

UCS TANAH LEMPUNG EKSPANSIF YANG DISTABILISASI DENGAN ABU AMPAS TEBU DAN KAPUR

John Tri Hatmoko

Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari 44 Yogyakarta
email : john@mail.uajy.ac.id

Yohanes Lulie

Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta
email : lulie@mail.uajy.ac.id

ABSTRAKSI

Stabilisasi tanah ekspansive sampai saat ini selalu diupayakan baik menyangkut bahan stabilisator maupun teknologi perbaikan tanah tersebut. Bahan-bahan untuk stabilisasi tanah ekspansif yang saat ini sering digunakan antara lain : GEOSTA yang masih diimpor dan harganya relatif mahal, abu terbang, yang dahulu merupakan limbah saat ini dimanfaatkan untuk pozolan pada adukan beton maupun untuk stabilisasi tanah, sehingga nilai ekonomisnya menjadi tinggi.

Dalam penelitian ini akan dicari bahan alternatif untuk stabilisasi tanah yaitu abu ampas tebu (plus kapur). Pengujian yang dilakukan adalah : batas konsistensi tanah ekspansif sebelum dan setelah dicampur dengan kapur maupun dengan abu ampas tebu. Pengujian pemadatan tanah asli dan tanah yang sudah distabilisasi, serta pengujian kuat tekan bebas tanah asli dan tanah yang sudah distabilisasi dengan kapur plus abu ampas tebu.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa: penambahan kapur pada tanah ekspansif menurunkan tekanan dan potensi pengembangan dengan angka yang cukup signifikan. Potensi pengembangan turun dari 12% pada tanah asli menjadi 1,12% pada tanah dengan kadar kapur 10%. Tekanan pengembangan turun dari 340 kPa pada tanah asli menjadi 105 kPa pada tanah dengan kadar kapur 10%. Dengan bertambahnya kadar kapur, kepadatan maksimum meningkat dan dicapai nilai maksimum pada kadar kapur 4%. Dengan naiknya kadar abu ampas tebu, kuat tekan bebas selalu naik sampai dengan kadar abu 10% dengan prosentase kenaikan 43,84% kemudian menurun pada kadar abu yang lebih tinggi 12,5% (31,54%) dan 15% (27,49%). Dengan bertambahnya waktu pemeraman kuat tekan bebas tanah + kapur + abu selalu mengalami kenaikan kuat tekan bebas. Kenaikan yang cukup besar terjadi pada waktu pemeraman 36 hari.

Kata kunci : USC, lempung ekspansif, abu ampas tebu, kapur

ABSTRACT

Until recently, some effort still is done in stabilizing of expansive soil. The problem of stabilization is not only regarding to the material for stabilization but also to the technology of stabilization. The materials for stabilization of expansive soil that are commonly used: GEOSTA that is still imported and costly; fly ash, in the past it is a waste but it is recently used as pozolan for concrete additive and as the material for soil stabilization.

In this research, it was investigated the alternative materials for soil stabilization. The material that was selected is baggase ash plus lime. The laboratory experiment include: the experiment of Atterberg limits of the expansive soil before and after mixed with baggase ash and lime. Mechanics properties of soil before and after stabilized were done on unconfined compression test, and compaction test.

The results of experiment show that the addition of lime to the expansive soil decreased swelling pressure and swelling potential by the significant values. Swelling potential decreases from 12% for soil before stabilization to 1.12% after soil was mixed with 10% of lime. Swelling pressure decreases from 340 kPa to 105 kPa, at the same lime content. The dry density of soil increases as the increasing of lime content, and its maximum value is on 4% lime. By increasing the content of baggase ash, the UCS of soil increases and reaches the maximum value on 10% of baggase ash. On that content, the increase of UCS is 43.84%. However, compared to the maximum value, the UCS of soil declines, on the baggase ash content 12.5% it declines to 31.54%, and to 27.49% for 15% of baggase ash. By increasing the curing time, the UCS of stabilized soil increases. The significance increasing value of UCS is on 36 days-curing time.

Keywords : USC, expansive clay, baggase ash, lime

1. PENDAHULUAN

Stabilisasi tanah terhadap geser maupun tekan adalah suatu usaha yang selalu dilakukan untuk meningkatkan ketahanan tanah terhadap tegangan tekan maupun tegangan geser. Sehingga, sampai saat ini stabilisasi tanah merupakan kajian yang menarik untuk diteliti baik metodenya maupun bahan-bahan yang dipakai untuk stabilisasi tanah tersebut. Bahan bahan yang digunakan selama ini antara lain : GEOSTA yang masih diimpor dan harganya relatif mahal, Abu Terbang, yang dahulu merupakan limbah saat ini dimanfaatkan untuk pozolan pada adukan beton maupun untuk stabilisasi tanah, sehingga nilai ekonomisnya menjadi tinggi. Dan masih banyak contoh lain yang pada umumnya harganya sudah cukup mahal. Dalam penelitian ini akan dicari bahan alternatif untuk stabilisasi tanah yaitu abu ampas tebu (plus kapur).

Abu ampas tebu banyak dijumpai di pabrik-pabrik gula yang dibuang begitu saja sehingga menjadi limbah yang tidak dimanfaatkan. Sebagai contoh, di P.G. Madukismo, ampas tebu yang semula dimanfaatkan untuk membakar tetes sehingga menghasilkan abu yang dibuang ditepi-tepi jalan dan di tebing-tebing sebagai limbah. Menurut penelitian Wibowo (1998), Wibowo & Hatmoko (2001), abu ampas tebu tersebut mengandung unsur-unsur kimia SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 yang cukup tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai posolan yang selain menggantikan sebagai semen portlan juga dapat meningkatkan kekuatan beton. Menurut Wibowo, dkk., (2004), waktu ikat awal beton yang dicampur dengan abu ampas tebu cukup tinggi, sehingga dapat dikatakan bahwa abu ampas tebu tidak bersifat meyerap air. Sifat ini bila dikombinasi dengan kapur akan menyebabkan rekasi posolanik didalam tanah yang distabilisasi, terutama tanah lempung ekspansif. Kapur aktif (*quick lime*) atau CaO jika bereaksi dengan air dalam tanah akan terjadi flokulasi, sehingga unsur-unsur kimia yang terkandung didalam abu ampas tebu menyatu dengan tanah akan terjadi C-S-H, A-S-H ataupun C-A-S-H yang cukup kuat.

Penelitian ini akan mencari jawaban dari masalah-masalah yang dihadapi pada stabilisasi tanah lempung, terhadap kuat geser maupun kuat tekannya, yang bertujuan: mencari kadar abu ampas tebu optimum untuk memperoleh kuat tekan bebas (*UCS*) maksimum. Kedua, mencari kadar kapur optimum untuk memperoleh kuat tekan bebas (*UCS*) maksimum, dan Mencari kadar abu + kapur optimum untuk memperoleh kuat tekan bebas (*UCS*) maksimum. Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi pengembangan ilmu *UCS* Tanah Lempung Ekspansif Yang Distabilisasi Dengan Abu Ampas Tebu dan Kapur

pengetahuan dan teknologi, terutama teknologi perbaikan tanah, yaitu ditemukannya material baru sebagai bahan stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan harga yang relatif lebih murah dibandingkan dengan bahan lain. Disamping itu, penelitian ini akan mengurangi pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh sukarnya membuang limbah abu ampas tebu.

Penelitian ini sebagian besar dilakukan di laboratorium penyelidikan tanah Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya yang meliputi pengujian-pengujian sifat fisik tanah (batas-batas konsistensi, analisis saringan, serta volume, berat jenis dan lain sebagainya, dan pengujian tekan bebas untuk mengetahui tegangan geser tanah asli maupun tanah yang sudah distabilisasi. Pengujian kandungan kinia kapur dan abu ampas tebu dilakukan di dinas Vulkanologi dan Kegunung Apian Daerah Istimewa Yogyakarta. Sedangkan untuk pengujian kandungan mineral tanah lempung dilakukan di Laboratorium Kimia Analis FMIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Lempung merupakan tanah berbutir halus koloidal yang tersusun dari mineral-mineral yang dapat mengembang. Lempung ekspansif memiliki sifat khusus yaitu kapasitas pertukaran ion yang tinggi yang akan mengakibatkan lempung jenis ini memiliki potensi pengembangan yang cukup tinggi apabila terjadi perubahan kadar air. Jika kadar air bertambah, tanah lempung ekspansif akan mengembang disertai dengan kenaikan tekanan air pori dan tekanan pengembangannya. Sebaliknya, jika kadar air turun sampai dengan batas susutnya, lempung ekspansif akan mengalami penyusutan yang cukup tinggi. (Chen, 1975). Atau dengan kata lain, lempung ekspansif memiliki kepekaan yang sangat tinggi terhadap perubahan kadar air. (Supriyono, 1997).

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap sifat-sifat tanah lempung ekspansif secara umum dibedakan menjadi dua yaitu: faktor komposisi tanah dan faktor pengaruh lingkungan. Faktor yang pertama dapat diketahui dengan mengadakan percobaan di laboratorium pada contoh tanah terusik. Hal-hal yang perlu didalam percobaan antara lain: tipe dan jumlah mineral, tipe kation didalam tanah, luas permukaan, distribusi ukuran partikel, dan air pori. Faktor pengaruh lingkungan dapat diketahui melalui pengujian laboratorium pada contoh tanah asli. (Suhardjito,1989).

Upaya stabilisasi tanah lempung sudah banyak dilakukan dengan stabilisator yang beraneka ragam seperti : kapur, semen, kombinasi semen dan abu terbang, GEOSTA, aspal dan lain-lain. Alasan penggunaan bahan-bahan tersebut adalah kesesuaiannya dengan jenis tanah, mudah didapat, murah harganya, dan tidak mencemari lingkungan.

Kizdi (1979) melaporkan bahwa dengan menambah semen baik kedalam tanah lempung maupun kedalam tanah pasir akan meningkatkan kepadatan maksimum tanah tersebut sebesar kurang lebih 10%. Namun demikian, jika diterapkan pada tanah lanau kepadatannya justru menurun. Menurutnya, semen menurunkan indeks plastisitas tanah kohesif yang disebabkan oleh peningkatan batas plastis serta penurunan batas cairnya.

Hosiya dan Mandal (1984), melakukan stabilisasi tanah lempung dengan bubuk logam (aluminum + besi tuang). Hasil penelitian yang dilaporkan adalah bahwa dengan menambah 0,5% berat bubuk logam kedalam tanah lempung akan menaikkan nilai kohesi tanah tersebut kurang lebih sebesar 15%, sedangkan kuat tekabn bebas tanah lemtersebut meningkat kurang lebih 17% dibanding dengan kuat tekan bebas tanah asli.

Idrus (1991) melakukan penelitian mengenai stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan kapus sebagai bahan kimia. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut : kepadatan kering maksimum (standar Proctor) meningkat sebesar 30% dari kepadatan semula

(tanah asli), dengan kadar kapur optimum pada 8,5%. Disamping itu, pada pengujian tekan bebas menunjukkan bahwa kuat geser tak terdrainase (S_u) dari tanah lempung meningkat sebesar 25% dari kuat geser tanah asli. Nilai CBR tanah juga mengalami kenaikan sebesar 25%.

Hapsoro (1996), melakukan penelitian mengenai stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan campuran abu terbang dan GEOSTA. Kadar abu terbang dibuat tetap sebesar 13% sdari berat tanah, sedangkan kadar GEOSTA bervariasi sampai dengan 15% (0,1,5,8,10,15). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar GEOSTA terbaik (optimum) berada pada 8%. Pada kadar optimum tersebut, kuat geser tanah meningkat sebesar 25% dan kepadatan kering maksimum meningkat 28%, yang diikuti oleh penurunan kadar air optimum.

Hatmoko (2000), melakukan penelitian stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan menggunakan stabilisator pasir dan semen. Penambahan pasir dimaksudkan untuk menurunkan indeks plastisitas tanah lempung. Pada penelitian ini, penambahan pasir 7,5% berat menunjukkan penurunan indeks plastisitas yang cukup besar. Kemudian pada komposisi campuran tersebut (kadar pasir 7,5%), dilakukan stabilisasi dengan semen dengan prosentasi : 0, 2,5; 7,5; 10; 12,5; dan 15%. Pengujian sifat-sifat mekanik yang dilakukan adalah : pengujian kepadatan, CBR, dan pengujian tekan bebas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa: kepadatan maksimal dan kadar air optimum dicapai pada kadar semen 7,5%. Peningkatan nilai CBR dan penurunan nilai pengembangan terlihat cukup besar pada masa peredaman 14 hari. Kuat tekan bebas akan naik dengan naiknya kadar semen pada tanah tersebut, semakin tinggi kadar semen akan menaikkan kuat geser sesaat (kuat geser tak terdrainase) yang disebabkan oleh terjadinya sementasi pada tanah lempung.

Hatmoko (2003) melaporkan bahwa abu ampas tebu : menurunkan indeks plastisitas, meningkatkan kepadatan, dan meningkatkan nilai CBR tanah lempung. Kadar optimum abu ampas tebu terhadap tanah dalam keadaan kering sebesar 12,5%. Pada kadar abu ampas tebu tersebut, kenaikan nilai CBR cukup signifikan, namun demikian kenaikan kuat tekan bebasnya tidak cukup berarti.

Hatmoko, J & Suhartono, F (2000), melakukan penelitian tentang stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan menggunakan opasir dan semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai CBR, dan kepadatan standar naik dengan naiknya prosentase semen didalam tanah. Kadar optimum tercapai pada kadar semen 7,5%. Pada kadar semen tersebut terlihat adanya penurunan potensi pengembangan dan peningkatan nilai CBR yang cukup signifikan. Pada pengujian tekan bebas terlihat bahwa semakin tinggi kadar semen, nilai parameter kuat geser tanah semakin naik. Dalam hal ini tidak terlihat adanya kadar semen optimum.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi dan prosedur penelitian dibagi menjadi dua tahap, yaitu penelitian awal untuk menentukan apakah tanah lempung yang akan diteliti benar-benar merupakan tanah lempung ekspansif atau merupakan lempung biasa. Pengujian awal meliputi: pengujian mineralogi dan kimia tanah, pengujian analisis saringan dan pengujian indeks properties. Setelah diketahui bahwa tanah sampel adalah tanah lempung ekspansif, maka dilakukan penelitian lanjutan dengan menambah kapur dan abu ampas tebu yang kemudian diuji sifat-sifat mekaniknya. Pengujian lanjutan meliputi : pengujian kepadatan, dan tekan bebas.

Pengujian awal :

- a. Pengujian analisis saringan digunakan standar ASTM D421-58 dan D422-63, yaitu dengan nomor saringan : 10,20,40,60, 140, dan 200, serta hidrometer.

- b. Pengujian indeks prerties menggunakan standar ASTM D 423-66, D 424-74, dan D 427-74. Perlengkapan pada standar tersebut adalah : cawan Casagrande & grooving tool, cawan porselin dan pastel, pelat kaca, mikser, kompor listrik, cawan susut, air raksa dan oven.
- c. Pengujian defraksi sinar X untuk mengetahui mineral-mineral penyusun tanah lempung yaitu : montmorolinite, ilite, kaolinite, feldspar, holosit dan alpha kuarsa, yang terbaca pada puncak grafik defraksi sinar X. Pengujian komposisi kimia tanah untuk mengetahui unsur-unsur dominan penyusun tanah lempung (Al_2O_3 dan SiO_2).

Pengujian Lanjutan:

- a. Pengujian indeks properties tanah dan kapur dilakukan dengan penambahan kapur pada tanah asli yang diharapkan untuk menurunkan indeks plastisitas tanah. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D423-66, D424-74, dan D427-74. Variasi kadar kapur diambil : 2,4,6,8 dan 10%. Dari prosentase ini diambil harga yang optimum untuk dipakai pada pengujian berikutnya.
- b. Pengujian kepadatan standar menggunakan standard AASTHO T99-70, atau ASTM D698-70. Tanah asli + pasir pada percobaan sebelumnya ditambah dengan abu ampas tebu dengan prosentase : 2,5;5;7,5;10;12,5; dan 15%. Pengujian ini dilakukan pada kondisi terendam, dan kondisi tidak terendam. Kondisi terendam mempresentasikan tanah dalam keadaan jenuh air, sedangkan kondisi tidak terendam mewakili tanah dalam keadaan normal. Masa perendaman yang dilakukan adalah 0, 4, 7, dan 14 hari. Pada pengujian dengan merendam tersebut sekaligus dilakukan pengukuran pengembangan (*swelling*) tanah. Komposisi campuran sama dengan pengujian pemadatan.
- c. Pengujian tekan bebas dilakukan dengan komposisi Tanah + Kapur + Abu ampas tebu, seperti pada pengujian pemadatan. Pengujian ini menggunakan standar ASTM 2166-66. Perlengkapan yang digunakan adalah: alat tekan, alat pengeluar contoh tanah, arloji pembacaan, alat pencatat waktu, oven dan timbangan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mineralogi dan Kimia Tanah: Hasil pengujian komposisi kimia tanah menunjukkan bahwa unsur-unsur utama pembentuk tanah adalah silikat (SiO_2), aluminat (Al_2O_3), ferrit (Fe_2O_3) dan hilang pijar Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbandingan antara silikat dengan aluminat sekitar 2 : 1. Tanah lempung dikatakan memiliki potensi pengembangan tinggi (ekspansif) bilamana mayoritas mineral penyusun tanah tersebut adalah mineral *montmorolinite*. Mineral ini memiliki permukaan tetrahedral yang cukup luas sehingga mampu menyerap air dalam jumlah yang cukup besar. Mineral *montmorolinite* ini memiliki rumus kimia $(H_2O)_{10}(Si)_8(Al)_4O \cdot nH_2O$. Melihat hasil tersebut, maka tanah sampel dapat dikategorikan sebagai tanah lempung ekspansif. Unsur Si dan Al pada tanah lempung ekspansif jika direaksikan dengan kapur aktif (CaO), maupun kapur padam $Ca(OH)_2$ dalam jangka waktu tertentu akan terjadi reaksi *pozzolanic* dan membentuk: Calsium silikat hidrat (C-S-H) atau Calsium Aluminat hidrat (C-A-H) atau bahkan dapat membentuk Calsium silikat aluminat hidrat (C-S-A-H). Tingginya kadar silikat pada tanah tersebut disebabkan oleh tingginya mineral alpa kuarsa didalam tanah. Hasil pengujian tanah ini ada kemungkinan akan berbeda jika sampel tanah diambil dari lokasi yang berbeda. Namun demikian, unsur-unsur kunci yang dapat menyimpulkan bahwa tanah merupakan tanah lempung ekspansif adalah perbandingan antara silikat dan aluminat sekitar dua disbanding satu. Disamping itu, indeks

properties tanah akan menolong untuk menyimpulkan bahwa tanah lempung akan merupakan tanah lempung ekspansif bilamana indeks plastisitas tanah tersebut lebih besar atau sama dengan 35%. ($IP \geq 35$).

Defraksi Sinar X: Untuk mengetahui ekspansivitas tanah dilakukan dengan pengujian defraksi sinar X yang menunjukkan bahwa defraksi sinar X berturut-turut $14,19^\circ$; $11,57^\circ$, dan $16,77^\circ$. Jika diambil rerata dari tiga puncak tersebut menghasilkan sudut defraksi sebesar $14,18^\circ$. Disamping itu, mineral alpha kuarsa juga mendominasi mineral-mineral pada tanah sampel (lihat peak number 20 sampai dengan no. 29, lampiran). Puncak alpha kuarsa jika diambil reratanya adalah sebesar 3,34. Dengan sudut defraksi tersebut, kadar montmorillonite sebesar 74,15%, sehingga dari hasil pengujian tersebut tanah sampel dapat dikategorikan sebagai tanah lempung *montmorillonite*. Dari hasil-hasil penelitian mengenai hubungan antara mineral *montmorillonite* dengan pengembangan dan batas-batas konsistensi, semakin besar kadar *montmorillonite* didalam tanah potensi pengembangannya semakin naik. Demikian halnya, jika kandungan *montmorillonite* semakin tinggi batas cair dan indeks plastisitas tanah tersebut akan meningkat, sedangkan batas plastis dan batas susutnya akan menurun.

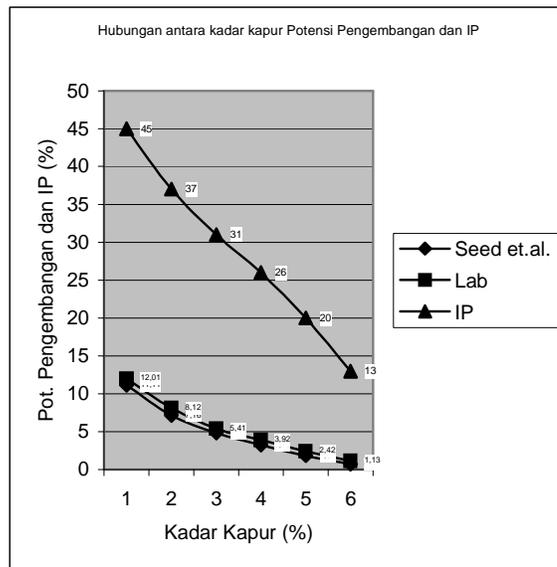
Kimia Abu Ampas Tebu: Pengujian komposisi kimia abu ampas tebu dilakukan di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kegunungapian, Jalan Cendana No. 15 Yogyakarta. Unsur-unsur kimia yang diharapkan terutama adalah : Al_2O_3 , Fe_2O_3 , $CaCO_3$, dan karbon ,C. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3 sebagai berikut: unsur abu ampas tebu didominasi oleh silikat (SiO_2), dengan kadar kapur aktif, atau *quick lime*, (CaO) cukup rendah. Kadar silikat tersebut akan menambah prosentase yang cukup besar pada tanah lempung, namun dengan kadar CaO yang cukup rendah tidak akan menyebabkan terjadinya hydrasi ataupun reaksi *pozzolanic*. Pada laporan penelitian Hatmoko (2003), terlihat bahwa penambahan abu ampas tebu saja pada tanah lempung ekspansif tidak meningkatkan nilai tekan bebas yang cukup signifikans dikarenakan tidak terjadi reaksi *pozzolanic* yang dapat meningkatkan parameter kuat geser tanah tersebut.

Kimia Kapur :Dari hasil pengujian kimia kapur terlihat bahwa kadar $Ca(OH)_2$ sebesar 80,89%, prosentase lolos saringan #200 sebesar 98,36%. ASTM (1994) mensyaratkan bahwa untuk stabilisasi tanah kadar $Ca(OH)_2$ tidak boleh kurang dari 60% dengan lolos saringan #200 berkisar antara 70% - 100%. Dengan demikian, kapur tersebut memenuhi syarat sebagai bahan stabilisasi tanah. Kapur yang kaya akan kadar $Ca(OH)_2$, dan juga MgO jika ditambahkan pada lempung *montmorillonite* akan terjadi pertukaran ion-ion Ca^{++} dan Mg^{++} dengan ion-ion Na^+ (sodium) dan K^+ (potassium) yang ada didalam tanah lempung ekspansif. Proses pertukaran ion-ion positif tersebut akan menurunkan indeks plastisitas tanah yang kemudian diikuti oleh penurunan potensi pengembangan tanah. Penambahan kapur juga akan meningkatkan derajat keasaman (pH) tanah yang berakibat pada peningkatan kapasitas pertukaran ion-ion positif (kation).

Indeks Properties Tanah Asli: Pengujian analisis saringan dan indeks properties tanah asli dilakukan pada dua contoh tanah dengan hasil sebagai berikut: LL = 90%, PL = 45% dan PI = 45%. Menurut Chen (1975), hubungan antara potensi pengembangan dengan indeks plastisitas suatu tanah sebagai berikut: potensi pengembangan rendah ($0 < PI < 15$), sedang ($16 < PI < 35$), tinggi ($36 < PI < 55$), dan sangat tinggi jika ($PI > 55$). Contoh tanah tersebut dengan PI = 45% dapat digolongkan sebagai tanah lempung yang memiliki potensi pengembangan tinggi, sehingga dapat dikatakan bahwa contoh tanah merupakan tanah lempung ekspansif. Hal ini didukung oleh besarnya fraksi halus (lolos saringan #200) sebesar 82,8%. Menurut Chen (1975), jika prosentase lewat saringan no.200 antara 60-90% , tanah lempung memiliki derajat pengembangan tinggi.

Potensi dan Tekanan Pengembangan: Setelah dilakukan pengujian awal maka dilakukan pengujian lanjutan dengan tujuan untuk mencari kadar kapur optimum yang menghasilkan potensi pengembangan minimum dan nilai kepadatan maksimum. Potensi pengembangan dapat dilihat dari hasil pengujian indeks properties tanah asli yang dicampur dengan kapur. Kapur yang ditambahkan pada tanah asli adalah : 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% terhadap berat kering tanah asli. Tanah asli memiliki batas cair (LL = 90%) menurut Chen, 1975, tanah sampel memiliki derajat pengembangan sangat tinggi. Batas plastis tanah tersebut sebesar 45% dengan demikian indeks plastisitas sama dengan 45%. Hasil penelitian batas-batas konsistensi setelah penambahan kapur adalah sebagai berikut. Terlihat bahwa semakin tinggi kadar kapur batas plastis meningkat dan batas cair menurun, sehingga indeks plastisitas (IP) tanah menurun. Fenomena tersebut menunjukkan terjadinya pertukaran ion-ion K^+ dan Na^+ oleh ion-ion Ca^{++} dan Mg^{++} yang terkandung didalam kapur. Dengan pertukaran ion tersebut potensi dan tekanan pengembangan pada tanah akan menurun.

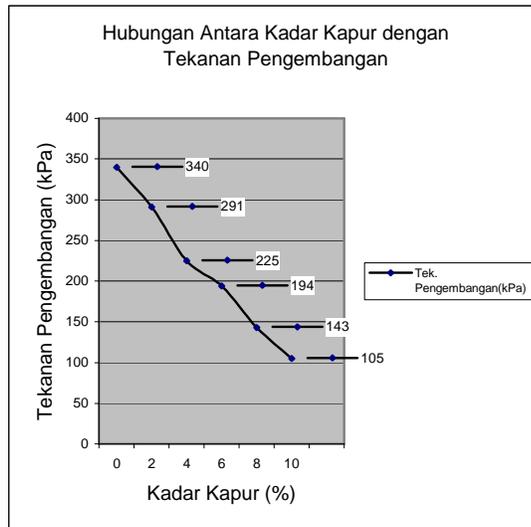
Untuk memperoleh harga tekanan pengembangan dan potensi pengembangan, dilakukan dengan pengujian pengembangan satu dimensi dengan menggunakan alat uji konsolidasi satu dimensi. Tata cara sesuai yang diatur di dalam ASTM. Hasil pengujian dibandingkan dengan teori (Seed et.al., 1962) seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan antara kadar kapur, potensi pengembangan dan IP

Penambahan kapur pada tanah ekspansif menurunkan tekanan dan potensi pengembangan dengan angka yang cukup signifikan. Potensi pengembangan turun dari 12% pada tanah asli menjadi 1,12% pada tanah dengan kadar kapur 10%. Tekanan pengembangan turun dari 340 kPa pada tanah asli menjadi 105 kPa pada tanah dengan kadar kapur 10% (Gambar 2&3).

Penurunan potensi dan tekanan pengembangan tersebut terutama disebabkan oleh terjadinya pertukaran ion-ion positif Ca^{++} dan Mg^{++} yang ada di dalam kapur dengan ion-ion K^+ dan Na^+ yang persentasenya cukup besar pada tanah lempung ekspansif. Disamping itu, kapur akan meningkatkan derajat keasaman (pH) tanah yang berakibat pada penurunan tekanan dan potensi pengembangan.



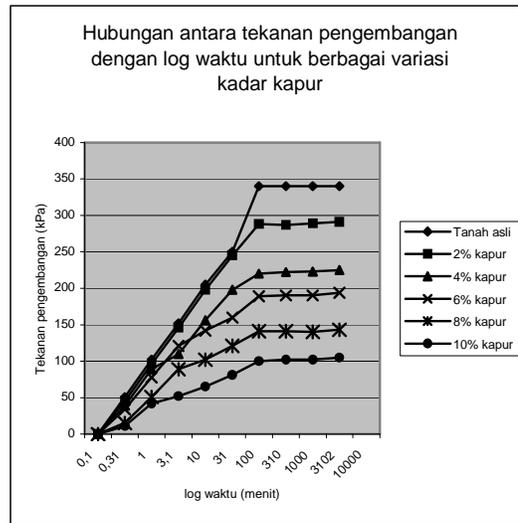
Gambar 2. Hubungan antara kadar kapur dengan Tekanan Pengembangan

Hubungan antara tekanan pengembangan terhadap waktu untuk berbagai variasi kadar kapur dapat dilihat pada gambar 3. Dari hasil tersebut, terlihat bahwa tekanan pengembangan naik dengan bertambahnya waktu pemeraman dan akan konstant mulai dengan waktu 100 menit. Dengan demikian sebenarnya waktu pemeraman 24 jam sudah dipandang cukup. Dengan penambahan kadar kapur nilai tekanan pengembangan terus menurun. Hal ini menunjukkan bahwa Sifat sifat kembang susut tanah dapat direduksi oleh kapur, disebabkan oleh adanya reaksi pertukaran ion-ion positif. Reaksi ini mengakibatkan ukuran-ukuran mineral lempung secara perlahan-lahan membesar sehingga mendekati ukuran partikel-partikel lanau dan pasir.

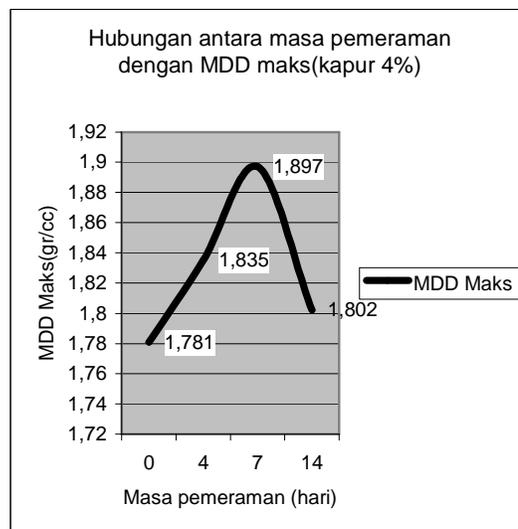
Pemadatan Tanah + Kapur : Pengujian pemadatan standar dilakukan pada tanah dengan berbagai variasi kadar kapur dan dengan masa pemeraman 0, 4, 7, dan 14 hari. Hasil pengamatan ditunjukkan pada gambar 4. Dengan bertambahnya kadar kapur, kepadatan maksimum meningkat dan dicapai nilai maksimum pada kadar kapur 4%. Dengan bertambahnya masa pemeraman, kepadatan maksimum meningkat sampai dengan masa pemeraman 7 hari, kemudian menurun lagi pada masa pemeraman 14 hari. Diperkirakan akan terus menurun atau konstan jika masa pemeraman ditambah.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada usia 7 hari sudah terjadi reaksi posolanik yaitu terbentuknya kalsium silikat hidrat : $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (dikalsium silikat hidrat), atau $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (trikalsium silikat hidrat), dan juga ada kemungkinan terbentuknya hidrat-hidrat yang lain seperti kalsium aluminat hidrat (C-A-H) dan kalsium aluminat silikat hidrat (C-A-S-H). Dengan demikian, untuk pengamatan selanjutnya dilakukan dengan menggunakan kadar kapur 4%.

Pemadatan Tanah + Kapur + Abu: Pengujian pemadatan tersebut diulangi untuk tanah + kapur, dengan kadar kapur 4% dari berat kering tanah kemudian ditambahkan abu ampas tebu dengan berbagai variasi : 0; 2,5 ; 5 ; 7,5; 10; 12,5; dan 15%. Prosentase tersebut ditentukan terhadap berat kering tanah asli.

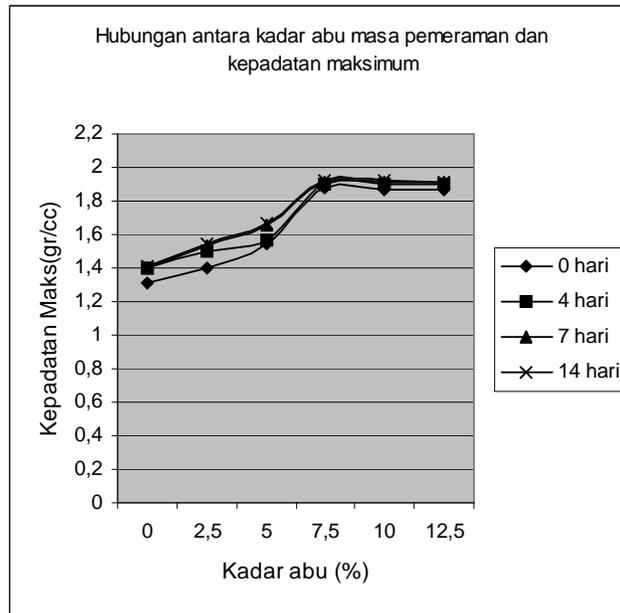


Gambar 3. Hubungan antara tekanan pengembangan dengan waktu untuk berbagai variasi kadar kapur



Gambar 4. Hubungan antara Kepadatan Maks (kapur 4%) dengan masa pemeraman

Hasil pengamatan seperti terlihat pada gambar 5. Dari hasil tersebut terlihat bahwa dengan meningkatnya kadar abu ampas tebu kepadatan maksimum terus meningkat. Kepadatan maksimum terbesar terjadi pada kadar abu ampas tebu sebesar 7,5% kemudian sedikit menurun atau konstan pada kadar abu yang lebih tinggi (10 dan 12,5%). Meningkatnya kepadatan maksimum ini disebabkan oleh terjadinya reaksi posolanic yang semakin meningkat oleh karena unsur-unsur SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 yang bertambah oleh penambahan abu ampas tebu. Setelah kadar kapur lebih dari 7,5% kepadatan maksimum terlihat sedikit menurun atau konstan kemungkinan disebabkan oleh kadar kapur (CaO) yang tidak cukup banyak untuk mengikat Al_2O_3 , SiO_2 , dan Fe_2O_3 yang berlebih pada tanah ekspansif dan abu.



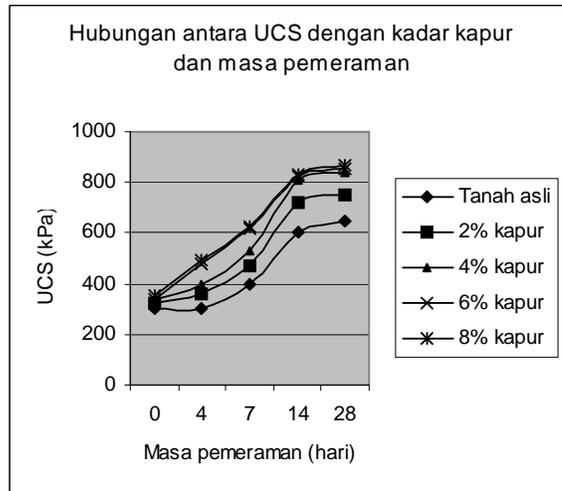
Gambar 5. Hubungan antara kadar abu, masa pemeraman dan kepadatan maksimum

Pada masa pemeraman 0 hari kepadatan maksimum terlihat rendah kemudian meningkat pada masa pemeraman 4 hari dan masa pemeraman 7 hari. Setelah masa pemeraman 7 hari terlihat ada kenaikan namun tidak begitu signifikan. Diperkirakan bahwa pada masa pemeraman yang lebih lama, kepadatan maksimum tidak meningkat ada kemungkinan sedikit menurun atau konstan. Perilaku ini menunjukkan bahwa reaksi posolanik sudah terjadi pada masa pemeraman 4 hari atau paling lama 7 hari.

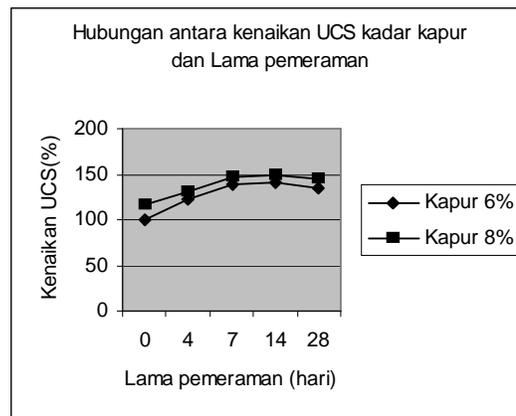
Tekan bebas Tanah + Kapur :Pengujian tekan bebas tanah + kapur dilakukan untuk kadar kapur sama dengan pengujian pemadatan yaitu: 2,4,6,8 dan 10%. Perbedaan perlakuan pada pengujian tekan bebas dilakukan dalam hal masa pemeraman. Pada pengujian pemadatan dilakukan pemeraman sampai dengan 14 hari, sedangkan pada pengujian tekan bebas dilakukan masa pemeraman sampai dengan 28 hari. Hal ini mempertimbangkan bahwa pembentukan butiran-butiran yang lebih besar (flokulasi) akan terjadi dalam waktu yang relatif lama. Hasil pengujian dapat dilihat gambar 6.

Dari hasil tersebut terlihat bahwa kuat tekan bebas tanah yang dicampur dengan kapur selalu naik dengan naiknya kadar kapur di dalam tanah serta lamanya pemeraman. Pada kadar kapur 6% dan 8% tidak terlihat adanya perbedaan yang signifikan sehubungan dengan kuat tekan bebas tanah tersebut. Pada kadar kapur 6% kenaikan kuat tekan bebas reratanya sebesar 131,5% sedangkan pada kadar kapur 8% kenaikan kuat tekannya adalah 137,5. Perbedaan prosen peningkatan kuat tekan bebas antara kadar kapur 6% dan 8% tidak begitu signifikan sehingga untuk pengujian berikutnya (tanah + kapur + abu ampas tebu) digunakan kadar kapur 6%.

Jika ditinjau dari lamanya pemeraman, semakin lama masa pemeramannya semakin besar kuat tekan bebas. Namun demikian terlihat dari gambar 8 bahwasanya mulai masa pemeraman 14 hari kenaikan kuat tekan bebas tidak begitu besar. Dapat dikatakan cenderung konstan.



Gambar 6. Hubungan antara kadar kapur dengan masa pemeraman

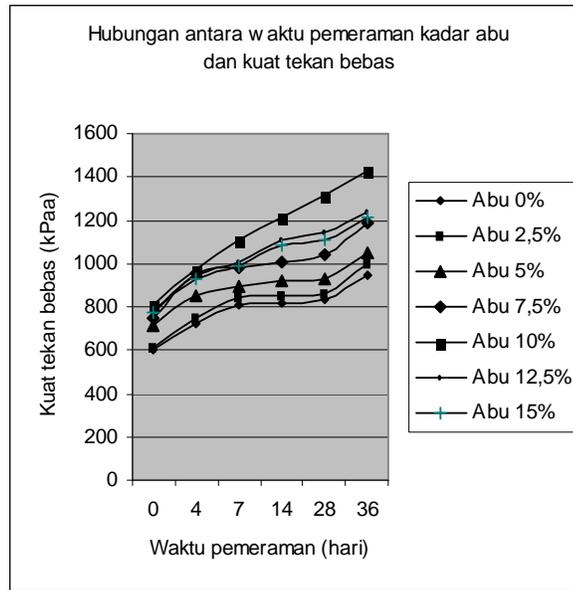


Gambar 7. Hubungan antara prosen kenaikan UCS prosen kapur dan lama pemeraman

Pada kadar kapur 6% kenaikan kuat tekan bebas rerta sama dengan 131,5%, sedangkan pada kadar kapur 8% kenaikan kuat tekan bebas reratanya sama dengan 137,5%. Kenaikan secara keseluruhan cukup signifikans, namun demikian antara kadar kapur 6% dan 8% tidak ada perbedaan yang cukup berarti, sehingga untuk pengujian selanjutnya digunakan kadar kapur 6% saja.

Tekan Bebas Tanah + Kapur + Abu: Pengujian kuat tekan bebas tersebut kemudian dilanjutkan dengan kadar kapur 6% dan kadar abu ampas tebu bervariasi dari 0; 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5 dan 15%. Waktu pemeraman tidak sama dengan waktu pemeraman sebelumnya yaitu setelah 28 hari ditambah menjadi 36 hari. Hal ini mempertimbangkan bahwa reaksi posolanik terjadi dalam jangka waktu yang relative lama. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 8.

Dengan naiknya kadar abu ampas tebu terlihat bahwa kuat tekan bebas selalu naik sampai dengan kadar abu 10% dengan prosentase kenaikan 43,84% kemudian menurun pada kadar abu yang lebih tinggi 12,5% (31,54%) dan 15% (27,49%). Demikian halnya, dengan bertambahnya waktu pemeraman kuat tekan bebas tanah + kapur + abu selalu mengalami kenaikan kuat tekan bebas. Kenaikan yang cukup besar terjadi pada waktu pemeraman 36 hari. Kenaikan nilai kuat tekan bebas tersebut disebabkan oleh dua hal :



Gambar 8. Hubungan antara waktu pemeraman kadar abu dan kuat tekan bebas

Pertama: terjadinya pertukaran ion-ion positif (kation) yang ada didalam tanah lempung (Na^+ dan K^+) oleh ion ion positif yang ada didalam kapur dan abu ampas tebu (Ca^{++} dan Mg^{++}). Reaksi pertukaran ion-ion positif ini terjadi dalam waktu yang relative singkat dan akan menyebabkan proses terjadinya butiran-butiran yang cukup besar (flokulasi). Oleh membesarnya butiran-butiran tanah lempung akan menaikkan nilai sudut gesek dalam tanah tersebut yang berakibat pada kenaikan kuat geser tanah (dalam hal ini kuat tekan bebas). Karena singkatnya reaksi tersebut, pada masa pemeraman yang relatif singkat terjadi kenaikan kuat tekan bebas yang sangat berarti (gambar 10).

Kedua: terjadinya reaksi posolanik yaitu reaksi pembentukan calcium silikat hidrat (C-S-H) atau Calcium aluminat hidrat) atau, calcium silikat aluminat hidrat (C-S-A-H) oleh terjadinya ikatan antara CaO ditambah air ditambah Al_2O_3 dan SiO_2 yang ada didalam abu ampas tebu. Hidrat-hidrat tersebut berbentuk gel dan akan mengeras dalam kurun waktu tertentu. Reaksi posolanik ini terjadi dalam waktu yang cukup lama dan dalam kondisi perbandingan antara CaO dengan Al_2O_3 maupun SiO_2 yang cukup proporsional.

Dari hasil penelitian terlihat bahwa pada kadar abu 10% terjadi kenaikan kekuatan yang cukup besar disbanding pada kadar abu 12,5% dan 15%. Hal ini disebabkan oleh proporsi CaO dan SiO_2 , Al_2O_3 terbaik pada kadar abu 10%. Kemudian pada kadar abu yang lebih tinggi, kapur yang ada sudah tidak cukup mampu mengikat silikat dan aluminat yang ada didalam abu. Dengan bertambahnya waktu pemeraman, kuat tekan bebas terlihat meningkat, terutama pada waktu pemeraman 36 hari kenaikan kuat tekan bebasnya sangat tajam (59,93%). Hal ini menunjukkan bahwa reaksi posolanik terjadi dengan baik pada masa pemeraman lebih dari 28 hari. Namun perlu diingat bahwa semakin panjang waktu pemeraman, kadar air didalam tanah akan menurun. Oleh sebab itu pada waktu pemeraman yang sangat panjang kuat tekan bebas akan turun atau paling tidak konstan. Perlu diingat bahwa reaksi posolanik akan terjadi bila ada air. Apabila tidak ada air, silikat dan aluminat yang ada didalam abu tidak akan berarti apaun sehingga proses stabilisasi tidak akan berjalan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

- a. Penambahan kapur pada tanah ekspansif menurunkan tekanan dan potensi pengembangan dengan angka yang cukup signifikan. Potensi pengembangan turun dari 12% pada tanah asli menjadi 1,12% pada tanah dengan kadar kapur 10%. Tekanan pengembangan turun dari 340 kPa pada tanah asli menjadi 105 kPa pada tanah dengan kadar kapur 10%.
- b. Dengan bertambahnya kadar kapur, kepadatan maksimum meningkat dan dicapai nilai maksimum pada kadar kapur 4%. Dengan bertambahnya masa pemeraman, kepadatan maksimum meningkat sampai dengan masa pemeraman 7 hari, kemudian menurun lagi pada masa pemeraman 14 hari..
- c. Dengan meningkatnya kadar abu ampas tebu kepadatan maksimum terus meningkat. Kepadatan maksimum terbesar terjadi pada kadar abu ampas tebu sebesar 7,5% kemudian sedikit menurun atau konstan pada kadar abu yang lebih tinggi (10 dan 12,5%).
- d. Kuat tekan bebas tanah yang dicampur dengan kapur selalu naik dengan naiknya kadar kapur di dalam tanah serta lamanya pemeraman. Pada kadar kapur 6% dan 8% tidak terlihat adanya perbedaan yang signifikan sehubungan dengan kuat tekan bebas tanah.
- e. Semakin lama masa pemeraman semakin besar kuat tekan bebas. Namun demikian mulai masa pemeraman 14 hari kenaikan kuat tekan bebas tidak begitu besar. Dapat dikatakan cenderung konstan.
- f. Dengan naiknya kadar abu ampas tebu, kuat tekan bebas selalu naik sampai dengan kadar abu 10% dengan prosentase kenaikan 43,84% kemudian menurun pada kadar abu yang lebih tinggi 12,5% (31,54%) dan 15% (27,49%).
- g. Dengan bertambahnya waktu pemeraman kuat tekan bebas tanah + kapur + abu selalu mengalami kenaikan kuat tekan bebas. Kenaikan yang cukup besar terjadi pada waktu pemeraman 36 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, F.H., 1975, *Foundation on Expansive Soils*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- Hapsro, STU, 1996, Stabilisasi Tanah Lempung dengan Abu Terbang dan GEOSTA, *Media Teknik* Edisi Desember, 1996.
- Hatmoko, John T, 2003, :Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Untuk Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif, *Laporan Penelitian Dosen Muda DIR.JEN. DIKTI*, 2003
- Hatmoko, J.T, & Suhartono, F., 2000, Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan menggunakan Pasir dan Semen, *Laporan Penelitian, LPU Universitas Atma Jaya Yogyakarta*.
- Hosiya, N., and Mandal, J.N., 1984, Metallic Powders in Reinforced Earth., *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.110, No. 10, October 1984, ASCE, pp. 1507-1511.
- Idrus, 1991, Stabilisasi Pada Lempung Losari Dengan Kapur dan Semen., *Master Tesis*, Institut Teknologi Bandung.
- Kezdi, A., 1979, *Stabilized Earth Roads*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
- Mitchell, J.K., 1976, The Properties of Cement Stabilized Soils, *Proceeding Residential Workshops on Material and Methods for Low Cost Road, Rail and reclamation Works*, Leura, Australia, September 6-10, 1978, published by Unsearch Ltd., University of New South Wales, 1976.

- Schaefer, V.R., Abramson, L.W., 1997, *Ground improvement, ground reinforcement and ground treatment: Developments : 1987-1997*. Geotech. Spec. Publ. No. 69, ASCE New York.
- Siswosoebroto, B.I., 1991, Stabilisasi Abu Terbang Suralaya, *Prosiding Seminar Mekanika Bahan Untuk Mendukung Perkembangan Industri di Indonesia*, Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Supriyono, 1995, Tekanan Pengembangan Untuk tanah tak terusik khususnya pada tanah Ekspansive, *Majalah Media Teknik*, Fakultas Teknik Universitas Gadjahmada, No. 3, tahun XVII, edisi Desember, Yogyakarta 1995.
- Suhardjito, 1989, *Teknik Pondasi*, Laboratorium Geoteknik, Pusat Antar Universitas (PAU), Institut Teknologi Bandung.
- Wibowo, F.X.N., & Hatmoko, John, T. 2001, Pemanfaatan Abu Ampas Tebu sebagai Bahan Tambah Beton Mutu Tinggi, *Laporan Penelitian DCRG, DIRJEN DIKTI 2001*.