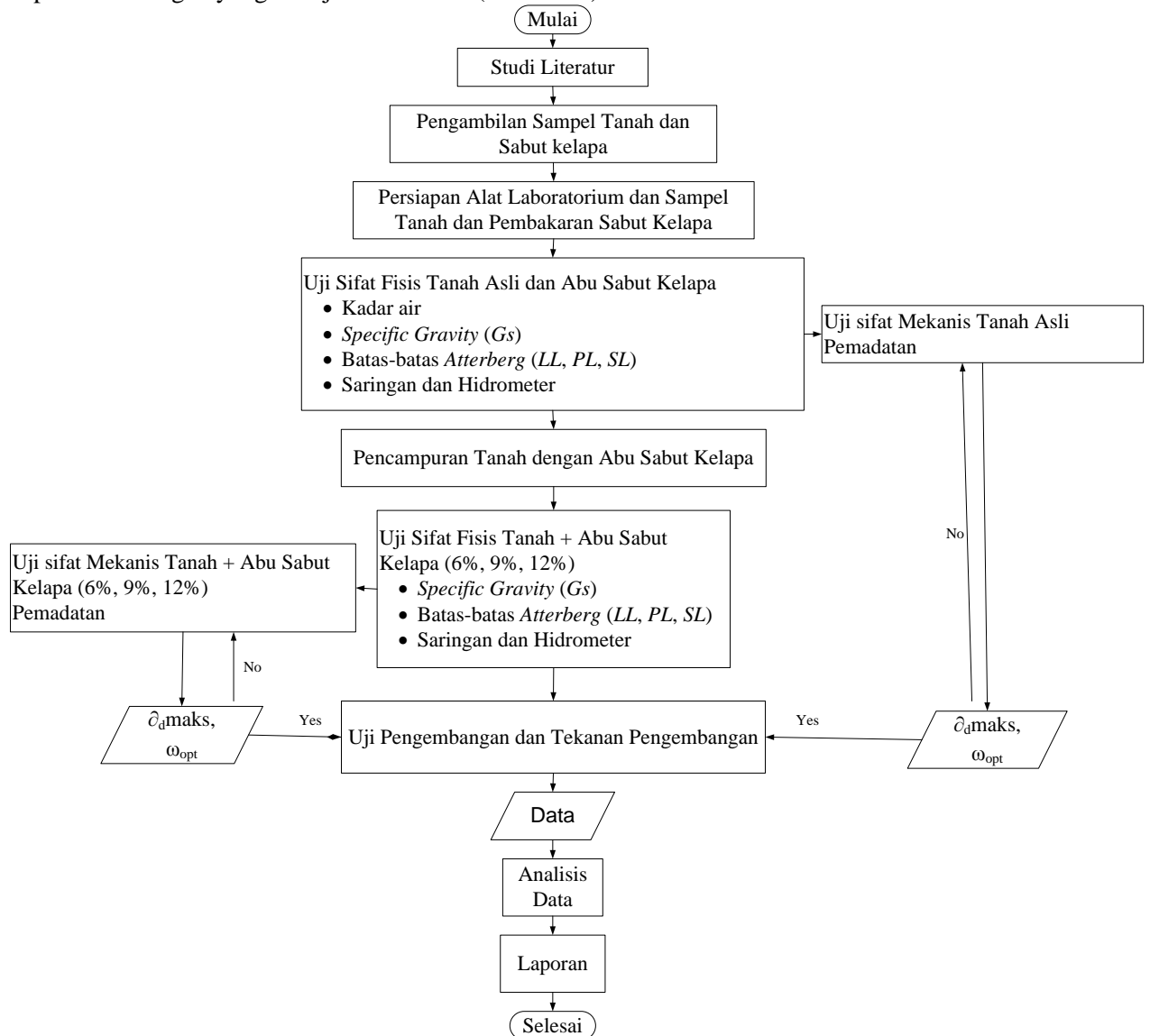
B. Metodologi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Institut Teknologi Padang. Bahan tanah sebagai objek penelitian diambil dari Kompleks Taman Asri III Sungai Sapih Kecamatan Kuranji Kodya Padang, sedangkan sabut kelapa diperoleh dari limbah pembakaran kue bika ditepi jalan raya Batang Kapas Kabupaten pesisir Selatan. Pembakaran abu sabut kelapa dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Institut Teknologi

Padang dengan suhu $\pm 600^{\circ}$ celcius. Penambahan abu sabut kelapa kedalam campuran tanah ditetapkan 0%, 6%, 9% dan 12% dari berat kering tanah dan masa perawatan diambil 3 hari.

Pengujian dimulai dengan penelitian pendahuluan yang terdiri dari uji sifat-sifat fisis dan uji sifat-sifat mekanis terhadap tanah asli, dilanjutkan dengan penelitian pokok yang terdiri dari uji sifat fisis dan sifat mekanis tanah yang telah dicampur dengan abu sabut kelapa. Uji sifat-sifat fisis diantaranya uji berat jenis, analisa saringan, batas-batas *Atterberg*. Sedangkan uji sifat-sifat mekanis antara lain uji pemadatan, uji pengembangan dan tekanan pengembangan.

Langkah penelitian dimulai dari studi literatur, pengambilan sampel tanah, penambihan sabut kelapa, mempersiapkan peralatan dan untuk lebih jelasnya langkah-langkah penelitian dapat dilihat bagan yang tersaji dibawah ini (Gambar 1).



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

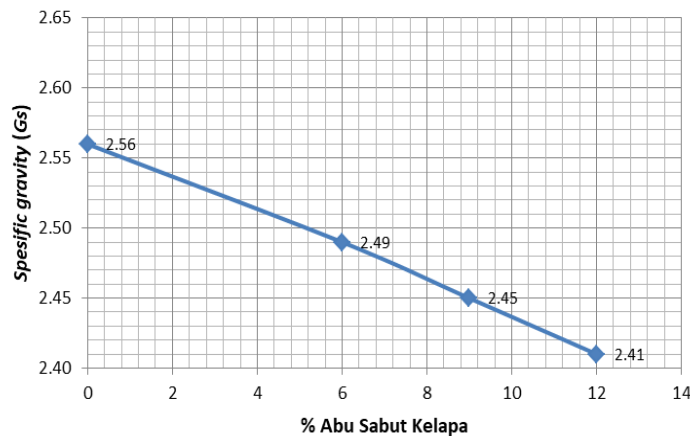
C. Hasil

Dari hasil uji sifat fisis tanah (Tabel 4.1) dapat dilihat butiran yang lolos saringan no 200 adalah 93,71% > 50%, tanah termasuk berbutir halus, dihubungkan dengan nilai batas cair (*LL*) sebesar 72,16% > 50% tanah masuk kelompok *H* (plastisitas tinggi), jika nilai batas cair (*LL*) ini dan nilai indeks plastisitas (*PI*) sebesar 24,06% di plot kedalam kurva plastisitas, maka tanah termasuk dalam kelompok *MH* (*USCS*) atau lanau anorganik dengan plastisitas tinggi. Menurut *AASHTO* tanah masuk dalam kelompok *A-7-5* (32), hal ini disimpulkan

berdasarkan lolos saringan no 200 sebesar 93,71% > 35%, batas cair (*LL*) 72,16% > 41%, indeks plastis (*PI*) sebesar 24,06% > 11%, dan batas plastis (*PL*) 48,10% > 30%, dengan indeks kelompok 32.

Pengaruh abu sabut kelapa terhadap tanah *Specific gravity* (*G_s*)

Hasil uji *specific gravity* (*G_s*) memberikan hasil bahwa semakin meningkat persentase abu sabut kelapa didalam kandungan tanah, nilai ini cenderung menurun seperti ditunjukkan (**Gambar 2**)

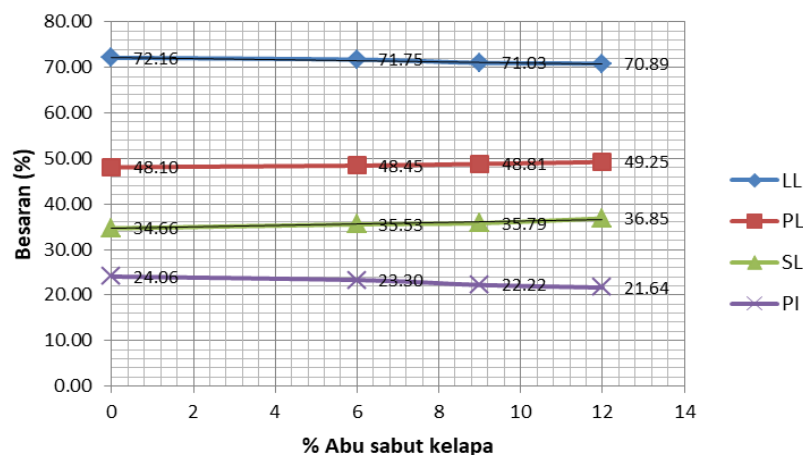


Gambar 2 Pengaruh abu sabut kelapa terhadap nilai *spesifis gravity* (*G_s*) tanah

Pada persentase 12% abu sabut kelapa didalam kandungan tanah, nilai *specific gravity* (*G_s*) tanah 2,41. Jika dibandingkan dengan nilai *specific gravity* (*G_s*) tanah asli, terjadi penurunan sebesar 0,15 atau 5,86% dari nilai gravitas khusus tanah asli. Hal ini disebabkan karena nilai berat jenis abu sabut kelapa yang dicampurkan kedalam tanah lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai *specific gravity* (*G_s*) tanah asli.

Atterberg limit (batas-batas konsistensi)

Uji batas-batas konsistensi tanah dengan berbagai variasi persentase abu sabut kelapa didalam kandungan tanah mengindikasikan semakin meningkat persentase abu sabut kelapa dalam campuran tanah, menurunkan nilai batas cair (*LL*), indeks plastis (*PI*), serta meningkatkan nilai batas plastis (*PL*) dan batas susut (*SL*) tanah (**Gambar 3**).



Gambar 3 Grafik pengaruh abu sabut kelapa terhadap nilai batas-batas konsistensi tanah

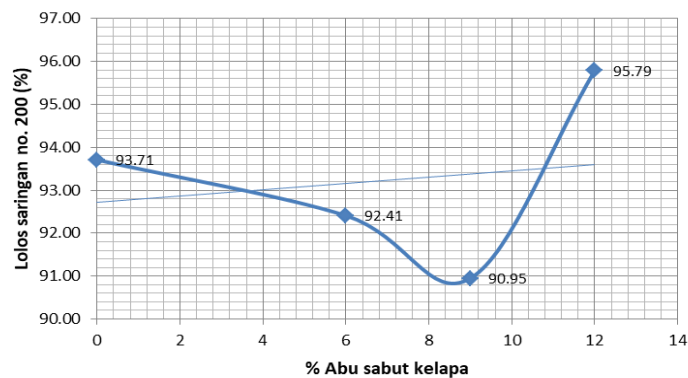
Gambar menunjukkan bahwa pada persentase 12% abu sabut kelapa dalam kandungan tanah, terjadi penurunan nilai batas cair (*LL*) sebesar 1,27% atau 1,76% dari nilai batas cair (*LL*) tanah asli, nilai batas plastis (*PL*) terjadi peningkatan sebesar 1,15% atau 2,39% dari nilai batas plastis (*PL*) tanah asli, Nilai indeks plastisitas (*PI*) menurun sebesar 2,42% atau 10,06%

dari nilai indeks (*PI*) tanah asli, sedangkan nilai batas susut (*SL*) meningkat sebesar 2,19%, atau 6,32% dari nilai batas susut (*SL*) tanah asli.

Penurunan nilai batas cair (*LL*) ini disebabkan karena kandungan ion abu sabet kelapa menghalangi ikatan antar partikel tanah lewat air lapisan ganda maupun air serapan, akibatnya ikatan melemah dan partikel tanah lebih mudah terlepas satu dengan yang lain. Seiring dengan menurunnya daya tarik antar partikel tanah yang mengakibatkan menurunnya keplastisan tanah sehingga tanah perlu tambahan air untuk mempertahankan keplastisannya, hal ini mengakibatkan nilai batas plastis (*PL*) tanah menjadi meningkat. Dengan menurunnya nilai batas cair (*LL*) dan meningkatnya nilai batas plastis (*PL*) tanah, akibatnya nilai indeks plastisitas (*PI*) tanah akan menurun sesuai dengan hubungan $PI = LL - PL$. Nilai batas susut (*SL*) tanah terjadi peningkatan, hal ini karena menurunnya nilai indeks plastisitas (*PI*) tanah. Turunnya nilai indeks plastisitas (*PI*) tanah akan menurunkan derajat pengembangan atau potensi pengembangan dari tanah tersebut, hal ini mengindikasikan meningkatnya nilai batas susut (*SL*) tanah (Altemeyer, 1955 dalam Chen, 1975).

Grain size analysis (analisa ukuran butiran)

Meningkatnya persentase abu sabet kelapa dalam campuran tanah dengan masa perawatan 3 hari, fraksi lolos saringan no.200 seperti (**Gambar 4**)

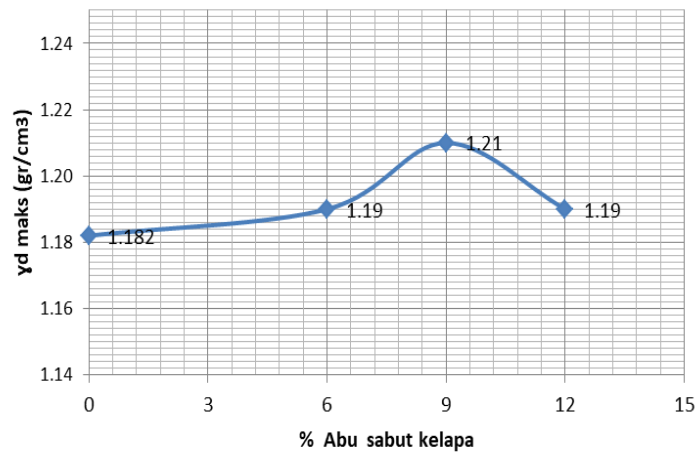


Gambar 4 Grafik pengaruh abu sabet kelapa terhadap fraksi lolos saringan no. 200.

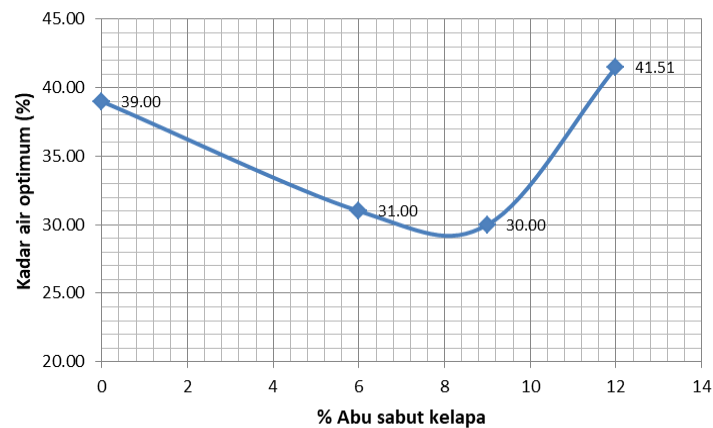
Kurva menunjukkan pada awalnya terjadi penurunan dari fraksi lolos saringan no. 200. Seiring peningkatan abu sabet kelapa selanjutnya, nilai fraksi lolos saringan no. 200 meningkat. Pada saat persentase 12% abu sabet kelapa didalam kandungan tanah, fraksi lolos saringan no. 200 adalah 95,79%; terjadi peningkatan sebesar 2,08% atau 2,22% dari persentase butiran lolos saringan no. 200 tanah asli. Hal ini menggambarkan bahwa kelebihan abu sabet kelapa didalam kandungan tanah menambah jumlah butiran lolos saringan no. 200 tanah. Sementara pada perentase 9% abu sabet kelapa dalam kandungan tanah, butiran lolos saringan no. 200 adalah 90,95%, terjadi penurunan sebesar 2,76% atau 2,95% dari butiran lolos saringan no. 200 tanah asli. Hal ini menggambarkan adanya ikatan antar butiran akibat pengaruh abu sabet kelapa didalam kandungan tanah sehingga butiran cenderung lebih kasar.

Compaction (Pemadatan)

Tingkat kepadatan tanah ditentukan oleh berat volume kering (γ_d) nya. Pada uji pemadatan yang dilakukan terhadap tanah asli dan tanah yang telah dicampur dengan abu sabet kelapa terjadi perubahan dari nilai berat volume kering (γ_d) tanah, seperti ditunjukkan (Gambar 5) dan (Gambar 6)



Gambar 5 Grafik Pengaruh abu sabut kelapa terhadap nilai berat volume kering maks. (*MDD*) tanah



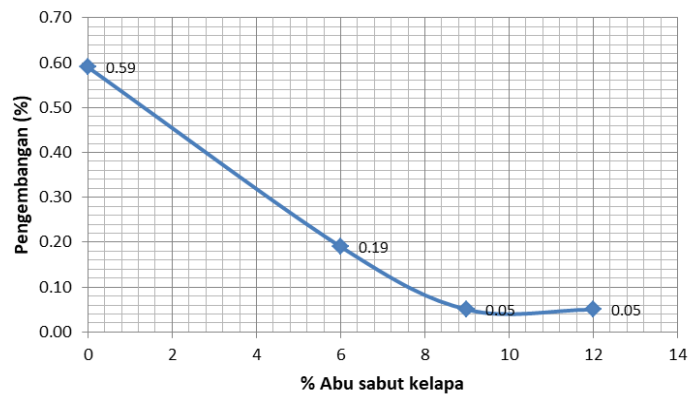
Gambar 6 Grafik Pengaruh abu sabut kelapa terhadap nilai kadar Air optimum (*OMC*) tanah

Kurva menunjukkan pada awalnya penambahan abu sabut kelapa kedalam tanah terjadi peningkatan dari nilai berat volume kering (*MDD*) tanah, penambahan abu sabut kelapa selanjutnya nilai ini cenderung menurun. Sebaliknya untuk nilai kadar air optimum (*OMC*), nilai ini awalnya menurun dan seiring penambahan abu sabut kelapa selanjutnya terjadi peningkatan dari nilai kadar air optimum (*OMC*).

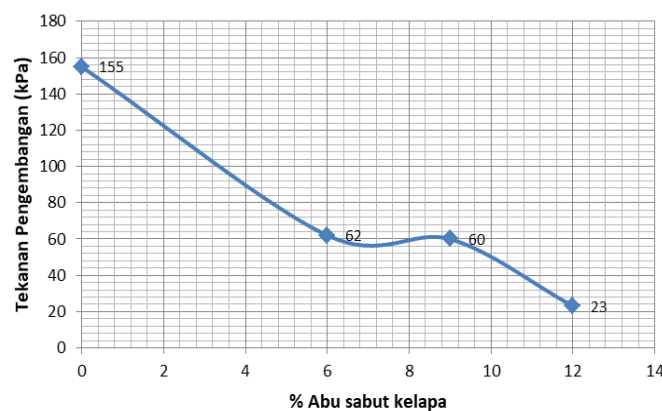
Akibat pengaruh abu sabut kelapa, air pori lebih mudah meninggalkan rongga saat proses pemadatan, sehingga rongga yang tadinya diisi oleh air sekarang digantikan oleh butiran padat. akibatnya rongga mengecil. Mengecilnya rongga menggambarkan kepadatan tanah meningkat, sebaliknya karena sebahagian air keluar dari rongga pori maka kadar air didalam kandungan tanah berkurang. Pada penambahan abu sabut kelapa selanjutnya, kadar air optimum menjadi meningkat, akibatnya sebahagian rongga yang tadinya diisi oleh butiran padat sekarang digantikan oleh air, akibatnya rongga pori menjadi membesar. Membesarnya rongga mengakibatkan kepadatan tanah menjadi berkurang. Hal ini dapat dilihat dengan menurunnya nilai berat volume kering (γ_d) dari tanah. Nilai kepadatan terbaik dicapai pada 9% abu sabut kelapa didalam kandungan tanah.

Swelling (Pengembangan)

Pada pengujian yang dilakukan terhadap sampel tanah baik tanah asli maupun tanah yang telah dicampur dengan abu sabut kelapa dibawah tekanan 6,9 kPa dengan kondisi padat maksimum masa perawatan 3 hari diperoleh hasil seperti ditunjukkan (Gambar 7) untuk persen pengembangan dan (Gambar 8) untuk tekanan pengembangan.



Gambar 7 Grafik Pengaruh abu sabut kelapa terhadap nilai persen Pengembangan tanah



Gambar 8 Grafik Pengaruh abu sabut kelapa terhadap nilai tekanan Pengembangan tanah

Kurva menunjukkan bahwa akibat pengaruh sabut kelapa didalam kandungan tanah, nilai-nilai persen pengembangan dan tekanan pengembangan tanah cenderung menurun. Pada persen pengembangan, penurunan nilai ini terjadi sampai 9% abu sabut kelapa dalam kandungan tanah. Penambahan persentase abu sabut kelapa selanjutnya nilai ini konstan. Penurunan nilai persen pengembangan adalah 0,54% atau 91,53% dari nilai persen pengembangan tanah asli terjadi pada campuran 9% abu sabut kelapa didalam kandungan tanah. Sementara tekanan pengembangan terjadi penurunan sebesar 132 kPa atau 85,16% dari nilai tekanan pengembangan tanah asli, hasil ini diperoleh pada kandungan 12% abu sabut kelapa didalam kandungan tanah.

Penurunan nilai-nilai persen pengembangan dan tekanan pengembangan cukup besar, ini menunjukkan bahwa abu sabut kelapa cukup efektif dalam menstabilkan tanah. Penurunan nilai-nilai persen pengembangan dan tekanan pengembangan ini disebabkan karena abu sabut kelapa didalam kandungan tanah dapat memperbesar ukuran butiran tanah (dapat dilihat dari uji saringan), disamping itu hasil uji batas-batas Atterberg, abu sabut kelapa juga dapat menurunkan plastisitas tanah, hal ini dapat dilihat dengan menurunnya nilai batas cair (*LL*) dan indeks plastisitas (*PI*).

D. Penutup

Simpulan

Dari pembahasan tentang data-data hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan antara lain ;

1. Tanah yang diambil sebagai sampel berasal dari Komplek Perumahan Taman Asri III Sungai Sapih Kecamatan Kuranji Kodya Padang termasuk kelompok *MH* yaitu jenis lanau dengan plastisitas tinggi (*USCS*), jika dilihat dari klasifikasi *AASHTO*, tanah ini masuk kelompok

- A-7-5 (32) yaitu jenis tanah yang buruk jika dijadikan sebagai tanah dasar (*subgrade*) jalan raya.
2. Hasil pengujian sifat-sifat fisis tanah terlihat abu sabut kelapa dapat menurunkan plastisitas tanah, yaitu dengan menurunnya nilai-nilai batas cair (*LL*) dan indeks plastisitas (*PI*) tanah, sementara persen butiran kasar, nilai batas plastis (*PL*) dan nilai batas susut (*SL*) meningkat.
 3. Sementara hasil pengujian sifat-sifat mekanis, keberadaan abu sabut kelapa didalam kandungan tanah dapat meningkatkan kepadatan tanah dan stabilitas tanah, hal ini dapat dilihat dengan menurunnya nilai persen pengembangan dan nilai tekanan pengembangan tanah. Nilai persen pengembangan turun 0,54% atau 91,53% dari nilai pengembangan tanah asli dicapai pada 9% abu sabut kelapa didalam kandungan tanah dan nilai tekanan pengembangan turun 132 kPa atau 85,16% dari nilai tekanan pengembangan tanah asli.
 4. Abu sabut kelapa didalam kandungan tanah dapat meningkatkan kestabilan tanah.

Saran

1. Penambahan abu sabut kelapa kedalam tanah dapat menurunkan plastisitas tanah yaitu menurunnya nilai batas cair (*LL*) dan indeks plastisitas (*PI*), tetapi penurunan tersebut tidak signifikan. Perlu kiranya bahan tambah lain yang mengandung kalsium tinggi seperti kapur atau semen untuk campuran abu sabut kelapa.
2. Karena waktu penelitian yang terbatas sehingga masa perawatan sampel diambil 3 hari, untuk melihat efektifitas abu sabut kelapa dalam menstabilisasi tanah perlu dicoba dengan masa perawatan yang lebih lama.

Daftar Pustaka

- Anonim, 1992, *Annual Book of ASTM Standarts*, Section 4, Volume 04 08, Philadelphia, USA
- Chen, F.H, 1975, *Foundation on Expansive Soil*, Elsevier Science Publishing Company, New York
- Fadillah, dkk., 2021 “Stabilisasi tanah lempung dengan abu cangkang kelapa sawit” *SNITT – Politeknik Negeri Balikpapan* 2021
- Fatah, A. 2017 “Stabilitas tanah dengan penambahan abu sabut kelapa untuk meningkatkan daya dukung” *Jurnal Tiarsie*, vol. 14, no. 2.
- Fathani, T.F dan Adi, A.D, 1999, *Perbaikan Sifat Lempung Ekspansif dengan Penambahan Kapur*, Prosiding Seminar Nasional Geoteknik '99 hal. 97-105
- Hardiyatmo, H.C, 2012, *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Herman, Sari OP., 2018 ”Pengaruh penambahan abu limbah kertas terhadap kembang susut tanah lempung”, *Jurnal Teknik Sipil* Vol. 5, no. 1 Institut Teknologi Padang
- Idrus, I., 2017 “Stabilisasi tanah pasir menggunakan abu sampah (*eco-cement*) dan uji aplikasinya terhadap kuat geser tanah”, *Jurnal Teknologi* , vol. 12, no. 01.
- Wahyuni ND., dkk., 2021 “Kinerja *fly ash* terhadap stabilisasi tanah lunak sebagai material perbaikan tanah dasar (*subgrade*)” *JRSDD*, edisi September 2021, vol. 9, no. 3, hal. 547 - 558