

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **A. Tanah Lempung**

Hampir semua masalah yang berhubungan dengan tanah lempung disebabkan adanya interaksi antara air dan tanah. Peningkatan kadar air mengakibatkan penurunan kohesi tanah dan tanah mengembang yang akhirnya merusak struktur tanah. Tanah lempung dengan plastisitas tinggi sering dijumpai dalam pekerjaan konstruksi di lapangan. Jenis tanah tersebut mempunyai kapasitas dukung yang rendah dan akan terjadi pengembangan volume apabila pori terisi air dan akan menyusut dalam kondisi kering. Hal ini menjadikan tanah tidak stabil, sehingga tidak mampu mendukung suatu konstruksi pondasi bangunan.

Oleh Hardiyatmo (2002) disebutkan bahwa sifat-sifat tanah lempung adalah sebagai berikut :

1. Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm,
2. Permeabilitas rendah,
3. Kenaikan air kapiler tinggi,
4. Bersifat sangat kohesif,
5. Kembang susut tinggi,
6. Proses konsolidasi lambat.

Perilaku tanah lempung dalam mendukung beban pondasi sangat bergantung pada sejarah geologi, kadar air, dan kandungan mineralnya. Tanah lempung dinyatakan sebagai tanah lunak, sedang, atau kaku, tergantung dari kadar airnya seperti yang dinyatakan dalam konsistensinya. Pada waktu kering, tanah ini dapat sangat keras dan menyusut yang disertai retakan. Waktu basah, kuat geser akan turun dan lempung menjadi mengembang. Jenis lempung yang kaku sampai keras, hanya mengalami penurunan konsolidasi yang kecil di bawah tekanan yang relatif besar. Jika dalam lapisan tanah ini terdapat lensa-lensa pasir dan kerikil,

pada lokasi tertentu. Jenis tanah dapat diketahui dari nilai indeks kompresi ( $C_c$ ) hasil uji konsolidasi di laboratorium, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi nilai indeks kompresi ( $C_c$ )

Jenis tanah	$C_c$
• Pasir Padat	0,005-0,010
• Pasir tidak padat	0,025-0,050
• Lempung agak keras	0,030-0,060
• Lempung kenyal ( <i>Stiff</i> )	0,060-0,150
• Lempung medium s/d Lunak	0,150-1,000
• Lempung sangat Lunak	>1,000
• Tanah organik	1,000-4,500
• Batu/Cadas	0,000

## B. Geosintetik

Geosintetik adalah bahan tiruan (sintetis) yang digunakan di lingkungan tanah. Bahan sintetis ini dapat berupa bahan-bahan yang berasal dari polimerisasi hasil industri-industri kimia (minyak bumi), bahan baja, semen, serat-serat sintetis, kain dan lain-lain.

### 1. Sifat Geosintetik

Prinsip dasar dari geosintetik yang digunakan untuk konstruksi perkuatan tanah adalah memanfaatkan kuat geser dan kuat tarik bahan dengan tanah untuk melawan gaya-gaya yang bekerja. Tanah secara umum mempunyai kekuatan tarik yang sangat rendah atau dapat dikatakan nol, oleh karena itu geosintetik hanya dapat digunakan pada struktur dimana stabilitas tidak dapat dipertahankan terhadap tarik yang diberikan oleh tanah. Geosintetik diaplikasikan pada tanah sebagai kekuatan tarik dalam struktur tanah yang merupakan satu cara mengurangi kekurangan tersebut Nursyah (1998) dalam Prasetya (2007).

- 1) Ringan dan cukup tipis, sehingga mudah dalam pemakaian dan pemasangannya.
  - 2) Permanen/tahan terhadap cuaca, iklim, perubahan suhu dan sinar ultra violet.
  - 3) Sulit terbakar, rata-rata titik leleh di atas 200° C, kecuali *polypropylene* yang titik lelehnya di bawah 200° C.
  - 4) Tahan dari pengaruh mikro organisme, serta menghambat perkembangannya di sekitar bahan yang dipasang (tahan terhadap serangan bakteri dan menghambat pertumbuhan lumut). Hal ini secara tidak langsung akan memperpanjang umur konstruksi.
- b. Sifat mekanik
- 1) Ketahanan dari tarik dan geser cukup besar.
  - 2) Bersifat lentur, mampu mengalami perpanjangan dengan kemuluran maksimum sampai putus antara 10%-140%.
  - 3) Ketahanan dari bahaya sobek dan tembus akibat penetrasi batuan cukup besar.
  - 4) Tahan dari keausan akibat pengaruh mekanik yang terjadi di atas bahan.
- c. Sifat kimiawi
- 1) Tahan terhadap larutan/senyawa kimia yang banyak terkandung di dalam tanah, baik senyawa kimia organik maupun anorganik.
  - 2) Tahan terhadap air laut yang konsentrasi garamnya cukup tinggi.
- d. Sifat hidrolis
- 1) Bahan yang permeable mampu melewatkan air tanah dengan hanya sedikit mengandung butiran-butiran halus yang terlarut.
  - 2) Dapat mencegah terjadinya bahaya *piping*.
  - 3) Dapat mengalirkan air menuju tempat pengaliran yang disediakan (sebagai aluran drainasi).
  - 4) Bahan yang impermeable (rapat air) mampu menahan aliran air sehingga melindungi bagian yang tidak boleh dilewati air.

## 2. Karakteristik Geosintetik

Dalam Widianti (2006) juga disebutkan bahwa karakteristik geosintetik adalah sebagai berikut :

### a. Karakteristik fisis (*physical characteristics*)

#### 1) Tebal geosintetik ( $T_g$ )

Tebal geosintetik sangat bervariasi, umumnya disesuaikan dengan peran dan fungsi dari bahan tersebut serta dibedakan berdasarkan tipe dari geosintetik. Besarnya berkisar antara 1,0 – 10 mm, untuk geokomposit bisa sampai 30 mm.

Geosintetik dari kumpulan benang sintetis biasanya sensitif terhadap tekanan, sedangkan geokomposit tahan terhadap tekanan sampai ratusan kPa.

#### 2) Massa per unit luas ( $\mu_g$ )

Merupakan massa dari lembaran geosintetik per unit luas ( $\text{gr/m}^2$ ). Nilainya bervariasi, umumnya berkisar antara 50 – 70  $\text{gr/m}^2$  untuk geosintetik kelas ringan dan 700 – 800  $\text{gr/m}^2$  untuk tipe yang lebih berat, sedangkan untuk geokomposit berkisar antara 2000 – 3000  $\text{gr/m}^2$ .

#### 3) Massa per satuan volume ( $\rho$ )

Merupakan perbandingan antara massa geosintetik dengan volumenya.

#### 4) Porositas ( $n$ )

Karakteristik ini sangat penting dalam pemakaiannya untuk masalah-masalah hidrolis dan hanya digunakan untuk struktur kumpulan benang sintetis.

$$n = 1 - (\mu_g / (\rho \cdot T_g))$$

dengan  $n$  : porositas (%)

$\mu_g$  : massa per unit luas ( $\text{gr/m}^2$ )

$\rho$  : massa per unit volume ( $\text{gr/m}^3$ )

$T_g$  : tebal geosintetik (m)

#### 5) Diameter serat-serat sintetis ( $d_{\text{tex}}$ = decitex)

Berlaku untuk struktur benang-benang sintetis. Pada geosintetik tipe niryam, diameter serat-serat sintetis bervariasi antara 25 – 150  $\mu\text{m}$  (micrometer).

b. Karakteristik mekanik (*mechanical characteristics*)

1) Kuat geser

Nilainya bervariasi, dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut :

- a) Tipe dan kekasaran permukaan geosintetik
- b) Gradasi butir tanah
- c) Bentuk butiran tanah (bulat, pecah)
- d) Cara pemadatan
- e) Beban vertikal yang akan bekerja

Jika permukaan geosintetik dan butiran tanahnya semakin kasar, nilai kuat geser akan semakin besar.

2) Kuat tarik

Kemampuan untuk menahan gaya tarik yang terjadi tergantung pada bahan dasar polimernya. Umumnya besarnya kuat tarik dinyatakan dalam modulus kuat tarik ( $\sigma$ ) dengan satuan kN/m panjang.

c. Karakteristik hidrolis (*hydraulic characteristic*)

Sifat ini sangat erat hubungannya dengan peran bahan geosintetik dalam masalah-masalah filtrasi dan drainase.

1) Berkaitan dengan peran sebagai drain

Dalam masalah drain, air mengalir melalui tampang geosintetik.

- a) Kapasitas drainase ( $q_w$ )
- b) Transmisivitas ( $\theta$ )
- c) Pengaruh rangkai terhadap transmisivitas

2) Berkaitan dengan peran sebagai filter

- a) Permittivitas ( $\Psi$ )
- b) Ukuran / diameter lubang pori geosintetik

Menurut suryolelono (1997) dalam Prasetya (2007), pemanfaatan geosintetik dalam bidang geoteknik memberikan banyak keuntungan-keuntungan antara lain :

- a. Geosintetik relatif tidak mahal sebagai elemen perkuatan.
- b. Pemanfaatan bahan tersebut dengan tanah setempat (di lokasi pekerjaan) dapat menghemat biaya 50% atau lebih di bandingkan dengan pemanfaatan beton/pasangan batu, selain keuntungan tambahan berupa penghematan sumber material batu.
- c. Geosintetik yang digunakan sebagai dinding penahan tanah dapat ditempatkan dekat permukaan tanah, yang akan mengurangi biaya galian dan mengurangi tinggi total konstruksi.

Secara umum geosintetik dibagi menjadi empat jenis yaitu : geotekstil, geogrid, geomembran, dan geokomposit yang masing-masing mempunyai bentuk dan fungsi sendiri-sendiri.

### 1. Geotekstil

Geotekstil merupakan salah satu jenis geosintetik yang terbuat dari serat-serat sintetis dan tahan terhadap pembusukan. Geotekstil terbagi atas dua macam yaitu geotekstil anyaman (*woven geotextile*) yang berupa serat-serat polimer berbentuk benang atau elemen-elemen pipih yang dianyam menjadi seperti tikar, dan geotekstil tidak dianyam (*non-woven geotextile*) dimana serat-serat dijadikan lembaran secara random. Keduanya merupakan lembaran fleksibel dan porous sehingga dapat melewatkan air dengan relatif mudah dan juga dapat menghantarkan air dengan tingkat yang berbeda di sepanjang geotekstil itu sendiri. Dalam Nogroho, dkk (2010) disebutkan bahwa fungsi dari geotekstil umumnya digunakan untuk lima tujuan dasar, yaitu sebagai :

- a. pengalir air tanah yang baik (*drainage*),
- b. penyaring dan penahan partikel tanah halus supaya tidak terbawa oleh aliran rembesan air (*filtration*),
- c. pemisah dua lapisan supaya tidak bercampur (*separation*),
- d. pencegah erosi dan gerusan (*protection dan erotion control*),
- e. penguat dan pemegang tanah (*reinforcement*)

Keuntungan pemasangan geotekstil di atas tanah lunak adalah kecepatan dalam pelaksanaan dan biaya yang relatif lebih murah di bandingkan dengan metode penimbunan konvensional serta memberikan hasil yang lebih baik sebab arah gaya dapat disesuaikan dengan arah serat, sehingga deformasi dapat dikontrol dengan baik.

## **2. Geogrid**

Geogrid merupakan polimer dengan bentuk seperti jala dengan fungsi utama sebagai bahan perkuatan dan sangat jarang digunakan sebagai pemisah.

## **3. Geomembran**

Geomembran adalah polimer plastik atau karet berupa membran yang tidak tembus air atau zat cair (*impervious*) dengan fungsi utama sebagai pelapis kedap air. Aplikasi bahan tersebut pada bidang teknik sipil di antaranya sebagai pelapis dasar pada kolam penampung limbah cair, konstruksi jalan raya, dan bendungan.

## **4. Geokomposit**

Geokomposit merupakan kombinasi dari material-material di atas, dapat berupa kombinasi geotekstil dengan geogrid dan geomembran. Geokomposit dapat berfungsi sebagai pemisah, perkuatan, penyaring, drainase, dan pencegah kelembaban.

### **C. Geotekstil untuk Perkuatan Tanah**

Tjandrawibawa dan Patmadjaja (2002) melakukan penelitian pemodelan pondasi dangkal dengan menggunakan lapis geotekstil di atas tanah lunak. Dengan model pondasi berukuran  $5 \times 5 \times 2 \text{ cm}^3$ . Dalam penelitiannya dibuat 5 uji model yang berbeda, yaitu tanah lempung lunak saja, tanah lempung lunak dan lapisan sirtu, tanah lempung lunak dan sirtu dengan 1 lapis geotekstil, tanah lempung lunak dan sirtu dengan 2 lapis geotekstil dan tanah lempung lunak dan sirtu dengan 3 lapis geotekstil. Hasil penelitian di laboratorium menunjukkan bahwa dengan pemberian lapisan sirtu di bawah pondasi, maka kuat dukung meningkat sebesar 69%. Dengan pemasangan satu, dua dan tiga lapis geotekstil masing-masing meningkatkan kuat dukung sebesar 182,6%, 197,8% dan 241,3%

dibanding tanah lunak saja. Pembacaan beban ultimit diambil pada beban yang mengakibatkan penurunan sebesar 10% lebar pondasi (10% B).

Muntohar (2005) melakukan penelitian dengan menggunakan model *embankment* sederhana di laboratorium untuk mempelajari karakteristik penurunan *embankment* di atas tanah lempung lunak yang diperkuat dengan lapisan geotekstil. Model *embankment* dibuat dari bahan *flexyglass* dan bersifat kaku (rigid) dengan skala dimensi 1:10. Parameter yang diteliti diantaranya : ketebalan lapisan tanah lempung (H) dan jumlah lapisan geotekstil yang digunakan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi pengurangan penurunan untuk tanah yang diperkuat dengan geotekstil sebesar 38% untuk 1 lapis, 46% untuk 2 lapis dan 51% untuk 3 lapis, jika dibandingkan dengan tanah tanpa perkuatan. Bila dibandingkan dengan kuat dukung tanah tanpa perkuatan terdapat penambahan kuat dukung ultimit tanah dasar terjadi sebesar 42% untuk 1 lapis, 53% untuk 2 lapis dan 79 % untuk 3 lapis. Bila diambil faktor keamanan (*factor of safety*, FS) terhadap keruntuhan *embankment* sebesar FS=1,5; maka dua lapis geotekstil telah cukup memberikan kuat dukung yang baik.

Nugroho dan Rachman (2009) meneliti pengaruh perkuatan geotekstil terhadap daya dukung tanah gambut. Pengujian utama menggunakan model pondasi telapak bujur sangkar dengan sisi (B) 15 cm yang diletakkan di atas bak uji berukuran  $90 \times 90 \times 150 \text{ cm}^3$ . Geosintetik yang digunakan adalah geotekstil tidak teranyam berbentuk bujur sangkar dengan dimensi bervariasi, yaitu 2B, 3B, dan 4B. Geosintetik dipasang pada kedalaman bervariasi, yaitu 0,25B, 0,5B dan 1B. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya dukung meningkat sebanding dengan dimensi perkuatan yang semakin besar. Penambahan kedalaman (jarak dari pondasi ke lapisan perkuatan) menyebabkan pengurangan nilai daya dukung tanah. Dalam penelitian tersebut disimpulkan bahwa pemasangan geosintetik dengan dimensi 4B×4B yang dipasang pada kedalaman 0,25B menghasilkan daya dukung maksimal yang besarnya hingga mencapai 3 kali lipat daya dukung tanah gambut tanpa perkuatan. Nugroho dkk, (2010) melakukan penelitian serupa, namun menggunakan perkuatan kombinasi geogrid dan geotekstil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya dukung maksimal mencapai 4 kali lipat daya



dukung tanpa perkuatan, yang terjadi pada geogrid berdimensi  $5B$  yang diletakkan pada jarak  $0,25B$  dari bawah pondasi dan rasio spasi vertikal geogrid dan geotekstil sebesar  $0,25$ . Dalam penelitian selanjutnya Nugroho dkk, (2011) menggunakan kombinasi grid bambu (sebagai perkuatan) dan geotekstil tidak teranyam (sebagai separator) untuk meningkatkan daya dukung pondasi dangkal pada tanah gambut. Diharapkan dari penempatan grid bambu dan geotekstil tersebut bidang runtuh tanah akan terpotong oleh kombinasi keduanya, sehingga daya dukung tanah akan meningkat. Grid bambu berbentuk bujur sangkar dengan sisi ( $B$ )  $5$  cm, sedangkan geotekstil berbentuk bujur sangkar dengan dimensi bervariasi, yaitu  $0,25B$ ,  $0,5B$ , dan  $1B$ . Perbedaan daya dukung antara tanah tanpa perkuatan dinyatakan dalam Bearing Capacity Ratio (BCR). Dari studi model di laboratorium diperoleh nilai BCR maksimum sebesar  $4,32$  yang terjadi pada rasio antara ukuran perkuatan ( $L$ ) dan ukuran pondasi ( $B$ ) sebesar  $3$ , rasio kedalaman perkuatan dari dasar pondasi ( $d$ ) dan  $B$  sebesar  $0,25$ , serta rasio spasi antara grid bambu dan geotekstil ( $s$ ) dengan  $B$  sebesar  $0,5$ .

Alihudien, dkk (2012) meneliti dengan metode eksperimen di laboratorium. Eksperimen dilakukan dengan serangkaian pemodelan pembebanan plat pondasi terhadap benda uji lempung yang di dalamnya dipasang perkuatan geotekstil untuk berbagai ukuran lebar ( $b$ ), spasi ( $d$ ), dan kedalaman ( $z$ ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan geotekstil sebagai bahan perkuatan tanah di bawah pondasi dapat meningkatkan daya dukungnya. Pengaruh ukuran, spasi, dan kedalaman geotekstil terhadap dimensi dipelajari nilai BCRnya. Untuk pengaruh rasio kedalaman geotekstil dan lebar pondasi ( $z/B$ ) adalah semakin besar  $z/B$  maka BCR menurun. Pengaruh lebar geotekstil terhadap lebar pondasi adalah semakin besar  $b/B$  maka BCR tidak selalu naik karena sampai pada nilai tertentu akan menurun. Pengaruh spasi geotekstil terhadap lebar pondasi adalah semakin besar nilai  $d/B$  maka BCR akan mengalami kenaikan.

#### **D. Daya Dukung Tanah**

Daya dukung ultimit (*ultimit bearing capacity*) ( $q_u$ ) didefinisikan sebagai beban maksimum persatuan luas di mana tanah masih dapat mendukung beban

Bila dinyatakan dalam persamaan, maka

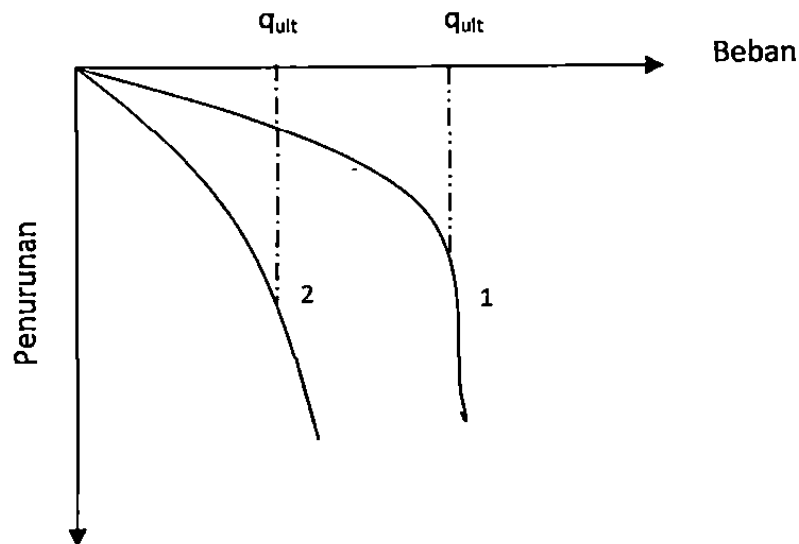
$$q_u = \frac{P_u}{A}$$

dengan

$q_u$  = daya dukung ultimit ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$P_u$  = beban ultimit (kg)

$A$  = luas pondasi ( $\text{cm}^2$ )



Gambar 2.1. Hubungan antara beban dan penurunan (Hardiyatmo, 2003)

Pada Gambar 2.1 mula-mula, pada beban yang diterapkan, penurunan yang terjadi kira-kira sebanding dengan bebannya. Hal ini digambarkan sebagai kurva yang mendekati garis lurus, yang menggambarkan hasil distorsi elastis dan pemampatan tanahnya. Bila beban bertambah terus, pada kurva terjadi suatu lengkungan tajam yang dilanjutkan dengan bagian garis lurus kedua dengan kemiringan yang lebih curam. Penentuan daya dukung *ultimit* merupakan keharusan dalam menganalisa data pembebanan. Daya dukung *ultimit* diperlukan untuk keperluan mendesain pondasi. Berdasarkan data hasil uji pembebanan yang dilakukan, seringkali terjadi hambatan dalam menentukan daya dukung *ultimit* pada tanah. Pengujian pembebanan memberikan hasil berupa grafik hubungan  $q_{ult}$  vs penurunan. Dari grafik tersebut kemudian dilakukan interpretasi untuk mendapatkan nilai daya dukung aksial pondasi yang diuji. Terdapat beberapa

diantaranya yaitu : Metode Beban P-S atau Beban Kritis, Davisson 72, Chin 70 dan 72, De beer 67, Hansen 90%, Mazurkiewicz 72, Fuller and hoy 70, Butler and hoy 77, Van der Veen ; Hansen 80% (Surjandari,2008) dalam Nugroho (2011).

### E. *Bearing Capacity Ratio*

Untuk mengetahui kinerja geotekstil dalam menaikkan daya dukung tanah pondasi dilakukan analisis tanpa dimensi, untuk menghasilkan nilai *Bearing Capacity Ratio* (BCR) yang merupakan rasio antara daya dukung ultimit tanah pondasi yang diperkuat dengan daya dukung ultimit tanah pondasi yang tidak diperkuat (Alihudien, dkk, 2012).

$$BCR = \frac{q_r}{q_o}$$

dengan :

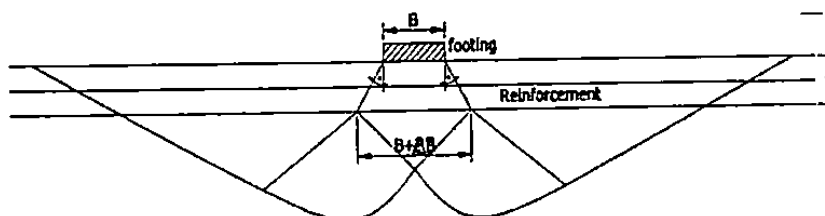
BCR = *Bearing Capacity Ratio*

$q_r$  = daya dukung ultimit tanah pondasi yang diperkuat ( $\text{kg/cm}^2$ )

$q_o$  = daya dukung ultimit tanah pondasi yang tidak diperkuat ( $\text{kg/cm}^2$ )

### F. Pengaruh Sudut Penyebaran Tekanan

Sudut penyebaran tekanan ( $\alpha$ ) dan pertambahan lebar pondasi ( $\Delta B$ ) meningkat pada setiap penambahan dimensi perkuatan dan semakin kecil pada penambahan kedalaman. Peningkatan nilai  $\alpha$  ini terjadi karena pada kedalaman yang sama akan membuat beban tanah di atas perkuatan akan semakin besar seiring dengan penambahan dimensi perkuatan yang digunakan (Nugroho dan Rachman, 2009).



Gambar 2.2 Sudut Penyebaran Tekanan