

Perubahan Nilai Daya Dukung Tanah Lempung Lunak akibat Stabilisasi Tanah menggunakan Metode *Deep Soil Mixing* Pola *Panels* dengan Kapur 8%

Salsabila Atalia Sadil¹⁾

Iswan²⁾

Aminudin Syah²⁾

Abstract

Palembapang, South Lampung requires proper road construction for public transportation needs. However, the road conditions in the village were found heavily damaged because of poor soil conditions. Therefore, soil stabilization must be carried out. The method of this study is deep soil mixing (DSM), which is soil improvement method by mixing additional materials in the field (in-site). This method is more affordable because they use their soil as their aggregate and reduce the transportation budget because of stuff supply.

The purpose of this study is to determine the change of soil load-bearing capacity due to the variation of distance and the diameter of the DSM stabilization column on soft clay soil and soft clay soil with 8% lime.

This study shows that the stabilization of soft clay soil with 8% lime has increased its load-bearing capacity (q_u) from 10.368 kg/cm² to 14.69 kg/cm². The increase of soil load-bearing capacity with the stabilization of the DSM column is proportional to the volume of soil improvement. The largest increase of the soil load-bearing capacity occurred in 1D columns range and 3.75 cm diameter. The distance variation also gives a more significant change compared to the variation of diameter. The most efficient distance and diameter are at the variation of the distance of 1.25D columns range and 2.5 cm diameter.

Keywords: Soft clay, stabilazation, lime, Deep Soil Mixing, bearing capacity

Abstrak

Desa Palembang, Lampung Selatan membutuhkan konstruksi jalan raya yang layak untuk kebutuhan transportasi masyarakat. Namun, jalan raya pada desa tersebut banyak ditemukan kerusakan yang disebabkan oleh kondisi tanah yang buruk. Oleh karena itu, harus dilakukan stabilisasi tanah. Metode yang digunakan adalah metode deep soil mixing (DSM) yaitu teknik perbaikan tanah dengan pencampuran bahan tambah di lapangan. Teknik ini menggunakan tanah yang ada sebagai agregat sehingga ekonomis, transportasi yang diperlukan berkurang karena permintaan bahan baku rendah.

Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui perubahan daya dukung tanah akibat pengaruh variasi jarak dan diameter kolom stabilisasi DSM terhadap tanah lempung lunak dan tanah lempung lunak yang diberi campuran kapur sebanyak 8%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah lempung lunak yang dilakukan stabilisasi menggunakan kapur 8% dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah (q_u) dari 10,368 kg/cm² menjadi 14,69 kg/cm². Peningkatan nilai daya dukung tanah dengan stabilisasi kolom DSM berbanding lurus dengan rasio volume perbaikan. Peningkatan daya dukung tanah (q_u) paling besar terjadi pada jarak antar kolom 1D dan diameter 3,75cm Variasi jarak juga memberikan perubahan lebih signifikan dibandingkan dengan variasi diameter. Jarak dan diameter paling efisien ada pada variasi jarak 1,25D dan diameter 2,5cm.

Kata kunci : lempung lunak, stabilisasi tanah, kapur, deep soil mixing, daya dukung tanah.

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Surel: salsaatalia@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Desa Palembang adalah desa yang terletak di Kabupaten Lampung Selatan, dimana pada lokasi ini membutuhkan konstruksi jalan raya yang layak untuk pemenuhan kebutuhan transportasi masyarakat. Namun kondisi jalan raya pada desa tersebut cukup memprihatinkan, banyak ditemukan kerusakan jalan seperti jalan berlubang dan jalan yang retak. Hal ini dapat disebabkan oleh kondisi tanah yang buruk. Oleh karena itu, untuk memperbaiki tanah tersebut salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan stabilisasi tanah.

Stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan cara mencampurkan tanah dengan suatu bahan tertentu yang bertujuan untuk peningkatan dan perbaikan sifat-sifat teknis dari tanah itu sendiri. Dalam proses stabilisasi ini, tanah dicampur dengan bahan aditif yang bertujuan agar dapat meningkatkan serta memperbaiki sifat tanah. Bahan aditif yang digunakan pada penelitian ini adalah kapur.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *deep soil mixing* (DSM). DSM merupakan salah satu teknik perbaikan tanah dengan pencampuran *in-situ* atau di lapangan. Berdasarkan penelitian terdahulu, Aditya (2017) membuktikan bahwa stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan kapur 8% dapat meningkatkan nilai tegangan tanah serta stabilisasi dengan kolom DSM juga dapat memperkecil nilai pengembangan yang terjadi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan perilaku tanah dan perubahan daya dukung tanah akibat pengaruh variasi jarak dan diameter kolom stabilisasi DSM terhadap tanah lempung lunak di Lampung. Proses stabilisasi tanah lempung lunak ini menggunakan kadar kapur 8% dengan metode *deep soil mixing* (DSM) tipe *panels* berdiameter 3,75cm; 2,5cm; dan 1,25cm.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Stabilisasi Tanah dengan Kapur

Menurut Rangaesa (2016) ada beberapa dampak yang terjadi pada tanah asli di lokasi yang sama setelah dilakukan stabilisasi dengan pencampuran dengan kapur yaitu nilai batas cair (*LL*) dan indeks plastisitas (*PI*) mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar kapur, nilai batas plastis (*PL*) dan batas susut (*SL*) mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kadar kapur, mengalami kenaikan CBR *soaked* dan *unsoaked* tertinggi pada penambahan kadar kapur 8%, dan semakin banyak kadar kapur yang ditambahkan semakin kecil *swelling* yang terjadi.

2.2 Deep Soil Mixing

Metode *Deep Soil Mixing* (DSM) adalah metode perbaikan tanah yang pertama kali dikembangkan di Jepang dan Scandinavia. Perbaikan tanah dengan metode ini umumnya dilakukan di lapangan langsung (*in situ soil treatment technology*) dimana tanah dicampur dengan bahan reagen semen dan/atau bahan lainnya. Proses stabilisasi menggunakan campuran material tersebut dapat dilakukan dalam bentuk kering (*dry method*) atau bentuk cair (*slurry*). Tujuan utama pelaksanaan *Deep Soil Mixing* adalah untuk meningkatkan daya dukung tanah, mengurangi penurunan yang terjadi pada tanah lempung lunak.

Deep Soil Mixing dilakukan dengan mencampurkan zat aditif ke dalam tanah yang akan diperbaiki yang sebelumnya tanah tersebut telah dibuat lubang-lubang kolom dengan konfigurasi kedalaman dan diameter tertentu. Pada pelaksanaannya, penempatan kolom-kolom DSM diterapkan dengan beberapa jenis konfigurasi seperti *single panels*, *grid types*, *triangular*, *square pattern*, *ring*, dan sebagainya. Dalam proses pencampuran zat aditif dengan tanah, air memegang peran penting terhadap reaksi kimia yang akan terjadi pada campuran agar tercipta tanah stabilisasi yang bagus dan efisien. Zat aditif yang umumnya digunakan adalah kapur, *gypsum*, bentonite, *fly ash*, semen, dan lain-lain.

2.3 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah dalam menahan beban struktur/bangunan yang disalurkan melalui pondasi. Dalam tahap pembangunan suatu struktur bangunan dibutuhkan data besaran daya dukung tanah dalam menerima beban. Daya dukung tanah perlu diketahui untuk menghitung dan merencanakan dimensi podasi yang dapat mendukung beban struktur yang akan dibangun. Menurut Terzaghi (1943) daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) = q_u merupakan beban maksimum per satuan luas dimana tanah masih dapat memikul beban tanpa mengalami keruntuhan.

$$q_u = \frac{P_u}{A} \quad (1)$$

Hasil akhir yang didapat dari proses perbaikan tanah dengan metode DSM ini adalah kenaikan daya dukung tanah yang diperbaiki dibandingkan dengan tanah asli. Kenaikan daya dukung tanah dapat diperhitungkan dengan menggunakan rumus *Bearing Capacity Improvement (BCI)*

$$BCI_u = \frac{q_u(I)}{q_u} \quad (2)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan ini dilakukan untuk mengetahui khasifikasi tanah, pengujian yang dilakukan antara lain yaitu uji kadar air, uji berat jenis, uji berat volume, uji analisis saringan, uji hidrometer, uji batas-batas *atterberg* dan uji pemadatan standar.

3.2 Uji Pembebanan Tanah

Uji pembebanan dilakukan untuk mengetahui daya dukung. Dengan tahapan sample di keringkan sampai dengan lolos ayakan No.4 yang kemudian diberikan kadar air optimum (OMC) dari hasil uji pemadatan. Pembuatan model tanah dalam box dilakukan dengan berbagai variasi yaitu tanah asli dan tanah dengan stabilisasi DSM variasi jarak (L) 1D, 1,25D, dan 1,5D dan dengan variasi diameter (D) 3,75cm, 2,5cm dan 1,25cm dilakukan pada box plat besi dengan ukuran (30x30x30)cm yang kemudian di *curing* 3 hari.

Selanjutnya, untuk pembacaan hasil uji pembebanan dengan menggunakan alat uji kuat lentur untuk membaca beban yang terjadi dan dengan *dial gauge* untuk mengetahui penurunan. Berhentinya pembacaan saat nilai beban pada dial bertambah sedikit sampai hampir tidak bertambah tetapi penurunan terus terjadi.

Tabel 1. Rancangan penelitian DSM dengan variasi jarak dan diameter kolom.

Jenis Sampel	Diameter Kolom (D) (cm)	Jarak Kolom (L) (cm)
Tanah Asli yang dipadatkan	-	-
		1D (3,75)
	3,75	1,25D (4,7)
		1,5D (5,6)
Tanah Asli + Kolom DSM 8% Kapur		1D (2,5)
	2,5	1,25D (3,1)
		1,5D (3,8)
		1D (1,25)
	1,25	1,25D (1,6)
	1,5D (1,9)	

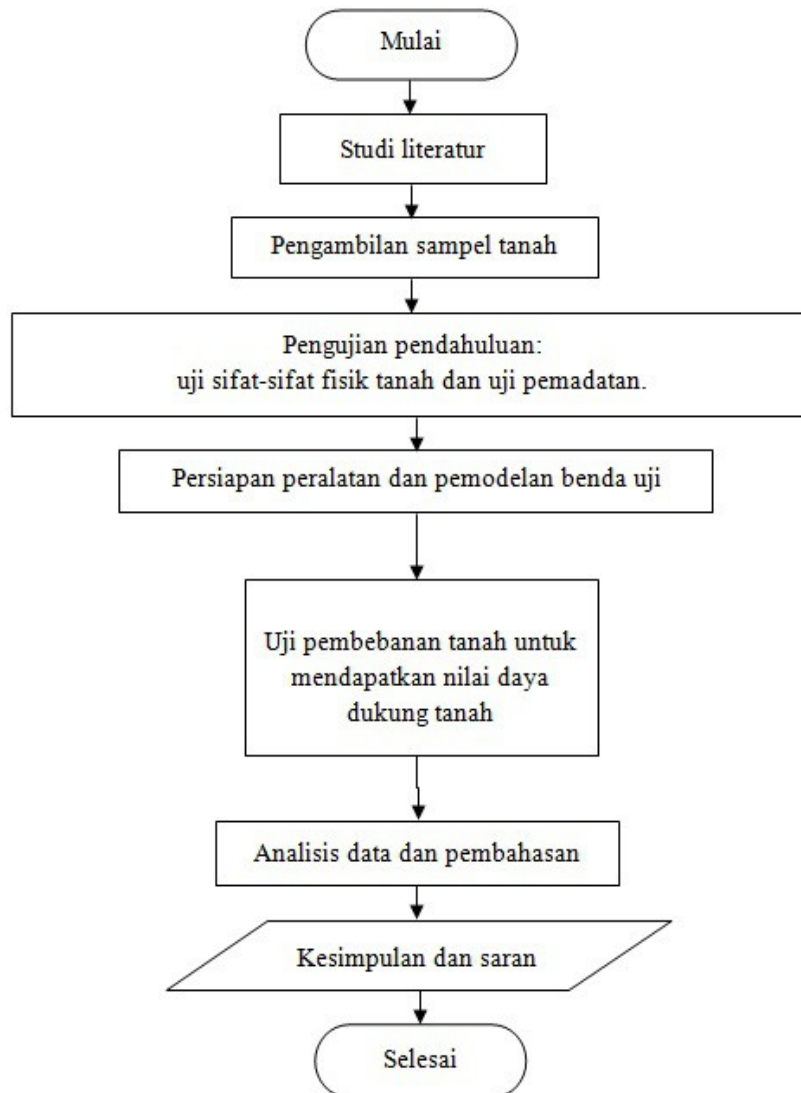
3.3 Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk mengetahui pengaruh peningkatan yang terjadi akibat tanah yang distabilisasi terhadap tanah sebelum distabilisasi. Analisis yang dilakukan yaitu analisis persentasi perbaikan tanah dan analisis bearing capacity improvement (BCI_u) berdasarkan nilai daya dukung.

Tabel 2. Tabel analisis BCI_u .

Variabel		q_u tanah asli (kg/cm ²)	q_u (kg/cm ²)	BCI_u (%)	Peningkatan BCI (%)
Jarak (L)	Diameter (D)				
1D	3,75cm				
	2,5cm				
	1,25cm				
1,25D	3,75cm				
	2,5cm				
	1,25cm				
1,5D	3,75cm				
	2,5cm				
	1,25cm				

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Pendahuluan

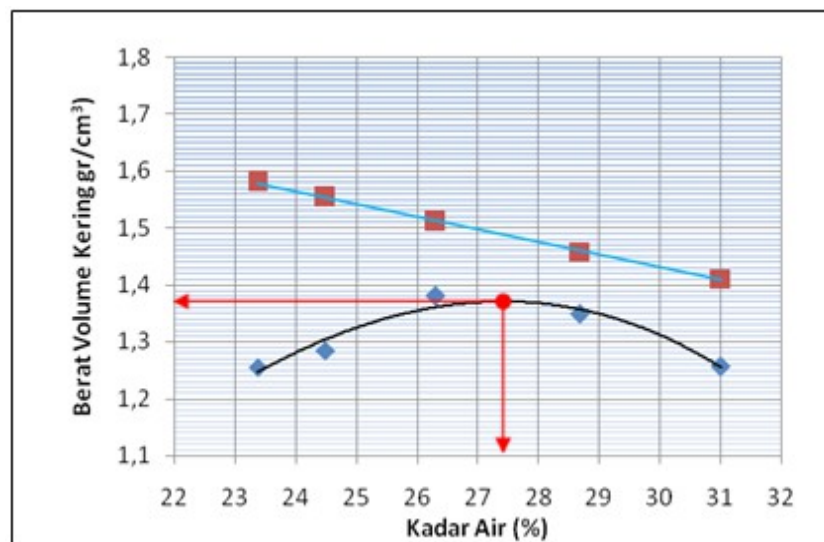
Pengujian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui klasifikasi tanah, dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil pengujian sifat fisik tanah

No	Pengujian	Hasil Uji	Satuan
1	Uji Kadar Air	46,31	%
2	Uji Berat Jenis	2,5071	
3	Uji Berat Volume	1,0996	gr/cm ³
4	Uji Batas-Batas <i>Atterberg</i> :		
	a. <i>Liquid Limit (LL)</i>	71,40	%
	b. <i>Plastic Limit (PL)</i>	22,97	%
	c. Indeks Plastisitas (<i>PI</i>)	48,4	%
5	Uji Analisa Saringan:		
	a. Lolos Saringan No. 10	99,18	%
	b. Lolos Saringan No. 40	97,45	%
	c. Lolos Saringan No. 200	95,25	%

Setelah pengujian sifat fisik diperoleh lolos saringan No. 200 yaitu 95,25%, berdasarkan klasifikasi USCS tanah tersebut masuk ke dalam tanah butir halus. Dengan nilai LL = 71,40%, PI = 48,4% yang diplotkan dalam grafik klasifikasi USCS termasuk ke dalam kelompok tanah CH atau tanah lempung anorganik dengan tingkat plastisitas tinggi. Menurut Chen (1975), nilai PI > 35% termasuk jenis tanah dengan tingkat pengembangan tinggi.

Uji pemadatan dilakukan untuk mengetahui kadar air optimum (OMC) pada kondisi berat isi maksimum. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh kadar air optimum tanah asli sebesar 27,5%



Gambar 2. Hasil Uji Pemadatan Tanah Asli.

4.2. Analisis Daya Dukung Tanah (q_u)

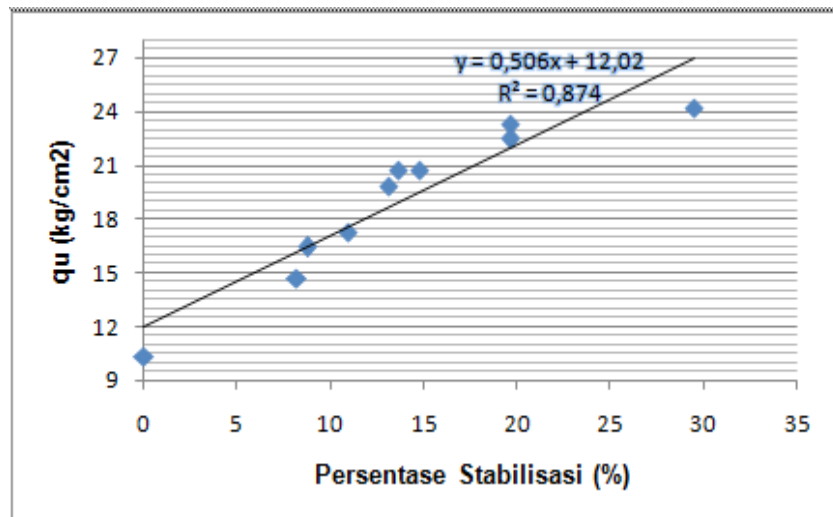
4.2.1. Nilai Daya Dukung Tanah (q_u) terhadap Persentase Stabilisasi DSM

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai daya dukung tanah (q_u) mengalami peningkatan dengan semakin besarnya persentase tanah yang distabilisasi.

Ditampilkan dalam tabel dan grafik sebagai berikut.

Tabel 4. Nilai Daya Dukung (q_u) terhadap Persentase Stabilisasi

Jenis	Variabel	Persentase Stabilisasi (%)	P_u (kg)	q_u (kg/cm ²)
Tanah Asli setelah dipadatkan	-	0	259,2	10,368
Tanah Asli setelah dipadatkan + Kolom Stabilisasi DSM dengan 8% Kapur	D = 3,75 cm ; L = 1D	29,45	604,79	24,19
	D = 3,75 cm ; L = 1,25D	19,63	583,19	23,33
	D = 3,75 cm ; L = 1,5D	14,73	518,39	20,73
	D = 2,5 cm ; L = 1D	19,63	561,59	22,46
	D = 2,5 cm ; L = 1,25D	13,09	496,79	19,87
	D = 2,5 cm ; L = 1,5D	8,73	410,39	16,42
	D = 1,25 cm ; L = 1D	13,64	518,39	20,74
	D = 1,25 cm ; L = 1,25D	10,91	431,99	17,28
	D = 1,25 cm ; L = 1,5D	8,18	367,19	14,69



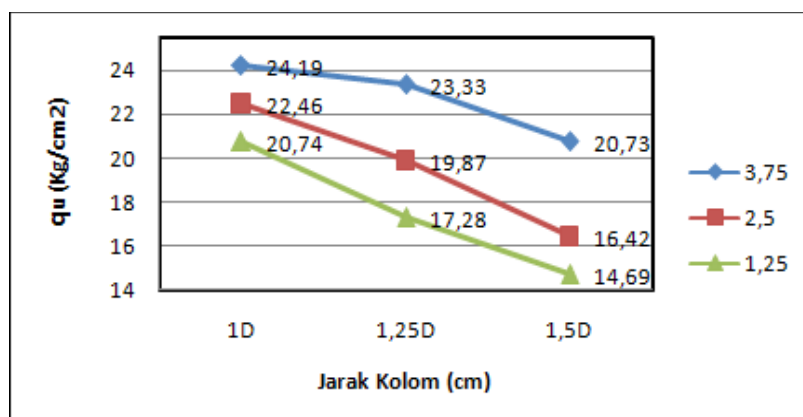
Gambar 3. Grafik Hubungan Nilai q_u dengan Persentase Stabilisasi

4.2.2. Nilai Daya Dukung (q_u) pada Variasi Jarak (L) dan Diameter (D)

Analisis ini untuk mengetahui pengaruh daya dukung dengan variasi jarak (L) terhadap diameter (D) berdasarkan hasil pengujian terlihat q_u terus meningkat dengan semakin rapatnya jarak (L) dan semakin besarnya diameter (D) ditampilkan sebagai berikut.

Tabel 5. Nilai q_u pada Variasi Jarak Kolom (L) terhadap Diameter (D)

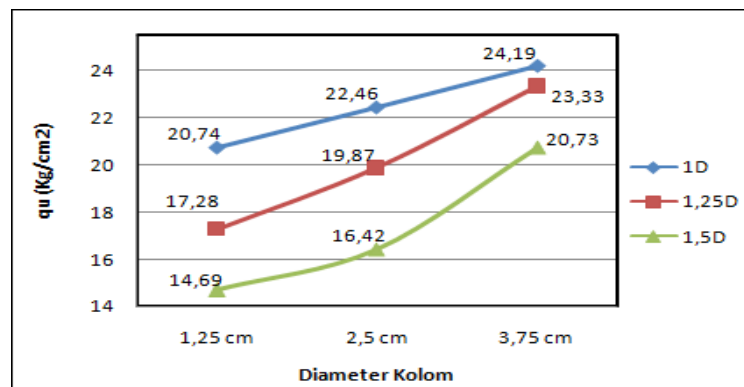
Jenis	Variabel		P_u (kg)	q_u (kg/cm ²)
	Diameter Kolom (D) (cm)	Jarak Kolom (L)		
Tanah Asli setelah dipadatkan	-	-	259,2	10,368
Tanah Asli setelah dipadatkan + Kolom Stabilisasi DSM dengan 8% Kapur	3,75	1D (3,75 cm)	604,79	24,19
		1,25D (4,6875 cm)	583,19	23,33
		1,5D (5,625 cm)	518,39	20,73
Tanah Asli setelah dipadatkan + Kolom Stabilisasi DSM dengan 8% Kapur	2,5	1D (2,5 cm)	561,59	22,46
		1,25D (3,125 cm)	496,79	19,87
	1,25	1,5D (3,75 cm)	410,39	16,42
		1D (1,25 cm)	518,39	20,74
	1,25	1,25D (1,5625 cm)	431,99	17,28
		1,5D (1,875 cm)	367,19	14,69



Gambar 4. Grafik Perbandingan Nilai Daya Dukung Tanah (q_u) pada variasi jarak kolom terhadap diameter kolom

Tabel 6. Nilai q_u pada Variasi Diameter (D) terhadap Jarak Antar Kolom (L)

Jenis	Variabel		P_u (kg)	q_u (kg/cm ²)	
	Jarak Kolom (L)	Diameter (D)			
Tanah Asli yang dipadatkan	-	-	259,2	10,368	
		1D	1,25 cm	518,39	20,74
			2,5 cm	561,59	22,46
Tanah Asli setelah dipadatkan + Kolom Stabilisasi DSM dengan 8% Kapur	1,25D	3,75 cm	604,79	24,19	
		1,25 cm	431,99	17,28	
		2,5 cm	496,79	19,87	
	1,5D	3,75 cm	583,19	23,33	
		1,25 cm	367,19	14,69	
		2,5 cm	410,39	16,42	
		3,75 cm	518,39	20,73	

Gambar 5. Grafik Perbandingan Nilai Daya Dukung Tanah (q_u) pada variasi diameter kolom terhadap jarak kolom

Berdasarkan hasil pengujian diatas, nilai q_u meningkat dengan semakin rapatnya jarak antar kolom dan semakin lebarnya diameter kolom. Dalam hal ini, kapur memegang peranan penting sehingga didapatkan perubahan nilai q_u seiring dengan bertambahnya volume perbaikan tanah dengan campuran 8% kapur. Tanah dengan campuran 0% kapur yang termasuk klasifikasi *AASHTO* A-7 (tanah berlempung) setelah distabilisasi dengan kapur 8% tanah tersebut termasuk dalam klasifikasi *AASHTO* A-2-4, artinya tanah tersebut menjadi lebih baik. (Timur, Iswan, dan Martono, 2018)

4.3. Analisis *Bearing Capacity Improvement (BCI_u)*

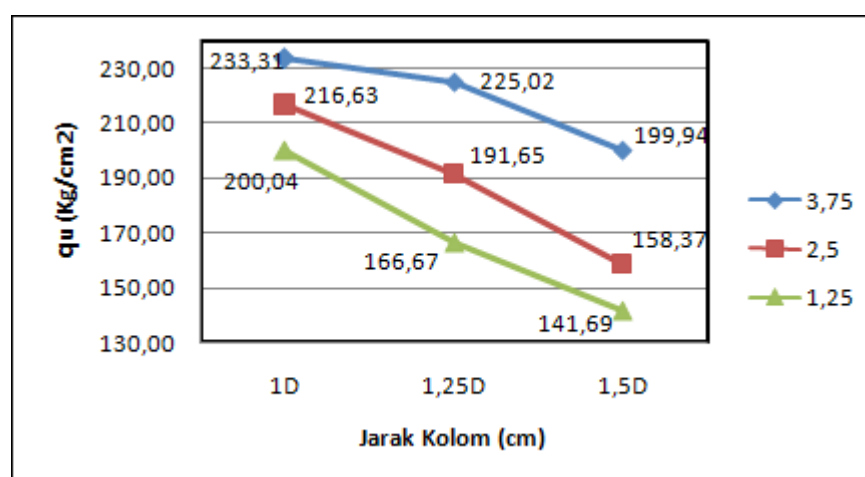
Analisis *BCI_u* merupakan analisis yang membandingkan daya dukung batas saat tanah distabilisasi dengan tanah sebelum distabilisasi. Sehingga dapat diketahui peningkatan daya dukung yang terjadi akibat pengaruh stabilisasi.

4.3.1. *BCI_u* dengan Variasi Jarak (*L*) terhadap Diameter (*D*)

Hasil analisis yang ditampilkan pada Tabel 7 dan Gambar 6, menunjukkan semakin rapat jarak (*L*) nilai *BCI_u* akan semakin besar. Dengan analisis ini diketahui variasi jarak (*L*) berpengaruh pada nilai daya dukung (*q_u*).

Tabel 7. *BCI_u* pada Variasi Jarak (*L*)

Variabel		<i>q_u</i> tanah asli (kg/cm ²)	<i>q_u</i> (kg/cm ²)	<i>BCI_u</i> (%)	Peningkatan <i>BCI</i> (%)	
Diameter (<i>D</i>)	Jarak (<i>L</i>)					
3,75 cm	1D	10,368	24,19	233,31	8,295	25,077
	1,25D	10,368	23,33	225,02		
	1,5D	10,368	20,73	199,94		
2,5 cm	1D	10,368	22,46	216,63	24,981	33,275
	1,25D	10,368	19,87	191,65		
	1,5D	10,368	16,42	158,37		
1,25 cm	1D	10,368	20,74	200,04	33,372	24,9
	1,25D	10,368	17,28	166,67		
	1,5D	10,368	14,69	141,69		



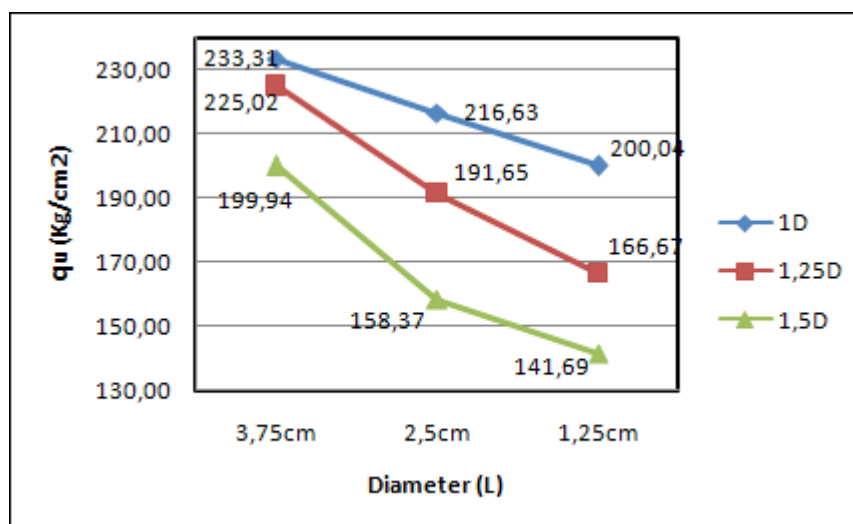
Gambar 6. Grafik perbandingan nilai *BCI_u* pada variasi jarak antar kolom

4.3.2. BCI_u dengan Variasi Diameter (D) terhadap Jarak (L)

Hasil analisis ditampilkan pada Tabel 8 dan Gambar 7. Menunjukkan bahwa peningkatan terjadi lebih besar terjadi pada variasi diameter (D) 2,5cm ke 3,75cm, jika dibandingkan dengan diameter 1,25cm ke 2,5cm. Hal ini dipengaruhi oleh banyaknya kadar kapur atau volume perbaikan pada tiap sampel yang juga dipengaruhi oleh besarnya diameter kolom (D) sehingga kolom dengan diameter yang lebih besar memiliki nilai BCI_u yang lebih besar.

Tabel 8. BCI_u pada Variasi Diameter (D)

Variabel		q_u tanah asli (kg/cm ²)	q_u (kg/cm ²)	BCI_u (%)	Peningkatan BCI (%)	
Jarak (L)	Diameter (D)					
1D	3,75cm	10,368	24,19	233,31	16,686	
	2,5cm	10,368	22,46	216,63		
	1,25cm	10,368	20,74	200,04	16,5895	
1,25D	3,75cm	10,368	23,33	225,02	33,3719	
	2,5cm	10,368	19,87	191,65		
	1,25cm	10,368	17,28	166,67	24,9807	
1,5D	3,75cm	10,368	20,73	199,94	41,5702	
	2,5cm	10,368	16,42	158,37		
	1,25cm	10,368	14,69	141,69	16,686	



Gambar 7. Grafik Perbandingan Nilai BCI_u pada Variasi Diameter

4.4. Pengaruh Variasi Jarak antar Kolom (L) serta Diameter Kolom (D) terhadap Nilai Daya Dukung (q_u)

Setelah melakukan analisis nilai BCI_u dan analisis kenaikan persentase nilai BCI_u

pada tiap variasi sampel, analisis terakhir yang dilakukan adalah membandingkan hasil analisis yang telah dilakukan untuk mengetahui variasi jarak antar kolom (L) dan diameter kolom (D) yang memberikan peningkatan nilai q_u yang paling besar.

Untuk mengetahui variasi manakah yang lebih berpengaruh untuk meningkatkan nilai q_u akan dijelaskan pada tabel dibawah.

Tabel 9. Pengaruh Variasi Jarak Kolom (L) dan Diameter Kolom (D) terhadap Nilai BCI_u

Variasi Jarak (VL)		Peningkatan BCI_u (%)	Variasi Diameter (VD)		Peningkatan BCI_u (%)	Keterangan
D (cm)	L (cm)		L (cm)	D (cm)		
3,75	1D	8,295	1D	3,75	16,686	VL<VD
	1,25D	25,077		2,5	16,5895	VL>VD
	1,5D			1,25		
2,5	1D	24,981	1,25D	3,75	33,3719	VL<VD
	1,25D	33,275		2,5	24,9807	VL>VD
	1,5D			1,25		
1,25	1D	33,372	1,5D	3,75	41,5702	VL<VD
	1,25D	24,981		2,5	16,686	VL>VD
	1,5D			1,25		

Pada tabel variasi jarak (VL) di atas, setiap perubahan jarak antar kolom (L) pada diameter tertentu akan memberikan kenaikan nilai q_u rata-rata sebesar

49,99%. Sedangkan pada variasi diameter (VD), setiap perubahan diameter pada jarak antar kolom tertentu akan memberikan kenaikan nilai q_u rata-rata sebesar

49,96%. Variasi jarak antar kolom (VL) memberikan nilai peningkatan sedikit lebih besar dibandingkan dengan variasi diameter (VD), hal ini disebabkan setiap perubahan jarak antar kolom memberikan perubahan pada rasio tanah yang diperbaiki lebih besar dari pada perubahan diameter kolom.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian stabilisasi tanah lempung lunak di Palembang, Lampung Selatan menggunakan kolom DSM dengan pola *panels*, maka sesuai dengan tujuan penelitian didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tanah lempung lunak yang dilakukan stabilisasi menggunakan kapur 8% dapat meningkatkan nilai q_u yang terjadi. Tanah asli memiliki nilai daya dukung tanah (q_u) 10,368 kg/cm². Setelah dilakukan stabilisasi 8% kapur dengan kolom DSM, nilai daya dukung tanah (q_u) menjadi 14,69 kg/cm².
2. Peningkatan nilai q_u dengan stabilisasi kolom DSM berbanding lurus dengan rasio volume perbaikan. Peningkatan paling besar terjadi pada jarak antar kolom 1D dan diameter 3,75cm.
3. Semakin rapat jarak antar kolom dan semakin besar diameter kolom akan memberikan kenaikan pada nilai daya dukung tanah (q_u) dan memberikan kenaikan yang lebih besar pada nilai BCI_u pada tiap variasi sampel.
4. Variasi jarak memberikan perubahan lebih signifikan dibandingkan dengan variasi diameter. Jarak dan diameter paling efisien ada pada variasi jarak 1,25D dan diameter 2,5cm.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, L. D. 2017. Perubahan Perilaku Tanah Ekspansif akibat Stabilisasi dengan DSM Berpola Triangular menggunakan Kapur Kadar 8%. Skripsi Sarjana. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Malang
- Chen, F. H. 1975. Foundation on Expansive Soil. Esevier Scientific Publishing Company. Amsterdam
- Ranggaesa, R. A. 2016. Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Kekuatan dan Pengembangan (swelling) pada Tanah Lempung Ekspansif Bojonegoro. Skripsi Sarjana. Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya. Malang
- Terzaghi, K.. 1943. Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Timur, R. R. 2018. Studi Kebutuhan Tebal Perkerasan Jalan Ditinjau Dari Potensi Pengembangan Tanah (Swelling) Pada Tanah Dasar (Subgrade) Yang Diperkuat Dengan Bahan Addtive Kapur. Skripsi Sarjana. Fakultas Teknik. Universitas Lampung. Bandar Lampung

