

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Specific Gravity

Specific gravity (G_s) dilakukan dengan tujuan untuk menentukan berat spesifik dari butiran tanah. *Specific gravity* merupakan perbandingan berat butiran tanah dengan berat air dengan *volume* yang sama pada suhu tertentu.

Pada penelitian ini, bahan yang digunakan sebagai benda uji adalah tanah asli tanpa campuran 15% *fly ash*. Tanah yang berasal dari Kecamatan Ngasem Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Dari hasil pemeriksaan *specific gravity* yang telah dilakukan oleh Ahya (2015). Hasil pengujian *specific gravity* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian *Specific Gravity* Tanah Asli

| Labu Ukur | 1 | 2 | 3 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| <i>Specific Gravity</i> (G_s) | 2,713 | 2,754 | 2,724 |
| Rata-rata (G_s) | 2,73 | | |

Dari Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa dari tiga benda uji tanah asli, diperoleh nilai G_s yang relatif sama, sehingga nilai G_s rata-rata tanah asli adalah sebesar 2,73. Dengan besar nilai G_s tersebut, maka tanah di Desa Ngasem, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro tergolong dalam klasifikasi tanah lempung anorganik dengan kandungan dominan mineral yaitu *montmorillonite*.

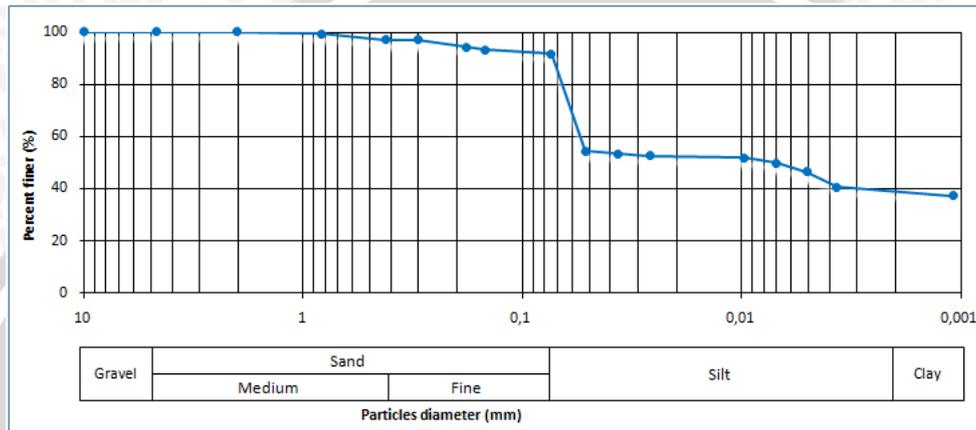
4.2 Pemeriksaan Klasifikasi Tanah

4.2.1 Analisis Mekanis Tanah

Uji analisis mekanis tanah bertujuan untuk menentukan variasi ukuran partikel-partikel yang ada dalam tanah. Variasi tersebut dinyatakan dalam persentase dari berat kering total. Terdapat dua jenis uji analisis mekanis tanah, yaitu analisis saringan dan analisis hidrometer.

Analisis saringan dilakukan untuk ukuran butiran tanah berdiameter lebih

besar dari 0,075 mm (tertahan saringan no.200). Sedangkan analisis hidrometer dilakukan untuk ukuran butir tanah berdiameter lebih kecil dari 0,075 mm (lolos saringan no.200). Hasil pemeriksaan ini diambil dari data analisa yang dilakukan oleh Ahya (2015) Hasil analisis saringan dan hidrometer ditampilkan pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Grafik Hasil Analisis Saringan dan Hidrometer

Berdasarkan **Gambar 4.1**, dapat diketahui bahwa tanah di Desa Ngasem, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro memiliki prosentase lolos saringan no.200 sebesar 91,83% dan menurut sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) termasuk jenis tanah berbutir halus.

4.2.2 Pemeriksaan Batas-batas Atterberg (*Atterberg Limit*)

Pengujian batas-batas *atterberg* bertujuan untuk mengetahui keadaan konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang berbeda-beda dan juga bertujuan untuk menentukan jenis tanah. Pengujian ini terdiri dari pengujian batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*). Benda uji yang digunakan adalah tanah asli tanpa campuran *fly ash*. Hasil dari pengujian ditampilkan pada Tabel 4.2.

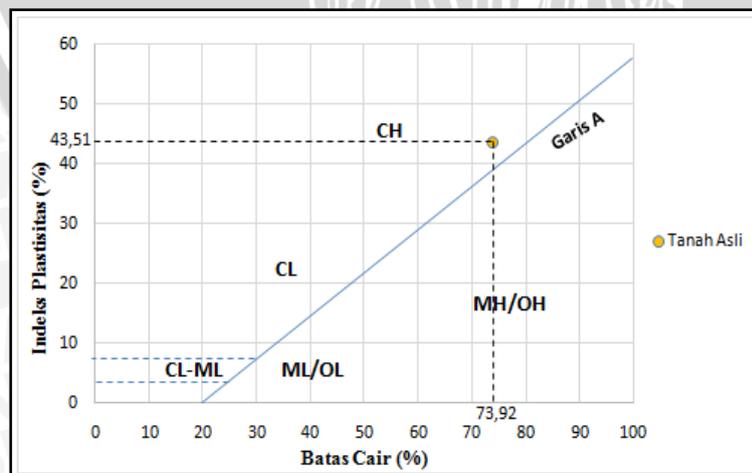
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Batas-batas *Atterberg*

| Bahan | LL (%) | PL (%) | SL (%) | PI (%) |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| Tanah Asli | 73,92 | 30,41 | 2,8 | 43,51 |

Dari Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa batas-batas *atterberg* tanah asli yaitu batas cair (LL) sebesar 73,92%, batas plastis (PL) sebesar 30,41%, batas susut (SL) sebesar 2,8%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 43,51%. Dari hasil pengujian (Ahya 2015) ini, melihat jumlah butiran yang lolos saringan no.200 lebih dari 50%, maka tanah dapat digolongkan sebagai tanah berbutir halus, sehingga dapat diklasifikasikan berdasarkan indeks plastisitasnya.

4.2.3 Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

Berdasarkan klasifikasi tanah sistem *unified*, dari hasil analisis butiran yang dilakukan oleh (Ahya 2015) diketahui bahwa prosentase distribusi yang lolos saringan no.200 adalah sebesar 91,83%, sehingga tanah tersebut dapat digolongkan sebagai tanah berbuitr halus. Sedangkan dari batas-batas *atterberg* dengan nilai batas cair (LL) sebesar 73,92%, batas plastis (PL) sebesar 30,41%, batas susut (SL) sebesar 2,8%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 43,51%, dimana nilai batas cair (LL) tanah lebih besar dari 50%, maka tanah di Desa Ngasem, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro dapat digolongkan sebagai tanah CH (lempung anorganik dengan plastisitas tinggi).

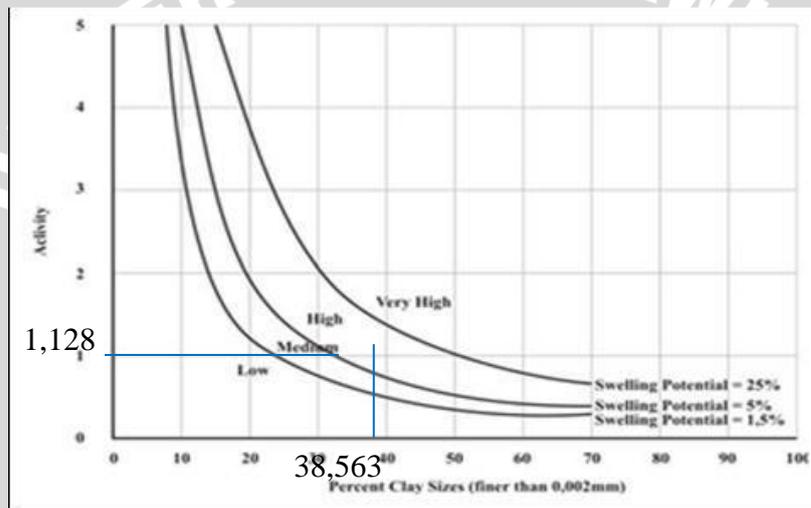


Gambar 4.2 Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem *Unified*

4.2.4 Sifat Ekspansifitas Tanah

Untuk mengetahui berpotensi ekspansif atau tidaknya pada suatu tanah dapat dilakukan dengan cara tidak langsung (*single index method*) yaitu dengan menggunakan nilai-nilai batas *atterberg* dan derajat mengembang tanah.

Dengan menggunakan persamaan 2-1, nilai aktivitas tanah (A) dapat dihitung. Diketahui nilai PI sebesar 43,51% dan prosentase tanah dengan ukuran 0,002 mm adalah 38,563%. Sehingga diperoleh nilai aktivitas tanah asli adalah 1,128. Setelah itu, nilai aktivitas dan prosentase ukuran tanah diplotkan ke dalam grafik potensi mengembang (Gambar 2.3). Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa tanah tergolong klasifikasi tanah dengan potensi pengembangan tinggi. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Potensi Mengembang

Jika mengacu pada nilai batas-batas *atterberg* tanah asli, tanah dapat diklasifikasikan sifat ekspansifitasnya menurut Tabel 2.3, Tabel 2.4, dan Tabel 2.5. Sehingga dapat diketahui bahwa tanah di Desa Ngasem, Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro tergolong ke dalam tanah yang memiliki potensi pengembangan sangat tinggi/kritis.

4.3 Pemeriksaan Pematatan Tanah (*Compaction*)

4.3.1 Kepadatan Tanah Standar di Laboratorium (*Proctor Test*)

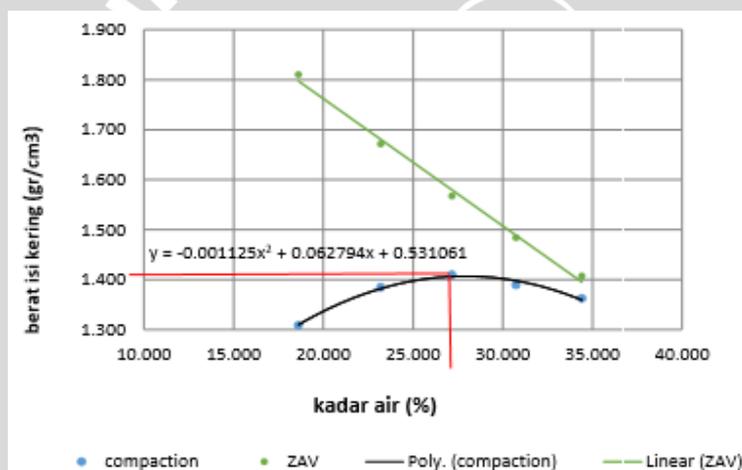
Uji pematatan standar bertujuan untuk mengetahui nilai kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering maksimum (γ_d) dari sampel tanah dengan cara memadatkan dalam cetakan berukuran standar. Dalam pengujian ini akan dilakukan hanya pada

benda uji tanah asli tanpa campuran *fly ash*. Sedangkan untuk benda uji tanah asli dengan campuran 15% *fly ash* tidak dilakukan uji pemadatan standar karena sebelumnya pengujian ini pernah dilakukan oleh Benny (2014) pada jenis benda uji yang sama. Sehingga nilai kadar air optimum dan berat isi kering tanah asli dengan campuran *fly ash* dapat diambil dari penelitian terdahulu.

Uji pemadatan standar ini dilakukan dengan metode B dengan spesifikasi alat sebagai berikut:

- Diameter cetakan (*mold*) 152 mm (6")
- Bahan yang digunakan yaitu bahan lolos saringan no.4 (4,75 mm)
- Berat alat penumbuk (*proctor*) 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,48 cm (12").

Hasil pengujian pemadatan standar pada tanah asli akan ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Hasil Pemadatan

Dari Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa hasil pemadatan dari tanah asli, nilai berat isi kering maksimum tanah berada di bawah garis linier *zero air void*.

4.3.2 Kepadatan Tanah Sampel

Pada penelitian ini, istilah kepadatan tanah sampel digunakan karena pada saat pemodelan benda uji sangat sulit didapatkan kepadatan maksimum seperti halnya pada percobaan pemadatan standar laboratorium. Berat isi kering maksimum $1,409 \text{ gr/cm}^3$ dan kadar air optimum 27,908% dari percobaan pemadatan standar akan digunakan sebagai acuan untuk berat isi kering pada model benda uji. Sehingga, untuk mencapai berat isi kering $1,409 \text{ gr/cm}^3$ pada model benda uji, maka yang distandarkan adalah besarnya usaha atau banyaknya tumbukan yang dilakukan untuk memadatkan benda uji tersebut.

Pemodelan benda uji dilakukan di dalam *box* berukuran (50×50×30) cm. Tinggi

benda uji untuk tanah asli/dasar direncanakan 20 cm. Dengan diketahui berat isi kering dan kadar air optimumnya serta volume tanah, maka dapat dihitung pula kebutuhan jumlah sampel tanah dan air untuk pemodelan benda uji. Pemadatan dilakukan dengan cara menumbuk sampel tanah dengan alat penumbuk berukuran (12,5×12,5) cm dengan berat 9,56 kg. Banyaknya jumlah dan tinggi jatuh tumbukan diperoleh dengan cara coba-coba sedemikian rupa sehingga sampel tanah mencapai kedalaman 20 cm. Dengan percobaan beberapa kali diperoleh jumlah tumbukan sebanyak 64 kali tiap lapisan dengan tinggi jatuh 21,5 cm.

4.4 Uji Beban (*Load Test*) pada Model Benda Uji

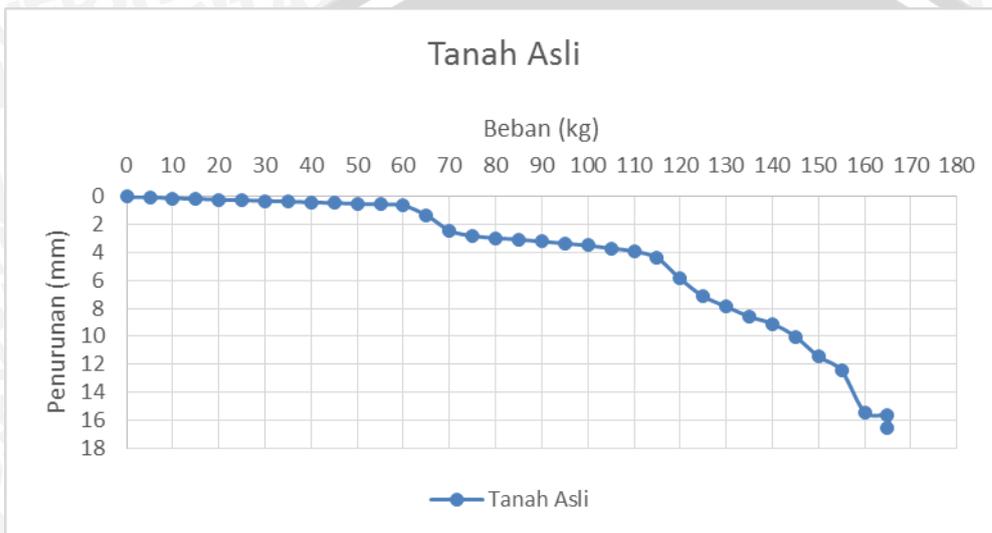
Uji beban (*load test*) dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai daya dukung batas (*ultimite bearing capacity*)(q_u) pada pondasi. *Bearing plate* ukuran (5×5×2) cm diletakkan di atas 2 jenis benda uji, yaitu benda uji tanah asli/dasar dan benda uji tanah yang distabilisasi dengan kolom DSM dengan bahan aditif berupa 15% *fly ash* yang diberi variasi jarak (L) dan panjang kolom(Df). *Bearing plate* berfungsi untuk mendistribusikan beban yang diterima dari piston hidrolik. Kemudian dilakukan uji pembebanan dengan memberikan beban di atas *bearing plate* secara bertahap hingga benda uji mengalami keruntuhan. Pembacaan beban dilakukan setiap kelipatan angka 50 pada pembacaan alat *lvdt*. Pemberian atau penetrasi beban dilakukan menggunakan alat dongkrak hidrolik (*hydraulic jack*) dengan percepatan penetrasi yang konstan dan diperlakukan sama pada semua benda uji. Setiap variasi benda uji dilakukan uji beban untuk mengetahui nilai daya dukung yang optimum. Uji beban dilakukan sebanyak 10 kali pengujian yang terdiri 1 benda uji tanah asli dan 9 benda uji yang telah distabilisasi dengan kolom DSM sesuai dengan variasi jarak dan panjang yang ditentukan.

Jenis tanah yang digunakan dalam pengujian ini adalah tanah lempung ekspansif dimana tanah tersebut tergolong jenis tanah lunak dan mudah mampat. Sehingga keruntuhan daya dukung yang terjadi adalah keruntuhan penetrasi, dimana pada saat beban bekerja, pondasi hanya menembus dan menekan tanah ke samping yang menyebabkan tanah di sekitar pondasi mengalami pemampatan. Penurunan pondasi terus bertambah hampir secara linier seiring dengan penambahan beban. penurunan yang terjadi tidak mengakibatkan gerakan arah lateral menuju zona kritis keruntuhan tanah, sehingga tanah tidak mengembang ke atas di sekitar pondasi. Sehingga, pola keruntuhan pada pengujian ini tidak dapat terlihat dengan jelas. Keruntuhan terjadi saat pondasi terus

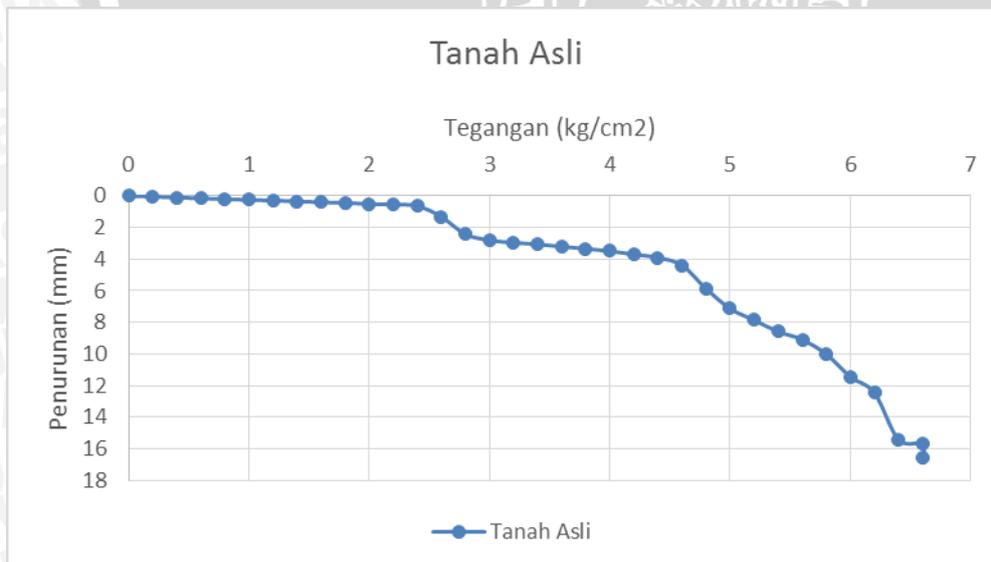
mengalami penurunan tanpa adanya penambahan beban.

4.5 Hasil Uji Pembebanan Sampel Tanah Asli

Pada penelitian ini dilakukan terhadap sampel tanah yang belum dilakukan stabilisasi dengan metode DSM. Pengujian telah dilakukan oleh Ahya (2015) dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 27,908 % dan berat isi kering (γ_d) di boks sebesar 1,28 gr/cm³. Hasil dari uji pembebanan tanah asli didapatkan hubungan beban dengan penurunan yang disajikan pada **Gambar 4.5** dan hubungan daya dukung dengan penurunan disajikan pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.5 Hubungan beban dengan penurunan tanah asli



Gambar 4.6 Hubungan tegangan dengan penurunan tanah asli

Dari **Gambar 4.5** dapat terlihat bahwa pada saat awal pemberian beban, penurunan

yang terjadi sebanding dengan beban yang bekerja. Seiring berlanjutnya beban yang diberikan, maka hubungan beban dan penurunan tidak lagi sebanding di mana beban yang terjadi tidak meningkat secara signifikan dengan penurunan yang terus berlanjut. Hal ini disebabkan karena daya dukung tanah (q_u) sudah berada pada batas beban maksimum yang dapat diterima. Dari hubungan tegangan dengan penurunan pada **Gambar 4.6** di dapat bahwa daya dukung tanah asli sebesar $6,6 \text{ kg/cm}^2$ dengan penurunan sebesar $16,57 \text{ mm}$.

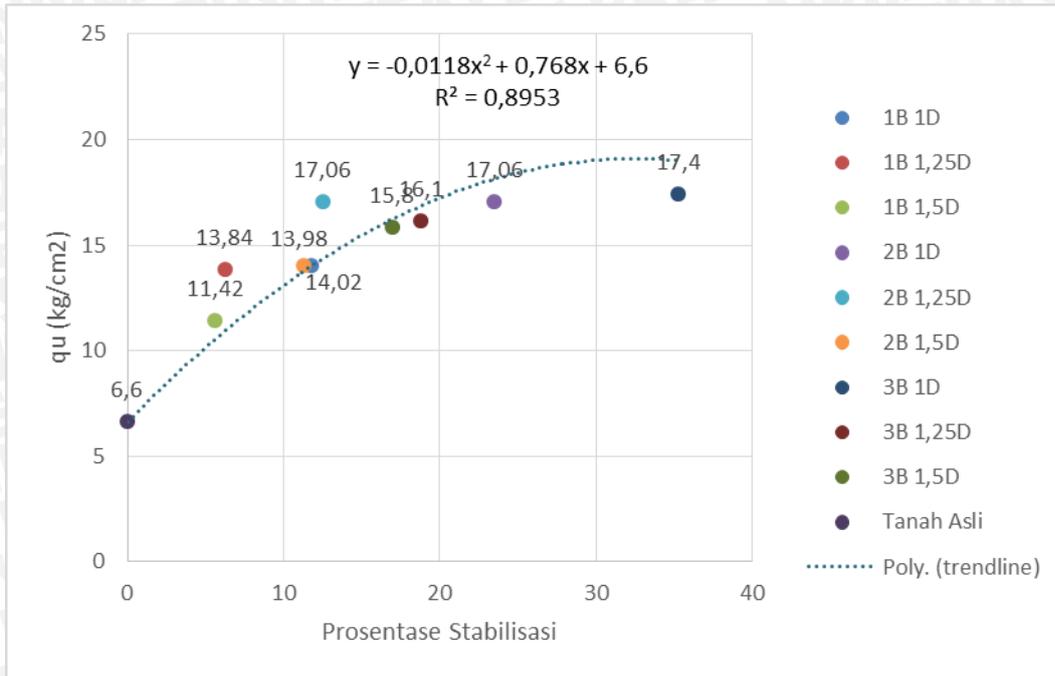
4.6 Hasil Uji Pembebanan Sampel Tanah Stabilisasi DSM

4.6.1 Nilai daya dukung tanah terhadap prosentase tanah yang distabilisasi dengan kolom DSM

Prosentase tanah yang distabilisasi dengan kolom DSM dihitung pada area tanah yang menerima uji beban atau seluas *bearing plate*, yaitu 25 cm^2 dengan kedalaman 20 cm . Hasil pengujian eksperimen daya dukung terhadap prosentase tanah stabilisasi ditampilkan pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Nilai Daya Dukung Terhadap Prosentase Stabilisasi Tanah

| Jenis Benda Uji | Variabel | Prosentase Stabilisasi | P_u | q_u | |
|------------------------------------|-----------------------|------------------------|-------|-------------------|-------------------|
| | | % | kg | kg/m ² | kN/m ² |
| Tanah Asli | - | 0 | 165 | 66000 | 660 |
| Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash | L = 4 cm ; Df = 5 cm | 11,78 | 350,5 | 140200 | 1402 |
| | L = 5 cm ; Df = 5 cm | 6,28 | 346 | 138400 | 1384 |
| | L = 6 cm ; Df = 5 cm | 5,67 | 285,5 | 114200 | 1142 |
| | L = 4 cm ; Df = 10 cm | 23,56 | 426,5 | 170600 | 1706 |
| | L = 5 cm ; Df = 10 cm | 12,57 | 356,5 | 142600 | 1426 |
| | L = 6 cm ; Df = 10cm | 11,34 | 349,5 | 139800 | 1398 |
| | L = 4 cm ; Df = 15 cm | 35,34 | 435 | 174000 | 1740 |
| | L = 5 cm ; Df = 15 cm | 18,85 | 402,5 | 161000 | 1610 |
| | L = 6 cm ; Df = 15 cm | 17,01 | 395 | 158000 | 1580 |



Gambar 4.7 Perbandingan Nilai Daya Dukung terhadap Stabilisasi Tanah

Dari Gambar 4.7, dapat diketahui bahwa dengan prosentase stabilisasi tanah mempengaruhi daya dukung. Semakin besar prosentase stabilitas tanah semakin besar daya dukung.

4.6.2 Nilai daya dukung tanah pada variasi panjang kolom (D_f) terhadap jarak antar kolom (L)

Hasil pengujian eksperimen terhadap nilai daya dukung tanah dengan variasi panjang kolom DSM ditampilkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.7 sebagai berikut:

Tabel 4.4 Nilai Daya Dukung Hasil Uji Beban Dengan Variasi Panjang Kolom Terhadap Jarak Antar Kolom

| Jenis Sampel | Jarak Kolom (L) | Panjang Kolom (Df) | Luas Pondasi (A) | P_u | q_u |
|------------------------------------|-----------------|--------------------|------------------|-------|--------------------|
| | cm | Cm | cm ² | kg | kg/cm ² |
| Tanah Asli | - | - | 25 | 165 | 6.6 |
| Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash | 4 | 5 | 25 | 350,5 | 14,02 |
| | | 10 | 25 | 426,5 | 17,06 |
| | | 15 | 25 | 435 | 17,4 |
| | 5 | 5 | 25 | 346 | 13,84 |
| | | 10 | 25 | 356,5 | 14,26 |
| | | 15 | 25 | 402,5 | 16,1 |
| | 6 | 5 | 25 | 285,5 | 11,42 |
| | | 10 | 25 | 349,5 | 13,98 |
| | | 15 | 25 | 395 | 15,8 |



Gambar 4.8 Perbandingan Nilai Daya Dukung dengan Variasi Panjang Kolom (Df) Terhadap Jarak Antar Kolom (L)

Dari Gambar 4.8, dapat dilihat bahwa setelah tanah distabilisasi dengan kolom DSM, nilai q_u terus mengalami peningkatan seiring dengan penambahan panjang kolom (Df) pada jarak antar kolom (L) yang sama. Peningkatan nilai daya dukung pada

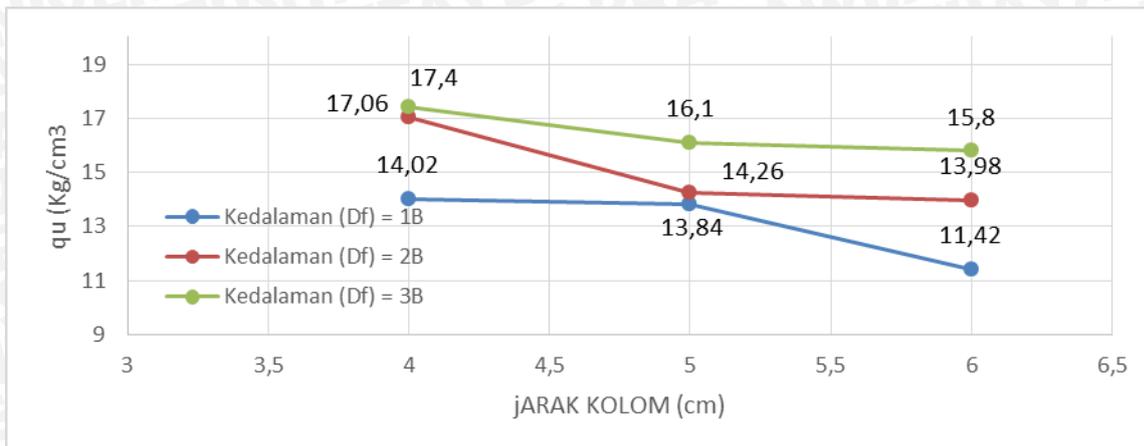
jarak kolom 4 paling besar dengan kedalaman 15 adalah 17,4 kg/cm² dengan P_u 435 kg.

4.6.3 Nilai daya dukung tanah pada variasi jarak antar kolom (L) terhadap panjang kolom (Df)

Nilai daya dukung ditampilkan pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.9 sebagai berikut:

Tabel 4.5 Nilai Daya Dukung Hasil Uji Beban Dengan Variasi Jarak Antar Kolom Terhadap Panjang Kolom

| Jenis Benda Uji | Panjang Kolom (Df) | Jarak Antar Kolom (L) | P_u | q_u |
|------------------------------------|--------------------|-----------------------|-------|--------------------|
| | cm | cm | kg | kg/cm ² |
| Tanah Asli | - | - | 165 | 6,6 |
| Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash | 5 | 4 | 350,5 | 14,02 |
| | | 5 | 346 | 13,84 |
| | | 6 | 285,5 | 11,42 |
| | 10 | 4 | 426,5 | 17,06 |
| | | 5 | 356,5 | 14,26 |
| | | 6 | 349,5 | 13,98 |
| | 15 | 4 | 435 | 17,40 |
| | | 5 | 402,5 | 16,10 |
| | | 6 | 395 | 15,80 |



Gambar 4.9 Perbandingan Nilai Daya Dukung dengan Variasi Jarak Antar Kolom (L) Terhadap Panjang Kolom (Df)

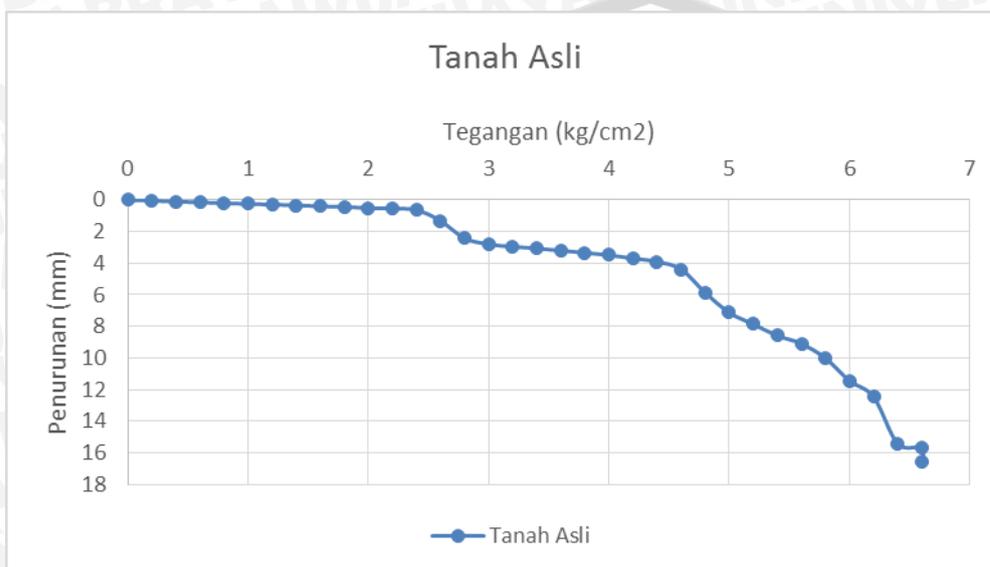
Dari **Gambar 4.9**, dapat dilihat bahwa nilai q_u mengalami penurunan seiring dengan semakin besarnya jarak antar kolom pada panjang kolom yang sama. Semakin besar jarak antar kolom, prosentase tanah yang distabilisasi menjadi semakin kecil. Penurunan nilai daya dukung pada jarak 5 cm dan 6 cm sangat kecil. Pada jarak antar kolom 4 cm (antar kolom bersinggungan) memiliki peningkatan nilai daya dukung yang tinggi. Hal ini dikarenakan semakin rapat kolom semakin besar prosentase stabilisasi dan semakin besar peningkatan daya dukung yang terjadi. Dengan demikian, kolom DSM dalam bentuk kelompok tentunya akan meningkatkan nilai daya dukung tanah, terlebih jika jarak antar kolomnya semakin berdekatan.

4.6.4 Analisis Penurunan Tanah

Berdasarkan dari pengujian pembebanan yang telah dilakukan pada benda uji model akan diperoleh nilai pembacaan daya dukung dan penurunan (*settlement*). Sehingga besarnya penurunan dapat langsung didapatkan dari grafik hubungan daya dukung dengan penurunan. Seperti halnya analisis daya dukung, pada analisis penurunan tanah juga dianalisis pada masing-masing variasi jarak antar kolom dan panjang kolom dengan tujuan mengetahui bagaimana pengaruh variasi tersebut terhadap penurunan tanah. Adapun analisis penurunan dari hasil uji beban yang dilakukan terhadap benda uji model adalah sebagai berikut:

4.6.4.1 Penurunan tanah asli tanpa distabilisasi kolom DSM

Pengujian pembebanan dilakukan pertama kali untuk benda uji model tanah asli/dasar. Sebelum dilakukan uji pembebanan, benda uji model tanah asli tidak perlu dilakukan perawatan (*curing*) selama 4 hari. Hasil uji beban yang dilakukan terhadap benda uji model tanah asli/dasar dapat dilihat pada **Gambar 4.10**.



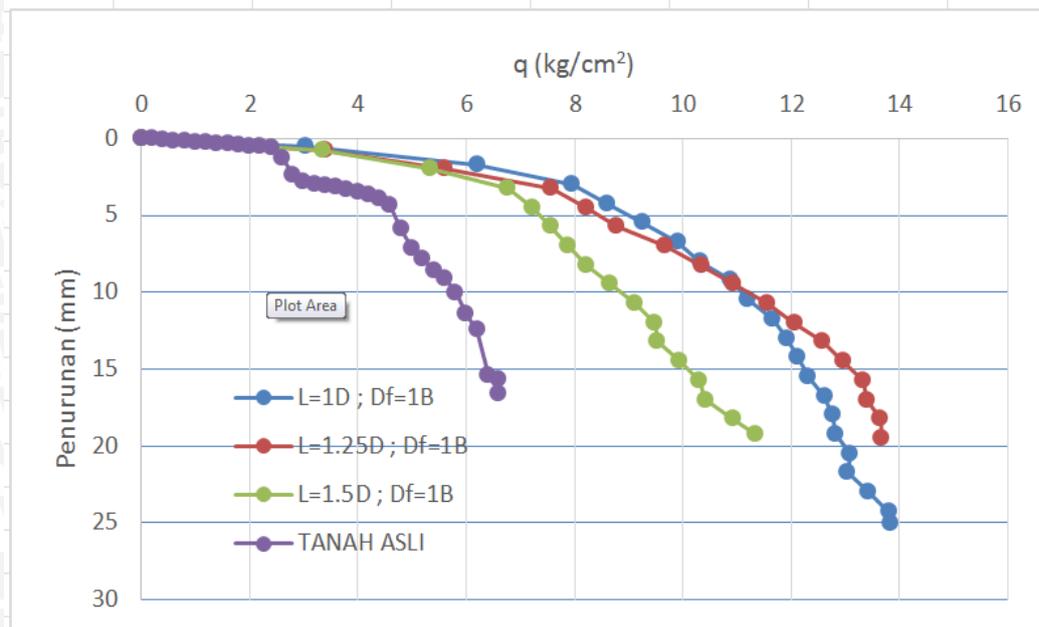
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Daya Dukung dengan Penurunan pada Tanah Asli

Dari **Gambar 4.10**, dapat dilihat bahwa pada saat mencapai nilai daya dukung batas (*ultimit bearing capacity*) sebesar $6,6 \text{ kg/cm}^2$, penurunan yang terjadi adalah sebesar $16,57 \text{ mm}$. Nilai daya dukung batas tersebut akan digunakan untuk meninjau besarnya penurunan pada semua variasi jarak dan panjang kolom DSM untuk dibandingkan dengan besarnya penurunan tanah sebelum distabilisasi.

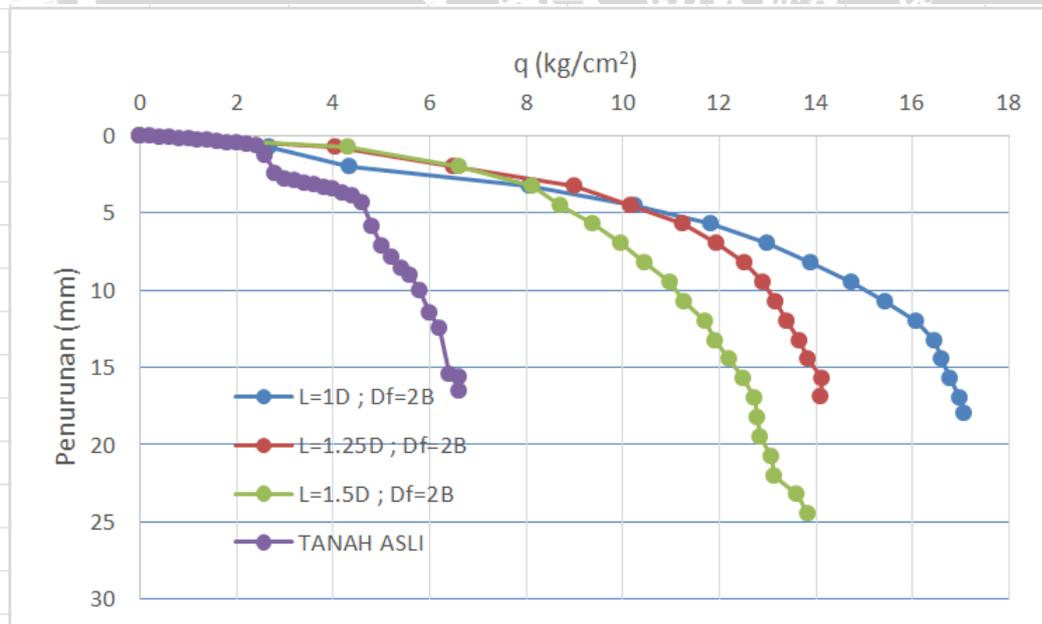
4.6.4.2 Penurunan tanah yang distabilisasi kolom DSM pada variasi jarak antar kolom (L) terhadap panjang kolom (Df)

Setelah dilakukan uji pembebanan pada benda uji model tanah asli, maka berikutnya uji pembebanan dilakukan pada benda uji yang telah distabilisasi dengan kolom DSM 15% *fly ash*. Untuk mengetahui besarnya penurunan (*settlement*) pada masing-masing variasi, peninjauan dilakukan pada nilai daya dukung yang sama. Analisis penurunan dilakukan dengan cara mengplotkan besar daya dukung 6.6 kg/cm^2 ke dalam grafik daya dukung -penurunan sehingga akan diperoleh besarnya penurunan yang terjadi. Analisis penurunan dari hasil uji beban pada variasi panjang kolom terhadap

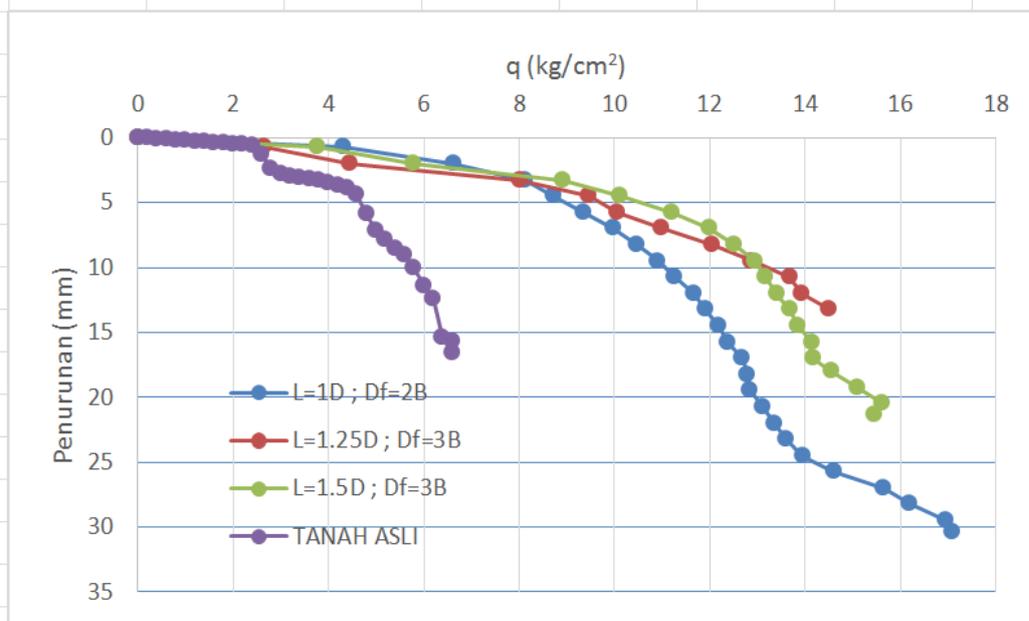
jarak antar kolom adalah sebagai berikut:



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Daya Dukung dengan Penurunan Terhadap Panjang Kolom (Df) = 5 cm



Gambar 4.12 Grafik Hubungan Daya Dukung dengan Penurunan Terhadap Panjang Kolom (Df) = 10 cm

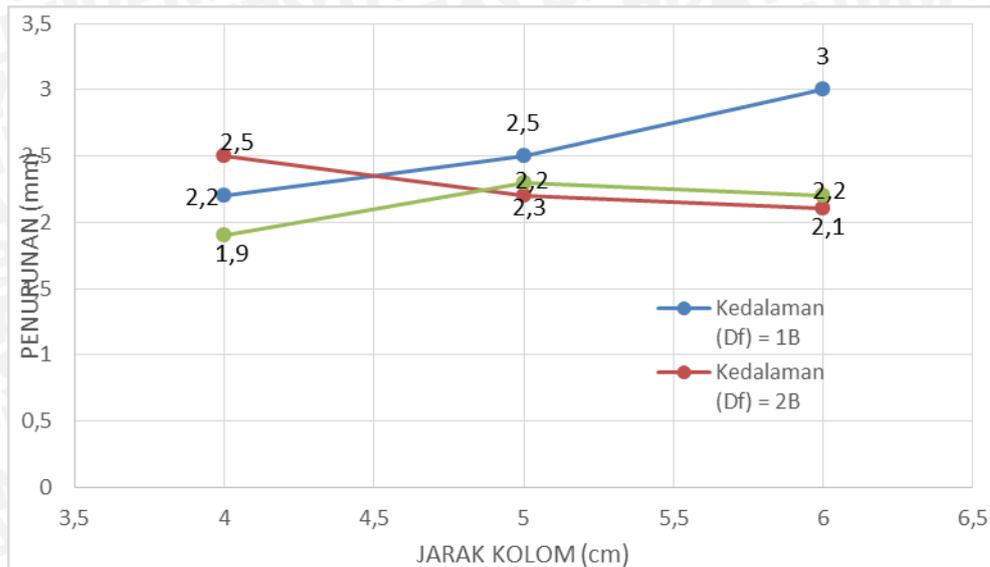


Gambar 4.13 Grafik Hubungan Daya Dukung dengan Penurunan Terhadap Panjang Kolom (Df) = 15 cm

Dari **Gambar 4.11**, **Gambar 4.12**, dan **Gambar 4.13** telah diketahui besarnya penurunan yang terjadi pada nilai daya dukung yang sama, sehingga hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 4.6** dan **Gambar 4.14** sebagai berikut:

Tabel 4.6 Penurunan Akibat Variasi Jarak antar Kolom

| Jenis Sampel | Panjang Kolom (Df) | Jarak Kolom (L) | Luas Pondasi (A) | q_u | Penurunan |
|------------------------------------|--------------------|-----------------|------------------|--------------------|-----------|
| | Cm | Cm | cm ² | kg/cm ² | mm |
| Tanah Asli | - | - | 25 | 6.6 | 16.57 |
| Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash | 5 | 4 | 25 | 6.6 | 2.2 |
| | | 5 | 25 | 6.6 | 2.5 |
| | | 6 | 25 | 6.6 | 3.0 |
| | 10 | 4 | 25 | 6.6 | 2.5 |
| | | 5 | 25 | 6.6 | 2.2 |
| | | 6 | 25 | 6.6 | 2.1 |
| | 15 | 4 | 25 | 6.6 | 1.9 |
| | | 5 | 25 | 6.6 | 2.3 |
| | | 6 | 25 | 6.6 | 2.2 |



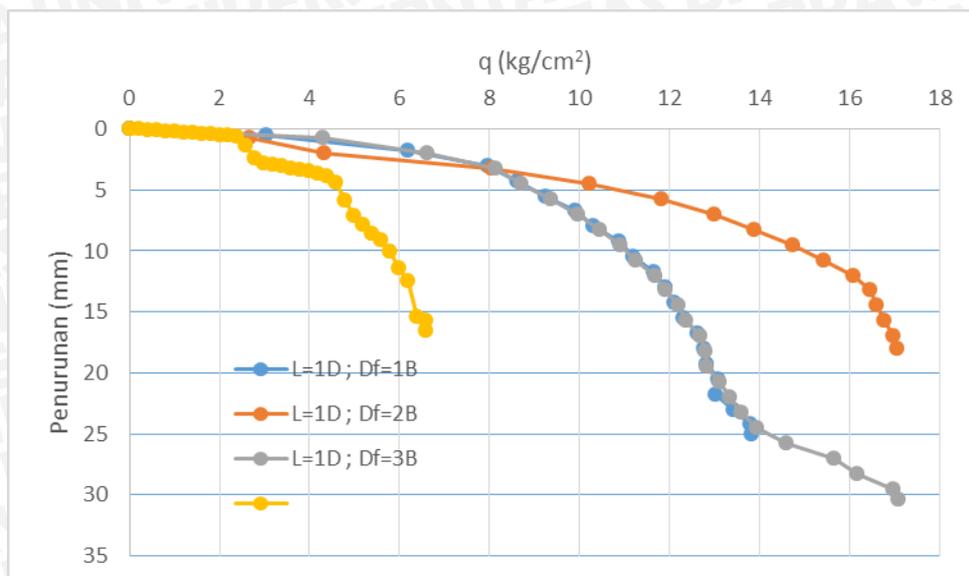
Gambar 4.14 Grafik Hubungan Penurunan terhadap Variasi Jarak antar Kolom

Dari **Tabel 4.6** dan **Gambar 4.14**, dapat dilihat bahwa pada panjang (Df) 10 cm besarnya penurunan (*settlement*) berbanding terbalik dengan jarak antar kolom, dimana seharusnya besarnya *settlement* akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jarak antar kolom. Pada panjang kolom (Df) 15 cm, besarnya *settlement* naik saat jarak kolom 5 cm dan sedikit turun pada jarak 6 cm. Pada panjang kolom (Df) 10 cm tidak sesuai dengan hipotesa awal, hal ini dimungkinkan karena faktor kesalahan yang terjadi pada saat perataan permukaan tanah. Pada saat melakukan perataan muka tanah sebelum pembebanan terkadang tanah stabilisasi harus di kikis sehingga panjang kolom stabilisasi (Df) berkurang yang menyebabkan variasi *settlement* yang tidak sesuai dengan hipotesa awal. Pengujian pembebanan yang dilakukan secara manual menggunakan *hydraulic pump* juga dapat menyebabkan penetrasi beban tidak konstan (lebih cepat atau lebih lambat), hal ini menyebabkan *settlement* yang terjadi dapat lebih besar atau lebih kecil. Pemotongan kolom saat sebelum pembebanan juga mengurangi kepadatan kolom DSM yang mempengaruhi besar kecilnya *settlement*.

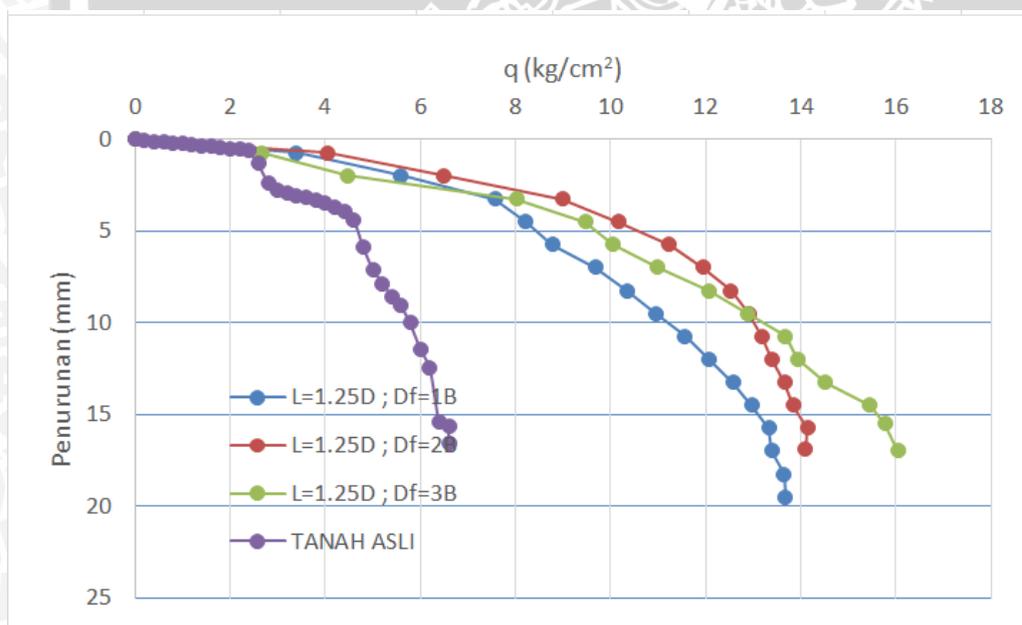
4.6.4.3 Penurunan tanah yang distabilisasi kolom DSM pada variasi panjang kolom (Df) terhadap jarak antar kolom (L)

Analisis penurunan tidak hanya ditinjau dari variasi jarak kolom terhadap panjang kolom saja, melainkan analisis penurunan pada variasi kedalaman kolom terhadap jarak antar kolom juga dilakukan. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi jarak dan panjang kolom DSM terhadap penurunan tanah. Adapun hasil uji pembebanan pada benda uji model terhadap nilai daya dukung pada

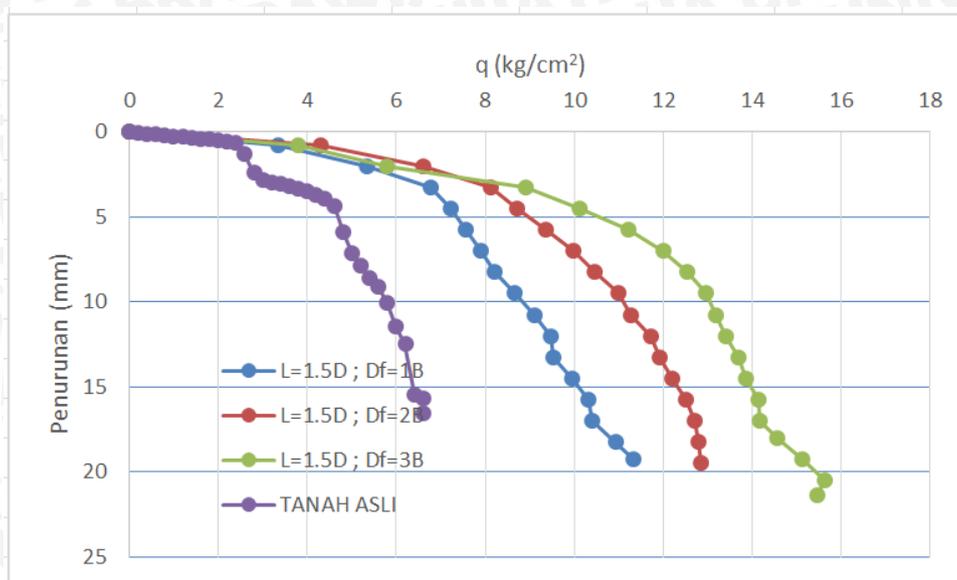
variasi panjang kolom terhadap jarak antar kolom adalah sebagai berikut:



Gambar 4.15 Grafik Hubungan Daya Dukung dengan Penurunan Terhadap Jarak Kolom (L) = 4 cm



Gambar 4.16 Grafik Hubungan Daya Dukung dengan Penurunan Terhadap Jarak Kolom (L) = 5 cm

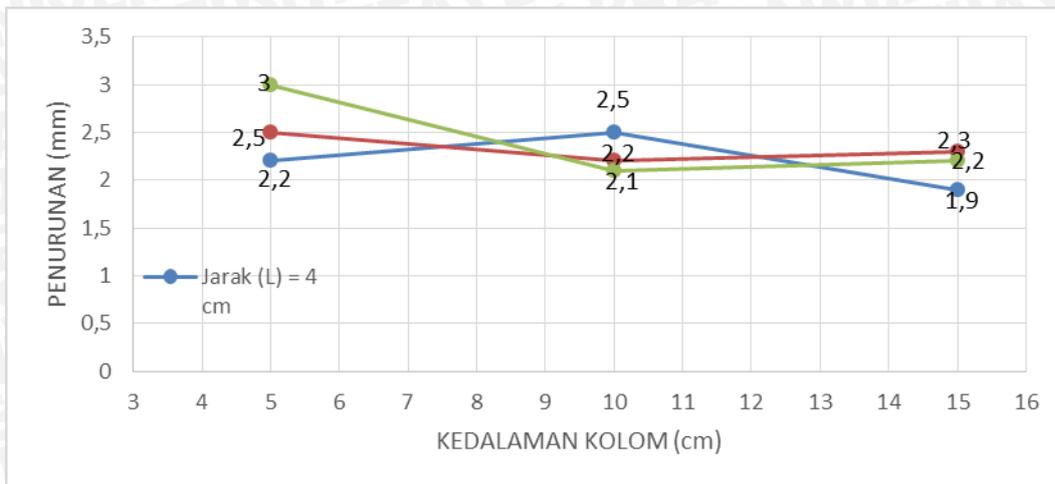


Gambar 4.17 Grafik Hubungan Daya Dukung dengan Penurunan Terhadap Jarak Kolom (L) = 6 cm

Dari **Gambar 4.15**, **Gambar 4.16**, dan **Gambar 4.17** telah diketahui besarnya penurunan yang terjadi pada nilai daya dukung yang sama, sehingga hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 4.7** dan **Gambar 4.18** berikut ini:

Tabel 4.7 Penurunan akibat Variasi Panjang Kolom

| Jenis Sampel | Jarak Kolom (L) | Panjang Kolom (Df) | Luas Pondasi (A) | q_u | Penurunan |
|------------------------------------|-----------------|--------------------|------------------|--------------------|-----------|
| | cm | Cm | cm ² | kg/cm ² | mm |
| Tanah Asli | - | - | 25 | 6.6 | 16.57 |
| Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash | 1D | 1B | 25 | 6.6 | 2.2 |
| | | 2B | 25 | 6.6 | 2.5 |
| | | 3B | 25 | 6.6 | 1.9 |
| | 1.25D | 1B | 25 | 6.6 | 2.5 |
| | | 2B | 25 | 6.6 | 2.2 |
| | | 3B | 25 | 6.6 | 2.3 |
| | 1.5D | 1B | 25 | 6.6 | 3.0 |
| | | 2B | 25 | 6.6 | 2.1 |
| | | 3B | 25 | 6.6 | 2.2 |



Gambar 4.18 Grafik Hubungan Penurunan terhadap Variasi Panjang antar Kolom

Dari **Tabel 4.7** dan **Gambar 4.18**, dapat dilihat bahwa besarnya penurunan (*settlement*) tidak sesuai dengan hipotesa yang ada, dimana besarnya *settlement* akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya panjang kolom. Hal ini terjadi karena factor-faktor kesalahan yang terjadi pada saat pembebanan dan setting alat yang dilakukan sebelum uji pembebanan. Pada saat melakukan perataan muka tanah sebelum pembebanan terkadang tanah stabilisasi harus di kikis sehingga panjang kolom stabilisasi (D_f) berkurang yang menyebabkan variasi *settlement* yang tidak sesuai dengan hipotesa awal. Selain itu pengujian pembebanan yang dilakukan secara manual menggunakan *hydraulic pump* juga dapat menyebabkan penetrasi beban tidak konstan (lebih cepat atau lebih lambat), hal ini menyebabkan *settlement* yang terjadi dapat lebih besar atau lebih kecil. Pemotongan kolom saat sebelum pembebanan juga mengurangi kepadatan kolom DSM yang mempengaruhi besar kecilnya *settlement*.

4.6.5 Analisis Pengaruh Variasi Jarak dan Panjang Kolom DSM 15 % *fly ash* Berdasarkan BCI

Analisis *Bearing Capacity Improvement* (BCI_u) adalah suatu analisis perbandingan antara daya dukung batas saat tanah distabilisasi kolom DSM 15% *fly ash* dengan tanah tanpa distabilisasi. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar peningkatan nilai daya dukung yang terjadi akibat adanya stabilisasi dengan kolom DSM yang diberi variasi jarak antar kolom dan panjang kolom. Selain itu juga, dari analisis BCI_u ini dapat diketahui manakah variasi yang lebih berpengaruh terhadap peningkatan nilai daya dukung tanah. Nilai BCI_u dapat dihitung dengan cara besarnya

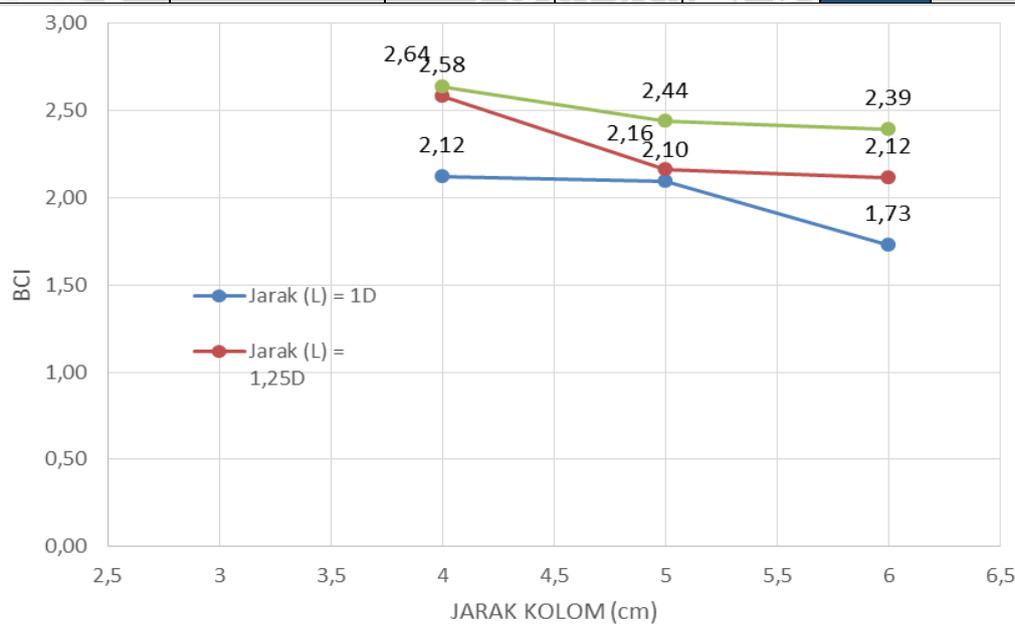
nilai daya dukung setelah stabilisasi dibagi dengan nilai daya dukung sebelum tanah distabilisasi yang kemudian hasilnya dijadikan prosentase.

4.6.5.1 Perbandingan BCI_U pada Variasi Jarak Antar Kolom (L) Terhadap Panjang Kolom (Df)

Untuk melihat pengaruh dari variasi jarak antar kolom terhadap BCI_U , dapat dilihat pada **Gambar 4.19** Dari hasil daya dukung yang telah dilakukan pada masing-masing variasi jarak antar kolom, maka nilai BCI_U dapat dihitung yang ditampilkan pada **Tabel 4.8** sebagai berikut:

Tabel 4.8 Nilai BCI_U pada Variasi Jarak Antar Kolom

| Jenis Sampel | Panjang Kolom (Df) | Jarak Kolom (L) | qu | BCI | Prosentase Peningkatan Daya Dukung | |
|------------------------------------|--------------------|-----------------|--------------------|------|------------------------------------|-------|
| | cm | Cm | kg/cm ² | | (%) | |
| Tanah Asli | - | - | 6,6 | 1 | | |
| Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash | 5 | 4 | 14,02 | 2,12 | 1,30 | 21,19 |
| | | 5 | 13,84 | 2,09 | | |
| | | 6 | 11,42 | 1,73 | | |
| | 10 | 4 | 17,06 | 2,58 | 19,64 | 2,00 |
| | | 5 | 14,26 | 2,16 | | |
| | | 6 | 13,98 | 2,11 | | |
| | 15 | 4 | 17,4 | 2,63 | 8,07 | 1,90 |
| | | 5 | 16,1 | 2,43 | | |
| | | 6 | 15,8 | 2,39 | | |



Gambar 4.19 Grafik Pengaruh Variasi Jarak antar Kolom Terhadap Nilai BCI

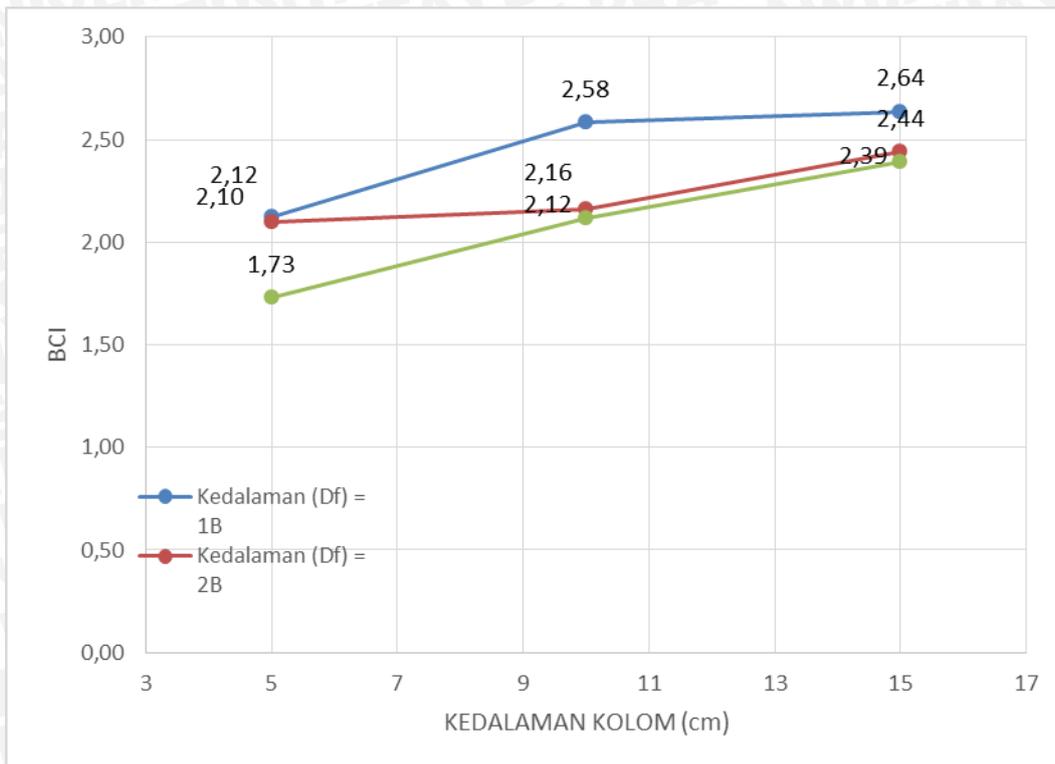
Berdasarkan pada **Tabel 4.8** dan **Gambar 4.19**, dapat diketahui bahwa bertambahnya jarak antar kolom (L) akan mengakibatkan menurunnya nilai daya dukung dan BCI_u . Peningkatan nilai daya dukung terjadi sangat signifikan pada jarak antar kolom 4 cm, dari tanah sebelum distabilisasi. Hal ini menunjukkan bahwa jarak antar kolom paling kecil (antar kolom bersinggungan) memberikan peningkatan nilai daya dukung terbesar.

4.6.5.2 Perbandingan BCI_u pada Variasi Panjang Kolom (D_f) Terhadap Jarak antar Kolom (L)

Untuk melihat pengaruh dari variasi panjang kolom terhadap BCI_u , dapat dilihat pada **Gambar 4.20**. Dari hasil daya dukung yang telah dilakukan pada masing-masing variasi panjang kolom, maka nilai BCI_u dapat dihitung yang ditampilkan pada **Tabel 4.9** sebagai berikut:

Tabel 4.9 Nilai BCI_u pada Variasi Panjang Kolom

| Jenis Sampel | Jarak Kolom (L) | Panjang Kolom (D_f) | q_u | BCI | Prosentase Peningkatan Daya Dukung | |
|------------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|------|------------------------------------|-------|
| | cm | Cm | kg/cm ² | | (%) | |
| Tanah Asli | - | - | 6,6 | 1 | | |
| Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash | 4 | 5 | 14,02 | 2,12 | 21,68 | 1,99 |
| | | 10 | 17,06 | 2,58 | | |
| | | 15 | 17,4 | 2,63 | | |
| | 5 | 5 | 13,84 | 2,09 | 3,03 | 12,90 |
| | | 10 | 14,26 | 2,16 | | |
| | | 15 | 16,1 | 2,44 | | |
| | 6 | 5 | 11,42 | 1,73 | 22,42 | 13,02 |
| | | 10 | 13,98 | 2,12 | | |
| | | 15 | 15,8 | 2,39 | | |



Gambar 4.20 Grafik Pengaruh Variasi Panjang Kolom Terhadap Nilai BCI

Berdasarkan pada **Tabel 4.9** dan **Gambar 4.20**, dapat diketahui bahwa semakin bertambah panjang kolom (Df) akan meningkatkan nilai daya dukung dan BCI_u . Peningkatan nilai daya dukung terjadi sangat signifikan pada panjang kolom 15 cm, dari tanah sebelum distabilisasi. Sedangkan, untuk panjang 5 cm, nilai daya dukung meningkat dari tanah sebelum distabilisasi. Hal ini menunjukkan bahwa panjang kolom paling besar memberikan peningkatan nilai daya dukung terbesar.

4.6.6 Pengaruh Variasi Jarak Antar Kolom (L) dan Panjang Kolom (Df) Terhadap Nilai Daya Dukung dan Penurunan Tanah

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi jarak antar kolom dan panjang kolom stabilisasi tanah ekspansif dengan metode *Deep Soil Mix* (DSM) terhadap nilai daya dukung tanah. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, yaitu pemodelan fisik tanah ekspansif yang distabilisasi dengan kolom DSM 15% *fly ash* dengan variabel bebas jarak antar kolom dan panjang kolom serta variabel terikat daya dukung dan penurunan tanah, didapatkan hasil bahwa variasi jarak antar kolom dan panjang kolom sangat berpengaruh terhadap nilai daya dukung tanah. Dalam penelitian ini tidak ditinjau lebih lanjut perhitungan secara numerik, sehingga hasil yang diperoleh adalah hasil pembacaan dari eksperimen di laboratorium.

Secara umum, stabilisasi tanah ekspansif dengan kolom DSM 15% *fly ash* terbukti dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah. Hal ini dapat terjadi karena adanya pengaruh penambahan nilai kepadatan tanah dan bahan aditif 15% *fly ash*. Seperti yang telah diketahui bahwa bahan stabilisasi berupa *fly ash* memiliki sifat *pozzolanic* yaitu sifat yang mampu untuk mengeras sendiri dan menambah kekuatan apabila bereaksi dengan air. Selain itu, rekasi antara kalsium yang terdapat dalam *fly ash* dengan alumina dan silikat yang terdapat dalam tanah dapat menghasilkan massa yang keras dan kaku, sehingga dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah. Selain itu, dengan memberikan variasi jarak antar kolom dan panjang kolom, peningkatan nilai daya dukung tanah memberikan hasil yang berbeda-beda. Hal ini terjadi karena dari variasi yang diberikan akan menghasilkan besarnya prosentase tanah yang distabilisasi.

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, diketahui bahwa nilai daya dukung berbanding lurus dengan nilai prosentase tanah yang distabilisasi. Semakin besar prosentase tanah yang distabilisasi, semakin besar pula nilai daya dukung yang diperoleh. Dan sebaliknya, semakin kecil prosentase tanah yang distabilisasi, semakin kecil pula nilai daya dukungnya. Kemudian, untuk variasi jarak antar kolom diperoleh bahwa nilai daya dukung tanah berbanding terbalik dengan jarak antar kolom. Semakin besar jarak antar kolom, maka nilai daya dukung menjadi semakin kecil. Dan sebaliknya, semakin dekat jarak antar kolom, nilai daya dukung semakin meningkat. Sedangkan, untuk variasi panjang kolom diperoleh bahwa nilai daya dukung tanah berbanding lurus dengan besarnya panjang kolom. Semakin besar panjang kolom, semakin besar pula nilai daya dukung yang didapatkan. Dan sebaliknya, semakin kecil panjang kolom maka nilai daya dukung juga semakin kecil. Dari variasi tersebut akan diketahui pula variasi manakah yang lebih dominan untuk meningkatkan nilai daya dukung tanah. Selain itu juga, variasi jarak dan panjang kolom berpengaruh terhadap besarnya penurunan (*settlement*). Nilai *settlement* berbanding lurus dengan jarak antar kolom dan berbanding terbalik dengan panjang kolom. Nilai *settlement* akan semakin besar seiring bertambahnya jarak antar kolom, namun akan semakin kecil seiring bertambahnya panjang kolom.

Untuk mengetahui variasi manakah yang lebih berpengaruh untuk meningkatkan daya dukung tanah dapat dilihat dari perbandingan peningkatan nilai daya dukung pada **Tabel 4.10**. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa variasi jarak antar kolom (L) memberikan pengaruh lebih besar terhadap peningkatan nilai daya dukung.

Tabel 4.10 Perbandingan Peningkatan BCI_u pada Variasi Jarak dan Panjang Kolom

| Variasi Jarak | | Peningkatan BCI _u | | Variasi Panjang | | Peningkatan BCI _u | |
|---------------|----|------------------------------|-------|-----------------|----|------------------------------|-------|
| Df | L | | | L | Df | | |
| cm | cm | % | % | Cm | Cm | % | % |
| 5 | 4 | 1,30 | 21,19 | 4 | 15 | 1,99 | 21,68 |
| | 5 | | | | 10 | | |
| | 6 | 5 | | | | | |
| 10 | 4 | 19,64 | 2,00 | 5 | 15 | 12,90 | 3,03 |
| | 5 | | | | 10 | | |
| | 6 | 5 | | | | | |
| 15 | 4 | 8,07 | 1,90 | 6 | 15 | 13,02 | 22,42 |
| | 5 | | | | 10 | | |
| | 6 | 5 | | | | | |

Sedangkan, untuk mengetahui variasi manakah yang lebih berpengaruh untuk menurunkan nilai penurunan (*settlement*) tanah, dapat dilihat dari perbandingan selisih nilai *settlement* pada masing-masing variasi pada **Tabel 4.11**. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa variasi jarak antar kolom (L) memberikan pengaruh lebih besar terhadap penurunan nilai *settlement*.

Tabel 4.11 Perbandingan Penurunan Nilai *Settlement* pada Variasi Jarak dan Panjang Kolom

| Variasi Jarak | | Selisih Penurunan | | Variasi Panjang | | Selisih Penurunan | |
|---------------|----|-------------------|-----|-----------------|----|-------------------|-----|
| Df | L | | | L | Df | | |
| cm | cm | mm | mm | Cm | cm | mm | Mm |
| 5 | 6 | 0,5 | 0,3 | 4 | 5 | 0,3 | 0,6 |
| | 5 | | | | 10 | | |
| | 4 | 15 | | | | | |
| 10 | 6 | 0,1 | 0,3 | 5 | 5 | 0,3 | 0,1 |
| | 5 | | | | 10 | | |
| | 4 | 15 | | | | | |
| 15 | 6 | 0,1 | 0,4 | 6 | 5 | 0,9 | 0,1 |
| | 5 | | | | 10 | | |
| | 4 | 15 | | | | | |

Dapat dilihat pada **Tabel 4.10** untuk variasi jarak peningkatan BCI_u paling signifikan terdapat pada panjang 10 cm dengan jarak 5 cm sebesar 19,64%, sedangkan untuk variasi panjang peningkatan BCI_u paling signifikan terdapat pada jarak 4 cm dengan panjang kolom 5 cm sebesar 21,68%.

Untuk perbandingan nilai *settlement* dapat dilihat pada **Tabel 4.11** penurunan nilai *settlement* paling signifikan untuk variasi jarak terdapat pada panjang 5 cm dengan jarak 6 cm sebesar 0,5 cm. Untuk variasi panjang penurunan nilai *settlement* paling signifikan terdapat pada jarak kolom 4 cm dengan panjang kolom 15 cm sebesar 0,9 cm.

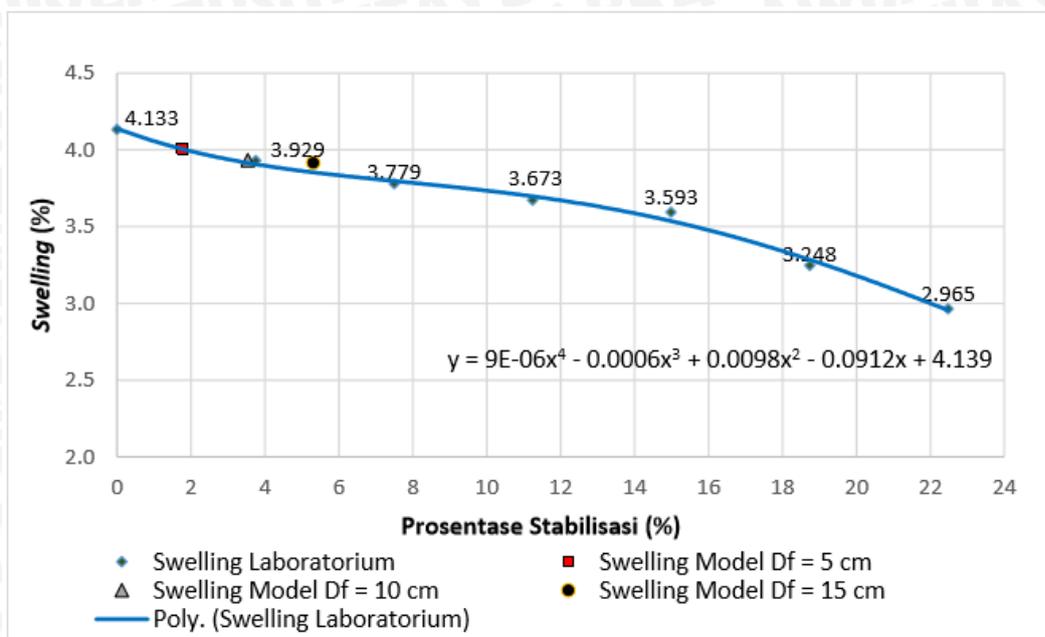
4.7 Pemeriksaan Pengembangan (swelling) Terhadap Prosentase Tanah Stabilisasi

Pada data hasil penelitian yang dilakukan oleh (Meisy, 2015) mengenai pengaruh pengembangan terhadap prosentase tanah yang distabilisasi dengan metode deep soil mixing, maka pada penelitian ini pun bisa membandingkan terhadap hasil penelitian tersebut. Di mana penelitian tersebut mengidentifikasi jumlah kolom DSM yang berarti berhubungan dengan prosentase tanah stabilisasi yang digunakan akan mempengaruhi nilai pengembangan tanah lempung ekspansif Bojonegoro. Data hasil penelitian mengenai pengaruh pengembangan terhadap prosentase tanah yang distabilisasi disajikan pada **Tabel 4.12**.

Tabel 4.12 Prosentase pengembangan terhadap prosentase kolom tanah stabilisasi (Meisy, 2015)

| Sampel | Variasi Jumlah Kolom | Volume Benda Uji | Volume Kolom | Persentase Stabilisasi | Pengembangan (<i>Swelling</i>) |
|------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|------------------------|----------------------------------|
| | | (cm ³) | (cm ³) | (%) | (%) |
| Tanah Asli | - | 2131,138 | 0 | 0 | 4,133 |
| Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash | 1 | | 79,835 | 3,746 | 3,929 |
| | 2 | | 159,669 | 7,492 | 3,779 |
| | 3 | | 239,504 | 11,238 | 3,673 |
| | 4 | | 319,338 | 14,984 | 3,593 |
| | 5 | | 399,173 | 18,730 | 3,248 |
| | 6 | | 479,007 | 22,477 | 2,965 |

Dari **Tabel 4.12** tersebut maka didapat pengembangan terhadap prosentase tanah yang distabilisasi seperti pada **Gambar 4.21**.



Gambar 4.21 Pengembangan tanah stabilisasi DSM berdasarkan jumlah kolom (Meisy, 2015)

Dari **Gambar 4.21** dapat diketahui bahwa semakin tinggi prosentase stabilisasi maka semakin kecil pengembangan yang terjadi. Hal ini disebabkan karena pengikatan tanah dengan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi lebih besar prosentasenya. Kondisi ini membuat kadar air lebih banyak diserap oleh campuran tanah dengan *fly ash* sehingga penyerapan air oleh tanah asli semakin berkurang yang mengakibatkan pengembangan tanah menjadi berkurang.

Maka dari itu jika dibandingkan terhadap penelitian ini akan didapat perbandingan prosentase stabilisasi tanah yang distabilisasi dengan pengembangan. Tabel perbandingan prosentase tanah yang distabilisasi disajikan pada **Tabel 4.13**.

Tabel 4.13 Prosentase pengembangan terhadap prosentase kolom tanah stabilisasi penelitian DSM

| Sampel | Df | L | Volume Kolom | Volume Benda Uji | Persentase Stabilisasi | Pengembangan (swelling) | Penurunan Swelling dari tanah Asli |
|------------------------------------|------|------|--------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| | (cm) | (cm) | (cm ³) | (cm ³) | (%) | (%) | (%) |
| Tanah Asli + Kolom DSM 15% Fly Ash | 5 | 4 | 942,45 | 8000,00 | 11,78 | 3,46 | 0,67 |
| | | 5 | 502,65 | | 6,28 | 3,81 | 0,33 |
| | | 6 | 453,50 | | 5,67 | 3,83 | 0,30 |
| | 10 | 4 | 1884,90 | | 23,56 | 0,00 | 4,13 |
| | | 5 | 1005,30 | | 12,57 | 3,37 | 0,76 |
| | | 6 | 907,00 | | 11,34 | 3,51 | 0,63 |
| | 15 | 4 | 2827,35 | | 35,34 | 0,00 | 4,13 |
| | | 5 | 1507,95 | | 18,85 | 2,00 | 2,14 |
| | | 6 | 1360,50 | | 17,01 | 2,55 | 1,59 |

Dari **Tabel 4.13** tersebut dapat diketahui bahwa pada prosentase tanah yang distabilisasi metode DSM untuk jumlah kolom 15 buah dengan diameter kolom 4 cm pada panjang 2B (10 cm) sebesar 23.56 % sudah tidak terjadi pengembangan (*swelling*).