

STABILISASI DUA TAHAP MENGGUNAKAN KAPUR DAN SEMEN UNTUK MEMPERBAIKI DAYA DUKUNG TANAH EKSPANSIF (*TWO STAGES STABILIZATION USING LIME AND CEMENT FOR BEARING CAPACITY IMPROVEMENT OF EXPANSIVE SOILS*)

Nyoman Suaryana¹⁾ dan Silvester Fransisko²⁾

^{1),2)} Puslitbang Jalan dan Jembatan

^{1),2)} Jl A.H Nasution No. 264 Bandung 40294

e-mail: ¹⁾nyoman.suaryana@pusjatan.pu.go.id, ²⁾silvester.fransisko@pusjatan.pu.go.id

Diterima: 15 Maret 2018; direvisi: 21 Juni 2018; disetujui: 25 Juni 2018.

ABSTRAK

Tanah ekspansif banyak dijumpai di Indonesia dan umumnya tidak digunakan untuk bahan jalan. Pemanfaatan tanah tersebut untuk bahan jalan menjadi penting terutama pada daerah yang tidak mempunyai agregat seperti pada Trans Papua Kabupaten Merauke Ruas Tanah Merah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas stabilisasi dua tahap untuk meningkatkan sifat fisik tanah ekspansif atau tanah lempung plastisitas tinggi. Penelitian dilakukan dengan metoda eksperimental melalui pengujian di laboratorium dan analisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa stabilisasi dengan kapur dapat menurunkan sifat plastisitas material tanah, dengan kadar kapur 4% dapat menurunkan nilai indeks plastisitas dari 30% menjadi 17% setelah pemeraman 2 hari. Stabilisasi dengan kapur dapat meningkatkan nilai UCS tanah dan peningkatan cukup nyata terjadi pada jumlah pemakaian kapur 6%. Demikianpun stabilisasi dengan semen, dapat meningkatkan UCS tanah, peningkatannya semakin tinggi sesuai dengan meningkatnya persentase kadar semen. Dengan melakukan stabilisasi dua tahap menggunakan kapur dan semen, nilai UCS mengalami peningkatan dibandingkan dengan menggunakan kapur atau semen saja. Hasil pengujian menunjukkan stabilisasi dua tahap dapat meningkatkan nilai UCS dari 1,90 kg/cm² menjadi 9,05 kg/cm² dengan kadar kapur 6% pada tahap pertama, dan dengan menggunakan semen sebanyak 8% pada tahap kedua dapat meningkatkan nilai UCS dari 9,05 kg/cm² menjadi 14,55 kg/cm², sehingga dapat digunakan untuk lapis fondasi pada jalan dengan volume lalu-lintas yang rendah.

Kata Kunci: stabilisasi dua tahap, kapur, semen, indeks plastisitas, kuat tekan bebas

ABSTRACT

There are many expansive soils found in Indonesia and are generally not used for road material. Utilization of the expansive soils for road material will be important especially in the area that are difficult to find aggregates, as in Trans Papua Kabupaten Merauke Ruas Tanah Merah. This research aims to know effectiveness of two stages stabilization for improving properties of expansive soils or high plasticity clays. A research has been carried out based on experimental methods through testing in the laboratory and analysis. The results showed that stabilization with lime can reduce material plasticity properties of soil, with lime 4% can lower plasticity index value from 30% to 17% after 2 days of mellowing time. Stabilization with lime can increase the value of UCS and a significant increase happening on lime proportion of 6%. Likewise also the stabilization with cement, the value of UCS can improve, the higher its increase the higher the increasing percentage of the ratio of cement. By doing a two stage stabilization using lime and cement, the value of UCS has increased compared to using lime or cement only. The test results showed a two-stage stabilization can increase the value of UCS from 1.9 kg/cm² becomes 9.05 kg/cm² with lime 6% on the first stage, and by using cement as much as 8% on a second stage can increase the value of UCS from 9.05 kg/cm² becomes 14.55 kg/cm², so it can be used as a base layer on a road with low traffic volume.

Keywords: two stage stabilization, lime, cement, plasticity index, UCS.

PENDAHULUAN

Kualitas material umumnya ditetapkan dalam bentuk standar atau spesifikasi. Permasalahannya adalah bahwa di daerah tertentu, seperti di Papua dan Kalimantan, ketersediaan material sebagaimana ditetapkan dalam spesifikasi tersebut sangat terbatas sehingga harus mendatangkan material berkualitas dari daerah lainnya. Mendatangkan material dari daerah lain membutuhkan biaya yang sangat tinggi. Hal tersebut mendorong berbagai pihak untuk mengupayakan pemanfaatan material lokal yang secara spesifikasi yang ada tidak memenuhi persyaratan, namun secara teknis masih dapat digunakan utamanya untuk lalu-lintas rendah.

Stabilisasi merupakan salah satu metode yang dapat diterapkan untuk pemanfaatan material lokal tersebut. Stabilisasi dengan kapur dan semen telah umum digunakan. Namun pemanfaatan kedua bahan stabilisasi tersebut untuk tanah ekspansif secara berurutan, dimulai dari stabilisasi dengan kapur kemudian diperam dalam jangka waktu tertentu dan selanjutnya distabilisasi dengan semen atau dikenal dengan istilah stabilisasi dua tahap masih dalam pengkajian.

Makalah ini bertujuan mengembangkan teknologi stabilisasi untuk tanah dengan sifat plastisitas tinggi.

KAJIAN PUSTAKA

Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk pemanfaatan material tanah untuk perkerasan jalan adalah dengan melakukan stabilisasi. Berbagai jenis bahan stabilisasi telah tersedia diantaranya yang paling umum digunakan adalah kapur dan semen.

Stabilisasi dengan Kapur

Kapur adalah jenis bahan stabilisasi yang sudah sejak lama digunakan, terutama untuk tanah lempung. Jenis kapur yang umum digunakan mencakup kapur kembang (kalsium oksida, CaO) dan kapur padam (kalsium hidroksida, Ca(OH)_2). Menurut Kementerian Pekerjaan Umum (2010) reaksi pozolan terjadi dengan berlalunya waktu, maka silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) yang terkandung dalam tanah lempung dengan

kandungan mineral reaktif, akan bereaksi dengan kapur dan membentuk kalsium silikat hidrat seperti: tobermorit, kalsium aluminat hidrat $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ dan gehlenit hidrat $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Pembentukan senyawa-senyawa kimia ini berlangsung terus-menerus untuk waktu yang lama sehingga berperilaku sebagai pengikat (*binder*), dan menyebabkan tanah menjadi keras serta tidak mudah rapuh (*durable*).

Hasil-hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa stabilisasi dengan kapur menurunkan batas cair dan meningkatkan batas plastis yang selanjutnya berpengaruh terhadap penurunan indeks plastisitas tanah (Little, 1995; Mallela et al., 2004). Penurunan indeks plastisitas memfasilitasi kemudahan pelaksanaan (*workability*). Stabilisasi dengan kapur meningkatkan kadar air optimum dan mengurangi kepadatan kering maksimum tanah (C. H. Neubauer, Jr. and Thompson 1972; Little 1995). Stabilisasi dengan kapur dapat meningkatkan kekuatan tekan bebas tanah. Peningkatan kekuatan tekan bebas tersebut sebagai hasil dari reaksi flokulasi-aglomerasi dan mengarah kepada *workability* yang lebih baik, dan terus meningkat untuk jangka panjang akibat reaksi pozolan. Kekuatan tekan bebas meningkat sesuai meningkatnya waktu pemeraman (*mellowing time*) (Mallela, J., Quintus, H. V. and Smith 2004).

Tipikal kriteria minimum kekuatan tekan bebas stabilisasi tanah dengan kapur untuk lapis fondasi bawah dan fondasi atas berada pada kisaran 7 kg/cm^2 dan 14 kg/cm^2 (Little 1995).

Stabilisasi dengan Semen

Semen merupakan bahan anorganik halus yang memiliki sifat mengikat kuat secara hidrolik bila dicampur dengan air untuk menghasilkan produk yang stabil dan tahan lama. Ketika semen dicampur dengan tanah, reaksi utama yang terjadi adalah reaksi semen dengan air dalam tanah yang mengarah pada pembentukan material yang bersifat semen (*cementitious material*). Reaksi yang terjadi tidak tergantung dari sifat tanah dan untuk alasan tersebut maka semen dapat digunakan untuk menstabilkan berbagai jenis tanah, kecuali untuk tanah organik atau mengandung sulfat.

Beberapa hasil penelitian memperlihatkan bahwa tanah-tanah berbutir (*granular*) dan lempung berplastisitas rendah lebih cocok untuk distabilisasi dengan semen (Currin, Allen, and Little 1976; Prusinki 1999). Stabilisasi dengan semen menyebabkan perubahan kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum, tetapi arah perubahan tidak dapat diprediksi (ACI 1990).

Untuk tanah yang menurut USCS diklasifikasikan sebagai lanau plastisitas rendah (ML), pasir lanauan bergradasi buruk (SP-SM) dan lanau lempungan berplastisitas rendah (ML-CL), stabilisasi dengan semen mampu meningkatkan kekuatan tekan bebas, akan tetapi tegangan aksial maksimum cenderung tercapai pada persentase regangan yang semakin kecil sesuai meningkatnya persentase kadar semen yang digunakan (Muhunthan and Sariosseiri 2008). Hal tersebut menunjukkan bahwa tanah yang distabilisasi dengan semen cenderung bersifat mudah rapuh (*brittle*).

Untuk stabilisasi dengan semen, kriteria utama yang digunakan adalah kekuatan tekan bebas. Berdasarkan kriteria tersebut, Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) menetapkan persyaratan untuk lapis fondasi tanah-semen setelah *curing time* 7 hari sebesar 20 kg/cm² – 35 kg/cm² dengan kekuatan tekan bebas target 24 kg/cm². Untuk jalan lalu lintas ringan (*light traffic*), nilai kekuatan tekan bebas untuk lapis fondasi bawah dan fondasi tanah-semen masing-masing sekitar 7 kg/cm² dan 14 kg/cm² (Ingles, O.G. and Metcalf 1973).

Stabilisasi Dua Tahap Menggunakan Kapur dan Semen

Kapur umumnya digunakan untuk memperbaiki karakteristik kembang-susut dari tanah ekspansif karena mengandung mineral bersifat pozzolanic, yaitu senyawa silika dan alumina yang bereaksi dengan kapur untuk menghasilkan bahan bersifat semen berupa kalsium-silikat-hidrat (C-S-H) dan kalsium-aluminat-hidrat (C-A-H), mirip dengan produk hidrasi semen Portland. Namun, karena reaksi pozzolanic ini sangat tergantung pada waktu dan suhu, peningkatan kekuatan biasanya lambat dan terus berlanjut untuk jangka waktu yang lama. Oleh karena itu, semen biasanya ditambahkan ke

tanah yang telah dimodifikasi dengan kapur untuk meningkatkan laju peningkatan kekuatan atau yang sering dikenal dengan istilah stabilisasi dua tahap.

Lucian (2018) memperlihatkan bahwa memodifikasi tanah ekspansif yang mengandung senyawa kimia utama silika (55%), alimuna (18%) dan ferioksida (7%), dengan menambahkan kapur sebanyak 4% dapat menurunkan indeks plastisitas dari 36,7% menjadi 5,9% setelah melalui proses pemeraman 4 jam. Untuk penambahan persentase kadar kapur 6%, 8% dan 10% indeks plastisitas juga mengalami penurunan menjadi 7,9%, 9,5% dan 8,5%. Stabilisasi tanah ekspansif dengan kapur dapat meningkatkan kekuatan tekan bebas (Lucian 2018). Peningkatan kekuatan tekan bebas cenderung semakin tinggi sesuai meningkatnya persentase kadar kapur yang digunakan. Setelah melalui proses pemeraman selama 7 hari, stabilisasi dengan 4%, 6%, 8% dan 10% kapur pada tanah asli dapat meningkatkan kekuatan tekan bebas dari 1,08 kg/cm² menjadi 2,42 kg/cm², 3,58 kg/cm², 15,91 kg/cm² dan 8,06 kg/cm². Stabilisasi dengan semen pada tanah asli dengan 2%, 4% dan 6% semen (setelah pemeraman 7 hari) dapat meningkatkan kekuatan tekan bebas dari 1,08 kg/cm² menjadi 4,13 kg/cm², 8,85 kg/cm² dan 8,01 kg/cm². Sementara jika dilakukan stabilisasi dua tahap dengan 4% kapur kemudian diperam 7 hari dan dilanjutkan dengan penambahan 6% semen dan diperam kembali 7 hari, akan meningkatkan kekuatan tekan bebas menjadi 22,94 kg/cm².

Berdasarkan hasil tersebut, stabilisasi dua tahap dengan kapur dan semen sangat dianjurkan bila dihadapkan pada tanah ekspansif serupa atau termasuk kelompok lempung dengan plastisitas tinggi.

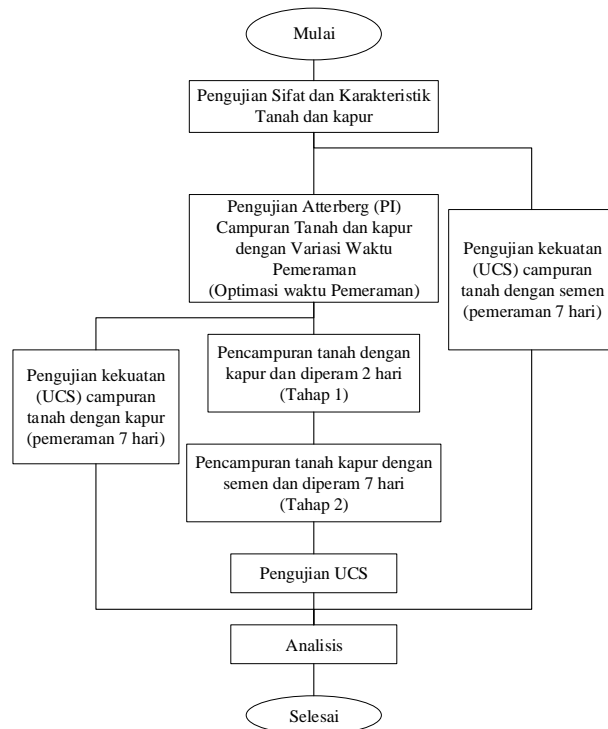
HIPOTESIS

Stabilisasi dua tahap menggunakan kapur dan semen dapat menghasilkan kekuatan tekan bebas yang lebih tinggi dari pada stabilisasi dengan kapur maupun stabilisasi dengan semen.

METODOLOGI

Penelitian stabilisasi dua tahap ini menggunakan metode eksperimen dan dibandingkan kinerjanya dengan stabilisasi tanah secara konvensional dengan kapur atau semen saja. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, pengujian klasifikasi tanah, pengkajian pengaruh penambahan kapur pada sifat fisik tanah, perancangan kepadatan dan pengujian kuat tekan bebas. Selanjutnya dilakukan analisa dengan metoda perbandingan. Bagan alir metodologi diperlihatkan pada Gambar 1.

Tanah yang digunakan adalah tanah lempung plastisitas tinggi dari Jalan Trans-Papua Kabupaten Merauke Ruas Tanah Merah – Merauke KM. 138+400 – KM. 139+800.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN ANALISIS

Karakteristik Tanah dan Kapur

Senyawa kimia material tanah ditunjukkan pada Tabel 1 dan sifat fisik material tanah ditunjukkan pada Tabel 2. Klasifikasi tanah

dilakukan sesuai dengan SNI 03-6797-2002 (AASHTO M-145-87(1990)).

Tabel 1. Hasil pengujian kimia material tanah

Unsur	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂
Jumlah,%	49,7	23,3	13,5	13,5	1,35

Material tanah tersebut dominan terdiri dari silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), ferrioksida (Fe₂O₃) dan kalsium oksida (kapur, CaO), termasuk kelompok tanah lempung plastisitas tinggi (A-7-6 sesuai AASHTO dan CH sesuai *Unified Soil Classification System (USCS)*).

Tabel 2. Sifat fisik dan klasifikasi tanah

No.	Pengujian	Hasil
1	Berat jenis	2,71
2	Batas Atterberg	
	- Batas Cair (<i>Liquid Limit, LL</i>),%	51
	- Batas Plastis (<i>Plasticity Limit, PL</i>),%	21
	- Indeks Plastisitas (<i>Plasticity Indeks, PI</i>),%	30
3	Analisis ayakan	
	- Lolos ayakan 19,0 mm (3/4 in)	100
	- Lolos ayakan 4,75 mm (No. 4)	84
	- Lolos ayakan 2,00 mm (No. 10)	69
	- Lolos ayakan 0,425 mm (No. 40)	65
	- Lolos ayakan 0,075 mm (No. 200)	52
4	Klasifikasi tanah	
	- AASHTO	A-7-6
	- USCS	CH

Dalam penelitian ini, digunakan kapur Gresik dengan kandungan CaO sebesar 67,56%, lihat Tabel 3. Sedangkan untuk semen, digunakan *portland compositte cement (PCC)* dan tidak dilakukan pengujian khusus.

Tabel 3. Hasil pengujian kimia kapur

Unsur	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O
Jumlah, %	2,98	0,20	0,54	67,6	8,15	0,28

Pengaruh Kapur pada Sifat Plastisitas

Hasil pengujian batas Atterberg stabilisasi material tanah dengan kapur ditunjukkan pada Tabel 4. Terlihat bahwa untuk pengujian yang dilakukan setelah melalui proses *mellowing time* selama 1 hari, stabilisasi dengan 4% kapur (L_4) dapat menurunkan *PI* material tanah asli (L_0) dari 30 menjadi 21. Penurunan *PI* tersebut terutama disebabkan meningkatnya batas plastis (*Plasticity Limit, PL*) dari 21 menjadi 29. Setelah melalui proses pemeraman selama 1 hari tersebut, peningkatan kadar kapur menjadi 6% (L_6), 9% (L_9) dan 12% (L_12) tidak mempunyai pengaruh terhadap penurunan *PI*, dalam arti *PI* yang dihasilkan sama dengan *PI* yang dihasilkan stabilisasi dengan 4% kapur.

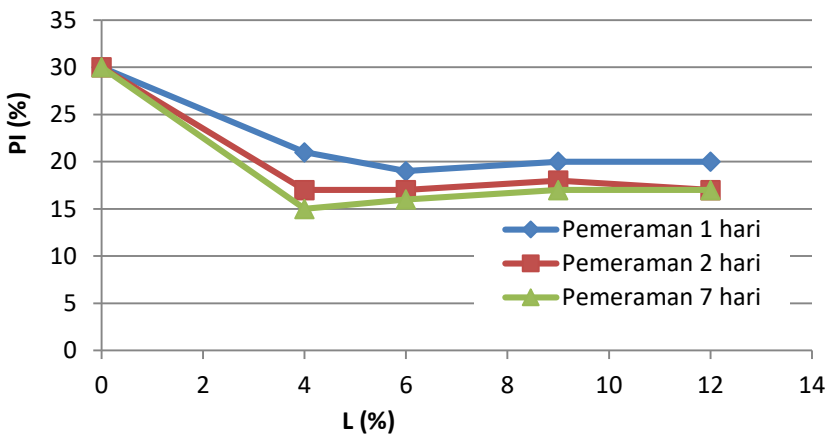
Untuk stabilisasi dengan 4% kapur, peningkatan pemeraman dari 1 hari menjadi 2 hari

dapat menurunkan *PI* dari 21 menjadi 17 dan terus menurun menjadi 15 setelah proses pemeraman 7 hari. Sedangkan untuk stabilisasi dengan 6%, 9% dan 12% kapur, peningkatan pemeraman dari 1 hari menjadi 2 hari dan 7 hari relatif tidak mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap *PI*, lihat ilustrasi pada Gambar 2.

Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa untuk stabilisasi material tanah lempung plastisitas tinggi (A-7-6/CH) dari sekitar Jalan Trans-Papua Ruas Tanah Merah – Merauke KM. 138+400 – KM. 139+800 dengan berbagai variasi kadar kapur, stabilisasi dengan 4% kapur paling efektif, dapat menurunkan *PI* material tanah, dan penurunannya cenderung semakin tinggi sesuai meningkatnya *mellowing time*.

Tabel 4. Hasil pengujian batas Atterberg

No.	Kadar kapur, L (%)	Simbol	Hasil Pengujian								
			Batas Cair, LL (%)			Batas Plastis, PL (%)			Indeks Plastis, PI (%)		
			1 hari	2 hari	7 hari	1 hari	2 hari	7 hari	1 hari	2 hari	7 hari
1	4	L_4	50	44	45	29	27	30	21	17	15
2	6	L_6	48	46	47	29	29	31	19	17	16
3	9	L_9	49	47	47	29	29	30	20	18	17
4	12	L_12	49	47	47	29	30	30	20	17	17



Gambar 2. Pengaruh kapur dan lama pemeraman terhadap nilai *PI*

Pengaruh Kapur pada Kadar Air Optimum dan Kepadatan Kering Maksimum

Perancangan kepadatan dilakukan dengan cara uji kepadatan ringan (*standard proctor*) sesuai dengan SNI 1742-2008. Karakteristik pemadatan yang dinyatakan dengan kadar air optimum (*optimum moisture content, OMC*) dan kepadatan kering maksimum (*maximum dry density, MDD*) ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengaruh Kapur pada *OMC* dan *MDD*

Simbol	L (%)	OMC (%)	MDD (kg/cm ²)
L_0	0	22,30	1,613
L_4	4	24,00	1,569
L_6	6	24,40	1,554
L_9	9	25,00	1,509
L_12	12	25,00	1,484

Stabilisasi dengan 4% kapur (L_4) menghasilkan *OMC* sebesar 24,00%, mengalami peningkatan dibandingkan dengan kadar air optimum material tanah asli (L_0), dan cenderung terus meningkat sesuai meningkatnya persentase kadar kapur yang digunakan. Sebaliknya, stabilisasi dengan kapur menurunkan *MDD* material tanah.

Karakteristik Kuat Tekan Bebas

Untuk pengujian kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength, UCS*) dilaksanakan sesuai dengan SNI 6887-2012 dan SNI 3638-2012. Hasil pengujian kuat tekan bebas ditunjukkan pada Tabel 6. Terlihat bahwa stabilisasi dengan kapur dengan prosentase 4% sampai dengan 6% dapat meningkatkan nilai kuat tekan bebas, dan selanjutnya nilai kuat tekan bebas menurun, seperti diilustrasikan pada Gambar 2.

Berdasarkan hasil tersebut, stabilisasi dengan kapur cukup efektif dan mempunyai nilai optimum, yaitu pada kadar 6% dengan nilai kuat tekan bebas 9,05 kg/cm². Walaupun demikian belum mampu menghasilkan material yang dapat digunakan sebagai material lapis fondasi, kecuali untuk lapis fondasi bawah jalan lalu lintas rendah sesuai yang direkomendasikan Little (1995).

Stabilisasi dengan 6% semen, 8% semen dan 10% semen secara berturut-turut dapat

menghasilkan *UCS* sebesar 8,60 kg/cm², 9,80 kg/cm² dan 12,19 kg/cm² atau meningkat sekitar 353%, 416% dan 579% dibandingkan dengan *UCS* material tanah asli. Sama dengan stabilisasi dengan kapur, stabilisasi dengan semen tidak dapat digunakan untuk lapis fondasi jalan menurut persyaratan spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga (2010). Pengaruh stabilisasi dengan semen diilustrasikan pada Gambar 3.

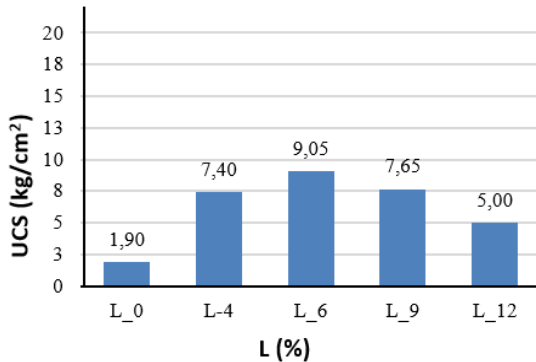
Tabel 6. *UCS*

Bahan Stabilisasi		Simbol	<i>UCS</i> (kg/cm ²)
L (%)	C (%)		
Material tanah asli			
0	0		1,90
Stabilisasi dengan kapur			
4	0	L_4	7,40
6	0	L_6	9,05
9	0	L_9	7,65
12	0	L_12	5,00
Stabilisasi dengan semen			
0	6	C_6	8,60
0	8	C_8	9,80
0	10	C_10	12,90
Stabilisasi dengan kapur dan semen			
4	4	L_4 + C_4	9,85
6	4	L_6 + C_4	10,25
9	4	L_9 + C_4	11,20
12	4	L_12 + C_4	8,45
6	6	L_6 + C_6	13,05
6	8	L_6 + C_8	14,55

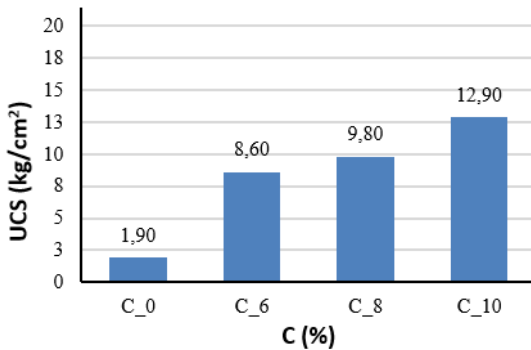
Untuk tanah yang telah distabilisasi dengan 4% – 12% kapur, penambahan 4% semen (stabilisasi tahap dua) dapat meningkatkan nilai *UCS*, seperti diperlihatkan pada Tabel 6. Nilai *UCS* akan meningkat dan mencapai puncak pada kadar kapur 9%, sebesar 11,20 kg/cm² atau meningkat sekitar 489% dibandingkan dengan *UCS* material tanah asli, dan sekitar 46% dibandingkan dengan *UCS* stabilisasi dengan kapur (tanpa semen). Pada kadar kapur 12%, nilai *UCS* setelah distabilisasi dengan semen 4% menjadi turun yaitu sebesar 8,45 kg/cm². Hal ini sekali lagi menunjukkan bahwa hubungan antara kadar kapur dan *UCS* berbentuk kurva cembung dengan nilai optimum, seperti juga diperlihatkan

pada Gambar 3. Fenomena tersebut berbeda dengan stabilisasi semen dimana nilai UCS akan naik seiring dengan meningkatnya kadar semen.

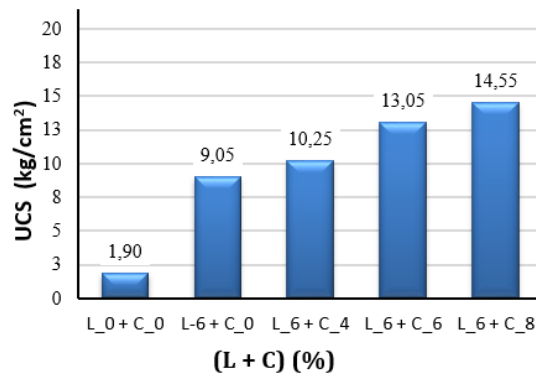
Pada tanah dengan kadar kapur yang optimum, yaitu 6% dilakukan stabilisasi tahap dua dengan menggunakan variasi kadar semen dari 4% - 8%, dan hasilnya diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 3. Pengaruh stabilisasi kapur terhadap nilai UCS



Gambar 4. Pengaruh stabilisasi semen terhadap nilai UCS



Gambar 5. Pengaruh stabilisasi kapur & semen terhadap nilai UCS

Gambar 5 memperlihatkan peningkatan nilai UCS seiring dengan ditambahkan kadar semen pada stabilisasi tahap kedua, dengan kadar kapur yang tetap 6%. Pada stabilisasi dua tahap akan diperoleh kekuatan tanah yang lebih besar dibandingkan hanya dengan memakai kapur saja atau semen saja.

PEMBAHASAN

Stabilisasi pada tanah dengan ukuran butir lolos saringan 0,075 mm lebih besar dari 25%, akan berhasil dengan semen apabila nilai indeks plastisitas lebih kecil dari 10%, dan akan berhasil dengan kapur apabila lebih besar dari 10% (Austroads 1998). Tipikal kriteria minimum kekuatan tekan bebas stabilisasi tanah dengan kapur untuk lapis fondasi bawah dan fondasi atas berada pada kisaran 7 kg/cm² dan 14 kg/cm² (Little, 1995). Sementara spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) menetapkan persyaratan stabilisasi untuk lapis fondasi tanah setelah *curing time* 7 hari sebesar 20 kg/cm² – 35 kg/cm² dengan kekuatan tekan bebas target 24 kg/cm².

Berdasarkan kondisi tersebut di atas maka untuk tanah ekspansif seperti di mearuke dengan nilai indeks plastisitas 30%, akan lebih baik apabila distabilisasi dengan menggunakan kapur, namun kekuatan yang dicapai tidak akan memenuhi persyaratan spesifikasi menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) untuk tanah yang telah distabilisasi. Alternatifnya adalah dengan menstabilisasi kembali dengan semen. Proses dua tahap stabilisasi dimulai dari kapur dan kemudian dengan semen dikenal sebagai stabilisasi dua tahap.

Hasil pengujian laboratorium menunjukkan stabilisasi pertama dengan kapur akan menurunkan nilai indeks plastisitas dan meningkatkan nilai kuat tekan bebas tanah. Nilai indeks plastisitas tanah dari 30% dapat diturunkan menjadi 17% dengan kadar kapur 4% dan pemeraman selama 2 hari. Dengan penurunan nilai indeks palstistas tersebut menjadi 17%, maka tanah tersebut mendekati ideal untuk distabilisasi dengan semen. (nilai ideal indeks plastistas < 10% menurut Austroads (1998)). Peningkatan nilai kuat tekan bebas dengan stabilisasi kapur ini adalah

dari 1,9 kg/cm² menjadi 9,05 kg/cm² dengan kadar kapur 6%.

Stabilisasi tahap kedua setelah pemeraman 2 hari dengan menggunakan semen sebanyak 8% menunjukkan peningkatan nilai kuat tekan bebas dari 9,05 kg/cm² menjadi 14,55 kg/cm².

Nilai tersebut masih di bawah persyaratan spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) untuk tanah yang telah distabilisasi. Namun demikian apabila digunakan pada ruas jalan dengan volume lalu-lintas yang rendah nilai kuat tekan bebas tersebut masih dapat diterima seperti yang dinyatakan Ingles and Metcalf (1972), nilai kekuatan tekan bebas untuk lapis fondasi bawah dan fondasi tanah-semen masing-masing 7 kg/cm² dan 14 kg/cm².

Volume lalu-lintas ruas jalan Jalan Trans-Papua Kabupaten Merauke Ruas Tanah Merah – Merauke masih dikategorikan volume lalu-lintas rendah dengan volume lebih kecil dari 500 kendaraan/hari. Dengan demikian metoda stabilisasi dua tahap ini sangat berpotensi diterapkan di wilayah tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil pengujian menunjukkan stabilisasi dua tahap dapat meningkatkan nilai kuat tekan bebas dari 1,9 kg/cm² menjadi 9,05 kg/cm² dengan kadar kapur 6% pada tahap pertama, dan dengan menggunakan semen sebanyak 8% pada tahap kedua dapat meningkatkan nilai kuat tekan bebas dari 9,05 kg/cm² menjadi 14,55 kg/cm².

Hasil tersebut menunjukkan stabilisasi dua tahap menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan hanya menggunakan semen atau hanya kapur saja.

Saran

Teknologi dua tahap ini disarankan digunakan untuk stabilisasi tanah ekspansif atau tanah yang memiliki plastisitas tinggi, dan pada ruas jalan yang mempunyai lalu lintas rendah.

Perlu dilakukan pengujian yang serupa dengan jenis tanah ekspansif yang bervariasi sehingga diperoleh pedoman stabilisasi dua tahap

yang lebih baik serta dapat diterapkan juga untuk lalu lintas sedang dan berat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami tujukan kepada Pusat Litbang Jalan dan Jembatan, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang telah memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI. 1990. "State-of-the-Art Report on Soil Cement." *ACI Material Journal* 87 (4). <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/.../715.1.pdf>.
- Austrroads. 1998. *Guide to Stabilisation in Roadworks*. Sydney: Austrroads Incorporated.
- C. H. Neubauer, Jr., And, and M. R. Thompson. 1972. "Stability Properties of Uncured Lime-Treated Fine-Grained Soils." Washington DC.
- Currin, D.D., Allen, J.J., and Little, D.N. 1976. "Validation of Soil Stabilization Index System with Manual Development. Report No. FJSRL-TR-0006." colorado.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (DJBM). 2010. *Spesifikasi Umum Bidang Jalan Dan Jembatan Tahun 2010 Revisi 3*. Indonesia.
- Ingles, O.G. and Metcalf, J.B. 1973. *Soil Stabilization: Principles and Practice*. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. *Pedoman Perencanaan Stabilisasi Tanah Dengan Bahan Serbuk Pengikat Untuk Konstruksi Jalan*. Indonesia.
- Little, D. N. 1995. *Handbook for Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime*. Dubuque: Kendall / Hunt Publishing Company. <https://www.lime.org/documents/other/Soil.pdf>.
- Lucian, C. 2018. "Effectiveness of Two-Stage Stabilization for Improvement of Geotechnical Properties of Expansive Soils." *International Journal of Engineering Research and Development*, 14 (1): 24–30. <http://www.ijerd.com/paper/vol14->

- issue1/Version-1/D140112431.pdf.
- Mallela, J., Quintus, H. V. and Smith, K. 2004. “Consideration of Lime-Stabilized Layers in Mechanistic-Empirical Pavement Design.” Champaign.
https://www.lime.org/documents/publications/free_downloads/mech-emp-pavement.pdf.
- Muhunthan, Balasingam and Farid Sariosseiri. 2008. “Interpretation of Geotechnical Properties of Cement Treated Soils.” Washington DC.
<https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/715.1.pdf>.
- Prusinki, Jan and Sankar Bhattacharja. 1999. “Effectiveness of Portland Cement and Lime in Stabilizing Clay Soils.” In *Seventh International Conference on Low-Volume Roads*, 1652:215–27. Washington DC: Transportation Research Board (TRB).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3141/1652-28>.