

PENINGKATAN DAYA DUKUNG LEMPUNG EKSPANSIF DENGAN PONDASI BAMBU DI DAERAH KREBET DAN SEKITARNYA, KABUPATEN KULON PROGO, YOGYAKARTA

*Reinforcement of Bearing Capacity of Expansive Clays with
Bamboo Foundations at Kreet Area, Kulon Progo, Yogyakarta*

Arie Noor Rakhman¹, Sukandarrumidi², Dwikorita Karnawati²

Program Studi Teknik Geologi

Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada

ABSTRACT

Kreet area is located in Desa Tuksono, Sentolo, Kulon Progo, Yogyakarta. In this area, a lot of residential buildings were damaged which is caused by expansive clays. Many floor slabs constructed on an expansive clays area crack and heave which is followed by damaging windows, doors, and wall crackings.

In order to study the preventive method for residential building damage, the characteristics of some engineering properties and mineralogical composition of clay was identified by test and observation in the field and laboratory. The uses of each test and observation were emphasized for structural stability analysis.

The observation and considerable detail of fieldwork were taken place in three locations of test pits. The value of undrained shear strength was low ($12 \text{ kg/cm}^2 - 24 \text{ kg/cm}^2$). It caused the bearing capacity of clay, as withholding force, was smaller then the uplifting force. The analysis of structural stability showed that the bearing capacity of clay could be increased by three types of foundations. Two layers of raft foundation can reinforce the bearing capacity of clay up to 0.50 - 0.93 meter thick, pile foundation up to 0.50 - 1.54 meter thick, and pile foundation with wings up to 0.50 - 2.36 meter thick. One layer raft foundation was not recommended because its capability was still

¹ Fakultas Teknik Universitas Bung Hatta, Padang

² Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

in the tolerance of uplift movement (0.5 - 0.87). The grandstand is recommended when the foundations can not reinforce all of thickness of clay in the study area.

Keywords: *bearing capacity, shear strength, withholding force, uplifting force, foundation.*

PENGANTAR

Lokasi penelitian berada di daerah Krebet dan sekitarnya, Desa Tuksono, Kecamatan Sentolo, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta, dengan posisi astronomis pada $7^{\circ}52'29,67''$ LS - $7^{\circ}53'18,33''$ LS dan $110^{\circ}14'15,83''$ BT - $110^{\circ}14'48,67''$ BT (dihitung 0° dari Greenwich), seluas $\pm 1,375$ km². Pada lokasi itu dijumpai lempung yang bersifat ekspansif ketika musim hujan dan menyusut ketika musim kemarau. Sifat ekspansif lempung menimbulkan kerusakan pada bangunan di atasnya. Pengangkatan permukaan lempung dapat membubung hingga ketinggian 20 hingga 50 cm dari permukaan tanah. Bentuk kerusakan umumnya berupa pengangkatan dan retakan lantai dan dinding bangunan.

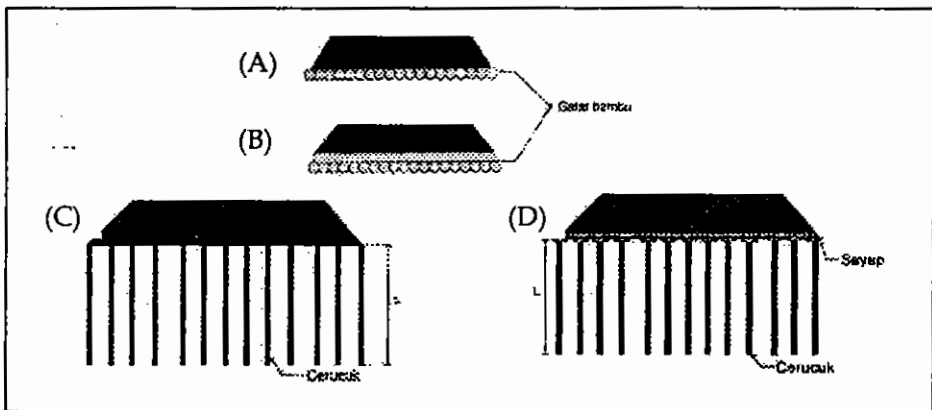
Secara fisiografi, daerah itu merupakan bagian dari Jawa Tengah pada bagian zona selatan yang merupakan jalur Pegunungan Kulon Progo. Secara struktural, dataran aluvial ini merupakan depresi sinklinal suatu lipatan yang terbentuk sesudah pengangkatan daerah Kulon Progo pada Pleistosen. Pada saat ini depresi itu tertutup oleh endapan aluvial yang berumur Holosen (Rahardjo dkk., 1995). Endapan aluvial ini terbentuk di atas Formasi Sentolo secara tidak selaras.

Kondisi airtanah di daerah Krebet memiliki fluktuasi kedalaman ± 1 meter. Muka airtanah pada musim kemarau 3,5 meter dan pada musim hujan 2,5 meter. Sumber air untuk irigasi berasal dari Kali Progo dan Kali Ngancar.

Endapan aluvial pada daerah penelitian menurut BAPPEDA Kabupaten Kulon Progo, terdiri atas lempung hitam (*grumusols*) atau dalam pedologi disebut sebagai *vertisol*. Chen (1975) dan Buringh (1993) menyebutkan keberadaan *montmorillonite* sebagai mineral penyusun utama lempung hitam itu menyebabkan lempung bersifat mengembang ketika musim hujan dan menyusut ketika musim kemarau. Menurut Chen (1975), sifat *montmorillonite* yang sangat peka terhadap pengembangan menyebabkan kerusakan pada bangunan.

Menurut Grim (1968) dan Chen (1975), keaktifan *montmorillonite* untuk mengembang dipengaruhi oleh kemampuannya dalam menyerap air yang dikontrol oleh konfigurasi struktur kimiawi dan luas permukaan mineral itu. Seiring dengan meningkatnya kandungan air kekuatan gesernya menjadi berkurang. Air yang terserap sulit keluar dari lempung akibat permeabilitas lempung yang rendah, sehingga kekuatan geser lempung sulit untuk bertambah yang membuat daya dukung lempung menjadi rendah (Brand & Brenner, 1981; Craig, 1994). Oleh karena itu, semakin besar potensi pengembangan lempung semakin kecil daya dukungnya. Menurut Chen (1975), potensi pengembangan lempung dapat diidentifikasi dari indeks plastisitas (PI), yakni potensi pengembangan rendah ($PI < 15$), sedang (PI di antara 10 - 35), tinggi (PI di antara 20 - 55), dan sangat tinggi ($PI > 35$).

Chen (1975), Craig (1994), dan Bowles (1986) menyarankan usaha untuk memperkuat daya dukung lempung dapat dilakukan dengan menggunakan pondasi tipe rakit atau tiang. Chen (1975) dalam penyelidikannya, menyebutkan problem lempung ekspansif dapat ditangani jika kekuatan daya dukung lempung (*withholding force*) mampu menahan gaya pengangkatan akibat pengembangan lempung (*uplifting force*). Pondasi rakit atau tiang dapat direkayasa dengan memanfaatkan teknologi tradisional, berupa galar dan cerucuk kayu (Daud & Rahadian, 1997 dalam Karnawati, 1998), terlihat pada gambar 1. Menurut Prawirohatmodjo dan Morisco, penggunaan kayu dapat disubstitusi dengan bambu. Bambu memiliki sifat-sifat mekanik yang cukup kuat.



Gambar 1. Teknologi pondasi yang dicoba dalam penelitian
 a) pondasi galar 1 lapis; b) pondasi galar 2 lapis;
 c) pondasi cerucuk dan d) pondasi cerucuk bersesap

CARA PENELITIAN

Bahan atau materi yang digunakan dalam penelitian ini berupa sampel lempung yang diambil berdasarkan pengamatan fisik profil tanah dan kondisi keairan saat pembuatan sumur uji. Sampel lempung yang diambil terdiri atas sampel lempung tak terganggu dan sampel lempung terganggu.

Peralatan untuk kegiatan di lapangan, meliputi: peralatan yang digunakan dalam kegiatan pemetaan, pembuatan sumur uji, pengambilan sampel, dan uji *vane shear*. Di laboratorium mekanika tanah, peralatan yang digunakan berupa penguji batas-batas konsistensi, permeabilitas, geser langsung, konsolidasi, sedangkan di laboratorium difraksi sinar X (XRD) berupa seperangkat peralatan analisis difraksi sinar X.

Kegiatan penelitian diawali dengan tahap persiapan dan penyediaan peralatan, lalu diikuti dengan tahap pengumpulan data, baik primer maupun sekunder. Data primer diperoleh dari lapangan dan laboratorium dan data sekunder dikorelasi antara data melalui tahap analisis (analisis kuantitatif dan kualitatif). Analisis kuantitatif berupa analisis tentang daya dukung lempung terhadap gaya pengangkatan akibat sifat ekspansif pada lempung. Analisis kualitatif meliputi pemilihan jenis teknologi yang tepat sebagai rekayasa pencegahan kerusakan bangunan. Jenis teknologi yang dicoba mencakup penguatan daya dukung lempung dengan pondasi dari bambu untuk menahan gaya pengangkatan lempung. Dari keseluruhan hasil analisis data diperoleh kesimpulan dan ditindaklanjuti dengan pemberian saran atau rekomendasi untuk memecahkan permasalahan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil pemetaan dan observasi di lapangan dapat ditunjukkan pada tabel 1.

Mineral penyusun lempung di daerah penelitian terdiri atas mineral *montmorillonite*, kalsit, kuarsa, dan *anorthite*. Adanya mineral *montmorillonite* sebagai penyusun lempung merupakan petunjuk bahwa lempung itu mempunyai kecenderungan bersifat ekspansif. Keberadaan mineral kalsit diperkirakan merupakan mineral autigenik yang terbentuk akibat pelarutan batugamping di bawahnya. Kehadiran mineral kuarsa dan *anorthite* sebagai penyusun lempung

diperkirakan sebagai mineral sisa yang tertransportasi dari batuan induknya.

Tabel 1. Hasil pemetaan dan observasi

No.	Hasil Pemetaan dan Observasi	
1.	Topografi Morfologi Kemiringan lereng Ketinggian	Dataran 1,15% - 11,31% (hampir rata - miring) 27 meter - 65 meter dari permukaan air laut
2.	Lempung Pemerian fisik Penyebaran Ketebalan	Berwarna hitam, semakin ke bawah dapat berubah menjadi hitam keabu-abuan; komposisi lempung (70% - 80%), pasir (\pm 20%), dan krikil (5% - 10%), dijumpai akar tumbuhan. Merata, di Dusun Krebet, Taruban Wetan, dan Kalisoka 0,5 meter - 2,5 meter
3.	Kondisi keairan Permukaan Bawah permukaan	Di Krebet bagian utara dan Taruban Wetan bagian utara dijumpai saluran-saluran pembuangan limpasan air hujan. Rembesan air di dekat kontak lempung dengan batugamping, muncul sebagai mata air di Taruban Wetan dan Kalisoka.
4.	Kerusakan bangunan	Retakan dan pengangkatan lantai, disfungsi pintu dan jendela, serta retakan pada dinding. Pembubungan lempung dapat mencapai 20 - 50 cm dari permukaan tanah datar.

Interpretasi lempung itu merupakan tanah tertransportasi didukung oleh hasil penyelidikan sumur uji pada profil pelapukan batuan yang menunjukkan ketidakmenerusan derajat pelapukan batuan hingga kedudukan lempung di atas batugamping (kalkarenit). Dengan mengacu pada Geological Society of London, (1990), batugamping di bawah lempung ada dalam kondisi lapuk dengan derajat pelapukan batuan tingkat IB hingga II (lapuk sedikit hingga lapuk ringan).

Dalam klasifikasi jenis tanah menurut USCS (ASTM, 1996), tanah di daerah penelitian diklasifikasikan sebagai tanah jenis CH atau lempung berplastisitas tinggi. Sifat plastis lempung ini ditunjukkan oleh air alami lempung atau w_N (39,94% - 51,99%) melebihi batas plastisitas atau PL (24,01% - 36,61%). Berdasarkan metode Chen (1975), lempung ini berpotensi memiliki pengembangan tinggi hingga sangat

tinggi dan nilai indeks plastisitas lempung berkisar antara 36,33% hingga 80,16%.

Sifat plastisitas lempung dipengaruhi oleh aktifitas mineral lempung (A) dalam menyerap air. Nilai aktifitas mineral lempung yang bervariasi dari 0,58 hingga 1,33 diperkirakan dikontrol oleh jumlah mineral *montmorillonite*. Lempung yang lebih tebal lebih memungkinkan memiliki jumlah mineral *montmorillonite* lebih banyak.

Sifat plastis dalam bentuk konsistensi lempung yang lunak dan kekuatan geser tak terdrainasinya (c_u) tergolong rendah (12 - 24 kg/cm²). Rendahnya nilai c_u disebabkan oleh kondisi lempung yang berderajat kejenuhan (S_r) tinggi (84,04% - 97,41%), yang mendekati kondisi jenuh. Penjenuhan air oleh aktifitas mineral *montmorillonite* tidak mudah berkurang karena air mengalami kesukaran untuk keluar dari lempung akibat nilai koefisien permeabilitas lempung (k) yang rendah ($1,2 \cdot 10^{-9}$ - $1,4 \cdot 10^{-7}$ m/s). Berdasarkan nilai w_N yang cenderung berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman, suplai air yang menjenuhi lempung diperkirakan lebih didominasi oleh air hujan dan saluran drainasi daripada air yang berasal dari airtanah.

Rendahnya kekuatan geser lempung sebagai komponen utama daya dukung lempung, membuat kekuatan daya dukung lempung, baik dalam tak terdrainasi (4,57 ton/m²) maupun terdrainasi (6,21 - 9,38 ton/m²) sebagai gaya penahan (*withholding force*) tidak dapat melebihi kekuatan gaya pengangkatan lempung (*uplifting force*) sebesar 6,36 hingga 31,78 ton/m². Setiap kekuatan dihitung pada lempung berketebalan 0,5 - 2,5 meter, berinterval 0,1 meter dengan nilai faktor keamanan sebesar 2.

Dengan batas toleransi pengangkatan permukaan lempung sebesar 18,75 mm (Chen, 1975), maka daerah yang berketebalan lempung hingga 0,87 meter tergolong aman atau masih diperbolehkan terhadap gangguan pengangkatan permukaan lempung. Hasil estimasi daya dukung pondasi menunjukkan kemampuan pondasi 1 lapis meningkatkan daya dukung lempung terbatas pada ketebalan lempung hingga 0,84 meter, pondasi galar 2 lapis, hingga ketebalan 0,93 meter; pondasi cerucuk, hingga ketebalan 1,54 meter, dan pondasi cerucuk bersayap, hingga ketebalan 2,36 meter. Keterbatasan kemampuan pondasi dalam memperkuat daya dukung diperkirakan dikontrol oleh kondisi keairan dan muka airtanah yang cukup dangkal ($\pm 2,5$ meter) dan keaktifan mineral *montmorillonite* dalam menyerap air.

Di daerah penelitian, beberapa penduduk memilih tinggal dalam rumah yang berbentuk rumah panggung. Keberadaan rumah

panggung ini diperkirakan sebagai cara yang paling efektif dan efisien, mengingat tidak semua ketebalan lempung dapat diperkuat oleh daya dukung pondasi. Hal ini disebabkan oleh 'tekanan sentuh' pembebanan pada rumah panggung lebih kecil daripada rumah yang biasa didirikan dengan lempung sebagai pondasi bangunan. Selain itu, tanah panggung masih dimungkinkan terhindar dari gangguan pembubungan lempung yang terjadi.

KESIMPULAN dan REKOMENDASI

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1) Kekuatan daya dukung lempung di daerah penelitian tidak dapat melebihi kekuatan gaya pengangkatan lempung karena kekuatan geser lempung yang rendah (12 kg/cm^2 hingga 24 kg/cm^2) sehingga mengakibatkan gangguan pada stabilitas bangunan.

2) Penyebab rendahnya kekuatan geser lempung adalah kondisi kadar air pada lempung yang melimpah dan berderajat kejenuhan tinggi (84,04% hingga 97,41%) dengan permeabilitas lempung yang kecil ($1,2 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ hingga $1,4 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$) dan keberadaan mineral *montmorillonite* pada lempung, serta kedudukan muka airtanah yang cukup dangkal ($\pm 2,5$ meter).

3) Di antara keempat jenis pondasi yang mampu meningkatkan daya dukung lempung untuk melebihi kekuatan gaya pengangkatan lempung adalah pondasi cerucuk bersayap, dan penerapannya terbatas hingga pada daerah berketebalan lempung 2,36 meter.

Rekomendasi yang dapat disampaikan sebagai berikut.

1) Untuk daerah yang berketebalan lempung 0,50 - 0,93 meter, alternatif pondasi yang dapat dipergunakan adalah pondasi galar 2 lapis, pondasi cerucuk, pondasi cerucuk bersayap, sedangkan untuk ketebalan 0,50 - 1,54 meter, berupa pondasi cerucuk, pondasi cerucuk bersayap, dan untuk ketebalan 0,50 - 2,36 meter, berupa pondasi cerucuk bersayap. Pondasi galar 1 lapis tidak direkomendasikan karena tidak efektif dan efisien dalam memperkuat daya dukung lempung di daerah penelitian.

2) Untuk mengatasi keterbatasan kemampuan pondasi dalam mencegah kerusakan bangunan, penduduk setempat sebaiknya membangun rumah panggung.

3) Karena lempung mengembang ketika ada air yang menjenuhinya, maka untuk menghindari penjenuhan air oleh penggenangan air di permukaan, perlu dibuat saluran-saluran drainasi yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Tim Seleksi Beasiswa Bung Hatta, Universitas Bung Hatta, Padang, Sumatera Barat, yang turut memberikan dukungan berupa beasiswa penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Material, 1996, *Annual Book of ASTM Standards*, ASTM, vol. 04.08, Philadelphia.
- Bowles, J.E. (diterjemahkan oleh Silaban, P.), 1986, *Analisa dan Disain Pondasi*, edisi ketiga, Erlangga, Jakarta.
- Brand, E.W. & Brenner, R.P., 1981, *Soft Clay*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- Buringh, P. (diterjemahkan oleh Notohadiprawiro, T.), 1993, *Pengantar Pengajian Tanah-Tanah Wilayah Tropika dan Subtropika*, cetakan ketiga, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Chen, F.H., 1975, *Foundation of Expansive Soils*, vol. 12, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- Craig, R.F. (diterjemahkan oleh Soepandji, B.S.), 1994, *Mekanika Tanah*, edisi ketiga, Erlangga, Jakarta.
- Geological Society of London, 1990, *Tropical Residual Soils: Geological Society Engineering Group Working Party Report*, Quarterly Journal of Engineering Geology, 23(1), 4 - 101.
- Grim, R.E., 1968, *Clay Mineralogy*, 2 ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Karnawati, D., 1998, *Laporan Akhir Pekerjaan Studi Pendahuluan Identifikasi Teknologi untuk Perbaikan Tanah Dasar Jalan di atas Tanah Gambut*, kerjasama Dinas Pekerjaan Umum Pemprop Kalbar dengan UGM Yogyakarta.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, & Rosidi, H.M.D., 1995, *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*, Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia, P3G, Bandung.