

Pengaruh Pemakaian *Difa Soil Stabilizer* Terhadap Daya Dukung Tanah Lempung Untuk Konstruksi Jalan

Iswan¹⁾, Muhammad Karami^{2,*}, I Wayan Diana³⁾

^{1, 2, 3)}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung, Bandar Lampung 35135

Email: iswan.1972@eng.unila.ac.id¹⁾, muhhammad.karami@eng.unila.ac.id²⁾,
iwayan.diana@eng.unila.ac.id³⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v14i2.1150>

(Received: 09 July 2024 / Revised: 15 August 2024 / Accepted: 13 September 2024)

Abstrak

Tujuan penelitian adalah melihat pengaruh penambahan bahan *difa soil stabilizer* terhadap daya dukung dan potensi pengembangan tanah lempung. Tanah lempung berasal dari Lampung Selatan, dibagi menjadi lima variasi penambahan bahan tambah: variasi 1 (tanah asli), variasi 2 (tanah asli ditambah 8% semen dan 0% *difa*), variasi 3 (tanah asli ditambah 4% semen dan 3% *difa*), variasi 4 (tanah asli ditambah 6% semen dan 3% *difa*) dan variasi 5 (tanah asli ditambah 8% semen dan 3% *difa*). Untuk pengujian CBR, setiap variasi diberikan empat perlakuan yaitu pemeraman empat hari, pemeraman tujuh hari, pemeraman 14 hari, dan pemeraman empat hari dilanjutkan perendaman empat hari. Sedangkan untuk pengujian potensi pengembangan, benda uji direndam selama empat hari sebelum dilakukan pengujian. Hasil penelitian menunjukkan penambahan *difa soil stabilizer* meningkatkan nilai CBR tanpa atau dengan rendaman untuk semua perlakuan dan menurunkan potensi pengembangan lempung. Dengan demikian dapat mengurangi ketebalan lapisan pondasi struktur perkerasan jalan.

Kata kunci: *difa soil stabilizer*, sifat mekanik, stabilisasi, tanah lempung.

Abstract

The objective of this study was to investigate the effect of *difa soil stabilizer* on the bearing capacity and swell potential of clay. The clay was divided into five variations: variation 1 (clay only), variation 2 (clay plus 8% cement and 0% *difa*), variation 3 (clay plus 4% cement and 3% *difa*), variation 4 (clay plus 6% cement and 3% *difa*) and variation 5 (clay plus 8% cement and 3% *difa*). For the CBR test, each variation was given four treatments, namely four-day curing, seven-day curing, 14-day curing, and four-day curing followed by four-day soaking. As for the swell potential test, the specimens were soaked for four days before testing. The results showed that the addition of *difa soil stabilizer* increased the CBR value without or with soaking for all treatments and decreased the clay swell potential, thereby reducing the thickness of the foundation layer of the pavement structure.

Keywords: *clay*, *difa soil stabilizer*, mechanical characteristics, stabilization

1. Latar Belakang

Tanah dasar (*subgrade*) pada struktur perkerasan jalan (*pavement*) yang berkualitas buruk menyebabkan dukungan terhadap perkerasan jalan menjadi berkurang dan dapat mengakibatkan kerusakan jalan seperti deformasi permanen dan pengaluran (*rutting*), sehingga mempengaruhi kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan (Presti, 2013). Enieb and Diab (2017) menjelaskan, sifat-sifat ideal lapisan perkerasan jalan dan tanah dasar harus memiliki kekakuan yang tinggi serta ketahanan terhadap retak dan deformasi permanen. Selanjutnya Zou et al. (2017) menyatakan tanah dasar harus memiliki kualitas seperti ketahanan terhadap deformasi permanen dan retak serta durabilitas yang tinggi. Seperti diketahui

bahwa kondisi tegangan pada elemen-elemen perkerasan jalan berubah menurut waktu saat beban roda kendaraan melintas. Variasi tegangan vertikal, tegangan horizontal dan tegangan geser pada campuran-beraspal akan selalu berulang saat beban roda kendaraan berlangsung. Mazumder et al. (2016) menjelaskan besaran tegangan yang terjadi pada lapisan perkerasan jalan dan tanah dasar adalah fungsi beban roda, tegangan kontak sepanjang geometri dan sifat mekanik setiap lapisan. Gesekan internal yang terjadi di dalam tanah dasar sangat dipengaruhi oleh material tanah dasar sebagai bahan pengikat yang memberikan pengaruh langsung terhadap deformasi permanen. Oleh sebab itu, sifat-sifat kekakuan (*stiffness*) tanah dasar dapat membantu mengurangi deformasi permanen pada lapisan campuran-beraspal. Menurut Choi (2011), material tanah dasar yang memiliki ketahanan terhadap gaya geser (*shear*) cukup tinggi akan memberikan ketahanan terhadap deformasi permanen yang cukup baik.

Proses stabilisasi tanah dasar perkerasan jalan dengan bahan tambah dilakukan untuk meningkatkan berbagai macam sifat teknik tanah dasar dan untuk mendapatkan material struktur jalan yang baik. Menurut Naeini et al. (2012), peningkatan kekuatan tanah dasar, kekakuan dan daya tahan, penurunan nilai plastisitas tanah serta potensi mengembang dan menyusut adalah keuntungan dari dilakukannya stabilitas tanah. Saat ini, banyak material yang digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah untuk memperbaiki sifat-sifat tanah seperti semen (Estabragh et al., 2013, Anggraini et al., 2015), yang meningkatkan sifat kekuatan, permeabilitas, stabilitas volume dan durabilitas. Selain itu, stabilisasi tanah dengan kapur juga dapat meningkatkan kekuatan pengikatan antar partikel (Louafi et al., 2015), menurunkan potensi pengembangan dan indeks plastisitas serta menaikkan kandungan air optimum, batas-batas penyusutan dan kekuatan (Pei et al., 2015), serta menaikkan workabilitas dan kemampuan kepadatan tanah (Abdullah and Abdullah, 2013). Selanjutnya, stabilisasi tanah menggunakan *fly ash* dapat menurunkan indeks plastisitas dan menaikkan nilai *california bearing ratio* (CBR) (Zulkifley et al., 2014) serta menaikkan kekakuan tanah berlanau dan berpasir (Radhakrishnan et al., 2014). Rupnow et al. (2015) juga menggunakan *fly ash* kelas C dan kapur untuk mengembangkan nilai koefisien lapisan struktur jalan untuk perkerasan jalan lentur. Stabilisasi tanah juga telah dilakukan dengan menggunakan fiber seperti yang dilakukan oleh Sharma et al. (2015) yang memperbaiki sifat pengembangan tanah serta menaikkan nilai kuat tekan (*unconfined compressive strength*) (Firoozi et al., 2015) dan nilai kuat geser tanah (Shukla et al., 2010). Saat ini, stabilisasi tanah menggunakan bahan tambah *difa soil stabilizer* dilakukan oleh Lapian (2019), yang melihat penggunaan *difa soil stabilizer* dapat meningkatkan kuat tekan tanah lempung laterit rata-rata 4,43%. Sedangkan Sutriatno and Marzuko (2018) melakukan pengujian tanah gambut yang distabilisasi dengan kapur dan *difa soil stabilizer*, menunjukkan pemakaian kapur 5% dan *difa soil stabilizer* 3% menghasilkan nilai CBR 10,13% (pemeraman 7 hari) dan CBR 9,76% (pemeraman 7 hari dan perendaman 4 hari).

Dalam konstruksi jalan diperlukan kekuatan tanah dasar yang lebih tinggi untuk mengakomodasi spektrum tegangan tarik (*tensile stress*) dan regangan (*strain*) yang lebih besar akibat konfigurasi beban kendaraan yang semakin kompleks. Di lokasi tempat sampel tanah lempung ini berasal, banyak sekali terjadi kerusakan jalan yang disebabkan oleh lemahnya daya dukung tanah dasar dan perubahan volume tanah saat pergantian musim. Saat musim hujan, banyak terjadi

pergerakan lapisan jalan akibat tanah dasar yang labil. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian di lokasi tersebut untuk mengidentifikasi sifat tanah dan sifat mekanik tanah serta melakukan stabilisasi menggunakan bahan tambah *difa soil stabilizer* dalam rangka memperbaiki sifat-sifat tanah dasar tersebut. Tujuan penelitian ini adalah melihat pengaruh penambahan bahan *difa soil stabilizer* terhadap daya dukung dan potensi pengembangan tanah lempung serta pengaruhnya terhadap rencana ketebalan lapisan pada konstruksi jalan.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan

Dari hasil pengujian pendahuluan dan hasil analisis berdasarkan *unified soil classification system* (USCS) jenis tanah asli yang digunakan dalam penelitian adalah tanah lempung, berkohesif dan bersifat plastisitas tinggi, dengan nilai batas cair 54,3%, batas plastisitas 29,5% dan indeks plastisitas 24,8% (Braja, 1995). Selain itu, tanah asli memiliki kadar air pada kondisi tanah tak terganggu sebesar 32,4% dan pada kondisi tanah terganggu sebesar 17,6%. Pengujian analisis saringan menunjukkan bahwa 73,0% tanah asli lolos saringan 0,075 mm. Sedangkan berdasarkan klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation* (AASHTO), tanah asli ini termasuk dalam klasifikasi A-7-6 yaitu tanah berlempung (Braja, 1995). Bahan tambah yang dicampurkan ke dalam tanah lempung tersebut di atas adalah material *difa soil stabilizer* (Gambar 1) dan semen. *Difa soil stabilizer* yang diproduksi oleh PT. Difa Mahakarya, Yogyakarta, berupa material serbuk halus yang memiliki komposisi kimia anorganik. Sedangkan semen ber-merek Semen Tiga Roda tipe I.



Gambar 1 Bahan tambah *difa soil stabilizer*

2.2 Desain dan persiapan benda uji

Selanjutnya, untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan tambah *difa soil stabilizer* yang dicampurkan ke dalam tanah lempung tersebut di atas, maka benda uji dibagi dalam lima variasi penambahan bahan tambah yaitu: variasi 1 (tanah lempung saja), variasi 2 (tanah lempung ditambah 8% semen dan 0% *difa*), variasi 3 (tanah lempung ditambah 4% semen dan 3% *difa*), variasi 4 (tanah lempung ditambah 6% semen dan 3% *difa*) dan variasi 5 (tanah lempung ditambah 8% semen dan 3% *difa*). Penggunaan semen diperlukan karena sifat material *difa soil stabilizer* adalah membantu memperkuat pengikatan antara semen dan tanah dengan cara menghilangkan lapisan tipis air yang melekat di permukaan tanah (Lapian, 2019). Selain itu, tanah lempung variasi 2 dimaksudkan untuk melihat perubahan nilai daya dukung tanah lempung yang hanya disebabkan oleh pemakaian semen sebagai bahan tambah.

Kemudian dilakukan pengujian fisik tanah dan pemadatan tanah dengan metode pemadatan standar (*standard proctor*) berdasarkan pada standar Badan Standardisasi Nasional SNI 1744-2012 (2012), menggunakan tanah terganggu (*disturbed*) yang sebelumnya telah dijemur di panas matahari agar kadar air benda

uji tanah menjadi seragam. Hasil pengujian fisik tanah dan pemadatan, disajikan pada Tabel 1. Dari pengujian pemadatan diperoleh kadar air optimum (KAO) dan volume kering optimum ($\gamma_{d \max}$) untuk masing-masing variasi campuran, yang selanjutnya akan digunakan sebagai dasar penambahan air dalam proses pemadatan tanah untuk setiap variasi.

Untuk pengujian CBR, benda uji berbentuk silinder berdiameter 152,4 mm dan tinggi 177,8 mm (Gambar 2) yang sudah dibuat dalam berbagai variasi penambahan semen dan *difa soil stabilizer* tersebut di atas diperlakukan dalam empat perlakuan pemeraman dan perendaman sebagai berikut: perlakuan 1 yaitu pemeraman selama empat hari, perlakuan 2 yaitu pemeraman selama tujuh hari, perlakuan 3 yaitu pemeraman selama 14 hari dan perlakuan 4 yaitu pemeraman selama empat hari dilanjutkan dengan perendaman selama empat hari (kondisi rendaman/*soaked*). Perlakuan 4 dilakukan untuk melihat nilai CBR rendaman sebagai syarat dalam perencanaan struktur lapisan perkerasan jalan. Untuk pengujian CBR, setiap variasi dan perlakuan dibuat tiga benda uji, sehingga total benda uji CBR berjumlah 60 benda uji.

Tabel 1 Sifat fisik tanah dalam berbagai variasi penambahan *difa soil stabilizer*

No	Pengujian	Variasi				
		1	2	3	4	5
1.	Berat jenis	2,59	2,60	2,61	2,66	2,69
2.	Batas cair (%)	54,3	53,8	51,3	50,8	49,4
3.	Batas plastis (%)	29,5	29,3	30,3	31,5	32,4
4.	Indeks plastisitas (%)	24,8	24,5	20,9	18,5	17,0
5.	Berat jenis	2,56	2,60	2,61	2,66	2,69
6.	Kadar air optimum (%)	22,5	22,0	21,5	21,0	20,3
7.	Berat volume kering (gr/cm^3)	1,52	1,56	1,61	1,63	1,67



Gambar 2 Benda uji untuk pengujian CBR, (a) proses pembuatan benda uji, dan (b) benda uji yang sedang diperam

Selanjutnya, untuk pengujian pengembangan tanah (*swelling*) berdasar pada Badan Standardisasi Nasional (2018), dibuat tiga benda uji berbentuk silinder berdiameter 152,4 mm dan tinggi 116,43 mm (Gambar 3) untuk masing-masing variasi, sehingga total benda uji untuk pengujian pengembangan tanah berjumlah 15 benda uji. Kemudian benda uji ini diperam selama empat hari dan direndam selama empat hari (96 jam) sebelum dilakukan pengujian.



Gambar 3 Benda uji untuk pengujian pengembangan tanah, (a) benda uji selesai dipadatkan, (b) proses pemeraman

2.3 Karakterisasi daya dukung dan pengembangan tanah

Pengujian CBR dilaksanakan untuk mengetahui nilai kekuatan tanah lempung asli maupun tanah lempung yang sudah distabilisasi dengan bahan semen dan *difa soil stabilizer* dalam berbagai variasi tersebut di atas, berdasarkan pada standar Badan Standardisasi Nasional SNI 1744:2012 (2012) (Gambar 4). Selanjutnya, Gambar 5 menyajikan proses pengujian pengembangan tanah. Pembacaan akhir arloji saat pengujian pengembangan tanah dilakukan setelah perendaman selama 96 jam, yang dinyatakan sebagai persentase terhadap tinggi benda uji awal.



Gambar 4 Proses pengujian CBR

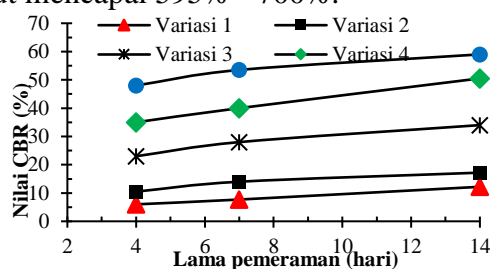


Gambar 5 Proses pengujian pengembangan tanah

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh pemakaian semen dan *difa soil stabilizer*

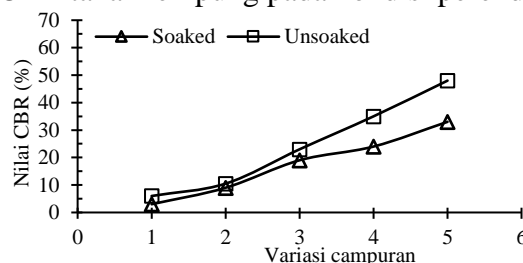
Hasil pengujian menunjukkan adanya perubahan pada sifat mekanik tanah lempung asli setelah mengalami stabilisasi penambahan semen dan *difa soil stabilizer*, seperti disajikan pada Gambar 6. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pemakaian semen dan *difa soil stabilizer* dapat menaikkan nilai CBR tanah lempung dan semakin lama waktu pemeraman menyebabkan nilai CBR tanah lempung semakin tinggi. Namun demikian, pengaruh pemakaian *difa soil stabilizer* dalam menaikkan nilai CBR tanah lempung lebih tinggi bila dibandingkan dengan pemakaian semen. Hal ini bisa terlihat dari perbandingan nilai CBR pada tanah lempung variasi 1, variasi 2 dan variasi 5. Membandingkan nilai CBR antara variasi 1 dan variasi 2 dalam tiga perlakuan pemeraman, terjadi kenaikan nilai CBR tanah lempung sebesar 41% sampai 82%. Namun, bila ditambahkan *difa soil stabilizer* sebesar 3% (seperti pada variasi 5) maka kenaikan nilai CBR tanah lempung dalam tiga perlakuan tersebut mencapai 595% - 700%.



Gambar 6 Nilai CBR tanah lempung dalam berbagai variasi bahan tambah semen dan *difa soil stabilizer* dalam kondisi tidak terendam

Pengaruh pemakaian *difa soil stabilizer* juga terlihat dari perbandingan nilai CBR tanah lempung variasi 2 dengan variasi 3 dan variasi 4. Penambahan *difa soil stabilizer* sebesar 3% pada variasi 3 dapat menaikkan nilai CBR sebesar 98% sampai 119%. Demikian juga dengan penambahan *difa soil stabilizer* pada variasi 4 menaikkan nilai CBR sebesar 186% - 233%, walaupun pemakaian semen mengalami penurunan dari 8% pada variasi 2 menjadi 4% pada variasi 3 dan penurunan dari 8% pada variasi 2 menjadi 6% pada variasi 4.

Selanjutnya Gambar 7 menunjukkan nilai CBR untuk semua variasi benda uji, dalam kondisi tidak terendam (*unsoaked*) dan rendaman (*soaked*). Gambar 7 menunjukkan penurunan nilai CBR untuk semua variasi benda uji setelah dilakukan pemeraman selama 4 hari dan kemudian dilakukan perendaman selama empat hari, dan terlihat bahwa semua variasi benda uji mengalami penurunan nilai CBR. Perlakuan perendaman menurunkan nilai CBR tanah lempung yang disebabkan oleh air yang mampu masuk dan mengisi rongga udara pada tanah sehingga tanah menjadi jenuh air dan mengurangi gesekan antar butiran tanah asli. Sehingga, bila terdapat gaya yang bekerja pada butiran tanah tersebut maka gaya gesek antar butiran tanah menjadi berkurang. Nilai CBR tanah lempung variasi 2 (*soaked*) sebesar 9,0% hampir mendekati nilai CBR tanah lempung variasi 1 (*unsoaked*) sebesar 6%. Namun setelah tanah lempung ditambah 3% *difa soil stabilizer* yang terdapat pada tanah lempung variasi 3, variasi 4 dan variasi 5, maka nilai CBR tanah lempung dalam kondisi rendaman (*soaked*), masih memiliki nilai CBR 216% - 450% lebih tinggi dibandingkan dengan nilai CBR tanah lempung variasi 1 tanpa rendaman. Tabel 1 menunjukkan pemakaian bahan *difa soil stabilizer* dapat meningkatkan berat volume kering dan berat jenis tanah lempung serta menurunkan kadar air optimum. Dengan demikian dapat mengurangi kemampuan air untuk masuk ke pori-pori tanah dan menjaga stabilitas tanah, sehingga dapat meningkatkan nilai CBR tanah lempung pada kondisi perendaman selama 4 hari.

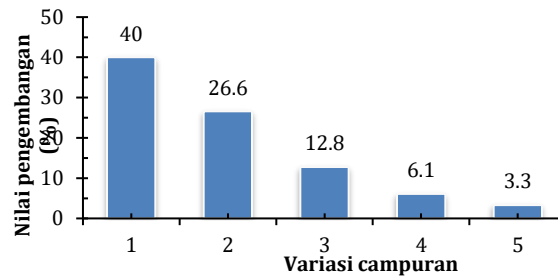


Gambar 7 Nilai CBR tanah lempung yang diperam selama 4 hari dan dilanjutkan dengan perendaman selama 4 hari

Tanah dasar yang sering memiliki masalah saat musim hujan, yaitu nilai CBR mengalami penurunan secara drastis, akan tetap solid dengan pemakaian *difa soil stabilizer* yang berfungsi mengoptimalkan stabilisasi tanah dan semen. Mekanisme kerja stabilisasi tanah dengan menggunakan *difa soil stabilizer* adalah melarutkan asam humus pada permukaan butiran tanah, mengakibatkan semen dapat mengikat kuat pada partikel tanah (Srihandayani et al., 2019).

Selanjutnya, Gambar 8 menyajikan pengembangan tanah (*swelling*) untuk tanah lempung dalam berbagai variasi penambahan bahan tambah semen dan *difa soil stabilizer*. Penambahan semen sebagai bahan tambah pada variasi 2 dapat menurunkan potensi pengembangan tanah lempung sebesar 33%, sedangkan bila ditambahkan *difa soil stabilizer* seperti pada variasi 5, maka penurunan

pengembangan tanah dapat mencapai 91% bila dibandingkan dengan tanah lempung tanpa bahan tambah (variasi 1). Pemakaian *diffa soil stabilizer* sebesar 3% pada tanah lempung pada variasi 3 dan variasi 4 dapat menurunkan potensi pengembangan tanah masing-masing sebesar 68% dan 84% bila dibandingkan dengan variasi 1 walaupun persentasi semen berkurang masing-masing menjadi 4% dan 6%. Menurut Hardiyatmo (2018) yang melakukan klasifikasi tanah berdasarkan persentase pengembangan tanah, maka klasifikasi potensi pengembangan tanah lempung variasi 1 termasuk sangat tinggi, variasi 2 masuk dalam klasifikasi tinggi, dan variasi 3 masuk dalam klasifikasi sedang, sedangkan tanah lempung variasi 4 dan variasi 5 masuk dalam klasifikasi rendah.



Gambar 8 Nilai pengembangan (*swelling*) tanah lempung dalam berbagai variasi bahan tambah

3.2 Tebal Lapisan Perkerasan Jalan

Berdasarkan hasil pengujian yang disajikan pada Gambar 7 dan Tabel 1, maka tanah lempung variasi 1 dapat dikategorikan sebagai tanah lunak karena memiliki nilai CBR rendaman 3% dan indeks plastisitas (IP) 24,8% dan juga sebagai tanah ekspansif karena memiliki nilai pengembangan 40% berdasarkan pada Kementerian Pekerjaan Umum (2017). Berdasarkan manual tersebut, bila didalam perencanaan tebal struktur perkerasan jalan terdapat tanah dasar seperti tanah lempung variasi 1, maka diperlukan lapisan penopang di atas tanah lempung tersebut setebal 1.000 mm untuk beban kurang dari 2 juta ESA (Tabel 2) atau 1.200 mm untuk beban lebih dari 4 juta ESA (Tabel 3), kemudian di atas lapisan penopang tersebut ditambah lagi lapisan material pilihan dengan nilai CBR rendaman $\geq 6\%$ setebal 175 mm (untuk beban kurang dari 2 juta ESA) atau 350 mm (untuk beban lebih dari 4 juta ESA) untuk meningkatkan menjadi setara CBR 6%.

Berdasarkan (Umum, 2017), tanah lempung variasi 2 masih dikategorikan sebagai tanah lunak, karena memiliki IP mendekati 25%, yaitu 24,5%, walaupun memiliki nilai CBR rendaman 9%. Selain itu tanah lempung variasi 2 masih dikategorikan sebagai tanah ekspansif karena memiliki nilai pengembangan 26,6%. Sedangkan untuk tanah lempung variasi 3 dan variasi 4 tidak lagi dimasukkan sebagai tanah lunak karena memiliki nilai CBR rendaman masing-masing sebesar 19% dan 24%, dan nilai IP masing-masing sebesar 20,9% dan 18,5%, namun masih dikategorikan sebagai tanah ekspansif karena memiliki nilai pengembangan tanah masing-masing sebesar 12,8% dan 6,1%. Tebal lapisan struktur perkerasan jalan yang memiliki tanah dasar seperti tanah lempung variasi 2 masih sama seperti tanah lempung variasi 1, baik untuk beban kurang dari 2 juta ESA maupun beban lebih dari 4 juta ESA. Untuk lapisan perkerasan jalan yang memiliki tanah dasar seperti tanah lempung variasi 3 atau variasi 4, maka tidak memerlukan lagi lapisan penopang setebal 1.000 mm (Tabel 2) atau 1.200 mm (Tabel 3). Sedangkan tebal lapisan material pilihan menjadi 400 mm (Tabel 2) atau 600 mm (Tabel 3).

Bila tanah lempung variasi 5 yang diaplikasikan sebagai tanah dasar pada konstruksi jalan, maka tidak diperlukan lagi lapisan penopang dan lapisan material pilihan untuk semua nilai beban sumbu (ESA) sebagai upaya perbaikan struktur pondasi, karena tanah lempung variasi 5 memiliki CBR rendaman 33% (batas minimum 6%) dan IP 17,0% (batas maksimum 25%). Selain itu, tanah lempung variasi 5 ini menjadi tanah yang non-ekspansif karena memiliki potensi pemuaian 3,3% (batas maksimum 5%). Penerapan tanah lempung variasi 5 sebagai tanah dasar pada konstruksi jalan dapat mengurangi tebal lapis pondasi agregat klas A sampai 50% ketebalan, yaitu dari 400 mm menjadi 200 mm untuk beban sumbu kurang dari 2 juta ESA (Tabel 2) atau dari 300 mm menjadi 150 mm untuk beban sumbu lebih dari 4 juta ESA (Tabel 3). Secara lengkap susunan dan tebal lapisan perkerasan jalan (dalam mm) untuk masing-masing beban sumbu dan variasi tanah dasar, disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Tebal lapisan (dalam mm) perkerasan lentur menggunakan lapis pondasi berbutir untuk beban kurang dari 2 juta ESA

No	Jenis Lapisan	Variasi tanah lempung				
		1	2	3	4	5
1.	AC – WC	40	40	40	40	40
2.	AC – BC	60	60	60	60	60
3.	AC – Base	0	0	0	0	0
4.	LPA klas A	400	400	400	400	200
5.	Tanah stabilisasi semen atau material pilihan	175	175	400	400	0
6.	Lapisan penopang	1000	1000	0	0	0

Tabel 3 Tebal lapisan (dalam mm) perkerasan lentur menggunakan lapis pondasi berbutir untuk beban lebih dari 4 juta ESA¹⁾

No	Jenis Lapisan	Variasi tanah lempung				
		1	2	3	4	5
1.	AC – WC	40	40	40	40	40
2.	AC – BC	60	60	60	60	60
3.	AC – Base	80	80	80	80	80
4.	LPA klas A	300	300	300	300	150
5.	Tanah stabilisasi semen atau material pilihan	350	350	600	600	0
6.	Lapisan penopang	1200	1200	0	0	0

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Seiring dengan kemajuan teknologi, saat ini telah diperkenalkan bahan *difa soil stabilizer* sebagai bahan tambah untuk tanah dasar, dan dalam penelitian ini pemakaian *difa soil stabilizer* dapat meningkatkan kepadatan, daya tahan, dan kekuatan tanah dasar yang berjenis tanah lempung. Pada saat yang sama, pengujian berbasis kinerja ini telah membuktikan efektivitas bahan *difa soil stabilizer* dalam menurunkan tingkat pengembangan tanah lempung (*swell*) sehingga dapat menurunkan perubahan volume tanah lempung akibat perubahan kadar air. Apalagi, saat ini akibat adanya perubahan iklim global dapat mempengaruhi daya tahan dan stabilitas tanah dasar. Selanjutnya, penerapan bahan *difa soil stabilizer* pada tanah dasar yang menjadi dasar dari struktur perkerasan jalan akan memberikan dampak yang sangat baik terhadap struktur jalan, karena struktur perkerasan jalan menjadi

lebih stabil, memiliki daya tahan yang lebih tinggi serta jenis lapisan dan tebal lapisan tertentu pada struktur perkerasan jalan dapat dikurangi.

4.2 Saran

Hasil penelitian ini dapat dilanjutkan ke tahap implementasi pekerjaan konstruksi jalan di lapangan terutama di lokasi yang sering terjadi kerusakan akibat daya dukung tanah dasar yang lemah. Selain itu perlu dilakukan penelitian permeabilitas terhadap tanah lempung yang distabilisasi dengan *difa soil stabilizer* sehingga dapat diimpelentasikan untuk pekerjaan lain selain pekerjaan konstruksi jalan.

Daftar Kepustakaan

- Abdullah, N., Abdullah, R., 2013. Effect of Humic Acid on Microstructure of Lime-Treated Organic Clay. *Int J Eng*, 2, 1827-1833
- Anggraini, V., Asadi, A., Huat, B. B., Nahazanan, H., 2015. Effects of Coir Fibers on Tensile and Compressive Strength of Lime Treated Soft Soil. *Measurement*, 59, 372-381.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.09.059>
- Badan Standardisasi Nasional, 2012. Metode Uji CBR Laboratorium SNI 1744-2012. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional, 2018. Metode Uji untuk Menentukan Tanah Ekspansif. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Braja, M.D., 1995. Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik). Jakarta: Erlangga.
- Choi, Y. K., 2011. Visco-Elastic Analysis of the Elastomeric Binder Shear Resistance in Relation to Asphalt Rutting. *Road Materials and Pavement Design*, 12, 767-794. <https://doi.org/10.1080/14680629.2011.9713894>
- Enieb, M., Diab, A., 2017. Characteristics of Asphalt Binder and Mixture Containing Nanosilica. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10, 148-157. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.11.009>
- Estabragh, A., Bordbar, A., Javadi, A., 2013. A Study on the Mechanical Behavior of a Fiber-Clay Composite with Natural Fiber. *Geotechnical and Geological Engineering*, 31, 501-510. <https://doi.org/10.1007/s10706-012-9602-6>
- Firoozi, A. A., Taha, M. R., Firoozi, A. A., Khan, T. A., 2015. Effect of Ultrasonic Treatment on Clay Microfabric Evaluation by Atomic Force Microscopy. *Measurement*, 66, 244-252.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.02.033>
- Hardiyatmo, H.C., 2018. Tanah Ekspansif: Permasalahan dan Penanganan, Gadjah Mada University Press.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2017. Manual Perkerasan Jalan. Jakarta.
- Lapian, F. E., 2019. Penggunaan Metode Dua Tahap untuk Menentukan Kadar Optimum Penambahan Kapur Lapis Pondasi Jalan (Studi Kasus: Ruas Jalan Bupul-Erambu Sota Kabupaten Merauke). Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) X, 5 Nopember 2019, Bandung, Indonesia.

- Louafi, B., Hadeif, B., Bahar, R., 2015. Improvement of Geotechnical Characteristics of Clay Soils Using Lime. *Advanced Materials Research, Trans Tech Publ*, 315-319.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1105.315>
- Mazumder, M., Sriraman, V., Kim, H. H., Lee, S.J., 2016. Quantifying the Environmental Burdens of The Hot Mix Asphalt (HMA) Pavements and the Production of Warm Mix Asphalt (WMA). *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9, 190-201.
<https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2016.06.001>
- Naeini, S. A., Naderinia, B., Izadi, E., 2012. Unconfined Compressive Strength of Clayey Soils Stabilized with Waterborne Polymer. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16, 943-949. <https://doi.org/10.1007/s12205-012-1388-9>.
- Pei, X., Zhang, F., Wu, W., Liang, S., 2015. Physicochemical and Index Properties of Loess Stabilized with Lime and Fly Ash Piles. *Applied Clay Science*, 114, 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.05.007>
- Presti, D. L., 2013. Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for Road Asphalt Mixtures: A Literature Review. *Construction and Building Materials*, 49, 863-881. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.007>
- Radhakrishnan, G., Kumar, M. A., Raju, G., 2014. Swelling Properties of Expansive Soils Treated with Chemicals and Fly Ash. *Am J Eng Res*, 3, 245-250.
- Rupnow, T. D., Franklin, B., White, D. J., 2015. Class C Fly Ash Stabilization of Recycled Asphalt Pavement and Soil - a Case Study. *Proc., 2015 World of Coal Ash Conf.*
- Sharma, V., Vinayak, H. K., Marwaha, B. M., 2015. Enhancing Compressive Strength of Soil Using Natural Fibers. *Construction and Building Materials*, 93, 943-949. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.065>
- Shukla, S., Sivakugan, N., Singh, A., 2010. Analytical Model for Fiber-Reinforced Granular Soils under High Confining Stresses. *Journal of materials in civil engineering*, 22, 935-942.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000081](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000081)
- Srihandayani, S., Abrar, A., Indrawan, S., 2019. Stabilisasi Berbasis Ion Exchange untuk Meningkatkan Daya Dukung Subgrade di Kota Dumai. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 5, 63-69. <https://doi.org/10.31849/siklus.v5i2.3236>
- Sutriatno, A., Marzuko, A., 2018. Pengaruh Stabilisasi Kimiawi pada Tanah Gambut di Daerah Rawa Pening Dengan Bahan Aditif Difa Dan Kapur Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR).
- Zou, G., Xu, J., Wu, C., 2017. Evaluation of Factors that Affect Rutting Resistance of Asphalt Mixes by Orthogonal Experiment Design. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10, 282-288.
<https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.03.008>
- Zulkifley, M. T. M., Ng, T. F., Raj, J. K., Hashim, R., Bakar, A. F. A., Paramanthan, S., Ashraf, M. A., 2014. A Review of the Stabilization of Tropical Lowland Peats. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73, 733-746.
<https://doi.org/10.1007/s10064-013-0549-5>.