

PENGARUH PEMBEBANAN EKSENTRIS PADA PONDASI PERSEGI PANJANG TERHADAP DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TANAH PASIR DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL

As'ad Munawir, Widodo Suyadi dan Heny Saraswati
Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
Jl. Mayjen Haryono 147 Malang

ABSTRAK

Pada penelitian ini digunakan pondasi persegi panjang ukuran $10 \times 15 \text{ cm}^2$ yang diletakkan di atas media tanah pasir sebagai subgrade di dalam box uji yang terbuat dari baja berukuran $110 \times 150 \times 100 \text{ cm}^3$. Pembebanan eksentris terletak 0,5 cm; 1 cm dan 1,5 cm masing-masing pada arah sumbu x dan y. Variasi luasan geotekstil yang digunakan berukuran $40 \times 60 \text{ cm}^2$; $45 \times 67,5 \text{ cm}^2$ dan $50 \times 75 \text{ cm}^2$. Pelat pondasi diletakkan di atas tanah pasir yang telah dipadatkan, diberi beban dengan dongkrak hidrolik dan setiap penurunan tertentu beban di baca pada *proving ring* bersamaan dengan pembacaan penurunan pada *dial gauge (strain control)*. Karena nilai daya dukung juga dipengaruhi oleh karakteristik tanah dasar yang digunakan, maka perlu dilakukan penelitian pendahuluan berupa uji karakteristik material yang meliputi analisa saring, berat jenis, berat isi dengan pra penelitian, uji *sand cone* dan kadar air serta *direct shear*.

Pengujian tahap pertama untuk mengetahui karakteristik material subgrade menunjukkan bahwa tanah pasir yang digunakan termasuk jenis pasir yang bergradasi buruk, pasir dari pecahan kerikil dengan sedikit butiran halus. Kepadatannya relatif menengah yang dapat dilihat dari berat isinya yang berkisar antara $1,5 - 1,6 \text{ kg/cm}^3$ dan besar sudut gesernya yang berkisar antara $32^\circ - 35^\circ$. Pengujian tahap kedua adalah uji pembebanan.

Hasil uji pembebanan menunjukkan bahwa eksentrisitas beban mempengaruhi daya dukung dan penurunan pada tanah pasir yang diberi perkuatan maupun tanpa perkuatan geotekstil. Hal ini dapat dilihat dari nilai daya dukung yang semakin menurun dengan bertambahnya eksentrisitas beban dan dari nilai R_e (faktor reduksi daya dukung) yaitu besarnya rasio perbandingan antara daya dukung batas akibat beban eksentris (q') terhadap daya dukung batas akibat beban sentris (q) yang berkisar antara 0-1. Begitu juga terhadap penurunannya, dengan adanya eksentrisitas beban akan menimbulkan distorsi angular akibat adanya perbedaan penurunan di kedua sisi pondasi. Semakin jauh eksentrisitas beban maka semakin besar distorsi angularnya, dan semakin luas geotekstil yang digunakan maka semakin berkurang distorsi angularnya.

Kata Kunci : pondasi persegi panjang, geotekstil, eksentrisitas, daya dukung

PENDAHULUAN

Tanah yang terdapat di bawah suatu konstruksi harus dapat memikul beban yang ada di atasnya tanpa mengalami kegagalan geser (*shear failure*) dan dengan penurunan (*settlement*) yang dapat ditolelir untuk konstruksi tersebut. Permasalahan yang

sering dihadapi pada suatu konstruksi adalah keadaan tanah dasar yang mempunyai daya dukung kurang baik seperti tanah lunak (lempung ekspansif) atau pasir sedang (*medium sand*), sehingga terjadi kerusakan struktural yang pada umumnya disebabkan oleh adanya keruntuhan geser pada tanah dan penurunan yang berlebih. Penurunan

pada tanah pasir berlangsung dengan cepat dan terjadi hampir seluruhnya pada waktu pelaksanaan konstruksi dan pembebanan awal. Maka tanah tersebut harus diperbaiki dahulu sebelum dipakai sebagai landasan konstruksi. Salah satu alternatif perbaikan tanah yang cukup baik dan sudah cukup lama dikenal adalah dengan pemakaian geotekstil. Pemakaian geotekstil pada tanah pasir tersebut dapat meningkatkan daya dukung ultimit yang diijinkan pada penurunan tertentu.

Berkan Moroglu (2002) melakukan penelitian dengan variasi pembebanan eksentris pada pondasi dari plat besi di atas tanah pasir yang diperkuat dengan geotekstil woven. Penelitian itu untuk mengetahui rasio daya dukung akibat beban eksentris

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah Pasir

Istilah tanah dalam mekanika tanah dimaksudkan untuk semua bahan, organik dan anorganik, yang berada di atas lapisan batuan tetap. Campuran partikel yang terkandung dalam tanah menyebabkan perbedaan jenis maupun perilakunya baik secara fisik maupun kimia. Informasi semacam ini diperlukan dalam teknik sipil untuk bahan pertimbangan pendahuluan dalam penyelidikan tanah bawah permukaan serta pengujian laboratorium dan untuk studi kelayakan guna mengantisipasi perencanaan pondasi yang dibutuhkan.

Dalam teknik sipil dikenal pembagian tanah berdasarkan ukuran butirannya, yaitu kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*) dan lempung (*clay*).

Geotekstil

Dalam bidang geoteknik, telah diperkenalkan adanya bahan sintesis, yaitu polietilen (*polyethylene/ PE*), poliester (*polyester*), polipropilen (*polypropylene/ PP*), poliamid (*polyamide*) dan aramid sebagai bahan

terhadap beban sentris pada model pondasi di atas tanah pasir yang telah diperkuat tersebut (Q_e/Q_c). Dia juga menyatakan bahwa beban eksentris menyebabkan pengurangan luas area pondasi telapak sesuai dengan teori Meyerhof (1953).

Dari gambaran di atas, diharapkan akan dihasilkan suatu perencanaan pondasi yang benar dan sesuai dengan kondisi yang ada. Begitu juga dengan adanya pembebanan eksentris pada pondasi persegi panjang yang terletak di atas tanah pasir yang diperkuat dengan geotekstil tentu akan berpengaruh pada besarnya daya dukung dan penurunan yang terjadi. Seberapa besar pengaruhnya dapat kita analisa dari hasil suatu penelitian.

dasar pembuatan apa yang disebut dengan geosintesis (*geosynthetics*). Geosintesis berasal dari kata *geo* yang berarti bumi atau tanah dan sintesis yang secara kasar dapat diartikan sebagai bahan sintesis yang dipergunakan untuk keperluan geoteknik. Bahan-bahan yang termasuk ke dalam keluarga besar geosintesis adalah geotekstil (*geotextile*), geogrid, geonet, geomembran (*geomembrane*), geokomposit (*geocomposite*) dan *geosynthetic clay liners/ GCL*.

Pondasi Persegi

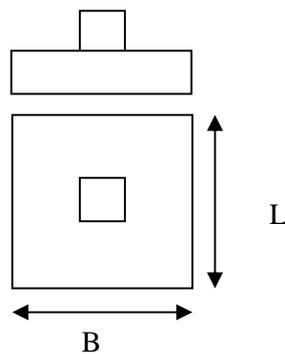
Pondasi merupakan suatu bagian dari konstruksi bangunan yang sangat dipengaruhi oleh elemen-elemen tanah dasar dan beban-beban yang bekerja, dimana pondasi berfungsi meneruskan beban yang diterimanya ke lapisan tanah dibawahnya tanpa mengalami keruntuhan geser (*shear failure*) dan penurunan (*settlement*) yang berlebihan.

Pondasi dapat digolongkan berdasarkan penyaluran bebannya menjadi :

- ❶ Pondasi dangkal (*shallow foundations*), dengan kedalaman pada umumnya $D \leq B$ atau $D/B \leq 1$.
Jenis pondasi dangkal antara lain; pondasi telapak (*footing foundation*) yang meliputi telapak bujursangkar, segiempat dan lingkaran, pondasi rakit (*mat/raft foundation*) dan pondasi terapung (*floating foundation*).
- ❷ Pondasi dalam (*deep foundations*), dengan kedalaman $D > 4$ s/d $5B$ atau $D/B \geq 4$ s/d 5 .
Jenis pondasi dalam meliputi pondasi tiang (*piled foundation*), pondasi sumuran (*well foundation*) dan pondasi kaisan (*caisson foundation*).

Salah satu bentuk yang sering digunakan dalam suatu konstruksi adalah pondasi persegi. Pondasi persegi termasuk dalam jenis pondasi dangkal, karena pada umumnya pondasi tersebut mempunyai kedalaman $D \leq B$, dimana D adalah kedalaman pondasi dan B adalah lebar pondasi.

Pondasi persegi mempunyai 2 faktor yang cukup erat kaitannya dengan bentuk pondasi ini, yaitu B lebar pondasi dan L panjang pondasi. Faktor-faktor ini sangat berpengaruh terhadap analisa daya dukung tanah maupun penurunan pondasi. Faktor-faktor tersebut dikenal sebagai faktor bentuk. Sebagai contoh dari pondasi persegi sederhana seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Pondasi persegi sederhana

Model Keruntuhan Pondasi

Besarnya tegangan geser tanah dibawah pondasi bergantung pada besarnya beban dan ukuran dari pondasi. Jika beban cukup besar atau ukuran pondasi terlalu kecil, maka tegangan geser yang terjadi dapat melampaui kekuatan geser tanah yang bisa menyebabkan keruntuhan daya dukung dari pondasi.

Penurunan Pondasi

Kerusakan struktural dapat terjadi akibat adanya perbedaan penurunan (*differential settlement*). Penurunan diferensial sulit untuk diprediksi secara akurat, tetapi biasanya dikaitkan dengan penurunan maksimum pada setiap titik pada struktur. Penurunan maksimum

yang diijinkan untuk suatu struktur tergantung pada jenis pondasi dan kondisi tanah dasarnya. Selama penurunan kita menghadapi tanah beralih dari badan yang ada (atau bobot sendiri) dalam keadaan tegang ke dalam keadaan baru yang menahan beban yang diterapkan. Perubahan tegangan Δq dari beban tambahan ini menghasilkan kumpulan/akumulasi distorsi partikel yang menggulir, menggelincir, meremuk dan elastis yang tergantung kepada waktu pada daerah pengaruh terbatas di bawah luas yang dibebani. Penurunan tersebut merupakan kumpulan gerakan dalam arah yang diminati. Pada arah vertikal penurunan itu akan ditetapkan sebagai ΔH .

Penurunan digolongkan dalam dua kelompok besar :

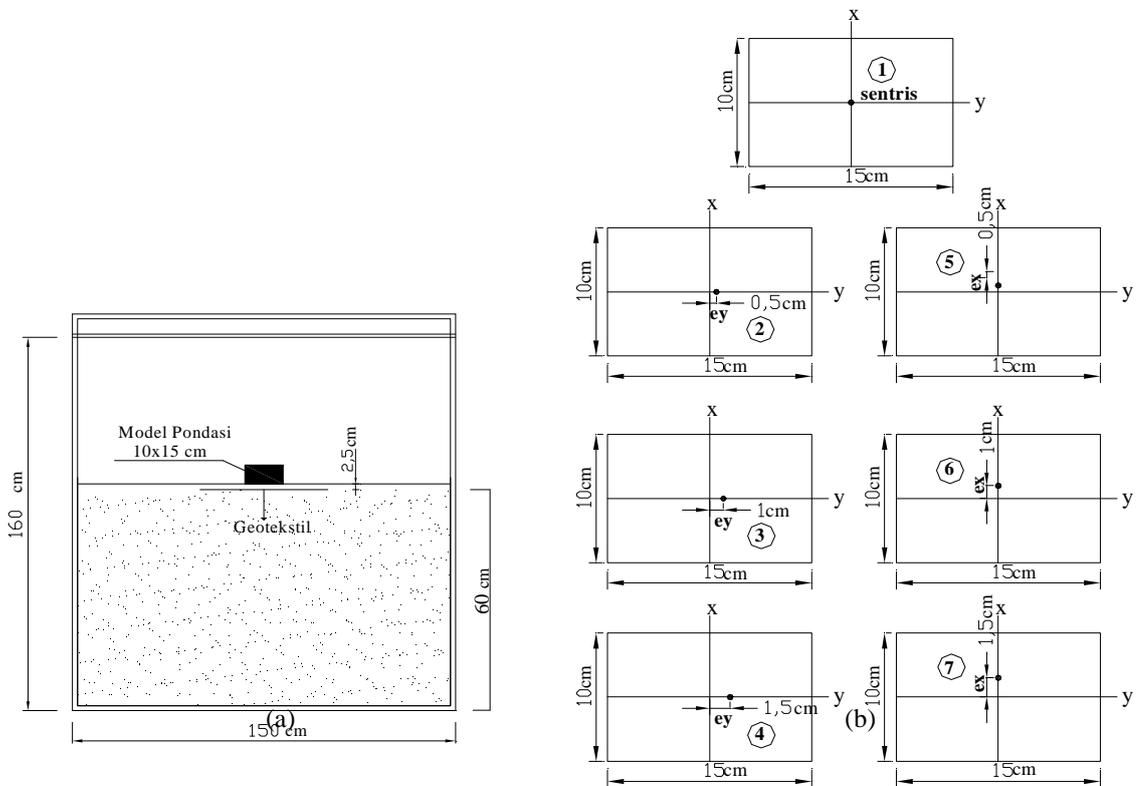
(1) Penurunan segera (*immediate settlement*), yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Berlangsung dalam jangka waktu sekitar 7 hari. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada

penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas.

(2) Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah. Berlangsung dalam beberapa bulan sampai tahunan.

METODOLOGI PENELITIAN

Rancangan Penelitian



Gambar 2. (a) Boks Penelitian untuk Percobaan Pembebanan, (b) Penampang Pembebanan pada Pondasi Persegi Panjang

Tabel 1. Rancangan Penelitian

| <i>Pondasi 10x15 cm²</i> | | Variasi Eksentrisitas Beban | | |
|-------------------------------------|------------|--|------------|--|
| Variasi Luas Geotekstil | Penelitian | Arah sumbu y (e_y) ($x ; y$) cm | Penelitian | Arah sumbu x (e_x) ($x ; y$) cm |
| <i>Tanpa Geotekstil</i> | A-1 | Sentris (0 ; 0) | | |
| | A-2 | (0 ; 0,5) | A-5 | (0,5 ; 0) |
| | A-3 | (0 ; 1) | A-6 | (1 ; 0) |
| | A-4 | (0 ; 1,5) | A-7 | (1,5 ; 0) |

| | | | | |
|-------------------------------|-----|-------------------|-----|-------------|
| $40 \times 60 \text{ cm}^2$ | B-1 | Sentris (0 ; 0) | | |
| | B-2 | (0 ; 0,5) | B-5 | (0,5 ; 0) |
| | B-3 | (0 ; 1) | B-6 | (1 ; 0) |
| | B-4 | (0 ; 1,5) | B-7 | (1,5 ; 0) |
| $45 \times 67,5 \text{ cm}^2$ | C-1 | Sentris (0 ; 0) | | |
| | C-2 | (0 ; 0,5) | C-5 | (0,5 ; 0) |
| | C-3 | (0 ; 1) | C-6 | (1 ; 0) |
| | C-4 | (0 ; 1,5) | C-7 | (1,5 ; 0) |
| $50 \times 75 \text{ cm}^2$ | D-1 | Sentris (0 ; 0) | | |
| | D-2 | (0 ; 0,5) | D-5 | (0,5 ; 0) |
| | D-3 | (0 ; 1) | D-6 | (1 ; 0) |
| | D-4 | (0 ; 1,5) | D-7 | (1,5 ; 0) |

PEMBAHASAN

Daya Dukung Ultimit

Nilai daya dukung ultimit diperoleh dengan pendekatan *Tangent Intersection Method*.

Pendekatan tersebut dilakukan dengan menarik dua buah garis singgung (*linear line*) pada kurva hubungan daya dukung dan penurunan yaitu di awal dan akhir data sampai bertemu di satu titik kemudian ditentukan nilainya. Untuk menentukan nilai titik pertemuan atau yang disebut sebagai daya dukung ultimit

adalah dengan mensubstitusikan kedua persamaan garis singgung tersebut. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lembar lampiran (L.VI). Berikut ini adalah grafik hubungan daya dukung dan penurunan dengan penentuan daya dukung ultimit untuk setiap pembebanan.

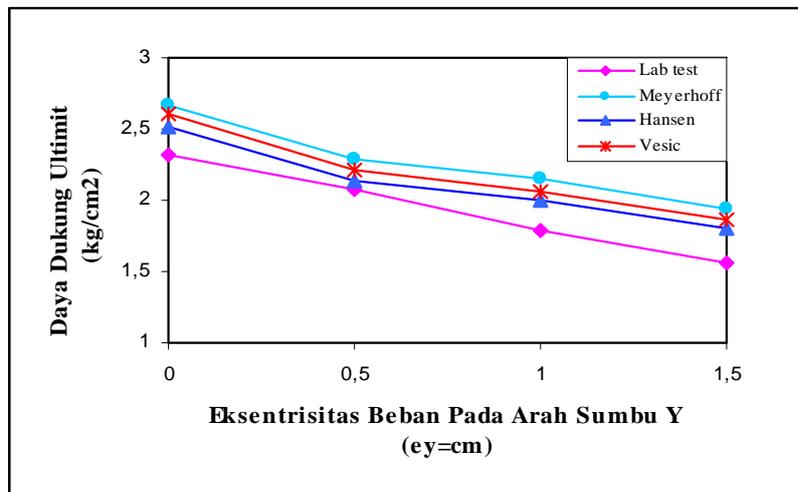
Besarnya nilai daya dukung ultimit dari grafik-grafik hubungan daya dukung dan penurunan di atas adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Nilai Daya Dukung Ultimit

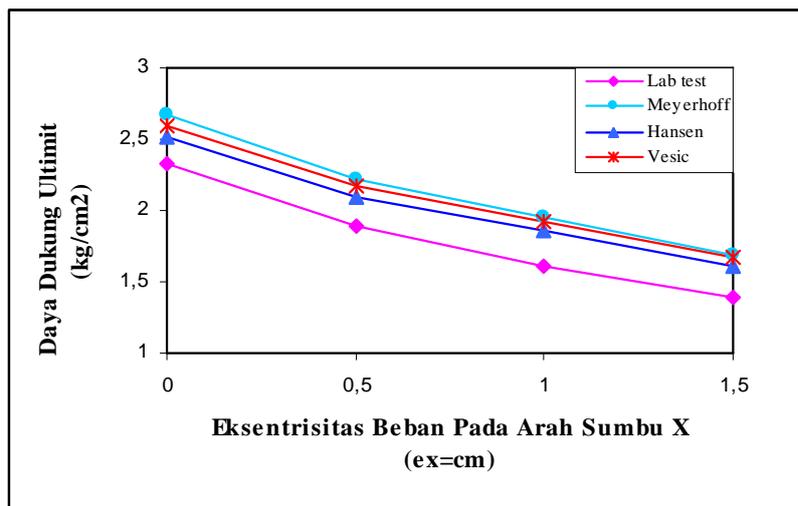
| Q U L T I M I T (kg/cm^2) | Eksentrisitas (cm) | | Per coba an | Geotekstil | | | |
|--|----------------------|-----|-------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| | x | y | | Tanpa geotekstil | 40 x 60 cm^2 | 45 x 67,5 cm^2 | 50 x 75 cm^2 |
| | | | | A | B | C | D |
| | 0 | 0 | 1 | 2,32198 | 3,60298 | 3,84573 | 4,29436 |
| | 0 | 0,5 | 2 | 2,07128 | 3,18107 | 3,40774 | 3,77115 |
| | 0 | 1 | 3 | 1,79113 | 2,74080 | 2,93087 | 3,24784 |
| | 0 | 1,5 | 4 | 1,55410 | 2,37698 | 2,52962 | 2,80266 |
| | 0,5 | 0 | 5 | 1,89509 | 2,90306 | 3,10688 | 3,41331 |
| | 1 | 0 | 6 | 1,60850 | 2,44238 | 2,58134 | 2,86018 |
| | 1,5 | 0 | 7 | 1,39964 | 2,10468 | 2,22437 | 2,45034 |

Hubungan daya dukung ultimit dan eksentrisitas beban dengan beberapa

metode dapat dilihat lebih jelas pada grafik berikut ini.



Gambar 3. a Grafik Hubungan Daya Dukung Ultimit dan Eksentrisitas Beban pada Arah sumbu Y dengan Variasi Metode



Gambar 3. b Grafik Hubungan Daya Dukung Ultimit dan Eksentrisitas Beban pada Arah sumbu X dengan Variasi Metode

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai daya dukung ultimit hasil penelitian lab lebih mendekati nilai daya dukung teori Hansen.

Nilai BCR pada Variasi Luas Geotekstil

Rasio daya dukung merupakan perbandingan nilai daya dukung batas untuk mengetahui seberapa besar perbedaannya.

Besarnya rasio daya dukung (BCR) perkuatan geotekstil terhadap kondisi tanpa perkuatan pada tiap pembebanan adalah sebagai berikut.

Tabel 3. BCR Perkuatan Geotekstil akibat Pembebanan Sentris

| Eksentrisitas (cm) | Luas Geotekstil (cm ²) | B (cm) | q ult (kg/cm ²) | BCR | % Peningkatan (BCR _n -BCR _{n-1}) |
|--------------------|------------------------------------|--------|-----------------------------|---------|---|
| 0 | Tanpa geotekstil | 10 | 2,32198 | 1,00000 | |
| 0 | 40 x 60 | 10 | 3,60298 | 1,55168 | 55,16843 |
| 0 | 45 x 67,5 | 10 | 3,84573 | 1,65623 | 10,45444 |
| 0 | 50 x 75 | 10 | 4,29436 | 1,84944 | 19,32101 |

Tabel 4. BCR Perkuatan Geotekstil akibat Pembebanan Eksentris pada Arah Sumbu Y

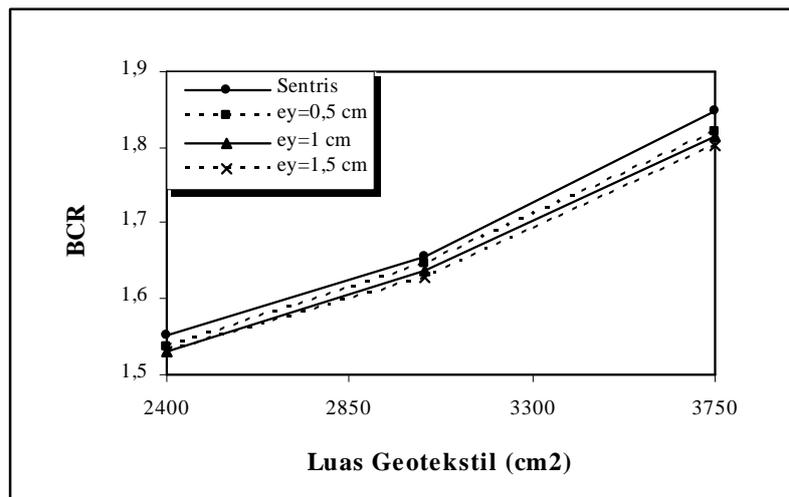
| Eksentrisitas (cm) | Luas Geotekstil (cm ²) | B (cm) | q ult (kg/cm ²) | BCR | % Peningkatan (BCR _n -BCR _{n-1}) |
|--------------------|------------------------------------|--------|-----------------------------|---------|---|
| 0,5 | Tanpa geotekstil | 10 | 2,07128 | 1,00000 | |
| 0,5 | 40 x 60 | 10 | 3,18107 | 1,53580 | 53,57991 |
| 0,5 | 45 x 67,5 | 10 | 3,40774 | 1,64523 | 10,94347 |
| 0,5 | 50 x 75 | 10 | 3,77115 | 1,82069 | 17,54519 |
| 1 | Tanpa geotekstil | 10 | 1,79113 | 1,00000 | |
| 1 | 40 x 60 | 10 | 2,74080 | 1,53021 | 53,02072 |
| 1 | 45 x 67,5 | 10 | 2,93087 | 1,63632 | 10,61174 |
| 1 | 50 x 75 | 10 | 3,24784 | 1,81329 | 17,69665 |
| 1,5 | Tanpa geotekstil | 10 | 1,55410 | 1,00000 | |
| 1,5 | 40 x 60 | 10 | 2,37698 | 1,52949 | 52,94897 |
| 1,5 | 45 x 67,5 | 10 | 2,52962 | 1,62771 | 9,82176 |
| 1,5 | 50 x 75 | 10 | 2,80266 | 1,80340 | 17,56901 |

Tabel 5. BCR Perkuatan Geotekstil akibat Pembebanan Eksentris pada Arah Sumbu X

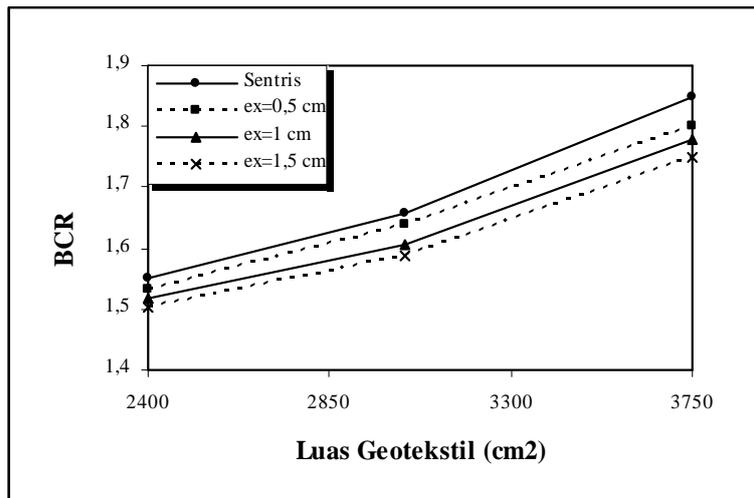
| Eksentrisitas (cm) | Luas Geotekstil (cm ²) | B (cm) | q ult (kg/cm ²) | BCR | % Peningkatan (BCR _n -BCR _{n-1}) |
|--------------------|------------------------------------|--------|-----------------------------|---------|---|
| 0,5 | Tanpa geotekstil | 10 | 1,89509 | 1,00000 | |
| 0,5 | 40 x 60 | 10 | 2,90306 | 1,53189 | 53,18850 |
| 0,5 | 45 x 67,5 | 10 | 3,10688 | 1,63944 | 10,75516 |
| 0,5 | 50 x 75 | 10 | 3,41331 | 1,80113 | 16,16968 |

| | | | | | |
|-----|------------------|----|---------|---------|----------|
| 1 | Tanpa geotekstil | 10 | 1,60850 | 1,00000 | 51,84209 |
| 1 | 40 x 60 | 10 | 2,44238 | 1,51842 | 8,63910 |
| 1 | 45 x 67,5 | 10 | 2,58134 | 1,60481 | 17,33541 |
| 1 | 50 x 75 | 10 | 2,86018 | 1,77817 | |
| 1,5 | Tanpa geotekstil | 10 | 1,39964 | 1,00000 | 50,37295 |
| 1,5 | 40 x 60 | 10 | 2,10468 | 1,50373 | 8,55148 |
| 1,5 | 45 x 67,5 | 10 | 2,22437 | 1,58924 | 16,14487 |
| 1,5 | 50 x 75 | 10 | 2,45034 | 1,75069 | |

Nilai BCR mengalami peningkatan seiring dengan semakin bertambahnya luas geotekstil yang digunakan.



Gambar 4. Grafik Hubungan BCR dan Luas Geotekstil dengan Variasi Eksntritisitas Beban pada Arah Sumbu Y



Gambar 5. Grafik Hubungan BCR dan Luas Geotekstil dengan Variasi Eksntritas Beban pada Arah Sumbu X

Tegangan Tarik Geotekstil

Peranan geotekstil terhadap peningkatan daya dukung tanah dinyatakan dengan % kerja geotekstil yang merupakan perbandingan antara gaya tarik yang terjadi dengan gaya tarik ijin yang didapatkan dari spesifikasi tarik

geotekstil jenis Hate Reinfox 385 250 XT. Tegangan tarik yang dialami geotekstil dalam menahan beban sentris dapat dihitung dengan teori Binquet dan Lee. Pada tabel 6 diberikan gambaran seberapa besar peranan geotekstil sebagai perkuatan tanah pasir.

Tabel 6. % Kerja Geotekstil

| Luas cm ² | Eksent. cm | | H cm | B cm | qult kg/cm ² | J(z/B) | I(z/B) | $\sigma_v(q,z)$ kg/cm ² | S(q,z) kg/cm ² | $\sigma_v(q_0,z)$ kg/cm ² | S(q ₀ ,z) kg/cm ² | T(z,n) kg/cm ² | Tallow kg/cm ² | % Kerja |
|-------------------------|---------------|---|---------|---------|----------------------------|--------|--------|---------------------------------------|------------------------------|---|--|------------------------------|------------------------------|------------|
| | x | y | <1> | <2> | <3> | <4> | <5> | <6> | <7> | <8> | <9> | <10> | <11> | <12> |
| Tanpa | 0 | 0 | 0 | 10 | 2,32198 | | | | | | | | | |
| 40x 60 | 0 | 0 | 2,5 | 10 | 3,60298 | 0,351 | 0,283 | 12,64646 | 2,54911 | 8,15015 | 1,6428 | 3,5900 | 40,7747 | 8,80448 |
| 45x67,5 | 0 | 0 | 2,5 | 10 | 3,84573 | 0,351 | 0,283 | 13,49851 | 2,72085 | 8,15015 | 1,6428 | 4,27031 | 40,7747 | 10,4729 |
| 50x 75 | 0 | 0 | 2,5 | 10 | 4,29436 | 0,351 | 0,283 | 15,07320 | 3,03826 | 8,15015 | 1,6428 | 5,52759 | 40,7747 | 13,5564 |

Keterangan tabel :

1. Lebar pondasi
2. Daya dukung batas
3. Grafik antara (z/B) dan I,J,M
4. Grafik antara (z/B) dari I,J,M
5. $\sigma_v(q,z) = J(z,B) \times qult \times B$
6. $S(q,z) = I(z,B) \times qult \times H$
7. $\sigma_v(q_0,z) = J(z,B) \times q_0 \times B$
8. $S(q_0,z) = I(z,B) \times q_0 \times H$
9. $T(z,n) = [(\sigma_v(q,z) - \sigma_v(q_0,z)) / n] = (1/n) \times [(I(z,B) \times qult \times H) - (I(z,B) \times q_0 \times H)]$
10. $T_{allow} = (40 \times 1000) / (9,81 \times 100)$
11. % Kerja Geotekstil = $T(z,n) / T_{allow} \times 100\%$

Dari Tabel 4.12 dapat diketahui bahwa terdapat peningkatan kerja geotekstil pada tiap variasi luasan.

Besarnya peningkatan kerja geotekstil pada tiap variasi luasan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Peningkatan % Kerja Geotekstil

| Eksentrisitas Beban | Luas Geotekstil (cm ²) | % Kerja Geotekstil | % Peningkatan |
|---------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|
| 0 | 40 x 60 | 8,80448 | 1,66845 3,08349 |
| 0 | 45 x 67,5 | 10,47293 | |
| 0 | 50 x 75 | 13,55643 | |

Dari Tabel 4.13 di atas % kerja geotekstil menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya luasan geotekstil yang digunakan.

Penurunan Pondasi

Nilai penurunan pada saat daya dukung ultimit yang diperoleh dari grafik hubungan daya dukung dan penurunan, dapat dilihat pada Tabel 8 di bawah ini.

Tabel 8 Penurunan pada Daya Dukung Ultimit Pondasi Persegi Panjang

| Luasan Geotekstil | Eksentrisitas | q Ultimit (kg/cm ²) | Penurunan (cm) |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Tanpa Geotekstil | A-1 (e = 0) | 2,32198 | 0,43922 |
| | A-2 (e _y = 0,5 cm) | 2,07128 | 0,43028 |
| | A-3 (e _y = 1 cm) | 1,79113 | 0,41829 |
| | A-4 (e _y = 1,5 cm) | 1,55410 | 0,40191 |
| | A-5 (e _x = 0,5 cm) | 1,89509 | 0,42137 |
| | A-6 (e _x = 1 cm) | 1,60850 | 0,41415 |
| | A-7 (e _x = 1,5 cm) | 1,39964 | 0,38877 |
| 40 x 60 cm ² | B-1 (e = 0) | 3,60298 | 0,49050 |
| | B-2 (e _y = 0,5 cm) | 3,18107 | 0,46987 |
| | B-3 (e _y = 1 cm) | 2,74080 | 0,46127 |
| | B-4 (e _y = 1,5 cm) | 2,37698 | 0,44241 |
| | B-5 (e _x = 0,5 cm) | 2,90306 | 0,46992 |
| | B-6 (e _x = 1 cm) | 2,44238 | 0,42129 |
| | B-7 (e _x = 1,5 cm) | 2,10468 | 0,39158 |
| 45 x 67.5 cm ² | C-1 (e = 0) | 3,84573 | 0,49492 |
| | C-2 (e _y = 0,5 cm) | 3,40774 | 0,48343 |
| | C-3 (e _y = 1 cm) | 2,93087 | 0,47322 |
| | C-4 (e _y = 1,5 cm) | 2,52962 | 0,43434 |
| | C-5 (e _x = 0,5 cm) | 3,10688 | 0,47662 |
| | C-6 (e _x = 1 cm) | 2,58134 | 0,43976 |
| | C-7 (e _x = 1,5 cm) | 2,22437 | 0,40962 |
| 50 x 75 cm ² | D-1 (e = 0) | 4,29436 | 0,51877 |
| | D-2 (e _y = 0,5 cm) | 3,77115 | 0,50489 |
| | D-3 (e _y = 1 cm) | 3,24784 | 0,48045 |
| | D-4 (e _y = 1,5 cm) | 2,77510 | 0,45440 |
| | D-5 (e _x = 0,5 cm) | 3,41331 | 0,47879 |
| | D-6 (e _x = 1 cm) | 2,86018 | 0,44859 |
| | D-7 (e _x = 1,5 cm) | 2,45034 | 0,42326 |

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa nilai daya dukung batas ($q_{ultimit}$) yang besar diperoleh pada penurunan yang lebih dalam. Nilai yang tidak kontinu/ berfluktuasi disebabkan adanya perbedaan tingkat kepadatan tanah dan kurang ketelitian dalam pembacaan dial (*human error*).

Distorsi Angular Pondasi

Adanya pembebanan eksentris satu arah tersebut menyebabkan terjadinya differensial settlement/ perbedaan penurunan yaitu penurunan yang berbeda di kedua sisi pondasi. Besarnya perbedaan penurunan tersebut dapat dinyatakan dengan distorsi angular dalam satuan derajat. Di bawah ini ditunjukkan besarnya distorsi angular yang diambil pada penurunan 10%B, 25%B, dan 50%B.

Tabel 9. Distorsi Angular pada Penurunan 10%B, 25%B da 50%B

| Luasan Geotekstil | Eksentrisitas | Distorsi Angular (α) | | |
|-------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | Pembacaan pada penurunan 10%B | Pembacaan pada penurunan 25%B | Pembacaan pada penurunan 50%B |
| Tanpa Geotekstil | A-1 ($e = 0$) | 0,45113 | 1,49693 | 3,10345 |
| | A-2 ($e_y = 0,5$ cm) | 0,48081 | 1,69638 | 3,63336 |
| | A-3 ($e_y = 1$ cm) | 0,56231 | 1,82432 | 3,86521 |
| | A-4 ($e_y = 1,5$ cm) | 0,59723 | 1,89410 | 3,99268 |
| | A-5 ($e_x = 0,5$ cm) | 1,13110 | 2,86454 | 6,42475 |
| | A-6 ($e_x = 1$ cm) | 3,20415 | 4,89244 | 8,12390 |
| | A-7 ($e_x = 1,5$ cm) | 5,28808 | 6,90813 | 9,80879 |
| 40 x 60 cm^2 | B-1 ($e = 0$) | 0,238437 | 0,512122 | 0,710784 |
| | B-2 ($e_y = 0,5$ cm) | 0,45056 | 1,96974 | 1,90866 |
| | B-3 ($e_y = 1$ cm) | 0,62519 | 1,21935 | 2,01909 |
| | B-4 ($e_y = 1,5$ cm) | 0,72528 | 1,53351 | 2,60027 |
| | B-5 ($e_x = 0,5$ cm) | 1,053512 | 1,934792 | 3,169269 |
| | B-6 ($e_x = 1$ cm) | 1,51898 | 2,98066 | 5,09942 |
| | B-7 ($e_x = 1,5$ cm) | 1,98424 | 4,02455 | 7,01803 |
| 45 x 67.5 cm^2 | C-1 ($e = 0$) | 0,070518 | 0,198683 | 0,251835 |
| | C-2 ($e_y = 0,5$ cm) | 0,22469 | 0,46276 | 0,72757 |
| | C-3 ($e_y = 1$ cm) | 0,25962 | 0,60245 | 0,94873 |
| | C-4 ($e_y = 1,5$ cm) | 0,46917 | 0,91675 | 1,53058 |
| | C-5 ($e_x = 0,5$ cm) | 0,74312 | 1,41133 | 2,35620 |
| | C-6 ($e_x = 1$ cm) | 0,84013 | 1,62463 | 3,03384 |
| | C-7 ($e_x = 1,5$ cm) | 1,18929 | 2,53540 | 4,57923 |
| 50 x 75 cm^2 | D-1 ($e = 0$) | 0,007845 | 0,036405 | 0,218340 |
| | D-2 ($e_y = 0,5$ cm) | 0,29454 | 0,43947 | 0,47146 |
| | D-3 ($e_y = 1$ cm) | 0,35275 | 0,56753 | 0,70429 |
| | D-4 ($e_y = 1,5$ cm) | 0,41096 | 0,69558 | 0,93709 |
| | D-5 ($e_x = 0,5$ cm) | 0,78192 | 1,37254 | 2,08495 |
| | D-6 ($e_x = 1$ cm) | 0,975920 | 1,83788 | 2,93708 |
| | D-7 ($e_x = 1,5$ cm) | 1,16989 | 2,30297 | 3,78791 |

Secara umum penambahan luas geotekstil mengurangi besarnya distorsi angular dan penambahan eksentrisitas beban menambah besarnya distorsi

angular. Peningkatan distorsi angular yang tidak kontinu/ berfluktuasi disebabkan adanya perbedaan tingkat kepadatan tanah dan kurang ketelitian

dalam pembacaan dial penurunan (*human error*).

Pembahasan Hasil Penelitian

Dari hasil pengujian di lab dan analisa data, maka dapat diketahui bahwa :

1. Dari uji analisa saring diperoleh :
 - Partikel tertahan saringan No.200 > 50%
Berdasarkan Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Terpadu Unified Soil Classification [Casagrande (1984)], maka tanah tersebut termasuk dalam klasifikasi tanah berbutir kasar.
 - Partikel lolos saringan No.4 > 50%
Maka tanah tersebut termasuk jenis tanah pasir.
 - Nilai $Cu < 6$ dan $Cc > 1$
Maka tanah pasir tersebut termasuk dalam klasifikasi SP (*sand poorly*) yaitu tanah pasir yang bergradasi buruk, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus.
2. Dari uji berat jenis (G_s) diperoleh nilai sebesar 2,6939. Maka tanah pasir tersebut termasuk berbutir kasar.
3. Dari uji pra pembebanan diperoleh berat isi sebesar $1,6768 \text{ kg/cm}^3$ dan dari uji sand cone diperoleh berat isi sebesar $\pm 1,5 \text{ kg/cm}^3$. Maka kepadatan tanah pasir tersebut termasuk menengah/ medium. Hal ini juga dapat dilihat dari hasil uji geser langsung yang menghasilkan nilai sudut geser berkisar antara 32° - 35° .
4. Dilihat dari grafik hubungan daya dukung dan penurunan pada tanah pasir tanpa perkuatan geotekstil dapat diketahui bahwa keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan lokal, dimana nilai daya dukung bertambah dengan cepat pada awal pembebanan kemudian bertambah secara kontinu/sedikit-sedikit. Dan pada tanah pasir yang diperkuat dengan

geotekstil terjadi keruntuhan tarik (pullout), dimana geotekstil mengalami lendutan akibat beban yang bekerja tetapi tidak sampai putus/robek.

5. Dari Gambar Grafik hubungan daya dukung dan penurunan dengan q ultimit, dapat diketahui bahwa nilai q ultimit dipengaruhi oleh letak eksentrisitas beban dan luas geotekstil yang digunakan.
6. Dari Gambar dapat diketahui bahwa semakin jauh eksentrisitas beban maka q ultimit juga semakin berkurang. Dan dari Gambar juga diketahui bahwa eksentrisitas beban pada arah sumbu y (e_y) menghasilkan nilai q ultimit yang lebih besar dibandingkan dengan eksentrisitas beban pada arah sumbu x (e_x). Hal ini disebabkan karena dengan adanya beban eksentris menyebabkan berkurangnya luasan efektif beban sehingga tegangan tanah yang timbul menjadi berkurang. Dapat diketahui bahwa pada kondisi tanah yang diperkuat dengan geotekstil menghasilkan nilai q ultimit yang lebih besar seiring dengan semakin luasnya geotekstil yang digunakan daripada kondisi tanah tanpa perkuatan.
7. Dari Tabel Perbandingan daya dukung batas uji lab dengan teoritis pada kondisi tanah tanpa perkuatan dapat diketahui bahwa teori Hansen lebih mendekati hasil uji lab daripada teori lainnya yang memberikan nilai lebih besar, hal ini karena faktor daya dukung dan bentuk pada teori Hansen mempunyai nilai yang kecil.
8. Diketahui bahwa tanah tanpa perkuatan memiliki BCR yang lebih kecil daripada tanah yang diperkuat seiring dengan bertambahnya eksentrisitas beban. Nilai BCR yang besar terjadi pada variasi luas geotekstil dengan beban sentris yaitu berkisar antara 1 – 1,84944 seiring

dengan penambahan luas geotekstil. Penggunaan geotekstil 50x75 cm² memberikan peningkatan BCR yang besar dari pada penggunaan geotekstil 45x67,5 cm² ataupun 40x60 cm² yaitu berkisar pada nilai 17,5 % - 17,6 % akibat eksentrisitas beban pada arah sumbu y dan 16,1 % - 17,3 % akibat eksentrisitas beban pada arah sumbu x. Penambahan luas geotekstil dari 40x60 cm² ke 45x67,5 cm² pada pembebanan eksentris $e_x=1,5$ cm memberikan peningkatan BCR yang paling kecil yaitu sebesar 8,55148 %.

9. Dengan bertambahnya eksentrisitas beban yang mengakibatkan berkurangnya nilai daya dukung ultimit, maka dapat diketahui nilai faktor reduksi daya dukungnya (R_e), yaitu perbandingan q_u eksentris terhadap q_u sentris, semakin bertambahnya eksentrisitas beban maka semakin kecil nilai faktor reduksi daya dukungnya (R_e), baik pada arah sumbu x maupun arah sumbu y. Nilai R_e pada arah sumbu y (sumbu panjang) berkisar antara 0,65 - 1 seiring dengan semakin bertambahnya eksentrisitas beban dengan variasi luas geotekstil dan berkisar antara 0,57 - 1 pada arah sumbu x (sumbu pendek).
10. Dengan adanya peningkatan $q_{ultimit}$ pada pembebanan sentris memperlihatkan adanya peranan geotekstil dalam perkuatan tanah. Peranan geotekstil yang dinyatakan dengan % kerja geotekstil tersebut

meningkat seiring dengan semakin bertambahnya luas geotekstil yang digunakan. % kerja terbesar ditunjukkan oleh penggunaan geotekstil dengan luas 50x75 cm² yaitu sebesar 13,5%. % kerja geotekstil terbesar pada luas 50x75 cm² sebesar 3,08% dari penggunaan geotekstil luasan 45x67,5 cm².

11. $q_{ultimit}$ (beban batas) terjadi pada penurunan yang semakin kecil seiring dengan bertambahnya eksentrisitas beban dan pada penurunan yang semakin meningkat seiring dengan bertambahnya luas geotekstil.
12. Dengan adanya pembebanan eksentris pada pondasi baik itu kondisi tanahnya tanpa ataupun dengan perkuatan geotekstil, terjadi perbedaan penurunan/differential settlement yaitu penurunan yang berbeda di kedua sisi pondasi yang dapat dinyatakan sebagai distorsi angular (α) dalam satuan derajat.
13. Distorsi angular terbesar terjadi pada pondasi dengan eksentrisitas terbesar dan tanpa perkuatan geotekstil yaitu berkisar antara 5,28808-9,80879⁰ dan yang terkecil terjadi pada pondasi dengan beban sentris yang diperkuat geotekstil 50x75 cm² yaitu berkisar antara 0,007845-0,218340⁰.

Jadi semakin besar eksentrisitas beban semakin besar distorsi angularnya dan semakin luas geotekstil yang digunakan sebagai perkuatan tanah maka semakin kecil distorsi angularnya.

KESIMPULAN

Adanya beban eksentris pada pondasi persegi panjang di atas tanah pasir sedang (*medium sand*) yang diperkuat dengan geotekstil mengakibatkan berkurangnya nilai daya dukung tanah. Demikian juga dengan penggunaan geotekstil sebagai perkuatan tanah akan memberikan nilai daya

dukung yang semakin meningkat. Hal tersebut dapat dilihat dari grafik hubungan antara daya dukung dan penurunan, nilai BCR, faktor reduksi (R_e) dan % kerja geotekstil yang ditinjau dari penambahan luas geotekstil dan penambahan eksentrisitas beban.

Berdasarkan hasil pengujian lab, analisa data dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pembebanan eksentris pada arah sumbu x dengan titik eksentrisitas terjauh ($e_x=1,5$ cm) memberikan nilai daya dukung terkecil seiring dengan variasi luas geotekstilnya. Penambahan eksentrisitas beban secara keseluruhan mengurangi nilai daya dukung tanah. Penambahan eksentrisitas beban pada arah sumbu y memberikan nilai daya dukung yang lebih besar daripada penambahan eksentrisitas beban pada arah sumbu x.
2. Penambahan luas geotekstil pada tanah pasir akibat beban eksentris pada pondasi persegi panjang memberikan peningkatan daya dukung tanah. Peningkatan BCR terbesar terjadi pada penambahan luas geotekstil dari $45 \times 67,5$ cm² ke 50×75 cm² akibat beban sentris dan

penambahan luas geotekstil dari 40×60 cm² ke $45 \times 67,5$ cm² akibat beban eksentris $e_x = 1,5$ cm memberikan peningkatan BCR yang paling kecil.

Pembebanan eksentris pada pondasi baik itu kondisi tanah tanpa ataupun dengan perkuatan geotekstil mengakibatkan terjadinya perbedaan penurunan/differential settlement yaitu penurunan yang berbeda di kedua sisi pondasi yang dapat dinyatakan sebagai distorsi angular (α) dalam satuan derajat. Distorsi angular terbesar terjadi pada pondasi dengan eksentrisitas terbesar dan tanpa perkuatan geotekstil yaitu berkisar antara $5,28808-9,80879^0$ dan yang terkecil terjadi pada pondasi dengan beban sentris yang diperkuat geotekstil 50×75 cm² yaitu berkisar antara $0,007845-0,218340^0$. Jadi semakin besar eksentrisitas beban semakin besar distorsi angularnya dan semakin luas geotekstil yang digunakan sebagai perkuatan tanah maka semakin kecil distorsi angularnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang sebagai tempat

pelaksanaan penelitian serta semua pihak atas dukungan dan partisipasinya selama penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, M.T and Collin, J.G. 1997. "Large Model Spread Footing Load Tests on Geosynthetic Reinforced Soil Foundations". Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.123, No.1, Pp.66-72.
- Bowles, Joseph E. 1992. *Analisis dan Desain Pondasi*. Jilid I. Alih Bahasa Pantur Silaban ,Ph.D. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Bowles, Joseph E. 1993. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*. Jilid I. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Chapra, Steven C dan Canale, Raymond P. 2002. *Numerical Methods For Engineers (with software and program applications)*. Edisi Empat. Singapore : Penerbit Mc. Graw-Hill Companies.
- Canonica, Lucio. 1991. *Memahami Mekanika Tanah*. Bandung : Penerbit Angkasa.
- Coduto, Donald P. 1994. *Foundation Design : Principles and Practice*. International Editions. New Jersey : Penerbit Pratices Hall.
- Colin, J.F.P.Jones. 1996. *Earth Reinforcement and Soil Structur*. University of New Castle : ASCE Press.

- Craig RF. 1994. *Mekanika Tanah*. Edisi ke empat. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Das, Braja M. 1993. *Fundamental of Geotechnical Engineering*. Pasifik Grove : Brooks/Cole, Thomas Learning.
- Das, Braja M. 1990. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jilid 1. Cetakan ke Empat. Alih Bahasa Ir. Noor Endah Mochtar M.Sc,Ph.D; Ir. Indrasurya B Mochtar M.Sc,Ph.D.Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 1996. *Teknik Pondasi I*. Jakarta : Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama.
- Koerner RM. 1994. *Desain and Application with Geosynthetic*. New Jersey : Penerbit Pratices Hall.
- Koerner RM. 1985. *Contruction and Geotechnical Method and Foundation Engineering*. Singapore : Penerbit Mc. Graw Hill book Company.
- Liu, Ceng dan Evett, Jack B. 2003. *Soil Properties, Testing, Measurement, and Evaluation*. New Jersey : Penerbit Pratices Hall.
- Peck, Ralph B Hanson; Walter E dan Thornburn, Thomas A. 1996. *Teknik Pondasi*. Edisi kedua. Cetakan pertama. Terjemahan Ir. Muslikh, M.Sc; M. Phil. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Poulos H.G dan Davis E.H. 1980. *Pile Foundation Analysis and Design*. The University of Sydney : John Wiley and Sons.
- Sirley LH. 1987. *Geoteknik dan Mekanika Tanah (Penyelidikan Lapangan dan Laboratorium)*. Bandung : Penerbit Nova.
- Suyono. 1983. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta : Penerbit Pradnya Paramita.
- Pickett, Kirby W. 2000. *Geotechnical Manual*. Texas : GROW.
- Wesley, L.D. 1977. *Mekanika Tanah*. Cetakan VI. Jakarta Selatan : Badan Penerbit Pekerjaan Umum.