

SUDUT PENYEBARAN BEBAN PONDASI DANGKAL DI ATAS TANAH URUG

Sugie Prawono

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil – Universitas Kristen Petra

Edyson Tobing, Tan Hong Teian

Alumni Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil - Universitas Kristen Petra

ABSTRAK

Teori distribusi tegangan dalam tanah yang homogen tidak memperhitungkan pengaruh kepadatan tanah, sedangkan metode perbaikan tanah dengan urugan justru mengandalkan kepadatan tanah urugan ini. Distribusi tegangan dalam tanah dapat dianggap sebagai hasil penyebaran beban melalui suatu sudut penyebaran tertentu, yang diukur terhadap sumbu vertikal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan kepadatan dan tebal suatu tanah urug dengan sudut penyebaran tersebut.

Hasil penelitian menyimpulkan bahwa sudut penyebaran (α) makin besar bilamana kepadatan tanah urug (γ_{dry}) ditingkatkan dan tebalnya dikurangi. Pengaruh kepadatan terhadap sudut penyebaran lebih dominan daripada ketebalan.

Kata kunci : Sudut penyebaran beban, kepadatan tanah.

ABSTRACT

Existing theories of stress distribution in a homogeneous soil do not consider the effect of soil density, even though the density test is always used to check the quality of compacted fill. It is always assumed that a surface load is distributed in the soil beneath the foundation through an angle of distribution from the vertical direction.

The purpose of this research is to check the relationship of the density and thickness of a filling material to the angle of distribution.

Results of this investigation concluded that the angle of distribution will increase if the compacted soil was made more compact in a reduced thickness. Effect of soil density is more dominant compared to the thickness of the fill.

Key words : angle of distribution, soil density.

PENDAHULUAN

Penggunaan pondasi dangkal untuk bangunan tingkat rendah yang didirikan di atas tanah liat lunak harus menghadapi masalah, yaitu penurunan yang besar serta daya dukung tanah yang kecil. Salah satu cara yang dilakukan untuk mengatasi hal tersebut di atas adalah melakukan perbaikan dengan mengganti

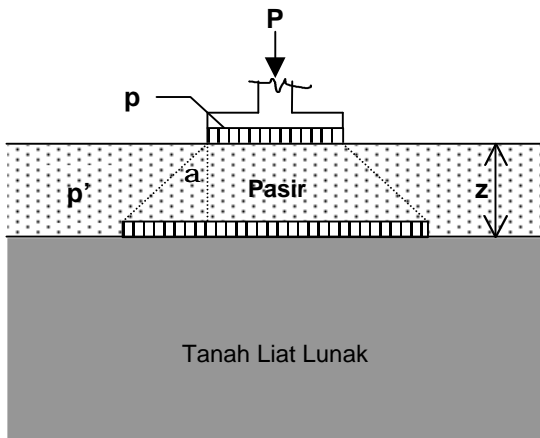
sebagian tanah liat lunak dengan urugan dari tanah pasir. Akibatnya beban-beban yang disalurkan ke pondasi tidak langsung diterima oleh tanah liat lunak tetapi diterima terlebih dahulu oleh tanah urug pasir dan disebarkan sehingga tegangan akibat pondasi yang bekerja di atas permukaan tanah liat lunak menjadi lebih kecil (seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1).

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Desember 1999. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil Volume 2 Nomor 1 Maret 2000.

Berbagai teori sudah dikembangkan untuk menghitung tegangan tanah yang terjadi pada kedalaman tertentu seperti Boussinesq (1885),

Westergaard (1938), Newmark (1942), ataupun Metode pendekatan 2 Vertikal : 1 Horisontal[1,2]. Namun teori-teori tersebut di atas hanya berlaku untuk lapisan tanah yang homogen. Untuk tanah yang tidak homogen misalnya lapisan atas tanah urug pasir dan lapisan bawah tanah liat lunak, teori-teori tersebut tidak memberikan kepastian. Kepadatan tanah urug juga mempengaruhi sudut penyebaran beban yang terjadi di dalam tanah urug, seperti yang dikemukakan oleh Burmister[3]. Elastisitas tanah sebanding dengan kepadatan tanah dan semakin besar kepadatan tanah urug, semakin besar sudut penyebaran yang terjadi dan tegangan yang terjadi pun semakin kecil. Kepadatan tanah urug umumnya didasarkan atas nilai γ_{dry} , sehingga perlu dicari hubungan antara γ_{dry} urugan ini dengan sudut penyebaran yang dihasilkannya.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Kristen Petra dengan membebani model pondasi dan melakukan variasi terhadap kepadatan, lebar dan tebal tanah urug sehingga bisa diketahui hubungan antara sudut penyebaran dengan kepadatan tanah dalam bentuk grafik.



- α = Sudut penyebaran.
- P = Beban yang bekerja pada pondasi.
- A = Luas pondasi.
- p = Tegangan di dasar pondasi = P/A.
- p' = Tegangan yang bekerja di permukaan tanah liat.
- z = Tebal tanah Urug (pasir)

Gambar 1. Distribusi Tekanan Tanah

TINJAUAN PUSTAKA

Metode pendekatan 2V : 1H (2 vertikal : 1 horisontal)[1] menganggap beban pondasi Q

didukung oleh suatu piramida yang mempunyai kemiringan 2V : 1H. Bentuk piramida terjadi karena tanah yang menerima beban, menyebarkan beban dengan kemiringan penyebaran 2V : 1H sehingga pada kedalaman z, luas penyebarannya menjadi $(L + z) \times (B + z)$.

$$\sigma_z = \frac{Q}{(L + z) \cdot (B + z)} \tag{1}$$

Keterangan :

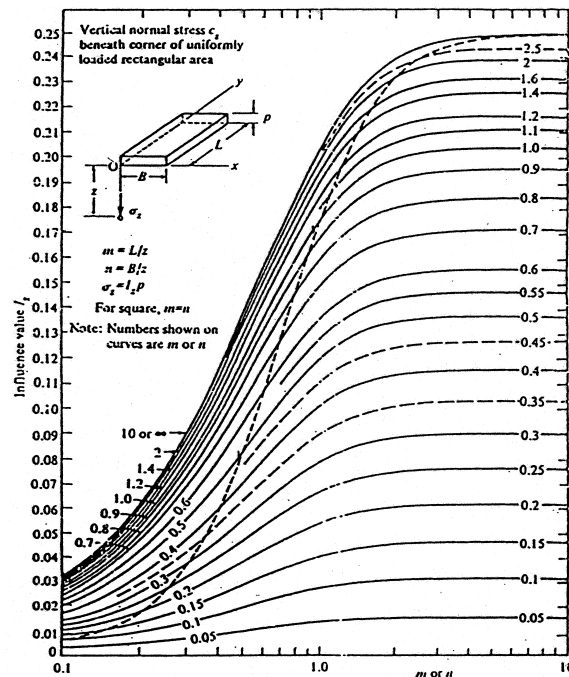
- σ_z = tegangan vertikal
- Q = beban total pada dasar pondasi
- L = panjang area pondasi
- B = lebar area pondasi
- z = kedalaman yang ditinjau

Tegangan vertikal akibat beban terbagi rata berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang L dan lebar B, dapat dihitung dengan menggunakan grafik pada Gambar 2 dengan rumus :

$$\sigma_z = q \cdot I_z \tag{2}$$

Keterangan :

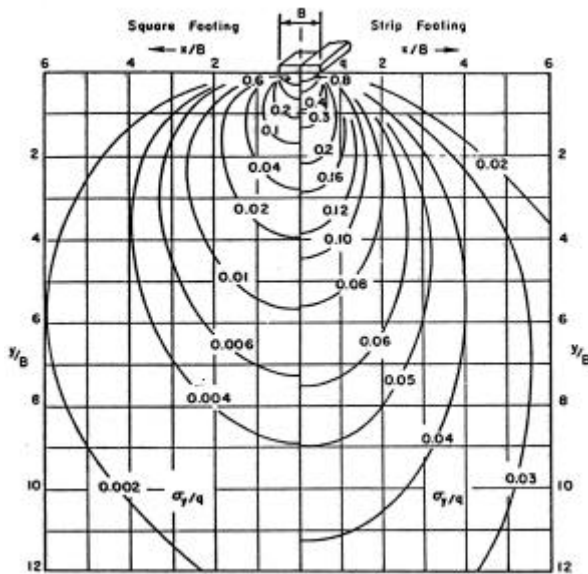
- σ_z = tegangan vertikal
- q = tegangan akibat beban pondasi
- I_z = faktor pengaruh



Gambar 2. Nilai I_z untuk Tegangan Vertikal di bawah Sudut Luasan Persegi Panjang[2]

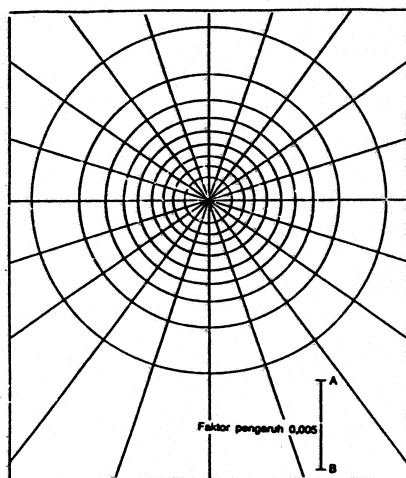
Westergaard (1938)[1] menggambarkan besarnya tegangan dalam tanah dengan grafik iso-

stress seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3. B merupakan lebar pondasi dan q adalah tegangan akibat beban pondasi. Setiap garis menunjukkan nilai σ_y/q . Daerah di dalam suatu garis kontur mendapat tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan nilai tegangan yang ditunjukkan oleh garis tersebut, contohnya tegangan vertikal di bawah pusat pondasi bujursangkar pada kedalaman (y) = 2B adalah kurang dari 0,1q ($\sigma_y < 0.1q$).



Gambar 3. Kontur Tegangan berdasarkan teori Westergaard[1]

Newmark (1942)[1] memberikan suatu diagram pengaruh berupa lingkaran-lingkaran yang dapat digunakan untuk menentukan besarnya tegangan vertikal di bawah suatu luasan yang mendukung beban terbagi rata.



Gambar 4. Diagram Pengaruh Newmark berdasarkan Teori Boussinesq[1]

$$\sigma_z = q.n.I \tag{3}$$

dengan :

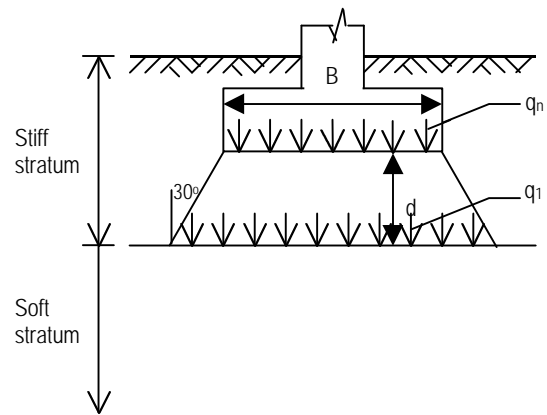
σ_z = tegangan vertikal pada kedalaman z.

q = besarnya beban terbagi rata pada pondasi.

n = jumlah elemen yang tertutup denah pondasi.

I = faktor pengaruh, di mana untuk grafik yang diberikan Gambar 4, I = 0,005.

Teori Dua Lapisan Tanah[4] berasumsi bahwa beban pondasi (q_n) disebarakan pada sudut 30° terhadap garis vertikal (Gambar 5). Akibat disebarakan maka besarnya tegangan pada lapisan tanah liat lunak (q_1) menjadi lebih kecil.



Keterangan :

q_1 = besarnya tegangan pada lapisan tanah liat lunak.

q_n = beban terbagi rata dari pondasi.

B = lebar pondasi.

d = jarak antara alas pondasi dengan permukaan lapisan tanah lunak.

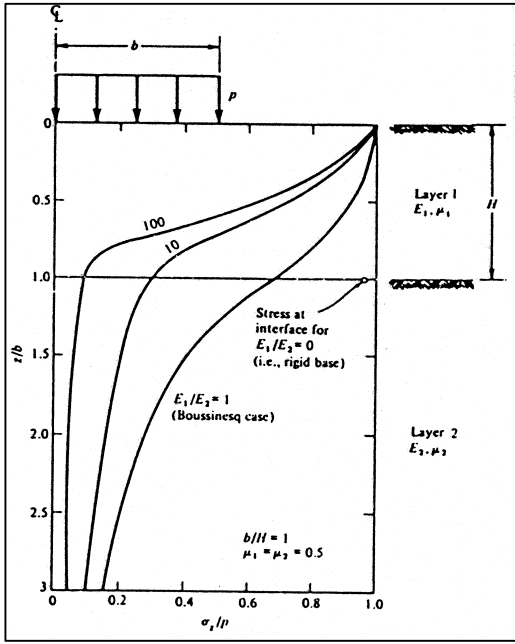
Gambar 5. Pondasi pada Tanah yang Kaku di atas Lapisan Tanah Liat Lunak[4]

Pondasi bujursangkar :

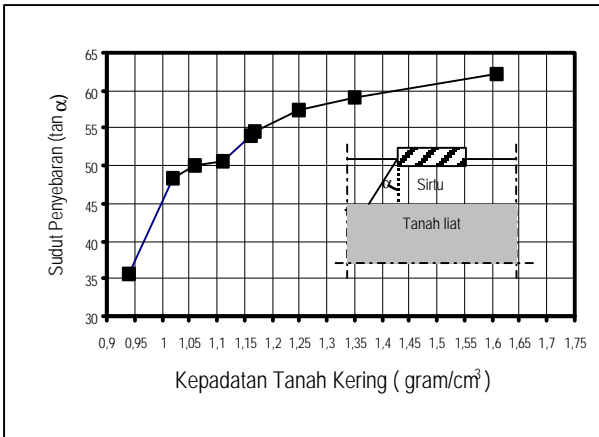
$$q_1 = q_n \left\{ \left(\frac{B}{B + 1,15d} \right)^2 \right\} \tag{4}$$

Burmister (1943)[3] menyelidiki pengaruh dua lapisan massa elastis yang mempunyai sifat mekanis yang berbeda. Hasil penelitiannya dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan gambar tersebut jika lapisan atas jauh lebih kaku daripada lapisan di bawahnya maka tegangan yang terjadi pada lapisan dibawahnya yang tersebut akan menjadi lebih kecil.

Hartanto dan Hermanto [5] melakukan penelitian terhadap penyebaran beban pondasi dangkal di atas tanah urug sirtu yang lapisan bawahnya berupa tanah liat lunak. Hasil penelitian mereka dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Distribusi Tegangan Dua Lapis Materi Elastis Menurut Burmister[3]



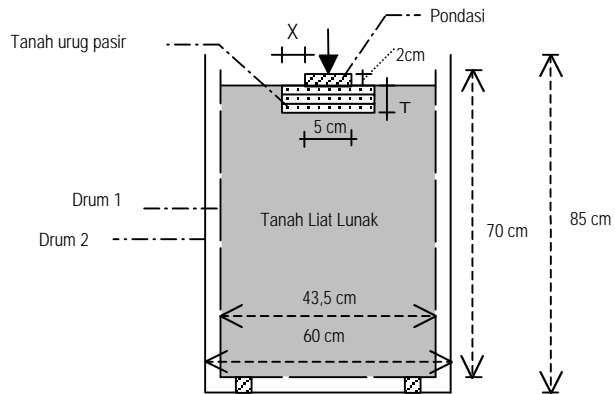
Gambar 7. Hubungan Kepadatan Tanah Kering (γ_{dry}) - Sudut Penyebaran (α)[5]

Dalam penelitian Hartono dan Hermanto [5], sudut penyebaran ditentukan berdasarkan grafik penurunan model pondasi di atas lapisan sirtu dan tanah liat yang berhimpit dengan grafik penurunan model pondasi di atas lapisan tanah liat yang divariasi lebar pondasinya. Penentuan grafik yang berhimpit diambil berdasarkan pendekatan.

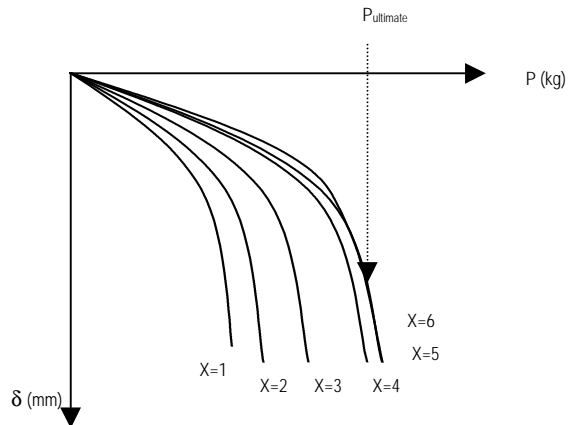
METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada model pondasi yang diletakkan di suatu lapisan tanah urug pasir (dengan lebar, ketebalan dan kepadatan

tertentu) yang diurugkan di atas suatu lapisan tanah liat. Pasir urug dibuat dengan menebarkan pasir dengan kadar air optimum dalam lapisan-lapisan setebal 1 cm di mana tiap lapisan diberi pra pembebanan dengan beban tertentu selama 5 menit. Tujuan dari pra pembebanan dengan beban tertentu yang dilakukan untuk setiap lapisan pasir adalah untuk mendapatkan kepadatan (γ_{dry}) yang tertentu. Percobaan dilakukan dengan membuat variasi lebar tanah urug pasir. Dalam hal ini lebar dihitung dari tepi model pondasi (X).



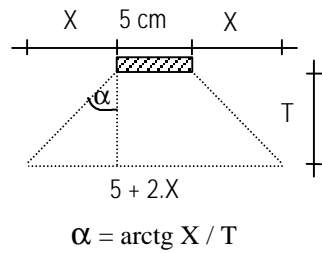
Gambar 8. Potongan Melintang Drum



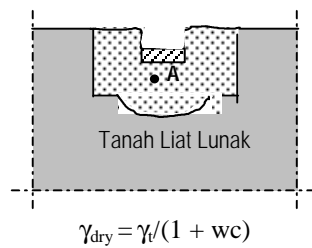
Gambar 9. Kumpulan Grafik Beban - Penurunan dengan Variasi X

Dengan nilai X yang makin besar, nilai dari $P_{ultimate}$ diharapkan makin besar pula, sampai mencapai suatu nilai $P_{ultimate}$ yang maksimum. Pada saat ini, grafik beban - penurunan menunjukkan grafik-grafik yang berhimpit. Dari grafik-grafik yang berhimpit ini, grafik dengan nilai X yang minimum yang dijadikan patokan dalam mencari nilai sudut penyebaran yang terjadi (α). Sedangkan γ_{dry} didapat dengan mengambil pasir memakai ring \varnothing 3,5 cm pada titik A (lihat Gambar 11) setelah tes pembebanan sehingga didapat suatu hubungan

antara kepadatan tanah urug pasir (γ_{dry}) dengan sudut penyebaran yang terjadi (α).



Gambar 10. Pencarian nilai α



Gambar 11. Titik Pengambilan g_{dry}

PROGRAM PENELITIAN

Dalam penelitian ini, di lakukan percobaan sebanyak 2 sampel dengan variasi kepadatan, tebal pasir dan jarak dari tepi pondasi ke lebar urugan yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Program Penelitian

Test No.	Kepadatan Pasir		Tebal Pasir (T) (cm)	Jarak Tepi (X) (cm)
	Jenis (kN/m ³)	Pra Pembebanan (kN/m ²)		
A T ₅ X _{2.5}	$\gamma_{dry} A$	1	5	2.5
A T ₅ X ₃		1	5	3.0
A T ₅ X _{3.5}		1	5	3.5
A T ₅ X ₄		1	5	4.0
A T ₅ X _{4.5}		1	5	4.5
B T ₅ X _{2.5}	$\gamma_{dry} B$	3	5	2.5
B T ₅ X ₃		3	5	3.0
B T ₅ X _{3.5}		3	5	3.5
B T ₅ X ₄		3	5	4.0
B T ₅ X _{4.5}		3	5	4.5
B T ₅ X ₅		3	5	5.0
B T ₅ X _{5.5}		3	5	5.5
A T ₁₀ X _{4.5}	$\gamma_{dry} A$	1	10	4.5
A T ₁₀ X ₅		1	10	5.0
A T ₁₀ X _{5.5}		1	10	5.5
A T ₁₀ X ₆		1	10	6.0
B T ₁₀ X ₅	$\gamma_{dry} B$	3	10	5.0
B T ₁₀ X _{5.5}		3	10	5.5
B T ₁₀ X ₆		3	10	6.0
B T ₁₀ X _{6.5}		3	10	6.5

Catatan :

A : Kepadatan pasir dengan pra pembebanan 1 kN/m².

B : Kepadatan pasir dengan pra pembebanan 3 kN/m².

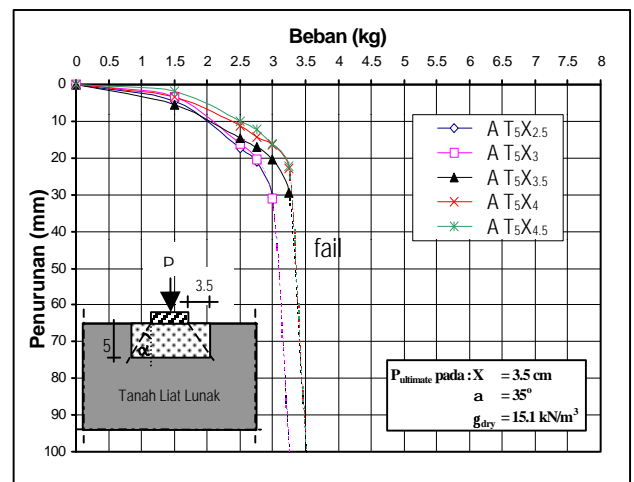
T₅ : Tebal pasir 5 cm.

X_{2.5} : Jarak dari tepi pondasi ke tepi pasir = 2,5 cm.

HASIL PENELITIAN

Penyelidikan karakteristik tanah menunjukkan tanah liat lunak memiliki undrained strength (S_u) = 1,25 kN/m², dan setelah melakukan Tes Pembebanan sesuai Program Penelitian yang ada, maka diperoleh hasil sebagai berikut :

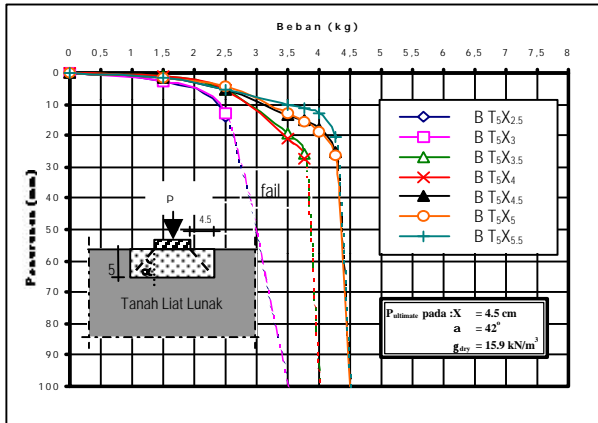
A. Tes Pembebanan untuk Tebal Tanah urug (T) = 5 cm dan Pra Pembebanan Pasir (A) = 1 kN/m².



Gambar 12. Kumpulan Grafik Beban (P) dan Penurunan (d) untuk Tebal tanah Urug (T) 5 cm dan Pra Pembebanan Pasir (A) 1 kN/m²

Dari Gambar 12 di atas terlihat bahwa $P_{ultimate}$ yang paling maximum ($P_{ultimate} = 3.5$ kg) didapat pada saat $X = 3.5$ cm. Nilai maximum ini tidak bertambah besarnya walaupun nilai X diperbesar menjadi lebih dari 3,5 cm Oleh karena itu, diambil X yang maximum ini untuk mencari nilai α . Besarnya $\alpha = \arctg 3.5/5 = 35^\circ$.

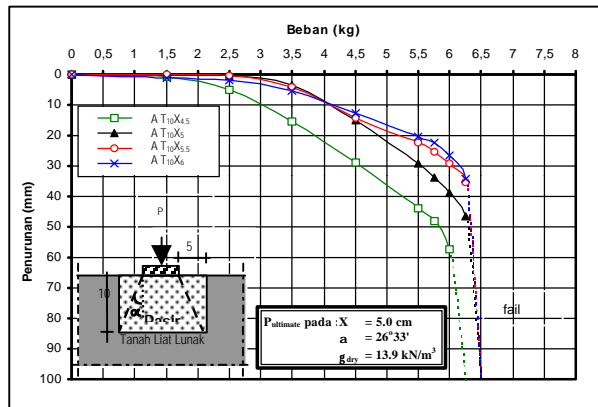
B. Tes Pembebanan untuk Tebal Tanah urug (T) = 5 cm dan Pra Pembebanan Pasir (B) = 3 kN/m².



Gambar 13. Kumpulan Grafik Beban (P) dan Penurunan (d) untuk Tebal tanah Urug (T) 5 cm dan Pra Pembebanan Pasir (B) 3 kN/m².

Dari Gambar 13 di atas terlihat bahwa $P_{ultimate}$ yang paling maximum ($P_{ultimate} = 4.5 \text{ kg}$) didapat pada saat $X = 4.5 \text{ cm}$. Nilai maximum ini tidak bertambah besarnya walaupun nilai X diperbesar menjadi lebih dari 4,5 cm Oleh karena itu, diambil X yang maximum ini untuk mencari nilai α . Besarnya $\alpha = \arctg 4.5/5 = 42^\circ$.

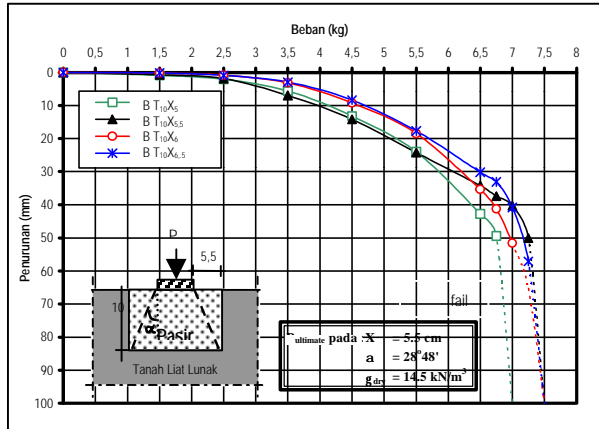
C. Tes Pembebanan untuk Tebal Tanah urug (T) = 10 cm dan Pra Pembebanan Pasir (A) = 1 kN/m².



Gambar 14. Kumpulan Grafik Beban (P) dan Penurunan (d) untuk Tebal Tanah Urug (T) 10 cm dan Pra Pembebanan Pasir (A) 1 kN/m².

Dari Gambar 14 di atas terlihat bahwa $P_{ultimate}$ yang paling maximum ($P_{ultimate} = 6.5 \text{ kg}$) didapat pada saat $X = 5.0 \text{ cm}$. Nilai maximum ini tidak bertambah besarnya walaupun nilai X diperbesar menjadi lebih dari 5,0 cm Oleh karena itu, diambil X yang maximum ini untuk mencari nilai α . Besarnya $\alpha = \arctg 5/10 = 26^\circ 33'$.

D. Tes Pembebanan untuk Tebal Tanah urug (T) = 10 cm dan Pra Pembebanan Pasir (B) = 3 kN/m².



Gambar 15. Kumpulan Grafik Beban (P) dan Penurunan (d) untuk Tebal tanah Urug (T) 10 cm dan Pra Pembebanan Pasir (A) 3 kN/m².

Dari Gambar 15 di atas terlihat bahwa $P_{ultimate}$ yang paling maximum ($P_{ultimate} = 7.5 \text{ kg}$) didapat pada saat $X = 5.5 \text{ cm}$. Nilai maximum ini tidak bertambah besarnya walaupun nilai X diperbesar menjadi lebih dari 5,5 cm Oleh karena itu, diambil X yang maximum ini untuk mencari nilai α . Besarnya $\alpha = \arctg 5.5/10 = 28^\circ 48'$.

ANALISA DAN DISKUSI

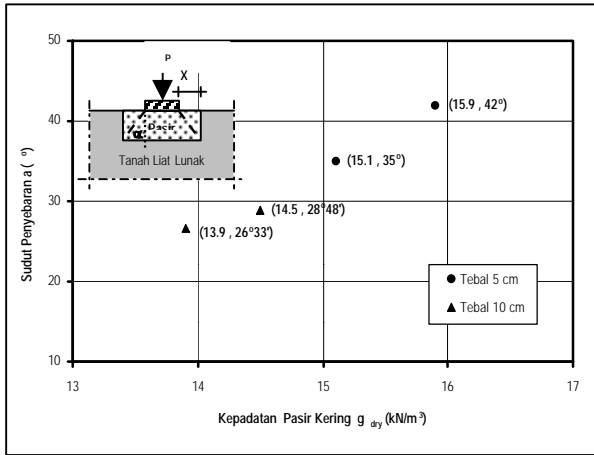
Rangkuman dari tes yang dilakukan yaitu $P_{ultimate}$ pada X tertentu ditunjukkan dalam Tabel 2 untuk mempermudah menganalisa hubungan kepadatan tanah kering (γ_{dry}) dengan sudut penyebaran yang terjadi (α).

Tabel 2. Besar Sudut Penyebaran yang terjadi

Tebal Pasir (cm)	Pra Pembebanan Pasir (kN/m ²)	γ_{dry} (kN/m ³)	Jarak dari Tepi Pondasi (X) (cm)	$P_{ultimate}$ (kg)	Sudut Penyebaran (α)
5	1	15.1	3.5	3.5	35°
5	3	15.9	4.5	4.5	42°
10	1	13.9	5.0	6.5	26°33'
10	3	14.5	5.5	7.5	28°48'

Berdasarkan Tabel 2 di atas, terlihat bahwa besarnya sudut penyebaran yang terjadi sangat bergantung dari kepadatan tanah urug. Semakin padat tanah urug, semakin besar sudut penyebaran yang terjadi. Pada tebal

tanah urug pasir 10 cm, sudut penyebaran yang terjadi lebih kecil dibandingkan tebal 5 cm namun tidak berarti semakin tebal tanah urug semakin kecil sudut penyebarannya. Hal ini disebabkan karena γ_{dry} untuk tebal 10 cm tidak sama dengan γ_{dry} untuk tebal 5 cm.



Gambar 16. Grafik Hubungan Kepadatan Tanah Kering (γ_{dry}) – Sudut Penyebaran (α)

Berdasarkan Gambar 16 di atas, nampaknya ada kecenderungan hubungan proporsional antara γ_{dry} (sesudah pembebanan) dengan sudut penyebaran yang terjadi (α) tanpa memperhatikan ketebalan tanah urug. Menurut metode pendekatan 2V : 1H, sudut penyebaran yang terjadi seharusnya $26^{\circ}33'$, tetapi bila dibandingkan dengan sudut yang diperoleh dari percobaan, untuk tebal 5 cm lebih besar dari $26^{\circ}33'$ sedangkan untuk tebal 10 cm mendekati $26^{\circ}33'$. Apabila hasil percobaan dibandingkan dengan Teori Dua Lapisan Tanah yang mengatakan sudut penyebaran 30° maka dapat dilihat bahwa untuk tebal pasir 5 cm masih lebih besar sedangkan untuk tebal pasir 10 cm dapat dikatakan mendekati.

Tabel 3. Perbandingan Tegangan Tanah Berdasarkan Hasil Percobaan dengan Teori

Tebal Pasir/ Kedalaman Z (cm)	$P_{ult.}$ (kg)	γ_{dry} (kN/m^3)	$S_z = P/A$ Percobaan (kN/m^2)	S_z 2V : 1H (kN/m^2)	S_z Boussinesq (Fadum) (kN/m^2)	S_z Westergaard (kN/m^2)	S_z Newmark (kN/m^2)	S_z Dua Lapisan Tanah (kN/m^2)
5	3,5	15,1	2,43	3,50	2,38	1,12	4,76	3,03
5	4,5	15,9	2,30	4,50	3,06	1,44	6,12	3,89
10	6,5	13,9	2,89	2,89	2,08	1,17	3,12	2,39
10	7,5	14,5	2,93	3,33	2,40	1,35	3,60	2,75

Menurut teori elastis, beban yang bekerja pada pondasi berbanding lurus dengan tegangan yang terjadi di dalam tanah. Semakin besar beban semakin besar tegangan yang terjadi untuk kedalaman yang sama, contohnya menurut Boussinesq nilai tegangan untuk $P_{ult.} =$

3,5 kg adalah $2,38 kN/m^2$ sedangkan untuk $P_{ult.} = 4,5 kg$ menjadi bertambah besar yaitu $3,06 kN/m^2$. Namun jika melihat Tabel 3 di atas, untuk tebal 5 cm ternyata meskipun beban yang bekerja bertambah besar dari 3,5 kg menjadi 4,5 kg, tegangan yang terjadi menurut hasil percobaan menjadi lebih kecil yakni dari $2,43 kN/m^2$ menjadi $2,30 kN/m^2$. Hal ini dapat terjadi karena pada $P_{ult.} = 4,5 kg$ nilai $\gamma_{dry} = 15,9 kN/m^3$, lebih besar dibandingkan $\gamma_{dry} = 15,1 kN/m^3$ untuk $P_{ult.} = 3,5 kg$ yang berarti beban disebarakan lebih luas. Di sini dapat dilihat pula bahwa teori elastisitas yang ada tidak memperhitungkan pengaruh kepadatan tanah (γ_{dry}).

Untuk tebal pasir 10 cm ternyata meski γ_{dry} bertambah besar dari $13,9 kN/m^3$ menjadi $14,5 kN/m^3$, tegangan yang terjadi tidak bertambah kecil. Sebaliknya menjadi bertambah besar yaitu dari $2,89 kN/m^2$ menjadi $2,93 kN/m^2$. Hal ini mungkin disebabkan karena berat sendiri pasir yang menjadi tambahan beban bagi lapisan tanah liat lunak selain beban dari pondasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang ada, dapat disimpulkan bahwa sudut penyebaran yang terjadi sangat bergantung dari kepadatan dan ketebalan tanah urug. Semakin padat tanah urug semakin besar sudut penyebaran yang terjadi, dan ada kecenderungan hubungan proporsional antara kepadatan tanah kering (γ_{dry}) dengan sudut penyebaran yang terjadi (α) berdasarkan Gambar 16, sedangkan pengaruh ketebalan tanah urug terhadap sudut penyebaran belum dapat dipastikan, karena γ_{dry} untuk tiap ketebalan berbeda.

Saran kami untuk penelitian selanjutnya, perlu variasi ketebalan tanah urug dan pra pembebanan pasir sehingga menghasilkan suatu

hubungan antara kepadatan tanah kering (γ_{dry}) dengan sudut penyebaran (α) yang lebih teliti dan juga model pondasi diganti dengan model tepi miring (tapered). Homogenitas dari tanah liat pun perlu diperhatikan.

REFERENSI

1. Dunn, I.S. Anderson, L.R & Kiefer, F.W. *Fundamentals of Geotechnical Analysis*. New York : John Wiley & Sons, 1980.
2. Kaniraj, S.R. *Design Aids in Soil Mechanics and Foundation Engineering*. New Delhi : Tata McGraw-Hill, 1988.
3. Perloff, W.H. *Pressure Distribution and Settlement*. Foundation Engineering Handbook edited by Fang, H.Y. and Winterkorn H.F. New York: Van Nostrand Reinhold, 1975.
4. Tomlinson, M.J. *Foundation Design and Construction*. New York : Pitman Publishing, 1975.
5. Hartanto, H. dan Hermanto. *Evaluasi Sudut Penyebaran Beban di atas Berbagai Lapisan Tanah Urug*. Surabaya : Tugas Akhir No. 609S, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, 1994.