

ANALYSIS OF PORTLAND POZZOLAN CEMENT (PPC) AND DOLOMITE FOR CLAY STABILIZATION AS SUBGRADE

ANALISIS PENGGUNAAN PORTLAND POZZOLAN CEMENT (PPC) DAN KAPUR UNTUK STABILISASI TANAH LEMPUNG SEBAGAI SUBGRADE

Lola Cassiophea

Jurusan Teknologi dan Kejuruan Prodi Pendidikan Teknik Bangunan, FKIP,
Universitas Palangkaraya, Jl. H.Timang Tunjung Nyaho Palangkaraya Kode Pos 73111A

e-mail: ll_cassiophea@yahoo.com

ABSTRACT

The road surface is often suffered from crack caused by high shrinkage property of clay as base soil. One of several methods to overcome this is by stabilizing it by adding *Portland Pozzolan Cement (PPC)* and dolomite in the clay. The method used in this research is experiment based on trial and error method. Mixture percentage used is 0%, 5%, 10%, 15% dan 20 % from total mixture weight, with hardening time 0 day, 7 days, 14 days, 21 days and 28 days. The results show that the more PPC mixture and dolomite percentage, the stronger the soil support strength (CBR value). The best result from this research is the mixture of clay, PPC and dolomite at 20% with hardening time of 28 days and CBR = 52,2757% (increases 1088,4211%).

Key words: PPC, dolomite, soil stabilization, clay, subgrade

ABSTRAK

Permukaan jalan raya sering mengalami keretakan yang disebabkan sifat kembang susut tanah lempung yang tinggi sebagai tanah dasar. Salah satu cara mengatasinya adalah stabilisasi, dengan mencoba menambahkan *Portland Pozzolan Cement (PPC)* dan kapur pada tanah lempung. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen berdasarkan metode coba-coba (*trial and error*). Persentase campuran yang dipakai sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20 % dari berat campuran, dengan masa pemeraman 0 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan semakin besar persentase penambahan campuran PPC dan kapur maka semakin besar nilai kuat dukung tanah (nilai CBR). Hasil yang terbaik dari penelitian stabilisasi tanah lempung ini adalah campuran tanah lempung, PPC dan kapur pada kadar persentase 20% dengan masa pemeraman 28 hari dan nilai CBR=52,2757% (naik 1088,4211%).

Kata kunci : PPC, Kapur, Stabilisasi Tanah, Lempung, dan *Subgrade*.

PENDAHULUAN

Jenis tanah yang kurang baik atau kurang menguntungkan apabila digunakan sebagai tanah dasar adalah tanah lempung. Permasalahan yang sering ditemui pada tanah lempung adalah tingginya kadar air, daya dukung yang rendah, dan sifat susut yang besar. Tanah lempung pada saat basah mengembang dan menjadi lembek, saat kering menyusut dan menjadi padat. Kadar air pada tanah lempung berbeda-beda pada setiap lokasi, sehingga volume tanah lempung akan berbeda pula pada setiap lokasi. Akibatnya konstruksi di atasnya tidak lagi ditopang merata, sehingga ketika diletakkan beban di atasnya, penurunan konstruksi yang tidak merata dapat mengakibatkan keretakan atau kerusakan konstruksi karena sifat kembang susut dari tanah lempung sebagai *subgrade* (tanah dasar).

Cara mengatasi akibat dari sifat-sifat geoteknis tanah lempung tersebut adalah dengan cara melakukan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah adalah salah satu cara untuk meningkatkan kemampuan tanah sebagai perbaikan tanah dasar. Pada penelitian ini dibahas tentang stabilisasi tanah lempung dengan cara kimiawi berupa pencampuran tanah lempung dengan *Portland Pozzolan Cement (PPC)* dan kapur sebagai *subgrade* (tanah dasar).

Penelitian ini bertujuan mencari kadar *Portland Pozzolan Cement (PPC)* dan kapur yang mampu meningkatkan karakteristik mekanis tanah lempung. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa informasi penggunaan *Portland Pozzolan Cement (PPC)* dan kapur bagi perbaikan tanah dasar (*subgrade*) pada saat pembangunan.

Semen portland

Semen portland adalah hasil industri dari paduan bahan baku batu kapur/gamping dan lempung/tanah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk/*bulk*. Untuk menghasilkan Semen Portland, bahan baku tersebut dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk *klinkernya*, yang kemudian dihancurkan dan ditambah dengan *gips (gypsum)* dalam jumlah yang sesuai. Hasil akhir dari proses produksi dikemas dalam kantong/zak dengan berat rata-rata 40 kg atau 50 kg.

Komponen utama Semen Portland (*Portland Cement*) yaitu batu kapur yang mengandung komponen CaO dan lempung yang mengandung komponen SiO_2 (Silika), Al_2O_3 (Oksida Alumina) dan Fe_2O_3 (Oksida Besi).

Fungsi semen ialah untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Selain itu juga untuk mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat.

Perbedaan sifat jenis semen satu terhadap semen yang lain dapat terjadi karena perbedaan susunan kimia maupun kehalusan butir-butirnya. Perbedaan sifat jenis semen terbagi menjadi :

a. Sifat Kimia Semen

Hasil perubahan susunan kimia yang terjadi diperoleh susunan kimia yang kompleks, dimana oksida-oksida tersebut berinteraksi satu dengan yang lainnya untuk membentuk serangkaian produk yang lebih kompleks selama proses peleburan.

Adapun susunan dari unsur-unsur kimia yang terkandung dalam semen adalah sebagai berikut :

❖ Kapur (CaO)

Kapur merupakan bahan-bahan pokok semen. Kapur tulis dan marl (sejenis tanah yang biasanya dipakai untuk pupuk) umumnya menghasilkan bahan kapur dalam bentuk kalsium karbonat, kandungan kapur ini biasanya dibatasi antara 60-65 persen.

❖ Silika (SiO_2) dan Alumina (Al_2O_3)

Silika membentuk sekitar seperlima, sedangkan alumina hanya ada sekitar seperduabelas dalam semen. Silika dalam kadar tinggi, biasanya disertai alumina dengan kadar rendah, sehingga akan menghasilkan semen dengan ikatan lambat dan kekuatan tinggi, serta meningkatkan ketahanan terhadap agresi kimia. Namun jika silika pada kadar yang rendah dan alumina pada kadar yang tinggi maka semen meningkat dengan cepat dan kekuatannya tinggi. Untuk silika biasanya kandungannya dibatasi antara 17-25 persen, dan alumina antara 3-8 persen.

❖ Besi (Fe_2O_3)

Besi (Fe_2O_3) dalam semen biasanya kandungannya dibatasi antara 0,5-6 persen, akan memberikan warna abu-abu pada semen, dan bersifat sama seperti alumina.

❖ Magnesia (MgO)

Untuk magnesium dibatasi hanya antara 0,5-4 persen, karena jumlah yang banyak akan berdampak kurang baik pada semen.

❖ Belerang (SO_3)

Kandungan belerang biasa diperhitungkan sebagai sulphuric anhydride (SO_3) yang kandungannya dibatasi antara 2,5-3 persen, tergantung apakah alumina berkadar lebih atau kurang dari 7 persen, yang jika kadarnya berlebih akan berdampak kurang baik.

❖ Soda/Potash ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)

Soda dan potash biasanya hilang melalui cerobong asap ketika semen dibakar, dan hanya terdapat dalam jumlah kecil dalam semen, kandungan soda dan potash ini dibatasi antara 0,5-1 persen, jika jumlahnya berlebih maka akan membuat terjadinya pemekaran dan menambah resiko rusak.

❖ Bagian Tak Larut

Bagian yang tak larut adalah sisa bahan yang tidak habis bereaksi yaitu bagian yang tidak aktif dari semen. Semakin sedikit bagian yang tak larut semakin baik semennya, adapun nilai maksimum yang diijinkan adalah 1,5 persen.

Unsur paling penting dalam semen ialah sebagai berikut :

❖ Trikalsium Silikat ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), disingkat C_3S

❖ Dikalsium Silikat ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), disingkat C_2S

❖ Trikalsium Aluminat ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$), disingkat C_3A

❖ Tetrakalsium Aluminoforit ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{FeO}_3$) disingkat C_4AF

Trikalsium Silikat (C_3S) dan Dikalsium Silikat (C_2S) merupakan bagian yang paling dominan bagi sifat semennya karena kedua unsur tersebut merupakan bagian terbesar dari semen, yaitu 70 sampai 80 persen.

b. Sifat Fisik Semen

Semen yang dipakai harus mempunyai kualitas tertentu yang telah diterapkan agar dapat berfungsi secara efektif. Pemeriksaan secara berkala perlu dilakukan, baik yang masih berbentuk bubuk kering maupun yang berbentuk pasta semen yang sudah keras, sifat-sifat fisik semen yang penting yaitu :

❖ Kehalusan Butiran

Semen dengan butiran yang halus lebih kuat dan menghasilkan panas hidrasi yang lebih cepat dari pada semen dengan butiran yang kasar, sehingga semen dengan butiran yang halus akan meningkatkan kohesi dan mengurangi terjadinya semen naik ke permukaan (*bleeding*).

❖ Kuat Tekan

Kekuatan semen ditentukan dari pengujian tekan terhadap kubus mortar/adukan, atau dengan alternatif lain dengan pengujian kubus beton pada umur spesifiknya, yaitu pada 3 dan 7 hari sehingga diperoleh kekuatan minimumnya.

❖ Waktu ikatan

Jika semen dicampur dengan air maka akan membentuk bubur yang secara bertahap menjadi kurang plastis, dan akhirnya menjadi keras. Pada proses ini tahap pertama dicapai ketika pada semen cukup kaku untuk menahan suatu tekanan.

Waktu untuk mencapai tahap ini disebut sebagai waktu ikatan, yang dibagi menjadi dua bagian yaitu :

• Waktu ikatan awal (*initial time*)

Waktu ikatan awal adalah waktu dari campuran semen dan air sampai saat kehilangan sifat keplastisannya.

• Waktu ikatan akhir (*final setting time*)

Waktu ikatan akhir adalah waktu dari campuran yang berbentuk pasta berubah menjadi massa yang keras.

Berdasarkan tujuan pemakaiannya, Semen Portland yang memenuhi persyaratan mutu SNI 15-2049-1994 ini dibagi menjadi beberapa jenis yaitu :

▪ Semen Portland Jenis I (*Ordinary Portland Cement – OPC*)

Semen Portland untuk pekerjaan konstruksi umum seperti perumahan, gedung bertingkat, dermaga dan sejenisnya. Pada semen jenis ini tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.

▪ Semen Portland Jenis II

Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan khusus seperti ketahanan terhadap garam sulfat dan panas hidrasi sedang, seperti *mass concrete* (dam/bendungan), bangunan saluran irigasi, bangunan tepi rawa, dan di daerah yang selalu tergenang air.

▪ Semen Portland Jenis III

Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi atau setelah pengecoran dilakukan.

▪ Semen Portland Jenis IV

Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan panas hidrasi rendah, dipakai pada bangunan massif seperti bendungan gravitasi besar.

▪ Semen Portland Jenis V

Semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan khusus atas ketahanan kadar garam sulfat tinggi, seperti konstruksi tepi laut, bangunan di daerah pelabuhan, bangunan di bawah permukaan tanah (*underground*), konstruksi tiang pancang, jembatan dan bangunan tepi sungai/rawa.

▪ Semen Portland Pozzolan (*Portland Pozzolan Cement-PPC*)

Semen Portland Pozzolan (*Portland Pozzolan Cement-PPC*) adalah suatu bahan pengikat hidraulis yang dibuat mengikat bersama-sama *linker* semen portland dengan pozzolan, atau sebagai campuran yang merata antara bubuk semen portland dan bubuk pozzolan antara 15%-40% dari berat total campurannya. Pozzolan yang

dicampurkan dengan proporsi yang tepat dapat mengurangi permeabilitas beton dengan kandungan semen yang relatif rendah.

Semen Portland Pozzolan (*Portland Pozzolan Cement-PPC*) dalam penggunaannya memerlukan persyaratan panas hidrasi rendah dan tahan terhadap sulfat. Pozzolan mempunyai komposisi kimia berbentuk mineral yang mengandung silica aktif dan alumina aktif, yang tidak dapat mengikat secara hidraulis. Apabila ditambahkan CaO, baik yang berasal dari hasil pembakaran batu kapur, dan diaduk dengan air, maka akan berbentuk suatu senyawa hidrat dan kalsium silikat hidrat.

Semen yang memenuhi persyaratan mutu Semen Portland Pozzolan SNI 15-0302-1994 dan ASTM C 595 M-95a ini dapat digunakan secara luas seperti :

- ✓ Konstruksi beton massa (bendungan, dam dan irigasi)
- ✓ Konstruksi beton yang memerlukan ketahanan terhadap serangan sulfat (bangunan tepi pantai, tanah rawa)
- ✓ Bangunan/instalasi yang memerlukan kekedapan yang lebih tinggi
- ✓ Pekerjaan pasangan dan plesteran

Kapur

Batu kapur (*limestone*) adalah sebuah batuan sedimen yang terdiri dari mineral *calcite* (CaCO_3). Apabila batu kapur dibakar pada suhu 1000 °C akan menyebabkan kandungan Karbondioksida (CO_2) yang terikat akan terurai dan menguap sehingga terbentuk Kapur Tohor (CaO). Kapur Tohor yang bereaksi dengan air (H_2O) akan menghasilkan Kalsium Hidroksida (Ca(OH)_2) yang dikenal dengan Kapur Padam.

Batu kapur dapat terjadi dengan beberapa cara yaitu secara organik, mekanik dan kimia. Sebagian besar batu kapur yang terdapat di alam terjadi secara organik, jenis ini berasal dari pengendapan cangkang/rumah kerang dan siput, foraminifera atau ganggang, atau berasal dari kerangka binatang koral/kerang. Batu Kapur dapat berwarna putih susu, abu muda, abu tua, coklat bahkan hitam, tergantung keberadaan mineral pengotornya.

Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas, yang terletak di atas dasar batuan. Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang-ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. (**Hardiyatmo, 2002**).

Ukuran setiap butiran padat sangat bervariasi dan sifat-sifat fisika tanah banyak tergantung dari faktor-faktor jenis tanah komposisi / gradasi butir, volume

rongga, kandungan air, mineral pembentukan butir tanah, dan bentuk aliran.

Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan terperinci. (Das, 1998).

Ada dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu USCS (*Unified Soil Classification*) dan AASHTO (*American Association Of State Highway and Transportation Officials*). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. (Hardiyatmo, 2002).

Tanah Lempung (Clay)

Tanah lempung adalah istilah yang dipakai untuk menyatakan tanah berbutir halus yang memiliki sifat kohesi dan plastisitas serta tidak memperlihatkan sifat dilatasi dan tidak mengandung jumlah bahan kasar yang berarti. Fraksi lempung menunjukkan bagian berat butir-butir dari tanah yang lebih halus dari 0,002 mm. Lempung terdiri dari butir-butir yang sangat kecil dan menunjukkan sifat-sifat plastisitas dan kohesi. Kohesi menunjukkan kenyataan bahwa bagian-bagian dalam tanah melekat satu sama lainnya, sedangkan plastisitas adalah sifat yang menunjukkan adanya kemungkinan bentuk bahan itu dirubah-rubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah. Indikasi tanah lempung adalah berwarna coklat muda, plastisitas tinggi dan mengandung batu dengan dimensi berkisar ½ inci. Mineral lempung merupakan partikel yang aktif secara elektrokimiawi yang hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron. Sumber utama mineral lempung adalah pelapukan kimiawi dari batuan yang mengandung *Felspar ortoklas*, *Felspar plagioklas*, dan Mika (*muskovit*). Beberapa mineral lempung yang biasa terdapat adalah Kaolinit (*Kaolinite*), Illit (*Illite*), Montmorilonit (*Montmorillonite*).

Lapisan Tanah Dasar (Subgrade)

Lapisan tanah setebal 50-100 cm yang di atasnya akan diletakkan lapisan pondasi bawah dinamakan lapisan tanah dasar (*subgrade*). Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah asli yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya. Pemadatan yang baik diperoleh jika dilakukan pada kadar air optimum dan diusahakan kadar air tersebut konstan selama umur rencana.

Perkerasan jalan diletakkan diatas tanah dasar, dengan demikian secara keseluruhan mutu dan daya tahan konstruksi perkerasan tak lepas dari sifat tanah dasar. Tanah dasar yang baik untuk konstruksi perkerasan jalan adalah tanah dasar yang berasal dari lokasi itu sendiri atau didekatnya, yang telah dipadatkan sampai tingkat kepadatan tertentu sehingga mempunyai daya dukung yang baik serta berkemampuan mempertahankan perubahan volume selama masa pelayanan walaupun terdapat perbedaan kondisi lingkungan dan jenis tanah setempat.

Sifat masing-masing jenis tanah tergantung dari tekstur, kepadatan, kadar air, kondisi lingkungan, dan lain sebagainya.

Ditinjau dari muka tanah asli, maka lapisan tanah dasar dibedakan atas :

- a. Lapisan tanah dasar, tanah galian
- b. Lapisan tanah dasar, tanah timbunan
- c. Lapisan tanah dasar, tanah asli

Sebelum diletakkan lapisan-lapisan lainnya, tanah dasar dipadatkan terlebih dahulu sehingga tercapai kestabilan yang tinggi terhadap perubahan volume.

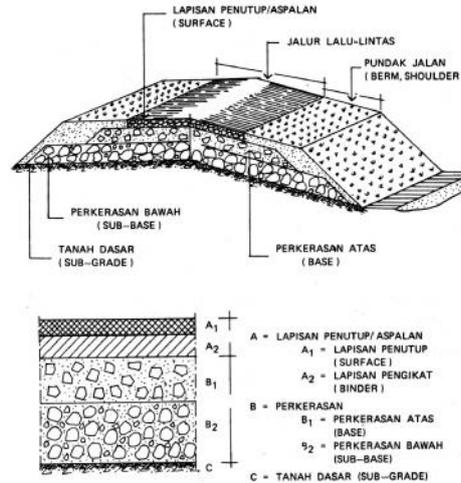
Konstruksi perkerasan terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya.

Lapisan konstruksi yang lazim terdiri dari :

- ❖ Lapisan penutup/aspalan
 - a. Lapisan penutup (*surface*), dengan ketebalan \pm 4 cm
 - b. Lapisan pengikat (*binder*), dengan ketebalan \pm 5 cm
- ❖ Lapisan perkerasan
 - a. Lapisan perkerasan atas (*base*), dengan ketebalan \pm 15 cm
 - b. Lapisan perkerasan bawah (*sub-base*), dengan ketebalan \pm 20 cm
- ❖ Lapisan tanah dasar, dengan ketebalan 50-100 cm.

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat ditentukan oleh sifat-sifat daya dukung tanah dasar. Masalah-masalah yang sering ditemui menyangkut tanah dasar adalah:

- ❖ Perubahan bentuk tetap dari jenis tanah tertentu akibat beban lalu-lintas. Perubahan bentuk yang besar akan mengakibatkan jalan tersebut rusak. Tanah-tanah dengan plastisitas tinggi cenderung untuk mengalami hal tersebut. Lapisan-lapisan tanah yang terdapat di bawah tanah dasar harus diperhatikan. Daya dukung tanah dasar yang ditunjukkan oleh nilai CBRnya merupakan indikasi perubahan bentuk yang dapat terjadi.
- ❖ Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air. Hal ini dapat dikurangi dengan memadatkan tanah pada kadar air optimum sehingga mencapai kepadatan tertentu sehingga



Gambar 1 Perkerasan Jalan

- ❖ perubahan volume yang mungkin terjadi dapat dikurangi. Kondisi drainase yang baik dapat menjaga kemungkinan berubahnya kadar air pada lapisan tanah dasar.
- ❖ Daya dukung tanah dasar yang tidak merata pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda. Penelitian yang seksama atas jenis tanah dan sifat tanah dasar sepanjang jalan dapat mengurangi akibat tidak meratanya daya dukung tanah dasar. Perencanaan tebal perkerasan dapat dibuat berbeda-beda dengan membagi jalan menjadi segmen-segmen berdasarkan sifat tanah yang berlainan.
- ❖ Daya dukung yang tidak merata akibat pelaksanaan yang kurang baik. Hal ini akan lebih jelek pada tanah dasar dari jenis tanah berbutir kasar dengan adanya tambahan pemadatan akibat pembebanan lalu lintas ataupun akibat berat tanah dasar itu sendiri (pada tanah dasar tanah timbunan). Hal ini dapat diatasi dengan melakukan pengawasan yang baik pada saat pelaksanaan pekerjaan tanah dasar.
- ❖ Perbedaan penurunan (*differential settlement*) akibat terdapatnya lapisan-lapisan tanah lunak di bawah tanah dasar akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk tetap. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan penyelidikan tanah dengan teliti. Pemeriksaan dengan menggunakan alat bor dapat memberikan gambaran yang jelas tentang lapisan tanah di bawah lapisan tanah dasar.
- ❖ Kondisi geologis dari lokasi jalan perlu dipelajari dengan teliti, jika ada kemungkinan lokasi jalan berada pada daerah patahan, dan lain sebagainya.

Stabilisasi Tanah

Banyak tanah yang mengalami pemuaian dan penyusutan yang berbeda-beda apabila mengalami

perubahan kandungan kelembaban. Banyak tanah yang di lapangan yang bersifat lepas atau sangat mudah tertekan, mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak sesuai untuk proyek pembangunan jalan. Tanah tersebut biasanya perlu distabilisasi untuk mengurangi perubahan volume dan menguatkan sampai pada taraf dimana tanah itu dapat memikul beban yang dikenakan.

Metode stabilisasi tanah secara mekanik berupa :

- ❖ Metode tekanan/gilasan
Pada metode ini dilakukan pembebanan statis pada tanah secara terus menerus atau secara interval dengan maksud mendorong udara dan air tanah dari rongga tanahnya, sekaligus memampatkan rongga menjadi bertambah kecil atau bahkan hilang.
- ❖ Metode tumbukan.
Pada metode ini dianggap bekerjanya beban dinamis secara kontinu. Cara ini lebih cocok digunakan untuk tanah kohesif.
- ❖ Metode getaran.
Metode ini biasanya digunakan berbarengan dengan metode tumbukan. Cara ini cocok untuk tanah-tanah yang berbutir kasar non kohesif (tanah berpasir).
Metode kimiawi yaitu suatu cara stabilisasi tanah dengan menambahkan dan mencampurkan bahan tambah yang dapat menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisik tanah pada tanah yang dilakukan sebelum pemadatan. Metode stabilisasi tanah secara kimiawi berupa Stabilisasi Tanah dengan Semen, Stabilisasi Tanah dengan Abu Batu Bara, Stabilisasi Tanah dengan Minyak Bumi (*Crude Petroleum*), Stabilisasi Tanah dengan Aspal, dan Stabilisasi Tanah dengan Kapur. Tujuan perbaikan tanah adalah untuk meningkatkan kekuatan tanah yang daya dukungnya rendah dan memperbesar nilai faktor keamanan.

Stabilisasi Tanah dengan Semen

Stabilisasi tanah dengan semen adalah suatu metode penguatan tanah-tanah tertentu yang efektif asal tanah masih menonjolkan sifat berbutirnya dengan sedikit partikel lempung. Metode-metode pelaksanaan konstruksi melibatkan penghamparan semen secara merata di atas permukaan tanah kemudian mengaduknya ke dalam tanah sampai kedalaman yang telah ditentukan, diikuti oleh perataan dan pemadatan. Jika kandungan kelembaban tanah rendah maka perlu memerciki permukaan tersebut dengan air selama proses berlangsung. Bahan itu harus dipadatkan dalam waktu 30 menit setelah diaduk dengan mesin gilas tumbuk.

Stabilisasi Tanah dengan Kapur

Stabilisasi tanah dengan kapur akan lebih efektif dilakukan pada tanah lempung dan lanau, serta kurang efektif untuk tanah berbutir. Kapur sebagai bahan stabilisasi yang sering digunakan pada umumnya berbentuk kalsium oksida, CaO (Kapur Tohor); *quicklime* kalsium hidroksida, Ca(OH)₂ (Kapur Padam); dan kalsium karbonat, CaCO₃ (Batu Kapur). Stabilisasi dengan kapur akan menaikkan kekuatan, kekakuan, dan tahan lama dari tanah-tanah butir halus. Lagi pula, kapur kadang-kadang digunakan untuk menaikkan sifat-sifat fraksi halus dari tanah-tanah granular. Kapur juga telah digunakan sebagai stabiliser bagi tanah-tanah di bawah lapis dasar dari sistem lapisan perkerasan, di bawah pondasi beton, pada lereng embankment dan pelapis saluran.

Penambahan kapur pada tanah akan menghasilkan kepadatan maksimum yang lebih rendah dan kadar air optimum yang lebih tinggi daripada tanah yang tidak diperbaiki, selain itu penambahan kapur juga menghasilkan penurunan indeks plastisitas.

Stabilisasi dengan kapur secara luas digunakan untuk menurunkan potensi pengembangan dan tekanan pada tanah lempung. Biasanya kekuatan lempung basah dapat dinaikkan apabila ditambahkan kapur dengan jumlah yang tepat. Kenaikan kekuatan ini diakibatkan sebagian oleh penurunan sifat-sifat plastis dari lempung dan sebagian oleh reaksi pozzolanis dari kapur dengan tanah, yang menghasilkan tanah keras yang kenaikan kekuatannya dipengaruhi waktu. Tanah-tanah yang diperbaiki dengan kapur, pada umumnya mempunyai kekuatan yang lebih besar dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada tanah-tanah yang tidak diperbaiki. Indeks (PI) < 10%.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengetahui efektivitas campuran *Portland Pozzolan Cement (PPC)* dan kapur untuk stabilisasi tanah lempung sebagai *subgrade* (tanah dasar). Pembuatan dan pengujian terhadap sampel akan dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya. Penelitian ini dilakukan pada satu variasi campuran yaitu campuran tanah, PPC dan kapur dengan tiga perbandingan variasi yang berbeda

untuk campuran PPC dan Kapur, sedangkan untuk variasi campuran tanah dipakai persentase campuran 90% (untuk campuran stabilisasi *subgrade* jalan, persentase campuran tanah sebesar 90 %, binamarga,1998). Perencanaan campuran dengan proporsi yang ditentukan berdasarkan metode coba-coba (*trial and error*) dan pembuatan sampel kemudian Analisis data. Variasi campuran yang digunakan yaitu Variasi I (90:2,5:7,5), Variasi II (90:5,0:5,0) dan Variasi III (90:7,5:2,5). Ketiga variasi campuran tersebut dilakukan pengujian analisa saringan, batas konsistensi, pemadatan, dan uji CBR tanpa rendaman, kemudian dipilih salah satu variasi campuran yang memenuhi syarat *subgrade* untuk jalan CBR > 6%. Variasi tersebut di jadikan patokan untuk melakukan pengujian selanjutnya dengan komposisi campuran PPC dan Kapur yang direncanakan yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Hasil campuran variasi yang telah direncanakan tersebut kemudian di uji analisa saringan, batas konsistensi, pemadatan, dan uji CBR tanpa rendaman dan di pilih campuran yang memberikan nilai maksimum untuk persyaratan *subgrade* jalan CBR > 6 % dengan analisis varian dan regresi polynomial pangkat tiga.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengujian Sifat Fisik Tanah Asli (Tabel 1)

b. Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah AASHTO :

Dari hasil pemeriksaan analisis saringan, persentase material lolos saringan No. 200 (0,075 mm) rata = 92,30% > 35%, maka tanah tersebut termasuk dalam tanah berbutir halus klasifikasi lanau-lempung (*silt-clay*) kelompok A-4, A-5, A-6, atau A-7.

- Dari hasil pemeriksaan batas-batas *Atterberg* didapat nilai batas cair (LL) rata-rata = 79,42% > 40% dan indeks plastisitas (PI) rata-rata 47,27% > 11%, maka tanah tersebut termasuk kelompok A-7, dilihat dari batas plastis (PL) rata-rata 32,15% > 30%, tanah termasuk kelompok A-7-5. Kelompok A-7 merupakan kelompok tanah lempung yang lebih bersifat plastis. Tanah ini mempunyai sifat perubahan yang cukup besar. GI = 51,564 ≈ 52

Klasifikasi tanah USCS:

- Dari hasil pemeriksaan analisis saringan, persentase material lolos saringan No. 200 (0,075 mm) rata-rata = 92,30% > 50%, maka tanah tersebut termasuk tanah berbutir halus
- Dari grafik batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) (grafik 4.2), setelah nilai LL dan PI di plot pada titik tersebut berada di atas garis, maka tanah tersebut termasuk kelompok CH.

c. Perencanaan Campuran

Nilai CBR dari setiap proporsi > 6% (memenuhi syarat CBR untuk lapisan tanah dasar/*subgrade*). Dalam penelitian ini diambil perbandingan sebesar 2,5% : 7,5%. Dengan proporsi kapur yang dominan maka kebutuhan semen

lebih sedikit sehingga biaya yang akan dikeluarkan tidak begitu tinggi. Proporsi 2,5% PPC dan 7,5 Kapur digunakan dalam komposisi campuran yang direncanakan yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan sifat fisik tanah asli

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan
1	Kadar Air (<i>Water content</i>)	60,49
2	Berat Isi (<i>Density test</i>)	1,53
3	Berat Jenis (<i>Specific gravity</i>)	2,49
4	Batas-batas <i>Atterberg</i>	
	- LL (Batas cair)	79,42
	- PL (Batas plastis)	32,15
	- PI (Indeks plastis)	47,27
	- SL (Batas susut)	23,04
5	Analisa Saringan (<i>Sieve Analysis</i>)	
	- Persentase berat tertahan di saringan No. 200 (%)	7,70
6	- Persentase lolos saringan No. 200 (%)	92,30
	Analisis Hidrometer (<i>Hydrometer Analysis</i>)	
	= Lempung	59,0560

Tabel 2. Perencanaan campuran

No	Bahan	Persentase Campuran (%)		
1	Tanah	90,0	90,0	90,0
2	PPC	2,5	5,0	7,5
3	Kapur	7,5	5,0	2,5
	CBR	17,90	29,80	31,80

Tabel 3. Perencanaan campuran

No	Bahan	Persentase Campuran (%)			
1	Tanah	95	90	85	80
2	PPC	1,25	2,5	3,75	5
3	Kapur	3,75	7,5	11,25	15

Tabel 4. Nilai kadar air optimum dan nilai CBR campuran

No.	Nama Sampel	Pemeriksaan Kepadatan Laboratorium		Pemeriksaan CBR	
		OMC (%)	γ _d max (gr/cc)	Nilai CBR (%)	
1	Tanah 100% + PPC dan Kapur 0% Pemeraman :				
		0 Hari	16,500	1,320	4,750
		7 Hari	16,700	1,333	5,440
		14 Hari	15,700	1,342	6,100
		21 Hari	16,400	1,319	7,000
		28 Hari	19,600	1,299	7,380
2	Tanah 95% + PPC dan Kapur 5% Pemeraman :				
		0 Hari	15,250	1,323	11,100
		7 Hari	16,700	1,342	14,950
		14 Hari	15,850	1,351	19,650
		21 Hari	15,100	1,361	22,400
		28 Hari	12,900	1,373	26,200
3	Tanah 90% + PPC dan Kapur 10% Pemeraman :				
		0 Hari	12,800	1,385	17,900
		7 Hari	14,500	1,406	20,200
		14 Hari	13,550	1,401	25,250
		21 Hari	13,100	1,408	28,800
		28 Hari	12,600	1,421	30,300
4	Tanah 85% + PPC dan Kapur 15% Pemeraman :				
		0 Hari	14,400	1,427	22,700
		7 Hari	16,100	1,448	28,900
		14 Hari	13,750	1,440	30,800
		21 Hari	13,400	1,444	34,900
		28 Hari	12,700	1,448	41,400
5	Tanah 80% + PPC dan Kapur 20% Pemeraman :				
		0 Hari	9,500	1,459	24,600
		7 Hari	10,200	1,479	32,500
		14 Hari	8,300	1,432	37,600
		21 Hari	7,400	1,475	41,200
		28 Hari	8,400	1,476	51,700

d. Analisis Varian**e. Analisis Regresi**

Sebelum menentukan analisis regresi yang digunakan, terlebih dahulu dicoba dengan beberapa metode regresi baik regresi linear maupun non linear untuk mengetahui metode yang memberikan nilai korelasi (r) $\rightarrow -1 \leq r \leq 1$ dan simpangan baku paling kecil.

Analisis perhitungan pada umur (masa pemeraman) 0 hari dilakukan dengan beberapa metode, untuk mengetahui metode mana yang menghasilkan nilai korelasi paling mendekati 1 dan nilai simpangan baku paling kecil.

Pada tabel 6 dapat dilihat bahwa metode parabola kubik (polinomial pangkat tiga) mempunyai nilai korelasi paling mendekati 1 (0,9997) dan nilai simpangan baku paling kecil (0,3625).

Kenaikan nilai CBR dari pemeraman 0 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari dapat dilihat pada gambar 2. Selanjutnya hasil perhitungan analisis regresi polinomial pangkat tiga pada berbagai variasi penambahan PPC dan Kapur pada umur (masa pemeraman) 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari dapat dilihat pada tabel 7 Berdasarkan tabel 8 didapatkan nilai terbesar dari kesalahan taksiran standar (Sy/x) terdapat pada umur (masa

pemeraman) 28 hari sebesar 3,5323, koefisien determinasi (r^2) pada umur 14 hari sebesar 0,9988, koefisien korelasi (r) pada umur (masa pemeraman) 7 hari sebesar 0,9994, thitung sebesar 5025,6324 sehingga hipotesis H_0 untuk umur (masa pemeraman) 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari hipotesis H_0 ditolak tetapi signifikan.

Berdasarkan tabel 9 didapat penambahan PPC dan Kapur optimum (X_{opt}) tertinggi pada umur 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari sebesar 20 dan nilai CBR maksimum (y_{maks}) tertinggi pada umur 28 hari sebesar 52,2757

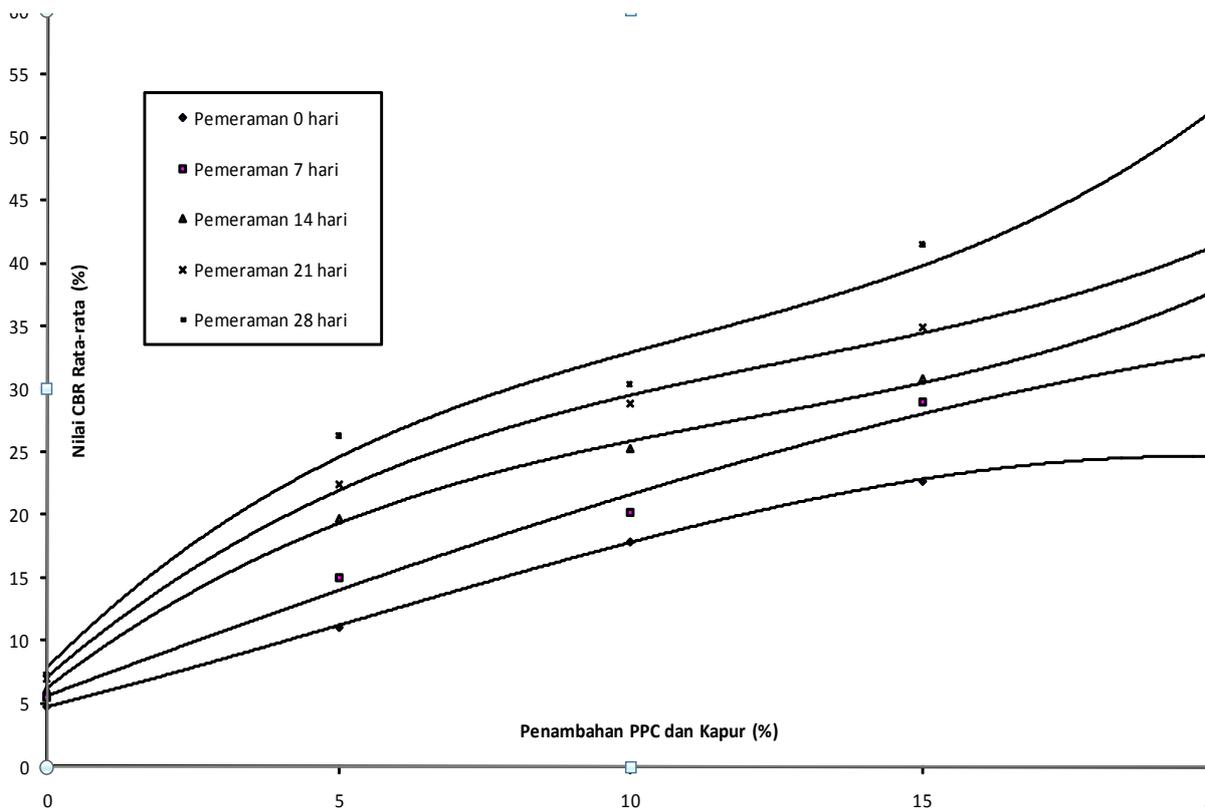
Tabel 5. Nilai CBR pada variasi penambahan PPC dan kapur

No.	Nilai CBR pada variasi penambahan PPC dan Kapur					A^2	B^2	C^2	D^2	E^2
	0% (A)	5% (B)	10% (C)	15% (D)	20% (E)					
1	4,75	11,10	17,90	22,70	24,60	22,56	123,21	320,41	515,29	605,16
2	5,44	14,95	20,20	28,90	32,50	29,59	223,50	408,04	835,21	1056,25
3	6,10	19,65	25,25	30,80	37,60	37,21	386,12	637,56	948,64	1413,76
4	7,00	22,40	28,80	34,90	41,20	49,00	501,76	829,44	1218,01	1697,44
5	7,38	26,20	30,30	41,40	51,70	54,46	686,44	918,09	1713,96	2672,89
	30,67	94,30	122,45	158,70	187,60	192,83	1921,04	3113,54	5231,11	7445,50
			593,72					17904,02		

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium dan Analisis Data (2006/2007)

Tabel 6 Rekapitulasi Konstanta regresi, koefisien korelasi dan simpangan baku regresi

Metode	Konstanta Regresi				Koef. Korelasi r	Simp. Baku Regresi $S_{y/x}$
	a atau a_0	b atau a_1	c atau a_2	d atau a_3		
Parabola Kubik ($\hat{y} = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$)	4,7279	1,1687	0,0359	- 0,0022	0,9997	0,3625
Parabola Kuadrat ($\hat{y} = a + bx + cx^2$)	4,3929	1,6489	- 0,0311	-	0,9979	0,7605
Linear ($\hat{y} = a + bx$)	5,95	1,026	-	-	0,9822	1,7929
Exponen ($\hat{y} = a \cdot b^x$)	6,2593	1,0834	-	-	0,87	4,702
Geometrik ($\hat{y} = a \cdot x^b$)	4,6985	0,5656	-	-	0,9528	2,896
Logistik ($\hat{y} = \frac{1}{a \cdot b^x}$)	6,2593	1,0834	-	-	0,87	4,702
Hiperbola ($\hat{y} = \frac{1}{a \cdot bx}$)	5,95	1,026	-	-	0,9822	1,7929



Gambar 2. Kenaikan nilai CBR dari pemeraman 0 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari

Tabel 7. Analisa regresi polinomial pangkat tiga untuk berbagai penambahan PPC dan kapur pada umur (masa pemeraman 0 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari, 28 hari

No.	Umur (masa pemeraman)	Penambahan PPC dan Kapur						Nilai CBR Rata-rata (%)			
		x_i	x_i^2	x_i^3	x_i^4	x_i^5	x_i^6	y_i	$x_i y_i$	$x_i^2 y_i$	$x_i^3 y_i$
1	0 Hari	0	0	0	0	0	0	4,750	0	0	0
2	0 Hari	5	25	125	625	3125	15625	11,100	55,5	277,5	1387,5
3	0 Hari	10	100	1000	10000	100000	1000000	17,900	179	1790	17900
4	0 Hari	15	225	3375	50625	759375	11390625	22,700	340,5	5107,5	76612,5
5	0 Hari	20	400	8000	160000	3200000	64000000	24,600	492	9840	196800
		50	750	12500	221250	4062500	76406250	81,050	1067	17015	292700
1	7 Hari	0	0	0	0	0	0	5,440	0	0	0
2	7 Hari	5	25	125	625	3125	15625	14,950	74,75	373,75	1868,75
3	7 Hari	10	100	1000	10000	100000	1000000	20,200	202	2020	20200
4	7 Hari	15	225	3375	50625	759375	11390625	28,900	433,5	6502,5	97537,5
5	7 Hari	20	400	8000	160000	3200000	64000000	32,500	650	13000	260000
		50	750	12500	221250	4062500	76406250	101,990	1360,25	21896,25	379606,25
1	14 Hari	0	0	0	0	0	0	6,100	0	0	0
2	14 Hari	5	25	125	625	3125	15625	19,650	98,25	491,25	2456,25
3	14 Hari	10	100	1000	10000	100000	1000000	25,250	252,5	2525	25250
4	14 Hari	15	225	3375	50625	759375	11390625	30,800	462	6930	103950
5	14 Hari	20	400	8000	160000	3200000	64000000	37,600	752	15040	300800
		50	750	12500	221250	4062500	76406250	119,400	1564,75	24986,25	432456,25
1	21 Hari	0	0	0	0	0	0	7,000	0	0	0
2	21 Hari	5	25	125	625	3125	15625	22,400	112	560	2800
3	21 Hari	10	100	1000	10000	100000	1000000	28,800	288	2880	28800
4	21 Hari	15	225	3375	50625	759375	11390625	34,900	523,5	7852,5	117787,5
5	21 Hari	20	400	8000	160000	3200000	64000000	41,200	824	16480	329600
		50	750	12500	221250	4062500	76406250	134,300	1747,5	27772,5	478987,5
1	28 Hari	0	0	0	0	0	0	7,380	0	0	0
2	28 Hari	5	25	125	625	3125	15625	26,200	131	655	3275
3	28 Hari	10	100	1000	10000	100000	1000000	30,300	303	3030	30300
4	28 Hari	15	225	3375	50625	759375	11390625	41,400	621	9315	139725
5	28 Hari	20	400	8000	160000	3200000	64000000	51,700	1034	20680	413600
		50	750	12500	221250	4062500	76406250	156,980	2089	33680	586900

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium dan Analisis Data (2006/2007)

Keterangan :
 x_i = Penambahan Campuran PPC dan Kapur (%)
 y_i = Nilai CBR Rata-rata (%)

Tabel 8. Kesalahan taksiran standar ($S_{y/x}$), koefisien determinasi (r^2), koefisien korelasi (r) dan pengujian signifikansi korelasi polinomial pangkat tiga pada umur (masa pemeraman) 7 Hari, 14 Hari, 21 Hari dan 28 Hari

No.	Umur (Masa Pemeraman)	$S_{y/x}$	r^2	r	t_{hitung}	(DF)	t_{tabel}	Pengujian Signifikan	
								Kriteria Pengujian	Hipotesis H_0
1	7 Hari	1,9734	0,9918	0,9959	751,8471	3	3,1820	$(-3,1820 < 751,8471 > 3,1820)$	ditolak, signifikan
2	14 Hari	0,8382	0,9988	0,9994	5025,6324	3	3,1820	$(-3,1820 < 5025,6324 > 3,1820)$	ditolak, signifikan
3	21 Hari	1,0284	0,9985	0,9992	3774,7899	3	3,1820	$(-3,1820 < 3774,7899 > 3,1820)$	ditolak, signifikan
4	28 Hari	3,5323	0,9888	0,9944	555,0106	3	3,1820	$(-3,1820 < 555,0106 > 3,1820)$	ditolak, signifikan

Sumber : Analisis Data (2007)

Tabel 9. Penambahan PPC dan Kapur Optimum (x_{opt}) dan Nilai CBR Maksimum (y_{maks})

No.	Umur (Hari)	Persamaan Garis Regresi	$\delta y / \delta x = 0$	x_1	x_2	y_1	y_2	x_{opt}	y_{maks}
1	7	$y = -0,0006x^3 - 0,0071x^2 + 1,7193x + 5,6723$	$1,7193 - 0,0142x - 0,0018x^2$	-	20	-	32,4183	20	32,4183
2	14	$y = 0,0061x^3 - 0,2227x^2 + 3,5760x + 6,1943$	$3,5760 - 0,4454x + 0,0183x^2$	-	20	-	37,4343	20	37,4343
3	21	$y = 0,0061x^3 - 0,2369x^2 + 3,9938x + 7,1171$	$3,9938 - 0,4738x + 0,0183x^2$	-	20	-	41,0331	20	41,0331
4	28	$y = 0,0093x^3 - 0,3071x^2 + 4,6457x + 7,8017$	$4,6457 - 0,6142x + 0,0279x^2$	-	20	-	52,2757	20	52,2757

Sumber : Analisis Data (2007)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pemeriksaan sifat-sifat fisik tanah asli yang dilakukan dilaboratorium menunjukkan bahwa lapisan tanah asli yang di teliti mempunyai plastisitas yang tinggi dengan nilai indeks plastisitas (PI) = 47,27% > 10% dan mempunyai daya dukung rendah dengan nilai CBR = 4,75% < 6%. Oleh karena itu tanah lempung yang berasal dari Desa Haringen Kabupaten Barito Timur tidak memenuhi syarat apabila digunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*) sehingga perlu dilakukan perbaikan tanah dasar (stabilisasi) menggunakan bahan tambah.
2. Hasil perencanaan proporsi campuran seluruhnya memenuhi syarat nilai CBR untuk lapisan tanah dasar (*subgrade*) > 6%, sehingga penambahan PPC dan Kapur dapat digunakan untuk bahan stabilisasi tanah lempung sebagai *subgrade*. Agar lebih ekonomis dan efisien bila digunakan di lapangan maka dipilih proporsi campuran PPC 2,5% dan Kapur 7,5% dari berat total campuran. Proporsi 2,5% PPC dan 7,5% Kapur digunakan dalam komposisi campuran yang direncanakan yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%.
3. Berdasarkan pemeriksaan sifat mekanik campuran, nilai CBR campuran terus meningkat dengan bertambahnya persentase penambahan PPC dan Kapur terhadap tanah asli dan bertambahnya umur

(masa pemeraman). Nilai CBR maksimum penambahan PPC dan Kapur terjadi pada kadar persentase 20% sebesar 51,7% dengan masa pemeraman 28 hari.

4. Hasil analisa varian menyatakan bahwa penggunaan campuran PPC dan Kapur sebagai bahan alternatif stabilisasi tanah dasar memberikan pengaruh yang baik terhadap nilai CBR untuk perbaikan daya dukung tanah. Pada analisa regresi polinomial pangkat tiga, nilai CBR campuran terus meningkat dengan bertambahnya persentase penambahan PPC dan Kapur terhadap tanah asli dan bertambahnya umur (masa pemeraman).

Saran

Dari hasil yang didapat pada penelitian ini, untuk penelitian selanjutnya disarankan :

1. Dilakukan penelitian dengan kadar persentase campuran yang lebih bervariasi (selain 5%, 10%, 15%, dan 20%) sehingga didapatkan kadar persentase campuran yang banyak dan lebih variatif.
2. Untuk melihat kenaikan dan penurunan nilai CBR yang lebih akurat, sebaiknya rentang waktu pemeraman lebih pendek.
3. Pengembangan pemedatan laboratorium dan CBR laboratorium dapat menggunakan cara *Modified*.
4. Dilakukan kontrol/ pemeriksaan terhadap alat-alat laboratorium yang akan digunakan sehingga
5. Penelitian berjalan lancar dan hasilnya dapat lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowless, J. E. dan J. K. Hainim (1991), *Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Chapra, S. C. dan R. P. Canale (1989), *Metode Numerik untuk Teknik*, Penerbit Universitas Indonesia (UI Press).
- Das, B. M. (1988), *Mekanika Tanah (Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Dixon, W. J. dan F. J. Massey Jr. (1991). *Pengantar Analisis Statistik*, Penerbit Gajah Mada University Press.
- Dunn, I. S., L. R. Anderson dan F. W. Kiefer (1992). *Dasar-Dasar Analisis Geoteknik*, Penerbit IKIP, Semarang Press, Semarang.
- Gandi, S. dan B. Jaya (2002), *Penuntun Praktikum Mekanika Tanah I*, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, Palangka Raya.
- Hardiyatmo, H. C. (2002), *Mekanika Tanah 1*, Gajah Mada University, Yogyakarta.
- Haryanti, S. (2005), *Analisis Stabilisasi Tanah Dasar pada Ruas Jalan Kasongan–Pendahara Dengan Menggunakan Material Lokal Berupa Campuran Abu Sekam Padi dan Pasir*, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, Palangka Raya.
- Hausmann, M. R. (1990), *Engineering Principles of Ground Modification*, McGraw-Hill Publishing Company, Singapore.
- Media Komunikasi (2004), *Penggunaan Campuran Semen untuk Design Mix Perkuatan Lapisan Subgrade pada Proyek Pembangunan Jalan Semoi-sepaku, Kalimantan Timur*.
- POTENSI (2001), *Kajian Ekperimental Stabilisasi Tanah Lunak Dengan Menggunakan Kapur Padalarang*.
- Purnomo, H. A. (2005), *Pengaruh Penggunaan PC dan PPC Terhadap Kuat Tekan Dan Daya Serap Air Beton*, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Palangkaraya, Palangkaraya.
- Soedarmo, G. D. dan S. J. E. Purnomo (1993), *Mekanika Tanah 1*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Soedarsono, D. U. (1979), *Konstruksi Jalan Raya*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta Selatan.
- Sukirman, S. (1999), *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung.
- Tamba, E. B. (2006), *Analisis Kekuatan Geser Tanah Dasar Menggunakan Portland Composite Cement (PCC) Dengan Cara Grouting Pada Ruas Jalan Petuk Liti–Kuala Kurun Kal–Teng*, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, Palangka Raya.
- Tjokrodimulyo, K. (.....), *Teknologi Beton*, Penerbit Nafiri, Yogyakarta.
- Usman, H. dan R. P. S. Akbar (1995), *Pengantar Statistika*, Penerbit Bumi Aksara, Jakarta.
- Wahyudi, C. dan Enardo (2002), *Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Peningkatan Nilai CBR Tanah Lunak (Perbaikan Tanah Lunak Pada Lokasi Jalan Palangka Raya Pulang Pisau Km 17+00)*, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Palangkaraya, Palangkaraya.
- Wesley, L. D. (1988), *Mekanika Tanah*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.