

TINJAUAN PARAMETER KUAT GESER LEMPUNG YANG DISTABILISASI DENGAN KAPUR

Senja Rum Harnaeni

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417
Email : Senja_rum_h@yahoo.co.id

Abstrak

Konstruksi yang dibangun di atas tanah lempung ekspansif sering mengalami kerusakan sebelum mencapai umur rencana karena kembang susut tanah lempung akibat pengaruh kadar air. Salah satu cara untuk memperbaiki kuat dukung tanah lempung ekspansif adalah stabilisasi dengan kapur. Tinjauan parameter kuat geser tanah, yaitu : kohesi (c) dan sudut gesek internal (ϕ) diperlukan untuk analisis-analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui parameter kuat geser tanah lempung yaitu : kohesi (c) dan sudut gesek internal (ϕ) yang distabilisasi dengan kapur. Kapur yang digunakan adalah kapur padam yang tersedia di Yogyakarta. Metode yang digunakan adalah mencampur tanah asli dari Gading – Gunung Kidul dan kapur padam dengan persentase penambahan 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% terhadap berat kering tanah. Untuk mengetahui perubahan sifat fisis dan mekanis tanah stabilisasi lempung - kapur dilakukan uji gradasi, uji gravitasi khusus, uji batas-batas konsistensi, uji pemadatan dan uji triaksial UU. Uji triaksial UU untuk menentukan parameter kuat geser, ditinjau terhadap perawatan 3 hari pada kondisi optimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa menurut USCS tanah termasuk CH, yaitu lempung anorganik dengan plastisitas tinggi sedangkan menurut AASHTO tanah termasuk kelompok A-7-6. Penambahan kapur dengan masa perawatan 3 hari dapat memperbaiki sifat fisis dan mekanis tanah, antara lain : menurunkan indeks plastisitas tanah dan meningkatkan nilai parameter kuat geser tanah.

Kata kunci : kapur; parameter kuat geser; stabilisasi tanah

Pendahuluan

Stabilitas konstruksi yang dibangun di atas tanah lempung ekspansif sangat dipengaruhi kadar air, dalam keadaan kering mempunyai stabilitas tinggi dan dalam keadaan jenuh akan mempunyai stabilitas yang rendah. Konstruksi yang dibangun di atas tanah lempung ekspansif akan retak, bergelombang atau terjadi penurunan sehingga konstruksi mengalami kerusakan sebelum mencapai umur rencana bahkan menyebabkan ketidakamanan bagi pemakai konstruksi tersebut. Hal ini berkaitan dengan nilai parameter kuat geser tanah yaitu kohesi (c) dan sudut gesek internal tanah (ϕ).

Untuk mengatasi kondisi lempung ekspansif yang kuat dukungnya sangat dipengaruhi kadar air dilakukan perbaikan dengan cara stabilisasi, salah satunya adalah dengan penambahan kapur untuk meningkatkan kinerja tekniknya. Secara umum stabilisasi tanah akan memperbaiki sifat-sifat fisik tanah, meningkatkan kekuatan tanah dan mengurangi penurunan pada waktu yang akan datang. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui parameter kuat geser tanah lempung yang distabilisasi dengan kapur.

Pemadatan Tanah (*Soil Compaction*)

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel.

Menurut Hardiyatmo (2002) pemadatan tanah bertujuan antara lain :

- (1) Mempertinggi kuat geser tanah
- (2) Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas)
- (3) Mengurangi permeabilitas
- (4) Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.

Biasanya kadar air tanah yang dipadatkan, didasarkan pada posisi-posisi kadar air sisi kering optimum (*dry side of optimum*), dekat optimum (optimum) dan sisi basah optimum (*wet side of optimum*). Kering optimum didefinisikan sebagai kadar air yang kurang daripada kadar air optimumnya. Basah optimum didefinisikan sebagai kadar air yang lebih dari kadar air optimumnya. Demikian juga dengan dekat optimum yang berarti kadar air yang kurang lebih mendekati optimumnya.

Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah diperlukan bila suatu tanah yang terdapat di lapangan kondisinya jelek, misalnya : sifat sangat lepas, sifat kembang susutnya besar serta permeabilitasnya terlalu tinggi. Dengan stabilisasi pada tanah jelek tersebut diharapkan dapat memenuhi persyaratan teknis untuk perencanaan suatu konstruksi.

Metode stabilisasi yang banyak digunakan adalah stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi mekanis yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan cara perbaikan struktur dan perbaikan sifat-sifat mekanis tanah, sedangkan stabilisasi kimiawi yaitu menambah kekuatan dan kuat dukung tanah dengan mengurangi atau menghilangkan sifat-sifat teknis tanah yang kurang menguntungkan dengan cara mencampur tanah dengan bahan kimia seperti semen, kapur atau *pozzolan*.

Bowles (1984) menyatakan stabilisasi dapat berupa tindakan-tindakan :

- (1) Menambah kepadatan tanah.
- (2) Menambah material yang tidak aktif untuk mempertinggi kohesi/kuat geser.
- (3) Menambah material agar terjadi perubahan alami dan kimiawi material tanah.
- (4) Merendahkan permukaan air tanah (*drainase*).
- (5) Mengganti tanah-tanah yang buruk

Kapur

Sebagai bahan stabilisasi biasanya digunakan kapur padam/kapur mati/ *slake lime* ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dan kapur tohor/kapur hidup/ *quick lime* (CaO). Secara umum pemakaian kapur tohor lebih efektif, tapi mempunyai kelemahan dalam pelaksanaan yaitu pelaksanaan yang kurang hati-hati dapat membuat peralatan mudah berkarat dan menyebabkan terbakarnya kulit pekerja. Bahan dasar dari kapur adalah batu kapur. Batu kapur mengandung kalsium karbonat (CaCO_3), dengan pemanasan ($\pm 980^\circ\text{C}$) karbon dioksida ke luar dan tinggal kapurnya saja (CaO).

Kapur diperoleh dari pembakaran CaCO_3 (batu kapur alami) sampai semua karbon dioksida terbakar.



Kalsium oksida (CaO) dapat mudah terhidrasi menurut reaksi berikut :



Kapur hasil pembakaran apabila ditambahkan air akan mengembang dan retak-retak. Banyak panas yang keluar (seperti mendidih) selama proses ini, hasilnya adalah kalsium hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Proses ini disebut *slaking*, adapun hasilnya yaitu *slaked lime* /*hydrated lime* atau kapur padam.

Stabilisasi Tanah dengan Kapur

Dengan penambahan kapur akan mereduksi plastisitas tanah, meningkatkan kekuatan dan daya tahan, mengurangi penyerapan air dan pengembangan (*swelling*) yang diakibatkan oleh air. Pada keadaan ini efek stabilisasi adalah karena proses kimia tertentu dan bukanlah suatu penguatan akibat perlakuan mekanis. Proses kimia ini mengubah struktur tanah dengan cara pembentukan agregat butir yang lebih besar (*flokulasi*), dan hal inilah yang sangat menguntungkan untuk suatu konstruksi. Penambahan kapur mempengaruhi karakteristik pemadatan, yaitu kadar air optimum (w_{opt}) naik, berat volume kering maksimum (γ_{maks}) turun dan kurva pemadatan lebih datar.

Peningkatan kekuatan (*strength*) akibat dari stabilisasi lempung dengan kapur disebabkan 3 reaksi yang terjadi, yaitu : penyerapan air (*hydration of soil*), *flocculation*/pertukaran ion (*ion exchange*), dan *cementation* (pengerasan)/reaksi pozolan (*pozzolanic reaction*). Mekanisme lainnya adalah karbonisasi (*carbonation*), reaksi ini menyebabkan sedikit peningkatan kekuatan, sehingga dapat diabaikan. Reaksi cepat (*short term reaction*) meliputi hidrasi untuk kapur hidup dan flokulasi. Reaksi lambat (*long term reaction*) meliputi sementasi (*cementation*) dan karbonisasi (*carbonation*).

Kuat Geser

Parameter kuat geser tanah berupa kohesi (c) dan sudut gesek internal (ϕ) diperlukan untuk analisis- analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan, sehingga dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan maka akan ditahan oleh :

- (1) Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak bergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser,
- (2) Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Salah satu cara untuk menentukan kuat geser tanah di laboratorium adalah uji triaksial tak terkonsolidasi-tak terdrainasi (*triaxial unconsolidated-undrained*). Dalam pengujian ini, katup drainase tidak dibuka selama proses

pengujiannya. Pertama tegangan sel/tegangan kekang (σ_3) diterapkan, kemudian tegangan deviator ($\Delta\sigma$) dikerjakan sampai terjadi keruntuhan. Untuk pengujian ini tegangan utama mayor adalah σ_1 yang besarnya $\sigma_3 + \Delta\sigma$, sedangkan tegangan utama minor adalah σ_3 .

Uji ini merupakan uji triaksial dengan pembebanan cepat (*quick-test*), sehingga belum terjadi konsolidasi atau drainase pada lapisan tanah. Kondisi tersebut antara lain terjadi pada akhir pelaksanaan pembangunan bendungan urugan dan fondasi untuk timbunan.

Metode Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan pengambilan tanah di Gading, Gunung Kidul. Selanjutnya dilakukan pengeringan dan penyaringan tanah lolos No. 4, kemudian mencampur tanah dengan kapur sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% terhadap berat kering tanah. Setelah itu dilakukan uji sifat fisis dan mekanis tanah-kapur meliputi: gravitasi khusus, gradasi butiran, *Atterberg limits*, *standard Proctor* dan uji triaksial.

Adapun peralatan yang digunakan adalah :

- 1) satu set saringan standar ASTM D421-85 dan hidrometer D422-63
- 2) satu set alat ukur gravitasi khusus ASTM D854-02
- 3) alat uji batas-batas konsistensi ASTM D4318-00,
- 4) alat pemadat standar ASTM D698-00
- 5) satu set alat triaksial tak-terkonsolidasi tak- terdrainase ASTM D2850-956).
- 6) alat-alat bantu yang terdiri dari *oven*, timbangan dengan ketelitian 0,01, *stop watch*, termometer, gelas ukur 1000 ml, desicator, cawan, picnometer.

Uji triaksial

Pembuatan benda uji dibuat dengan memadatkan campuran tanah dan kapur berdasarkan kadar air optimum yang telah diperoleh dari uji pemadatan. Campuran tanah dan kapur yang telah dipadatkan dengan *standard Proctor* dicetak sebanyak 3 buah dengan ukuran diameter dan tinggi masing-masing kurang lebih 36 mm dan 76 mm. Benda uji dirawat selama 3 hari baru dilakukan uji triaksial.

Hasil dan Pembahasan

Sifat Fisis kapur dan tanah asli

Tabel 1. Nilai gravitasi khusus kapur

| Jenis bahan | Gravitasi khusus |
|-------------|------------------|
| Kapur | 2,48 |

Tabel 2. Hasil uji sifat fisis dan mekanis tanah

| Data pengamatan | Hasil |
|--------------------------|-------------------------|
| Kadar air | 38,39 % |
| Gravitasi khusus | 2,74 |
| Batas plastis (PL) | 27,02 % |
| Batas susut (SL) | 12,08 % |
| Plastisitas indeks (PI) | 56,93 % |
| % lolos saringan No. 200 | 84,24 % |
| Lempung | 23,5 % |
| Lanau | 60,74 % |
| Pasir | 15,76 % |
| MDD | 1,37 gr/cm ³ |
| OMC | 30,33 % |

Sifat Fisis campuran tanah + kapur

Tabel 3. Nilai gravitasi khusus (Gs) campuran tanah lempung dan kapur

| Variasi kapur | Nilai gravitasi khusus (Gs) |
|---------------|-----------------------------|
| 0 % | 2,74 |
| 2 % | 2,74 |
| 4 % | 2,73 |
| 6 % | 2,73 |
| 8 % | 2,72 |
| 10 % | 2,71 |

Tabel 4. Hasil uji gradasi butiran tanah

| Variasi kapur | % fraksi > 0,075 mm (fraksi kasar) | % fraksi < 0,075 mm (fraksi halus) |
|---------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 0 % | 15,76 | 84,24 |
| 2 % | 15,86 | 84,14 |
| 4 % | 16,94 | 83,06 |
| 6 % | 17,42 | 82,58 |
| 8 % | 18,24 | 81,76 |
| 10 % | 18,86 | 81,14 |

Tabel 5. Nilai batas-batas konsistensi

| Variasi kapur | Batas-batas konsistensi | | | |
|---------------|-------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| | Batas cair (%) | Batas plastis (%) | Batas susut (%) | Index plastisitas (%) |
| 0% | 83,95 | 27,02 | 12,08 | 56,93 |
| 2% | 83,04 | 27,16 | 12,17 | 55,87 |
| 4% | 73,40 | 31,98 | 12,50 | 41,43 |
| 6% | 73,12 | 32,37 | 12,54 | 40,75 |
| 8% | 72,92 | 35,78 | 12,90 | 37,14 |
| 10% | 71,02 | 36,91 | 13,27 | 34,10 |

Tabel 6. Hasil uji pemadatan

| Variasi kapur | Kadar air optimum (OMC) (%) | Berat volume kering maksimum (MDD) (gr/cm ³) |
|---------------|-----------------------------|--|
| 0 % | 30,33 | 1,37 |
| 2 % | 30,39 | 1,35 |
| 4 % | 30,44 | 1,34 |
| 6 % | 30,61 | 1,32 |
| 8 % | 31,25 | 1,31 |
| 10 % | 32,28 | 1,30 |

Tabel 7. Nilai sudut gesek internal (ϕ) dan nilai kohesi (c) berdasar uji triaksial UU dengan masa perawatan 3 hari

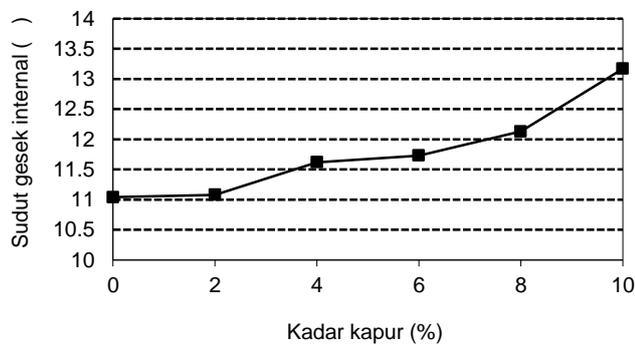
| Variasi kapur | Kohesi /c(kN/m ²) | Sudut gesek internal / ϕ (...°) |
|---------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| 0 % | 112,33 | 11,04 |
| 2 % | 119,80 | 11,08 |
| 4 % | 121,62 | 11,62 |
| 6 % | 122,97 | 11,73 |
| 8 % | 126,89 | 12,13 |
| 10 % | 129,05 | 13,17 |

Parameter kuat geser.

Parameter kuat geser berupa sudut gesek internal (ϕ) dan kohesi (c) yang diperoleh dari uji triaksial. Hasil uji triaksial campuran tanah dan kapur dengan masa perawatan 3 hari tercantum pada Tabel 7 menunjukkan kecenderungan meningkatnya nilai sudut gesek internal (ϕ) dan nilai kohesi (c) seiring dengan penambahan kadar kapur.

Peningkatan nilai sudut gesek internal (ϕ) ini disebabkan karena penambahan kapur menimbulkan peristiwa *flokulasi-aglomerasi* yang menghasilkan massa tanah yang berukuran lebih besar dan beragam, sehingga menambah atau memperbesar bidang kontak antar butiran (A_c). Akibat bertambahnya bidang kontak antar butiran maka gaya geser yang terjadi pada bidang kontak antar butiran tanah semakin besar yang berarti nilai koefisien friksi (f) meningkat. Meningkatnya nilai koefisien friksi ini akan menyebabkan meningkatnya nilai ϕ , hal ini disebabkan hubungan nilai koefisien friksi berbanding lurus dengan nilai ϕ , yaitu $f = tg \phi$.

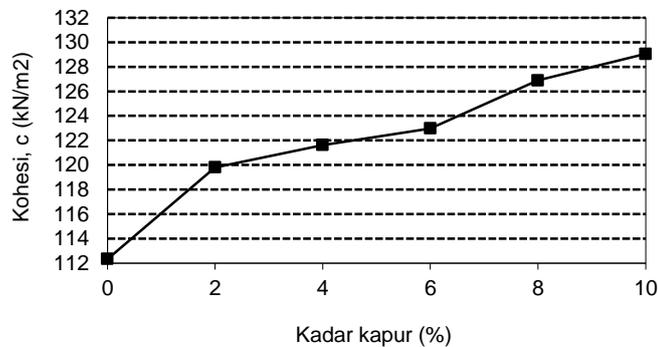
Nilai sudut gesek internal (ϕ) tanah asli dengan masa perawatan 3 hari adalah $11,04^\circ$. Nilai sudut gesek internal (ϕ) maksimum dengan masa perawatan 3 hari terjadi pada penambahan kadar kapur 10% yaitu sebesar $13,17^\circ$. Dengan demikian penambahan kapur sampai dengan 10% masih efektif untuk tanah ini, karena sampai penambahan 10% kapur masih meningkatkan nilai sudut gesek internal (ϕ). Pengaruh penambahan kadar kapur terhadap peningkatan nilai sudut gesek internal (ϕ) dengan masa perawatan 3 hari dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan kadar kapur dengan nilai sudut gesek internal (ϕ) tanah.

Pada penelitian ini diperoleh nilai kohesi (c) tanah asli dengan masa perawatan 3 hari adalah $112,33 \text{ kN/m}^2$, sedangkan nilai kohesi (c) maksimum terjadi pada penambahan 10% kapur yaitu $129,05 \text{ kN/m}^2$.

Adapun peningkatan nilai kohesi (c) seiring dengan penambahan kadar kapur disebabkan adanya tarikan permukaan (*surface tension*). *Surface tension* ini terjadi karena adanya pertemuan antara air dan udara (*water-air interface*) yang ada pada tanah tidak jenuh. Penambahan kapur pada tanah dapat mengurangi derajat kejenuhan tanah. *Surface tension* yang disebabkan tekanan negatif akibat adanya gaya kapiler pada tanah tak jenuh menimbulkan gaya tarik menarik antar partikel, yang menghasilkan suatu kohesi (c) semu/ *apparent cohesion* (Mitchell, 1976). Oleh karena itu, semakin besar penambahan kapur, maka semakin kecil derajat kejenuhan tanah, sehingga nilai kohesi (c) pun semakin besar. Pengaruh penambahan kadar kapur terhadap nilai kohesi (c) diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan kadar kapur dengan nilai kohesi (c).

Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil uji campuran tanah-kapur, penambahan kapur pada tanah lempung menyebabkan penurunan nilai fraksi halus dan nilai PI sehingga bisa disimpulkan bahwa penambahan kapur dapat memperbaiki tanah lempung.
2. Penambahan kapur pada tanah lempung menyebabkan kenaikan nilai parameter kuat geser tanah, yaitu : nilai kohesi (c), sudut gesek internal (ϕ)
3. Nilai parameter kuat geser lempung yang distabilisasi kapur cenderung meningkat seiring dengan penambahan kapur.

Daftar Pustaka

- Anonim, (2003), "AnnualBookofASTMStandards" section 4, Volume 04 08, *ASTM International Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959*.
- Bowles, J.E., (1984), "*Physical and Geotechnical Properties of Soils*", Second Edition, McGraw-Hill, Singapore.
- Craig, R.F., (1991), "*Mekanika Tanah*", Terjemahan oleh Budi Susilo, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C., (2002), "*Mekanika Tanah I*", PT. Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- Ingles, O.G. dan Metcalf, J.B., (1972), "*Soil Stabilization Principles and Practice*", Butterworths Pty. Limited, Melbourne.
- Kezdi, A, (1979), "Stabilized Earth Roads", *Elsevier Science Publishing Company*, New York.
- Mitchell, J.K, (1976), *Fundamentals of Soil Behavior, John Willey and Sons, Inc.*, New York