

Pengaruh Penambahan Abu Tandan Sawit dan 12% Serbuk Cangkang Telur Terhadap Stabilisasi Tanah Lempung Ditinjau Dari Nilai CBR dan UCT

Muthiah Putrilan Syamnah Harahap, Derry Wiliyanda Nasution, Ika Puji Hastuty, Roesyanto, Anisa Nuraliman

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Medan, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 20 Juli 2023
Revisi Akhir: 25 Agustus 2023
Diterbitkan Online: 31 Agustus 2023

KATA KUNCI

Lempung; UCT; CBR; Abu Tanda Sawit;
Serbuk Cangkang Telur

KORESPONDENSI

Phone: -
E-mail: muthiah@usu.ac.id

A B S T R A K

Tanah lempung yang mempunyai kuat geser yang rendah perlu distabilisasikan agar memenuhi syarat teknis untuk dijadikan sebagai tanah dasar. Dalam penelitian ini digunakan penambahan serbuk cangkang telur (SCT) dan abu tandan sawit (ATS) sebagai bahan stabilisasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai *index properties*, pengaruh penambahan bahan stabilisasi pada tanah lempung, untuk mengetahui kadar penambahan ATS dan SCT yang efektif untuk daya dukung tanah melalui pengujian *Unconfined Compression Test* (UCT) dan *California Bearing Ratio* (CBR) laboratorium tak terendam. Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi solusi untuk mengurangi limbah ATS dan SCT yang semakin banyak di Indonesia. Dari hasil penelitian diketahui bahwa berdasarkan klasifikasi USCS, sampel tanah tersebut termasuk dalam jenis (CL) sedangkan berdasarkan klasifikasi AASHTO, sampel tanah tersebut termasuk dalam jenis A-7-6. Hasil penelitian menunjukkan berbagai variasi ATS dengan waktu pemeraman 3 (tiga) hari mengalami kenaikan dan penurunan terhadap nilai UCT dan CBR dengan presentase SCT yang tetap. Nilai UCT pada tanah asli sebesar 1,007 kg/cm² dan nilai CBR laboratorium sebesar 3,94% untuk CBR tak terendam. Dengan nilai paling maksimum terjadi pada variasi campuran 12% SCT+ 10% ATS yaitu dengan nilai SCT sebesar 2,804 kg/cm² dan dari hasil uji CBR laboratorium didapat nilai maksimum pada variasi campuran 12% SCT + 10% ATS dimana nilai CBR tak terendam (*unsoaked*) sebesar 7,83%. Dari hasil penelitian, variasi tanah campuran ini dapat meningkatkan stabilitas tanah sehingga dapat digunakan untuk konstruksi.

PENDAHULUAN

Tanah merupakan salah satu material penting dalam suatu pembangunan konstruksi. Tanah harus memiliki kapasitas daya dukung yang cukup kuat. Namun tidak semua tanah dapat digunakan sebagai bahan konstruksi. Sehingga perlu dilakukan perbaikan tanah dengan tujuan agar tanah memenuhi syarat untuk menjadi dasar dari sebuah konstruksi. Tanah lunak adalah tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara seksama dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditoleransi. Hal tersebut dikarenakan tanah lunak memiliki daya dukung dan kuat geser yang rendah.[1]. Tanah lempung merupakan salah satu jenis dari tanah lunak yang bersifat kembang bila terkena air dan susut bila keadaan kering seperti dimensi semula dengan pemadatan yang tidak terarah [2]. Semakin tinggi kadar lempung yang terkandung dalam tanah, maka daya dukung dari tanah tersebut menjadi semakin rendah dan harus dilakukan stabilisasi atau perbaikan tanah. Stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu stabilisasi mekanis, stabilisasi fisik dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi kimiawi ini dilakukan dengan cara menambahkan bahan tambahan (*additive*) pada tanah yang akan distabilisasi. Salah satunya adalah Abu Tandan Sawit (ATS). Limbah ATS ini merupakan sisa dari produksi minyak sawit. Produksi minyak kelapa sawit di Indonesia saat ini mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya luas area perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Kelapa sawit dapat menghasilkan lebih dari 4,17 ton Tandan Buah Segar (TBS) per hektar [3]. Dengan adanya pertumbuhan luas area produksi perkebunan kelapa sawit ini, maka akan terjadi kenaikan pada produksi TBS dan CPO (*Crude Palm Oil*). Di sisi lain, kenaikan produksi tersebut akan menyebabkan adanya potensi limbah sawit yang belum dimanfaatkan secara ekonomis [4]. Oleh karena itu,

penelitian ini menggunakan ATS menjadi salah satu bahan stabilisasi. ATS sendiri memiliki rumus kimia $\text{Li}_2\text{CoSiO}_4$ yang mana dalam kandungannya terdapat silika tinggi. Namun penggunaan stabilisasi tanah lempung hanya dengan abu kelapa sawit ini kurang efektif karena kandungan kapur (CaO) pada ATS tidak terlalu tinggi. Maka dalam penelitian ini, dibutuhkan material tambahan yang dinilai mampu meningkatkan kadar kapur. Serbuk Cangkang Telur (SCT) dinilai memiliki kandungan kalsium yang cukup tinggi yakni sebesar 94% [5]. Penelitian mengenai pemanfaatan SCT sebagai bahan stabilisasi tanah dan pengaruhnya terhadap nilai CBR juga sudah diteliti. Hasilnya menunjukkan nilai CBR optimal terjadi pada penambahan SCT pada persentase campuran 12% [6]. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan persentase campuran SCT 12% sedangkan untuk ATS mulai dari 2% - 20% dengan jarak kelipatan 2. Penelitian ini akan dilakukan pemeraman selama 3 hari dan menggunakan metode tidak terendam (*unsoaked*) untuk pengujian CBR.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah

Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan yang diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori yang berisi air dan udara [7].

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut [8].

Tanah Lempung

Tanah lempung dan mineral lempung adalah tanah yang memiliki partikel partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air [9]. Tanah lempung sebagai deposit yang mempunyai partikel berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm dalam jumlah lebih dari 50 % [10].

Abu Tandan Sawit (ATS)

Limbah ATS merupakan limbah padat yang diperoleh dari hasil pembakaran tandan kosong sawit. Di dalam ATS terdapat kandungan silikia yang berpotensi menjadi bahan stabilisasi. Kandungan pada ATS dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Kandungan ATS [11]

Parameter	Nilai (%)
SiO_2	12,12
Al_2O_3	0,26
CaO	9,65
MgO	1,90
Na_2O	0,09
K_2O	55,48
SO_3	1,66
Cl	6,84
P_2O_5	3,58

Serbuk Cangkang Telur (SCT)

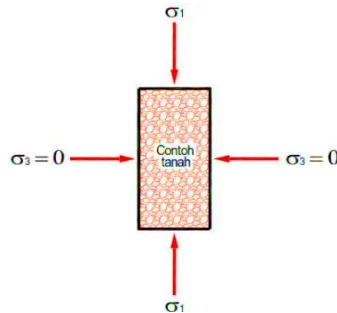
Limbah cangkang telur di Indonesia termasuk jenis limbah yang dihasilkan dalam jumlah besar oleh masyarakatnya. Hal ini dikarenakan meningkatnya konsumsi telur oleh masyarakat yang membuat limbah ini ada setiap harinya. Berdasarkan senyawanya limbah cangkang telur ini tergolong kedalam limbah organik yang mudah terurai. Kandungan dari SCT antara lain kalsium karbonat 94%, kalium fosfat 1% dan magnesium karbonat 1% [5].

California Bearing Ratio (CBR)

Uji CBR bertujuan untuk mengetahui nilai CBR atau daya dukung tanah pada kadar air dan kepadatan tertentu. Pengujian CBR di laboratorium bisa dilakukan dengan dua kondisi yaitu CBR rendaman (*soaked*) dan CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) [12]. Penelitian ini akan dilakukan pengujian CBR dengan kondisi tanpa rendaman (*unsoaked*)

Unconfined Compression Test (UCT)

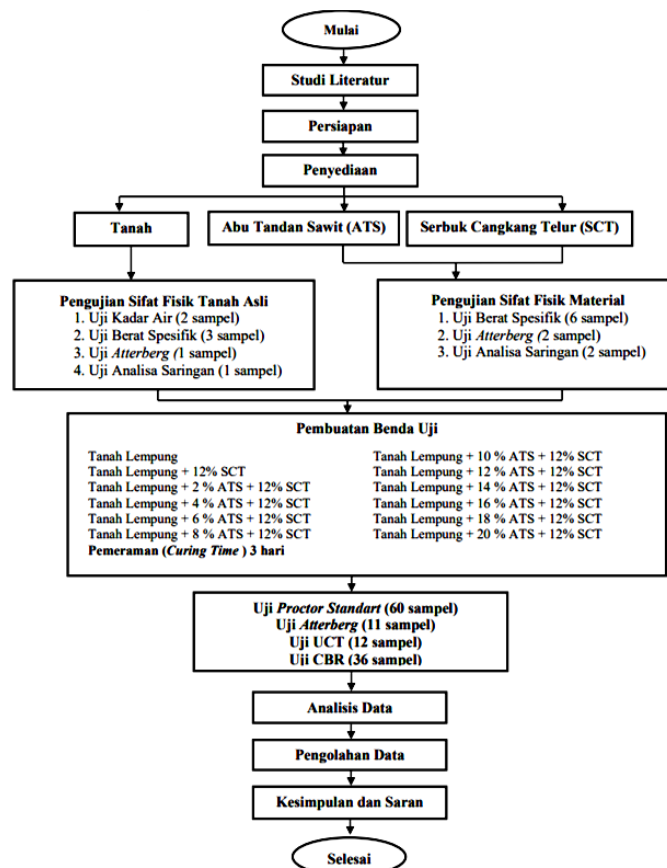
Uji tekan bebas termasuk hal yang khusus dari uji *triaxial unconsolidated-undrained* yang dimana kondisi pembebanan sama dengan yang terjadi pada uji *triaxial*, hanya saja tegangan selnya nol [13]. Gambar skema prinsip pengujian kuat tekan bebas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Uji Kuat Tekan [14]

METODOLOGI

Metode yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dan akan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik, Universitas Sumatra Utara. Sampel yang akan diuji yaitu sampel tanah asli atau tanah lempung yang tidak ditambah dengan bahan stabilisasi dan tanah lempung yang diberikan bahan stabilisasi ATS dan SCT. Skema penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengujian sifat fisik sampel dan sifat mekanis sampel telah diuji. Pembahasan dari masing-masing data akan dijabarkan pada pembahasan ini.

Pengujian Sifat Fisik Sampel

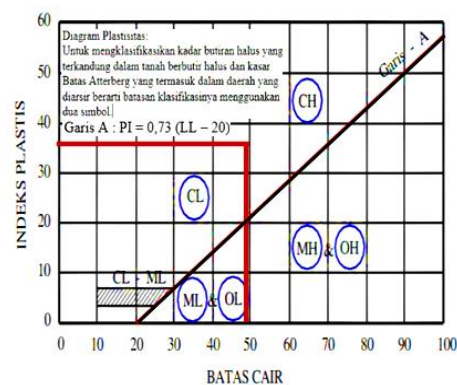
Pengujian Sifat Fisik Tanah Asli

Pada tanah asli dilakukan pengujian kadar air, berat spesifik, analisis butiran, dan batas-batas *Atterberg*. Adapun hasil yang didapatkan dari pengujian tanah asli tersebut dipaparkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data uji sifat fisik tanah asli

No	Pengujian	Hasil (%)
1	Kadar air (<i>Water content</i>)	65,46
2	Berat spesifik (<i>Specific gravity</i>)	2,69
3	Lolos saringan no. 200	52,05
4	Batas cair (<i>Liquid Limit</i>)	49,63
5	Batas plastis (<i>Plastic Limit</i>)	14,24
6	Indeks plastisitas (<i>Plasticity index</i>)	35,39

Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO, sampel tanah diklasifikasikan dalam jenis tanah A-7-6. Hal ini merujuk pada persyaratan dalam klasifikasinya yaitu minimal tanah lolos ayakan no. 200 sebesar 36%, memiliki batas cair *Liquid Limit* (LL) ≥ 41 dan indeks plastisitas (*plasticity index*) > 11 . Menurut sistem klasifikasi USCS, untuk mengklasifikasi tanah diperlukan data berupa nilai indeks plastisitas dan nilai LL . Kedua data tersebut diplotkan ke dalam grafik penentuan klasifikasi tanah Gambar 3. Dari hasil plot diperoleh tanah termasuk ke dalam kelompok CL yaitu lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang.



Gambar 3. Plot grafik klasifikasi USCS

Pengujian Sifat Fisik SCT

Adapun pengujian sifat fisik yang dilakukan yaitu pengujian berat spesifik, analisis butiran, dan batas-batas *Atterberg*. Hasil pengujian sifat fisik dari SCT dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Uji Sifat Fisik SCT

No	Pengujian	Hasil (%)
1	Berat spesifik (<i>Specific gravity</i>)	1,981
2	Lolos saringan no. 200	32,87
3	Batas cair (<i>Liquid Limit</i>)	Non Plastis
4	Batas plastis (<i>Plastic Limit</i>)	Non Plastis
5	Indeks plastisitas (<i>Plasticity index</i>)	Non Plastis

Pengujian Sifat Fisik ATS

Adapun pengujian sifat fisik yang dilakukan yaitu pengujian berat spesifik, analisis butiran, dan batas-batas Atterberg. Hasil pengujian sifat fisik dari serbuk cangkang telur dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Uji Sifat ATS

No	Pengujian	Hasil (%)
1	Berat spesifik (<i>Specific gravity</i>)	2,096
2	Lolos saringan no. 200	20,18
3	Batas cair (<i>Liquid Limit</i>)	Non Plastis
4	Batas plastis (<i>Plastic Limit</i>)	Non Plastis
5	Indeks plastisitas (<i>Plasticity index</i>)	Non Plastis

Pengujian Sifat Fisik Tanah dengan Bahan Stabilisator

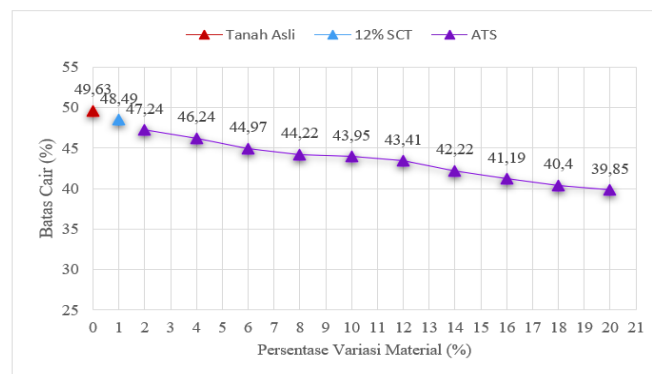
Tanah asli yang telah dicampurkan menggunakan bahan stabilisasi dengan variasi 12% SCT dan 2% - 20% ATS diuji. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh atau perubahan sifat yang terjadi. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data uji sifat fisik *Atterberg limit*

Sampel	<i>Atterberg Limit</i>		
	LL (%)	PL (%)	PI (%)
Tanah Asli	49,63	14,24	35,39
Tanah Asli +12% SCT	48,49	14,53	33,96
TA+2%ATS +12% SCT	47,24	14,86	32,38
TA+4%ATS +12% SCT	46,24	15,25	30,99
TA +6%ATS +12% SCT	44,97	17,55	27,42
TA +8%ATS +12% SCT	44,22	18,08	26,14
TA +10%ATS +12% SCT	43,93	18,36	25,57
TA +12%ATS +12% SCT	43,41	19,26	24,15
TA +14%ATS +12% SCT	42,22	20,66	21,56
TA +16%ATS +12% SCT	41,19	21,66	19,53
TA +18%ATS +12% SCT	40,40	21,98	18,42
TA +20%ATS +12% SCT	39,85	22,31	17,54

Batas Cair (LL)

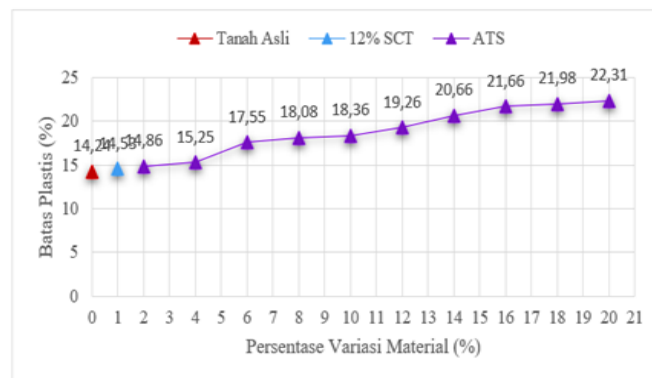
Pada pengujian batas cair yang ditunjukkan pada Gambar 4 dengan menggunakan *Casagrande Cup*, diperoleh bahwa penambahan SCT dan ATS berpengaruh terhadap batas cair tanah. Hasil pengujian ini mengalami penurunan terus menerus nilai batas cair hingga ke variasi 20% ATS+ 12% SCT.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Penambahan SCT dan ATS terhadap Nilai Batas Cair (LL)

Batas plastis

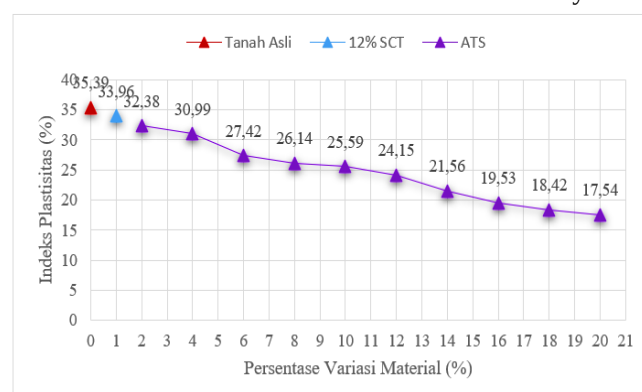
Pengujian batas plastis tanah telah dilakukan. Semakin tinggi persentase kadar ATS yang ditambahkan, semakin tinggi pula nilai batas plastis tanah tersebut. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 5, dimana peningkatan batas plastis tertinggi adalah pada variasi penambahan 20% ATS + 12% SCT.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Penambahan Serbuk Cangkang Telur dan Abu Tandan Sawit Terhadap Nilai Batas Plastis

Indeks plastisitas (plasticity index)

Penambahan bahan stabilisasi SCT dan ATS berpengaruh terhadap indeks plastisitas tanah. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa semakin banyak penambahan bahan stabilisasi maka akan semakin menurunnya nilai indeks plastisitasnya.



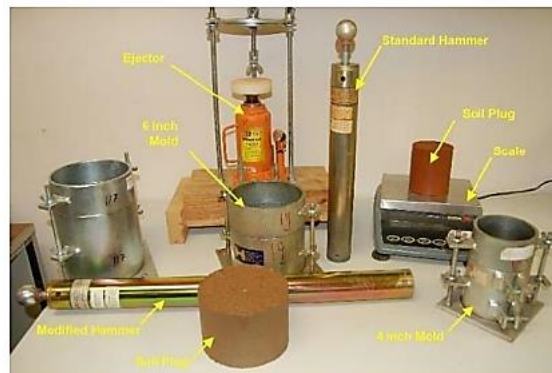
Gambar 6. Grafik Pengaruh Penambahan SCT dan ATS terhadap Nilai Indeks Plastisitas

Penurunan nilai indeks plastisitas tersebut dapat mengurangi potensi pengembangan dan penyusutan dari tanah. Hal ini disebabkan oleh adanya proses hidrasi kapur yang ditambahkan ke tanah. Proses ini memperkuat ikatan antara partikel-partikel tanah, sehingga terbentuk butiran yang lebih keras dan stabil.

Pengujian Sifat Mekanis Tanah

Pengujian pemadatan tanah asli (*compaction test*)

Pengujian pemadatan tanah atau *compaction test* menggunakan alat penumbuk tanah yang ditunjukkan pada Gambar 7. Alat ini menggunakan *Proctor* standar dengan berat 2,5 kg dan wadah atau cetakan untuk tanahnya menggunakan *mould*. Ukuran dari *mould* ini pada bagian luarnya berdiameter 10,2 cm dan diameter dalamnya 10,16 cm. Tinggi jatuh dari alat *Proctor* 30 cm dan tanah yang digunakan dalam pengujian ini merupakan tanah yang telah lolos ayakan no.4 (4,75mm).



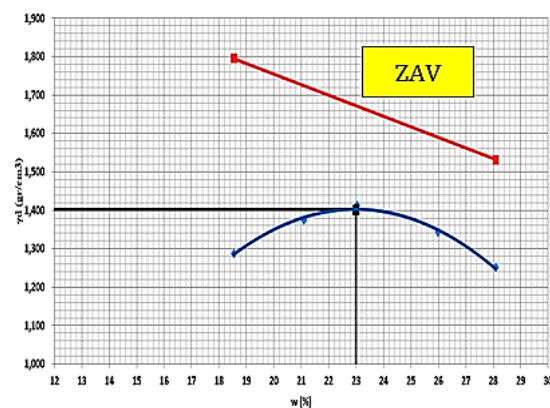
Gambar 7. Peralatan Lengkap Standar *Proctor Test* [15]

Dari hasil pengujian kepadatan tanah asli tersebut didapatkan data hasil yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Pemadatan Tanah Asli

No	Hasil Pengujian	Nilai
1	Kadar air optimum	22,99
2	Berat isi kering optimum	1,4

Hubungan antara kadar air optimum dan berat isi kering dapat dilihat pada kurva kepadatan tanah yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kurva kepadatan tanah asli

Pengujian Pemadatan Tanah (*Compaction Test*) dengan Bahan Stabilisator

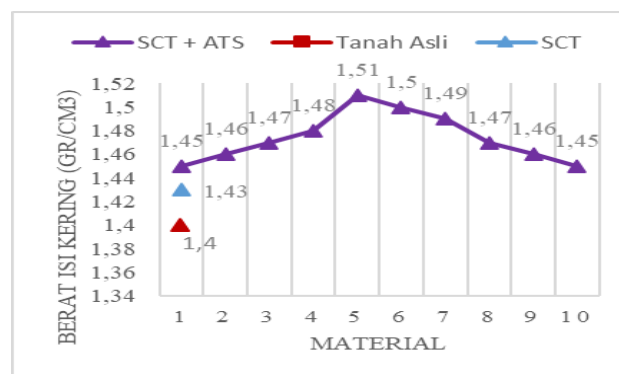
Pada pengujian ini dilakukan sama seperti pengujian tanah asli dengan menggunakan alat yang sama. Namun pada pengujian ini ditambahkan bahan stabilisasi yaitu 12% SCT dan 2% - 20% ATS dengan interval 2% terhadap tanah lempung yang akan distabilisasi. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 7. Hasil pengujian pemadatan tanah

Material	Sampel	Compaction	
		γ_d maks (gr/cm ³)	W _{opt} (%)
	Tanah Asli	1,40	22,99
	Tanah Asli+12% SCT	1,43	22,20
1	TA +2%ATS+12% SCT	1,45	21,17
2	TA +4%ATS+12% SCT	1,46	20,62
3	TA +6%ATS+12% SCT	1,47	20,12
4	TA +8%ATS+12% SCT	1,48	19,62
5	TA +10%ATS+12% SCT	1,51	19,25
6	TA +12%ATS+12% SCT	1,50	19,46
7	TA +14%ATS+12% SCT	1,49	19,64
8	TA +16%ATS+12% SCT	1,47	20,10
9	TA +18%ATS+12% SCT	1,46	20,19
10	TA +20%ATS+12% SCT	1,45	20,68

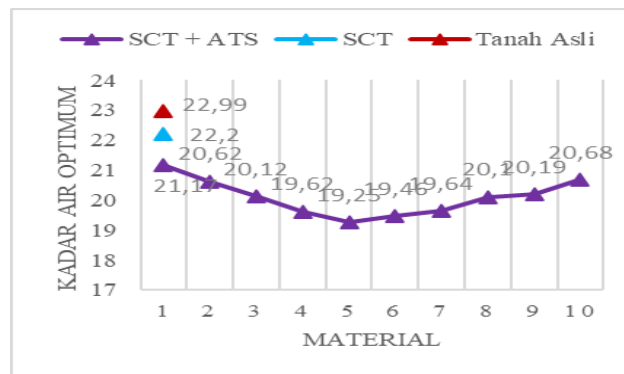
Berat Isi Kering Maksimum (γ_d maks)

Pada Tabel 7 menunjukkan bahwa nilai berat isi kering semakin meningkat jika ditambahkan campuran bahan stabilisasi hingga 10% ATS dan 12% SCT. Namun pada penambahan kadar material selanjutnya nilai berat isi kering mengalami penurunan. Hal ini disebabkan material stabilisasi mengisi rongga pori tanah. Pada kondisi tanah asli, rongga pori tersebut terisi oleh air dan udara. Akibat adanya material stabilisasi dalam rongga pori tanah ini, persentase air yang dikandung tanah menjadi berkurang. Peningkatan jumlah partikel padat pada tanah berdampak pada peningkatan berat volume keringnya dibandingkan pada kondisi tanah asli. Sedangkan penurunan berat isi kering tanah ini terjadi karena tanah telah melewati penambahan efektif bahan stabilisator. Jumlah bahan stabilisator yang semakin bertambah terhadap berat tanah asli yang tetap akan membuat kemampuan mengikatnya berkurang sehingga akan memperkecil lekatan antar butiran pada tanah dan air. Hal ini mengakibatkan kondisi tanah menjadi mudah pecah. Hubungan antara berat isi kering tanah dengan variasi campuran ditunjukkan pada Gambar 9.

Gambar 9. Grafik Hubungan Antara Berat Isi Kering Maksimum (γ_d maks) Tanah dengan Variasi Campuran

Kadar Air Optimum (W_{opt})

Nilai kadar air optimum tanah asli mengalami penurunan seiring penambahan bahan stabilisator hingga variasi 10% ATS + 12% SCT. Gambar 10 menunjukkan hasil pengujian nilai kadar air optimum tanah. Nilai kadar air mengalami peningkatan ketika penambahan kadar variasi material di atas 10% ATS hingga 20% ATS.

Gambar 10. Grafik Hubungan Antara Kadar Air Optimum (W_{opt}) Tanah dengan Variasi Campuran

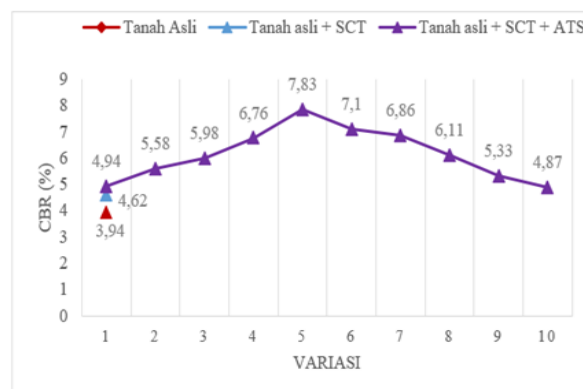
Pengujian California Bearing Ratio (CBR) Laboratorium

Pengaruh penambahan SCT dan ATS pada tanah lempung terhadap kekuatan tanah lempung dapat dilihat dari hasil pengujian CBR dengan tiap variasi tanah yang telah dicampur dengan bahan stabilisasi. Pengujian ini dilakukan dalam kondisi tidak terendam (*unsoaked*). Kondisi ini dipilih untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada saat tanah kering. Hasil dari pengujian ini ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Data hasil uji CBR

Variasi penambahan	Sampel	γ_{dmaks} (gr/cm ³)	W_{opt} (%)	CBR Unsoaked (%)
	Tanah Asli	1,40	22,99	3,94
	TA+12% SCT	1,43	22,20	4,62
1	TA+2%ATS +12% SCT	1,45	21,17	4,94
2	TA +4%ATS +12% SCT	1,46	20,62	5,58
3	TA +6%ATS +12% SCT	1,47	20,12	5,98
4	TA +8%ATS +12% SCT	1,48	19,62	6,76
5	TA +10%ATS +12% SCT	1,51	19,25	7,83
6	TA +12%ATS +12% SCT	1,50	19,46	7,10
7	TA +14%ATS +12% SCT	1,49	19,64	6,86
8	TA +16%ATS +12% SCT	1,47	20,10	6,11
9	TA +18%ATS +12% SCT	1,46	20,19	5,33
10	TA +20%ATS +12% SCT	1,45	20,68	4,87

Hubungan nilai CBR dengan variasi campuran ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Hubungan Nilai CBR dengan Variasi Persentase Penambahan Campuran

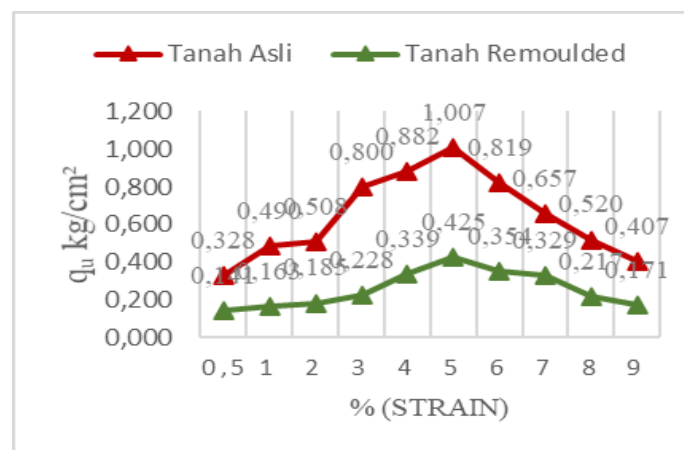
Pengujian Unconfined Compression Test (UCT)

Pengujian ini diperoleh hubungan antara nilai kuat tekan bebas tanah (q_u) pada tanah asli dan tanah buatan (*remoulded*) serta nilai kuat tekan bebas tanah (q_u) pada tiap variasi tanah yang telah dicampur dengan bahan stabilisasi. Selanjutnya dari hasil nilai q_u diperoleh nilai kohesi (c_u) yaitu sebesar $\frac{1}{2} q_u$. Data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Data hasil uji kuat tekan bebas

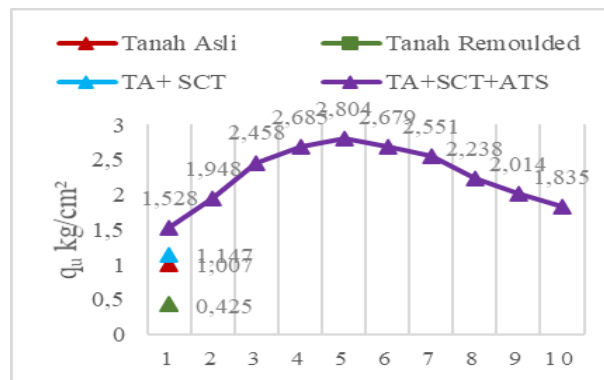
Variasi penambahan	Sampel	q_u (kg/cm ²)	c_u (kg/cm ²)
	Tanah Asli	1,007	0,5035
	Tanah Remoulded	0,425	0,2125
	TA + 12 % SCT	1,147	0,5735
1	TA + 2% ATS +12% SCT	1,528	0,7640
2	TA + 4% ATS +12% SCT	1,948	0,9740
3	TA + 6% ATS +12% SCT	2,458	1,2290
4	TA + 8% ATS +12% SCT	2,685	1,3425
5	TA + 10% ATS +12% SCT	2,804	1,4020
6	TA + 12% ATS +12% SCT	2,679	1,3395
7	TA + 14% ATS +12% SCT	2,551	1,2755
8	TA + 16% ATS+12% SCT	2,238	1,1190
9	TA + 18% ATS+12% SCT	2,014	1,0070
10	TA + 20% ATS+12% SCT	1,835	0,9175

Hubungan antara nilai kuat tekan bebas dengan regangan pada tanah asli dan tanah *remoulded* dapat disajikan dalam grafik yang ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Hubungan antara Nilai Kuat Tekan Bebas (q_u) dengan Regangan (strain) yang Diberikan pada Sampel Tanah Asli dan Tanah *Remoulded*

Terjadi penurunan yang cukup besar seperti terlihat pada Gambar 12. Penurunan ini diakibatkan oleh perlakuan berupa kerusakan struktur tanah yang diterima oleh tanah buatan (*remoulded*). Grafik hasil pengujian kuat tekan bebas ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik UCT

Berdasarkan Gambar 13 tersebut dapat dilihat dengan adanya penambahan SCT dan ATS nilai kuat tekan bebas semakin meningkat tetapi hanya sampai variasi campuran 10% ATS+12% SCT, pada variasi campuran tersebutlah nilai kuat tekan tanah yang paling maksimum pada waktu pemeraman 3 hari. Hal ini dikarenakan reaksi sementasi yang terjadi pada campuran tanah dan bahan stabilisasi membentuk butiran baru yang lebih keras sehingga lebih kuat menahan beban yang diberikan. SCT dan ATS yang bercampur dengan tanah mengakibatkan terjadinya ukuran butiran lempung bertambah besar (flokulasi). Selain proses flokulasi yang terjadi dalam stabilisasi tanah, terjadi pula proses pozzolan, proses hidrasi, dan proses sementasi.

KESIMPULAN

Tanah diklasifikasikan dalam jenis tanah A-7-6 berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO dan berjenis CL atau lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang berdasarkan sistem klasifikasi USCS. Dari hasil pengujian sifat fisik tanah dengan bahan stabilisator didapatkan bahwa semakin tinggi persentase penambahan kadar ATS, maka semakin rendah nilai batas cair dan indeks plastisitas tanah, namun nilai batas plastis tanah menjadi semakin tinggi.

Dari hasil pengujian pemadatan tanah dengan bahan stabilisator didapatkan hasil berat isi kering maksimum sebesar 1,51 gr/cm³ pada variasi tanah asli + 10% ATS + 12% SCT, dimana pada variasi ini terdapat kadar air tanah terkecil yaitu sebesar 19,25%. Hal ini dikarenakan berat isi kering berbanding terbalik dengan kadar air optimum tanah.

Pengujian CBR *unsoaked* juga menunjukkan nilai tertinggi berada pada variasi penambahan 10% ATS dan 12% SCT yaitu sebesar 7,83%, dimana pada kondisi tanah aslinya sebesar 3,94%. Pengujian *Unconfined Compression Test* (UCT) diperoleh nilai kuat tekan bebas (q_u) sebesar 1,007 kg/cm² pada kondisi tanah asli dan sebesar 0,425 kg/cm² pada tanah *remoulded*. Adapun nilai kuat tekan bebas maksimum berada pada variasi tanah asli + 10% ATS + 12% SCT sebesar 2,804 kg/cm². Proses pemeraman pada variasi material ATS ini berlangsung selama 3 hari.

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, penambahan bahan stabilisasi yang berupa ATS dan SCT dinilai mampu meningkatkan daya dukung dan kuat geser dari tanah lempung dengan kadar tertentu. Adapun variasi optimum yaitu tanah asli dicampur dengan 10% ATS dan 12% SCT.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. A. Berliano, "KAJIAN TEKNIS PERBAIKAN TANAH LUNAK MENGGUNAKAN METODE KOMBINASI VACUUM DAN PRELOADING DENGAN PVD DAN PHD PADA AREA CONTAINER YARD PELABUHAN TERMINAL KIJING KALIMANTAN BARAT," 2020.
- [2] V. Ananda Upa' and N. Hakim, "Analisis Kekuatan dan Stabilitas Tanah Lempung Organik Artifisial Untuk Perencanaan Jalan dengan Beban Lalu Lintas Tinggi," 2019.
- [3] Ditjen Perkebunan Kementerian Pertanian, *Statistik Perkebunan Unggulan Nasional*. 2021.
- [4] J. Supriatna, M. R. Setiawati, R. Sudirja, C. Suherman, and X. Bonneau, "Composting for a More Sustainable Palm Oil Waste Management: A Systematic Literature Review," *Scientific World Journal*, vol. 2022. Hindawi Limited, 2022. doi: 10.1155/2022/5073059.
- [5] H. Evanuarini, *Industri Pengolahan Telur*. UB Press, 2021.

- [6] W. Fathonah and E. Mina, "Pemanfaatan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah dan Pengaruhnya Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR)".
- [7] C. R.F, *Mekanika Tanah*, Empat. Erlangga, 1989.
- [8] Braja. M. Das and N. Endah, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga, 1985.
- [9] R. E. Grim, *Clay mineralogy*, 2nd ed. McGraw-Hill, 1968.
- [10] J. Bowles, *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Erlangga, 1984.
- [11] R. Dwi Putri Ananda *et al.*, "Potensi dan karakteristik abu tandan kosong kelapa sawit sebagai katalis heterogen untuk produksi biodiesel Potential and characteristics of oil palm empty fruit bunches as a heterogeneous catalyst for biodiesel production," 2023.
- [12] E. T. Utami, H. F. Tambunan, and I. R. U. Simanjuntak, "Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Abu Terbang (Fly Ash)," 2021.
- [13] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah*, Ketiga. Gadjah Mada University Press, 2002.
- [14] A. Gasruddin and A. R. Kusnadi, "PENGUJIAN KUAT TEKAN BEBAS (UNCONFINED COMPRESSION TEST) PADA STABILISASI TANAH LUNAK MENGGUNAKAN CAMPURAN KAPUR ALAM DAN ABU SEKAM PADI," 2018.
- [15] A. Ghea Mahardika and M. F. Pratama, "PENGUJIAN PEMADATAN TANAH METODE STANDARD PROCTOR DENGAN ALAT UJI PEMADAT STANDARD," 2020.