

STUDI DISTRIBUSI BEBAN MERATA LAJUR PADA TANAH LUNAK JENUH

Vemi Widoanindyawati¹⁾, Bambang Widodo²⁾, Teguh Mulyo Wicaksono¹⁾, Fikri Praharseno¹⁾

¹⁾ Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Semarang

²⁾ Jurusan Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Semarang

Jl. Prof. H. Soedarto, S.H. Tembalang, Kota Semarang, 50275

Email: vemiway@gmail.com

ABSTRAK

Lapisan tanah yang dibebani akan mengalami penurunan (*settlement*). Beban yang diberikan akan didistribusikan ke dalam lapisan tanah di bawahnya dengan pola penyebaran tergantung bentuk penampang beban dan jenis tanah. Dalam praktik sering dijumpai menghitung distribusi beban dengan pola penyebaran $IV : 1H$ yang membentuk sudut penyebaran 45° atau dengan distribusi $2V : 1H$. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi tegangan pada tanah lunak jenuh akibat beban merata lajur. Metode penelitian ini dilakukan dengan membuat model uji berupa kotak yang diisi tanah lempung lunak. Tanah yang berada dalam kotak pengujian dijaga kejenuhannya dengan memberikan air secara berkelanjutan. Tanah di bawah luasan pondasi sedalam dua kali lebar pondasi ($2B$) dibuat berwarna. Pondasi dengan ukuran $10 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ dibuat dengan rangkaian pralon diameter 16 mm ($5/8''$), kemudian disusun tiga lapis. Pembebanan pondasi diberikan secara bertahap yaitu 23,22; 64,04; 89,60; 118,78; 134,78 kilogram, dan dilakukan pencatatan beban dan penurunan yang terjadi. Ketika dibebani maka tanah yang berwarna di bawah pondasi akan memendek dan melebar sesuai dengan beban yang didistribusikan. Tanah dipotong untuk mengetahui bentuk distribusi bebannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi beban dengan pondasi persegi lajur adalah 2,25 Vertikal : 1 Horizontal ($2,25 V : 1 H$).

Kata kunci: Tanah lunak, Distribusi tegangan dalam tanah, beban merata lajur.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tanah dalam ilmu teknik sipil mempunyai peranan penting dalam setiap perencanaan bangunan, baik itu untuk bangunan gedung maupun konstruksi bangunan lainnya yang berdiri diatas tanah. Jika lapisan tanah mengalami pembebanan maka lapisan tanah akan mengalami regangan (*strain*) atau penurunan (*settlement*). Dari berbagai jenis tanah, terdapat jenis tanah yang mempunyai karakteristik buruk yaitu tanah lempung lunak. Tanah lempung lunak seringkali menjadi sumber masalah yang paling banyak terjadi pada berbagai jenis proses konstruksi. Tanah ini menyebabkan distribusi beban yang terjadi kecil

sehingga tambahan tegangan pada kedalaman tertentu menjadi besar.

Menurut Budhu (2010), distribusi tegangan dalam tanah yang telah diberi beban ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tanah bersifat semi-infinite, homogen, linear, isotropis dan elastis. Tegangan di dalam massa tanah juga dapat disebabkan oleh beban yang bekerja di permukaan maupun oleh beban akibat berat sendiri tanah. Tegangan yang berasal dari beban pada permukaan tanah berkurang bila kedalaman bertambah. Sebaliknya, tegangan yang berasal dari berat sendiri tanah (*overburden*) bertambah bila kedalamannya bertambah.

Bentuk distribusi tegangan di dalam lapisan tanah akibat beban luar

yang bekerja di atas lapisan tanah, tergantung bentuk penampang beban dan jenis tanah. Pada tanah lunak distribusi beban lebih kecil dibanding tanah yang lebih baik (Das, 1993). Akibat beban luar yang bekerja tanah akan mengalami penurunan sehingga akan menimbulkan perpindahan tanah secara vertikal dan horizontal.

Perbandingan penyebaran 1V: 1H, dan 2V : 1H, sering dimunculkan pada analisis tegangan yang terjadi pada suatu kedalaman akibat beban luar yang bekerja. Perbandingan ini dipakai tanpa melihat jenis lapisan tanahnya, oleh sebab itu, penelitian ini akan membahas bentuk distribusi tegangan dalam lapisan tanah akibat beban merata lajur.

Rumusan masalahnya adalah bagaimana distribusi tegangan pada tanah lunak yang jenuh akibat beban merata lajur, sedangkan tujuan penelitian ini adalah mengetahui distribusi tegangan pada tanah lunak yang jenuh akibat beban merata lajur. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah memberikan gambaran baru distribusi tegangan tanah.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisa terhadap bentuk distribusi pembebanan dengan beban pondasi persegi lajur pada tanah lunak jenuh.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Lunak dan Tanah Lempung

Tipe dan jenis tanah lunak ditentukan oleh sifat dan karakteristik tanah, yang meliputi: perubahan volume, jumlah dan jenis kandungan mineral, berat isi asli, perubahan kadar air, kepadatan tanah, kondisi pembebanan, struktur tanah dan waktu (Soetjiono, 2008).

Tanah lunak dikenal sebagai salah satu jenis tanah yang paling bermasalah dalam aplikasi teknik. Perilaku tanah lunak lebih rumit dibandingkan dengan jenis tanah lainnya. Terzaghi (1943) menyatakan bahwa tanah lunak dibagi menjadi tiga jenis yaitu tanah lanau, tanah lempung, dan tanah gambut. Ketiga jenis tanah tersebut memberikan kriteria yang berbeda beda. Tanah lanau dan tanah lempung sering dijadikan analisis penentuan sifat tanah di bidang Geoteknik. Menurut Budhu (2010), Kriteria sifat tanah lempung lunak memiliki nilai sudut geser (ϕ) = 14°-20°, undrained shear strength (C_u) = 25-50 kPa, berat volume (γ) 14,2-15,8 kN/m³, kompresibilitas (C_c) 0,3-0,15 (Budhu, 2010).

Kompresibilitas dan Penurunan Tanah Dasar

Satu dari banyak sifat-sifat tanah yang penting yang berkaitan dengan teknik pondasi adalah kompresibilitas, yaitu respon tanah untuk berubah akibat tegangan normal. Sebagai contoh pondasi dibangun dan dibebani, maka *normal stress* tanah di bawahnya meningkat dan hubungan tegangan normal dan regangan akan terjadi. Regangan ini akan berlanjut menghasilkan penurunan.

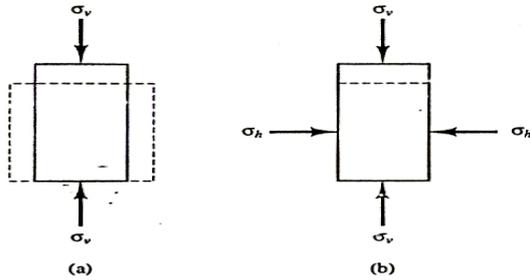
Modulus Elastisitas & Poisson's Ratio

Modulus elastisitas, E (sering dikenal dengan Modulus Young) dan Poisson ratio, ν . Jika material dibebani secara vertikal dan secara horisontal tidak di kekang ($\sigma_h = 0$), seperti pada Gambar 1, kemudian parameternya di definisikan seperti Persamaan 1), dan Persamaan 2).

$$E = \frac{\sigma_v}{\epsilon_v} \quad (1)$$

$$\nu = \frac{\epsilon_h}{\epsilon_v} \quad (2)$$

dengan : σ_h = tegangan horizontal, σ_v = tegangan normal vertikal, ϵ_h = regangan horizontal, ϵ_v = regangan normal vertikal.



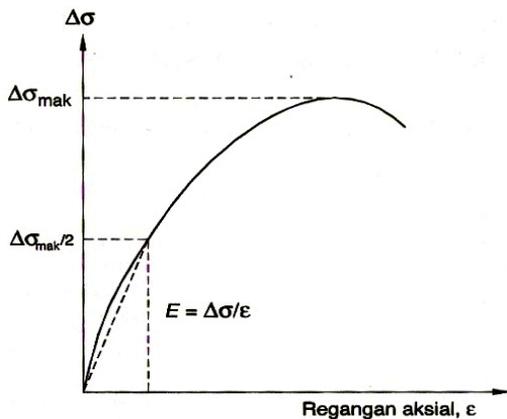
a) Tanpa kekangan lateral
b) diberikan tegangan lateral.

Gambar 1. Perilaku Tegangan-Regangan Material dengan Beban Vertikal (Coduto, 1994).

Penentuan Modulus Elastisitas Tanah dan Poisson Ratio

Modulus elastisitas dan Poisson rasio sangat penting untuk menghitung penurunan. Dalam praktek sangat sulit menentukan nilai E, karena E bertambah jika kedalaman sampel tanah bertambah.

Modulus elastisitas, E ditentukan dari uji *triaxial* kondisi *undrained*, dimana E ditentukan dari pendekatan kemiringan kurva tegangan-regangan yang diambil pada 1/2 dari beban ultimate aksial (Gambar 2). *Poisson ratio* (ν) dapat dihitung dari pengukuran regangan kompresi aksial dan regangan lateral selama uji.



Gambar 2. Penentuan Modulus Elastisitas, E (Hardiyatmo, 1994).

Tabel 1.

Tipikal nilai modulus elastisitas tanah (E) - Bowles (1997)

Macam tanah	E (kN/m ²)
Lempung kondisi tak terdrainase:	
Sangat lunak/Very Soft	2000 - 15000
Lunak/Soft	5000 - 25000
Sedang/Medium	15000 - 50000
Keras/Hard	50000 - 100000
Sandy/Kepasiran	25000 - 250000
Pasir:	
Kelanauan/Silty	5000 - 20000
Lepas/Loose	10000 - 25000
Padat/Dense	50000 - 81000
Pasir dan Kerikil/ Sand and Gravel:	
Lepas/Loose	50000 - 150000
Padat/Dense	100000 - 200000
Serpihan/Shale	150000 - 500000
Lanau/Silt	2.000 - 20.000

Tabel 2.

Tipikal nilai Poisson ratio (ν) Bowles (1997)

Macam tanah	ν
Lempung jenuh	0,40-0,50
Lempung tak jenuh	0,10-0,30
Lempung berpasir	0,20-0,30
Lanau	0,30-0,35
Pasir padat, Pasir berkerikil	0,30-0,40
Batu	0,20-0,40
Pasir lepas	0,10-0,30
Beton	0,15

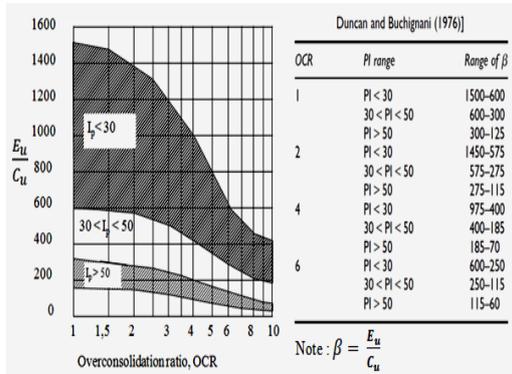
Para ahli mengukur E (atau parameter lain yang mendiskripsikan kompresibilitas) untuk masing-masing tanah, dan pengukuran ukuran tersebut berdasar perhitungan penurunan. Tipikal nilai E di tampilkan pada Tabel 1. dan tipikal nilai ν ditampilkan pada Tabel 2.

Nilai modulus elastisitas tanah lempung dapat diperoleh dari uji *triaxial undrained* (E_u) di laboratorim. Selain uji *triaxial* nilai E_u dapat diperoleh dengan mengkorelasikan nilai kuat geser *undrained* (S_u atau C_u), untuk memperkirakan penurunan pada tanah lempung. Bjerrum (1972) menyatakan nilai E_u antara 500 sampai 1500 S_u .

Hubungan E_u dan C_u pada tanah lempung dikemukakan oleh Duncan & Buchignani (1976), ditampilkan pada Gambar 3. Hubungan E_u dan C_u ditampilkan pula dengan Persamaan (3),

dengan menganggap bahwa hubungan E' dan E_u dinyatakan $E' \pm 0.8 E_u$.

$$E_u = (250-500) \cdot c_u \text{ (kPa)} \quad (3)$$



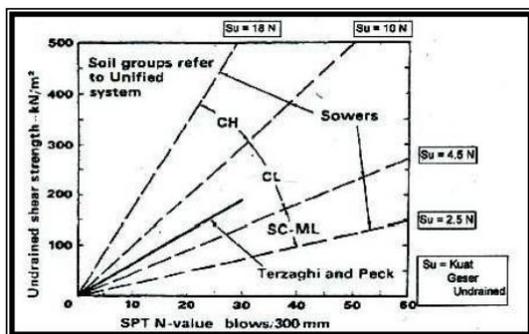
Gambar 3. Hubungan C_u dan E_u pada Tanah Lempung (Duncan & Buchignani, 1976)

Terzaghi & Peck (1967), menampilkan hubungan antara q_u vs N SPT pada Tabel 3. Korelasi nilai N vs S_u diperlihatkan pada Gambar 3.

Tabel 3.

Korelasi antara q_u – NSPT (Terzaghi & Peck 1967)

Consistency	SPT-N	Q_u (kPa)
Very soft	< 2	< 25
Soft	2 - 4	25 - 50
Medium	4 - 8	50 - 100
Stiff	8 - 15	100 - 200
Very stiff	15 - 30	200 - 400
Hard	> 30	> 400



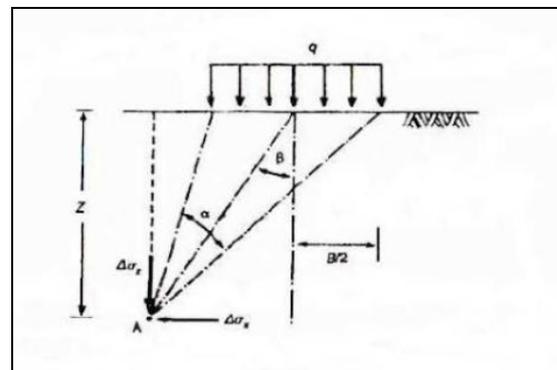
Gambar 4. Korelasi nilai N SPT vs S_u (Terzaghi & Peck, 1967; Sowers, 1979).

Distribusi Tegangan dalam Tanah Tanah dianggap bersifat elastis, homogen, isotropis, dan terdapat hubungan linier antara tegangan dan

regangan. Tegangan-tegangan didalam masa tanah dapat disebabkan oleh beban yang bekerja dipermukaan maupun oleh beban akibat berat sendiri tanah. Tegangan yang berasal dari beban permukaan tanah berkurang bila kedalaman bertambah.

a) Tegangan akibat beban merata jalur

Tambahan tegangan pada titik A di dalam tanah akibat beban terbagi rata q yang berbentuk jalur memanjang (Gambar 5) dinyatakan oleh Persamaan 3) dan Persamaan 4).



Gambar 5. Tegangan Akibat Beban Terbagi Rata Berbentuk Jalur Memanjang.

Tambahan tegangan vertikal pada arah sumbu-z:

$$\Delta\sigma_z = q/JI (\alpha + \sin \alpha \cos 2 \beta) \quad (4)$$

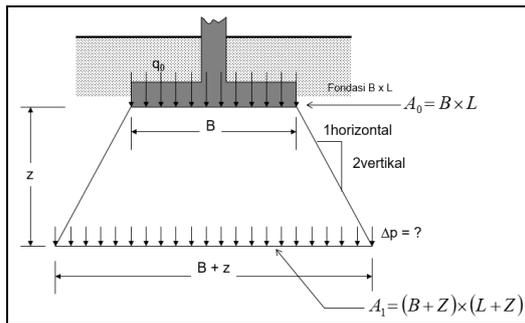
Tambahan tegangan vertical pada arah sumbu-x:

$$\Delta\sigma_x = q/JI (\alpha - \sin \alpha \cos 2 \beta) \quad (5)$$

b) Metoda Penyebaran 2V : 1H

Besarnya tambahan tegangan akibat beban dengan metode 2V : 1H ditampilkan pada Persaman 3), dan bentuk penyebaran ditampilkan pada gambar 6.

$$\Delta\sigma_z = (q \cdot B \cdot L) / (B+Z)L = (q \cdot B) / (B+Z) \quad (6)$$



Gambar 6. Distribusi Tegangan Metoda 2 V : 1 H

Berdasarkan hasil penelitian (Fu Zhu, et al. 2017) ketika menentukan nilai tegangan dasar berbagai efek penyerta disertakan dalam perencanaan diantaranya penurunan, tegangan utama, ketebalan lapisan tanah, dan kuat geser tanah. Menurut (Conniff & Kioussis, 2007) aspek yang paling utama pada interaksi lapisan tanah adalah distribusi tegangan kontak di bawah pondasi. (Algin, 2007) menyatakan bahwa distribusi tegangan pada tanah adalah fungsi dari tipe tanah tersebut (sebagai contoh pasir atau lempung) serta kekakuan pondasi.

METODOLOGI

Alur penelitian secara urut diawali dengan studi literatur, kemudian pengambilan sampel tanah, pengujian sampel tanah, perancangan benda uji, pengujian model, selanjutnya kompilasi data, dan analisis data kemudian dilanjutkan dengan pembahasan dan ditutup dengan kesimpulan dan saran.

Bahan Utama

Sampel tanah dalam penelitian merupakan salah satu bahan utama, berasal dari sedimentasi sungai Kaligawe, Semarang dimana jenis tanah pada daerah tersebut merupakan tanah lempung lunak. Tanah diambil dalam keadaan terganggu (*disturbed*), dimasukkan dalam bak uji, kemudian dijenuhkan dengan memberikan air pada

kotak uji tersebut. Material tanah ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Sampel Tanah.

Selain tanah, bahan utama dalam penelitian ini adalah oker warna. Bahan ini digunakan untuk mewarnai tanah yang akan diuji. Pewarnaan ini bertujuan untuk mengetahui penyebaran tanah tersebut akibat tekanan/beban yang diberikan. Air digunakan untuk membuat tanah dalam kondisi jenuh, karena proses pengambilan tanah ke tempat pengujian yang menyebabkan kadar air dalam tanah berubah, maka harus diberi tambahan air agar tanah tetap pada kondisi jenuh. Paralon dan lem perekat merupakan bahan utama yang akan digunakan sebagai pemodelan pondasi lajur. Paralon diameter 5/8 inch panjang 4 meter. Paralon dipotong sepanjang 60 cm sebanyak 8 buah, dan 10 cm sebanyak 26 buah. Akrilik merupakan plastik yang bentuknya menyerupai kaca. Namun, akrilik mempunyai sifat-sifat yang membuatnya lebih unggul dibandingkan dengan kaca. Akrilik merupakan bahan yang tidak mudah pecah, ringan, dan juga mudah untuk dipotong, dikikir, dibor, dihaluskan, dikilapkan atau dicat. Akrilik yang akan digunakan adalah akrilik dengan tebal 6mm.

Pengujian Tanah

Pengujian tanah dilakukan pada sampel tanah yang diambil dari kotak model. Pengujian tanah sebagai pengujian pendahuluan meliputi pengujian berat volume, kadar air, batas

konsistensi, analisis butiran, *unconfined compression test*. Hasil pengujian tanah didapatkan kadar air, $w = 43,5 \%$, berat volume basah, $\gamma_b = 1,69 \text{ gr/cm}^3$; $G_s = 2,66$; $LL = 54,90\%$; $PL = 36,61\%$; $PI = 18,28 \%$; fraksi halus = 74% , $q_u = 0,176 \text{ kg/cm}^2 = 17,6 \text{ kPa}$.

Perancangan Benda Uji

Pembuatan Kotak Uji

Tahapan pembuatan benda uji diawali dengan pembuatan kotak uji dari material akrilik tebal 6 mm seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8, serta diberi perkuatan pada luar kotak dengan menggunakan klem dari bahan kayu yang disambung dengan mur dan baut. Pada salah satu sisi kotak diberi stiker ukuran milimeter untuk melihat ketinggian air dan tanah yang akan diisikan. Lebar kotak uji yang digunakan berdimensi $120\text{cm} \times 90\text{cm} \times 80\text{cm}$.



Gambar 8. Kotak Uji

Pembuatan Pemodelan Pondasi

Membuat pemodelan pondasi lajur dengan pralon yang dirakit atau disusun menjadi 3 lapis dengan susunan lapis pertama 10 cm sebanyak 26 buah potongan pralon, lapis kedua 60 cm sebanyak 4 buah potongan pralon, dan lapis ketiga sama dengan lapis pertama. Kemudian di atasnya susunan pralon diberi alas triplek guna meratakan permukaan atas dari susunan pralon tersebut seperti yang dapat ditampilkan pada Gambar 9.



Gambar 9a. Tampak Atas Pemodelan Pondasi



Gambar 9b. Tampak Samping Pemodelan Pondasi



Gambar 9c. Tampak Samping Pemodelan Pondasi

PELAKSANAAN PENELITIAN

Dalam proses pengujian kita memerlukan prosedur atau langkah-langkah yang akan dilakukan selama proses pengujian.

Persiapan Tanah Uji

Tanah dimasukkan dengan elevasi 70cm dari dasar kotak uji, agar masih ada ruang untuk pemasangan benda uji, tanah yang berada di dalam kotak akrilik tersebut direndam dengan air sampai tanah mengalami proses pemadatan dan penjenuhan. Kemudian permukaan tanah tersebut diratakan. Gambar 10 adalah proses pengisian tanah dalam kotak uji.



Gambar 10. Persiapan Tanah Uji

Pengisian Tanah Warna Bawah Pondasi

Setelah tanah dalam kotak akrilik dianggap jenuh dan homogen dan rata, cetakan kotak untuk tanah warna dibenamkan dalam tanah uji sehingga rata dengan tanah uji. Cetakan kotak warna dibuat dari plat baja berbentuk persegi panjang dengan denah penampang 10cm x 50cm tinggi 20cm. Tanah yang masuk dalam cetakan digali dan diganti dengan tanah warna, setelah warna penuh dan rata dengan tanah sekitarnya, cetakan tanah warna tersebut ditarik keluar. Proses pembuatan tanah warna di bawah pondasi ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Pencetakan Tanah Warna Bawah Pondasi

Peletakan Permodelan Pondasi

Peletakan permodelan pondasi menggunakan pralon yang disusun menjadi seperti rakit, model pondasi tersebut diletakan diatas tanah uji secara langsung. Kemudian diletakan waterpass di atas permukaan model pondasi untuk memastikan elevasinya sudah rata seperti yang dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Peletakan model Pondasi

Pemasangan Dial Gauge

Pemasangan alat ukur dial gauge bertujuan untuk mengetahui penurunan yang terjadi pada tanah, alat ukur yang digunakan adalah *dial gauge* kapasitas 50 mm. Dial gauge yang telah terpasang ditampilkan pada gambar 13.



Gambar 13. Pemasangan Dial Gauge

Pengujian Pembebanan Dan Pencatatan Penurunan Pondasi

Pembebanan awal sebesar 23,22 kg diberikan dan penurunan pondasi dicatat setelah 15 menit. Penambahan beban berikutnya dilakukan dan setelah 15 menit dibaca penurunannya, begitu seterusnya sampai tanah tidak mampu menerima beban lagi (*collapse*). Proses pembebanan ditampilkan pada gambar 14.



Gambar 14. Pembebanan Benda Uji

Hasil dari pelaksanaan pengujian pembebanan (*loading*) dan pengangkatan beban (*unloading*), menghasilkan data hasil penurunan dan kenaikan akibat beban terbagi rata lajur. Data loading dengan penurunan, dan data unloading dengan penurunan ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 4.
Data *loading-unloading*

No	Beban kg	Penurunan mm	
		Loading	Unloading
1	0,00	0,0	-105,1
2	23,22	-40,3	-110,2
3	64,04	-60,2	-112,3
4	89,60	-79,9	-113,1
5	118,78	-100,3	-115,4
6	134,78	-119,8	-119,8

Berdasarkan hasil penelitian diatas dapat diketahui bahwa pembebanan berhenti pada 134,78 kg dengan hasil analisis penurunan didapatkan yaitu 119,8mm = 12cm.

Setelah berhenti diberi beban dan didapatkan hasil penurunan tanahnya, kemudian dilanjutkan pengangkatan beban (*unloading*). Hasil data pengangkatan beban (*unloading*), tanah mengalami kenaikan sebesar 14,7mm = 1,5cm.

Pengamatan Distribusi Tegangan

Pengamatan dilakukan setelah pengujian pembebanan selesai. Tanah yang ada dalam kotak uji dipotong atau

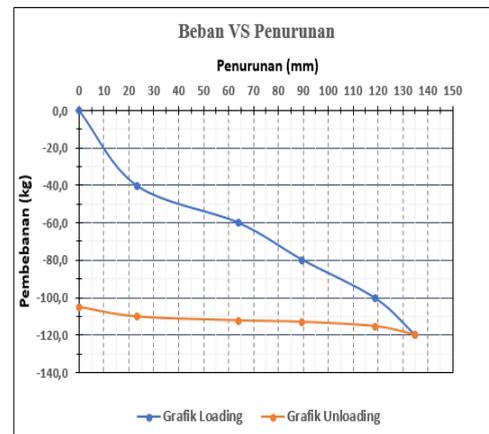
digali disekitar tanah uji sedalam 40 cm. Profil perubahan bentuk tanah yang berwarna dicatat. Pemotongan tanah dan perubahan bentuk tanah warna ditampilkan pada gambar 15.



Gambar 15. Pemotongan Tanah Uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

Plotting hasil pengujian dari tabel 4 ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan pembebanan dengan penurunan, seperti yang ditampilkan pada gambar 16.



Gambar 16. Grafik *Loading Unloading*

Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil analisis fisik pengamatan secara langsung, dapat dilihat bahwa ketika tanah diberi pembebanan maka akan terjadi penyebaran beban secara vertikal dan horizontal. Pada penelitian ini di kedalaman 9cm terdapat penyebaran secara horizontal sebesar 4cm, maka perbandingan distribusi beban yang

terjadi adalah 9V : 4H, jika disederhanakan menjadi 2,25 V : 1 H.



Gambar 17. Distribusi Beban

PENUTUP

Simpulan

Hasil dari penelitian analisa distribusi tegangan tanah lunak akibat beban lajur dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Tanah lunak yang jenuh terendam air kemudian dibebani. Tekanan akibat beban tersebut ke tanah menyebabkan kompresi elastik yang menyebabkan penurunan segera, sehingga terjadi distribusi tegangan tanah ke arah vertikal dan horizontal.
2. Hasil pengukuran dari penelitian, perbandingan distribusi beban pada pondasi lajur 2,25 V : 1 H.

Saran

1. Perlu kiranya diadakan penelitian lebih lanjut mengenai distribusi tegangan tanah lunak agar lebih diperdalam kembali.
2. Pengujian di laboratorium sebaiknya dilakukan dengan teliti dalam menghitung dan membaca alat ukur untuk menghindari kesalahan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada keluarga Jurusan Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Semarang yang telah membantu di dalam pengujian material dan pembuatan benda uji. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang.

DAFTAR PUSTAKA

- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Dasar Dasar Perencanaan Geometrik Ruas Jalan*. Bandung: BPSDM.
- Algin, H. M, (2007), *Practical formula for dimensioning a rectangular footing, Engineering Structures*, 29 (1) : 1128–1134.
- Bowles, J.E., (1977), *Foundation Analysis and Design*”, McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo, Japan.
- Budhu, M., (2010), *Soil Mechanics and Foundations*”, 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc., Hoboken
- Coduto, D.P., (1994), *Foundation Design Principles and Practices*”, Prentice-Hall Inc, New Jersey.
- Conniff, D E & Kioussis, P. D., (2007), *Elastoplastic medium for foundation settlements and mono-tonic soil structure interaction under combined loadings*”, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 31 (1): 789 807.
- Das, B. M., (1985). *Advanced Soil Mechanics*.Singapore : Mc Graw Hill.
- Duncan, J. M. and Buchignani, A. L. (1976), *An engineering manual for settlement studies*, University of California at Berkeley, Berkeley, California.

- George F. Sowers, (1979), *Introductory Soil Mechanics and Foundations*. Macmillan Publishers Limited
- Hardiyatmo, H. C., (1994), “*Mekanika Tanah II*”, Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Soetjiono, C., (2008), “*Perbaikan Tanah untuk Penerapan Teknologi Konstruksi di Atas Tanah Lunak*”, Bandung.
- Terzaghi, K., (1943), “*Theoretical Soil Mechanics*”, John Wiley & Sons, inc, New York.
- Terzaghi, K and Peck R.B., (1967), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Willey, New York.
- Zhu Fu, Wanxi Zhang, Weizhi Dong and Mingzhi Sun, (2017), “*A new calculation method for the bearing capacity of soft soil foundation*”, *Advances in Mechanical Engineering* 2017, Vol. 9(10) 1–7.