

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1. Umum**

Gempa bumi adalah getaran yang terjadi di permukaan bumi. Gempa bumi merupakan fenomena alam yang tidak dapat dicegah. Penyebab gempa bumi dapat diakibatkan keruntuhan tanah di dalam gua, adanya pergeseran lempeng didasar bumi dan peristiwa vulkanik seperti meletusnya gunung berapi. Gempa bumi yang terjadi umumnya diikuti oleh serangkaian guncangan dan pergeseran tanah akibat dari gelombang gempa yang sampai pada permukaan. Pergeseran tanah ini salah satunya akan mengakibatkan peristiwa likuifaksi.

Youd (1980) dan Kertapati (1998) meninjau beberapa kerusakan berat atau kerusakan total pada bangunan karena peretakan tanah akibat proses likuifaksi bahwa kerusakan ringan terjadi pada pergeseran tanah sejauh 50-100 mm, kerusakan yang memerlukan perbaikan ringan atau kerusakan sedang terjadi akibat pergeseran tanah sejauh 120-600 mm, dan kerusakan berat dengan pergeseran tanah sejauh lebih dari 760 mm. Perubahan sifat tanah dari sifat solid menjadi sifat seperti likuid yang terjadi pada tanah jenuh air diakibatkan oleh peningkatan tekanan air pori dan pengurangan tegangan efektif tanah dan sekaligus juga mengurangi kekuatan geser tanah yang bersangkutan. Apabila hal itu terjadi dan tanah akan kehilangan kekuatan geser maka akan terjadi likuifaksi.

### **3.2 Definisi Likuifaksi**

Likuifaksi merupakan fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran. Getaran dapat berupa gempa bumi atau dari pembebanan cepat lainnya. Tanah yang sedang mengalami getaran tersebut akan merubah sifat lapis tanah menjadi seperti cairan sehingga tak mampu menopang beban yang ada diatas tanah itu sendiri.

Likuifaksi ini terjadi pada tanah yang jenuh air, dimana rongga-rongga dari tanah tersebut dipenuhi oleh air. Getaran yang terjadi menyebabkan air akan memberikan tekanan di partikel – partikel tanah sehingga mempengaruhi kepadatan dari tanah itu sendiri.

Menurut Seed (1979), likuifaksi adalah suatu kondisi dimana tanah akan mengalami deformasi yang kontinu pada tegangan sisa atau tahanan sisa yang rendah akibat terbentuknya tekanan air pori yang tinggi yang mengurangi tekanan efektif hingga menjadi sangat rendah. Terjadinya likuifaksi dikarenakan adanya beban dinamis yang bekerja pada lapisan jenuh air. Likuifaksi dapat juga terjadi bukan sebagai akibat langsung dari getaran tanah tetapi merupakan kelanjutan dari terjadinya likuifaksi pada lapisan pasir dibawahnya.

Pada dasarnya ada dua konsep yang dapat digunakan untuk mengevaluasi potensi likuifaksi pada pasir jenuh akibat beban gempa, yaitu percobaan dilapangan dan dilaboratorium dengan menghitung nilai faktor keamanan. Tes yang sering dilakukan pada uji lapangan adalah tes CPT, SPT,BPT, dan Vs.

### **3.3 Metode Untuk Mengevaluasi Potensi Likuifaksi**

Analisis potensi likuifaksi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu, tes uji laboratorium dan pendekatan perhitungan dari data tes uji lapangan. Untuk penelitian tugas akhir ini penulis bertujuan untuk mendapatkan analisis potensi likuifaksi dengan membandingkan nilai CRR dari kedua data yaitu data CPT dan SPT. Analisis potensi likuifaksi dibutuhkan nilai rasio tegangan siklik (CSR) dan nilai rasio tahanan siklik (CRR) yang akan didapatkan dari nilai CPT, SPT,  $V_s$ , dan beberapa uji tanah lainnya. Namun, dalam penulisan tugas akhir ini penulis hanya mengambil perhitungan dari data CPT dan SPT saja.

Metode dengan membandingkan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dengan nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*) untuk mendapatkan nilai faktor keamanan. Faktor keamanan yang digunakan tidak boleh kurang dari satu, karena jika kurang dari satu maka tanah akan mengalami likuifaksi.

Persamaan dapat ditulis sebagai berikut :

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (2-1)$$

Dimana :

$$FS = \frac{CRR}{CSR} < 1 \text{ (terjadi likuifaksi)} \quad (2-2)$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = 1 \text{ (kondisi kritis)} \quad (2-3)$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} > 1 \text{ (tidak terjadi likuifaksi)} \quad (2-4)$$

### **3.4 Pengolahan Data**

#### **3.4.1. Data SPT (*Standard Penetration Test*)**

*Standard Penetration Test* (SPT) merupakan pengujian tembusan tanah yang paling ekonomis dan populer untuk mendapatkan informasi di bawah permukaan tanah. SPT merupakan salah satu pengujian lapangan yang cukup populer di Indonesia. Pengujian ini pertama kali digunakan pada tahun 1972. Pengujian ini berasal dari Amerika Serikat, yang semula cara pengambilan contoh tanah dengan menggunakan tabung yang terdiri atas dua bagian yang disebut *split spoon sampler* (tabung dua bagian) yang nantinya akan dipukul masuk ke dalam tanah dan kemudian akan ditarik ke atas dan dibuka untuk mendapatkan inti tanah dari dalamnya. Pengujian ini untuk mengetahui sifat-sifat daya dukung di setiap lapisan tersebut, seperti kerapatan relatif, jenis tanah, dan data kualitatif lainnya.

#### **1. Perhitungan rumus CSR (*Cyclic Stress Ratio*)**

CSR (*Cyclic Stress Ratio*) adalah nilai tegangan yang disebabkan oleh gempa bumi. Dalam teori Seed dan Idris (1971) didapatkan rumus untuk menghitung CSR dengan persamaan di bawah ini :

$$\text{CSR} = 0,65 \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}\right) \cdot r_d \quad (2-5)$$

Dimana :

$a_{\max}$  = percepatan tanah maksimum akibat gempa bumi

$g$  = percepatan gravitasi ( 9,81 m/s)

$\sigma_{vo}$  = tegangan total vertikal *overburden*

$\sigma'_{vo}$  = tegangan efektif vertikal *overburden*

$rd$  = koefisien tegangan reduksi

Nilai  $a_{max}$  yang digunakan pada penelitian ini yaitu  $a_{max} = 0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3$  m/s.

Penentuan koefisien tegangan reduksi ( $rd$ ) di dapat dari persamaan Liao dan Whitman (1968) yaitu :

$$rd = 1,0 - 0,00765.z \quad \text{untuk } z \leq 9,15 \text{ m} \quad (2-6)$$

$$rd = 1,174 - 0,0267.z \quad \text{untuk } 9,15 \leq z \leq 23 \text{ m} \quad (2-7)$$

## 2. Perhitungan rumus CRR (*Cyclic Resistance Ratio*)

CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) adalah nilai yang mencerminkan kekuatan tanah terhadap beban siklis yang biasanya diakibatkan oleh beban gempa bumi. Untuk mengevaluasi nilai CRR dilakukan pendekatan perhitungan CRR yang diambil dari konsensus NCEER/NSF tentang ketahanan tanah terhadap likuifaksi tahun 1998 mengenai analisis likuifaksi dan literatur buku yang dibuat oleh I.M.Idriss dan R.W. Boulanger yang berjudul “*Soil Liquefaction During Earthquakes*” tahun 2008

### a. Penentuan faktor koreksi ( $(N_1)_{60}$ )

Faktor koreksi yang didapatkan dari Skempton (1986) ditunjukkan oleh tabel 3.1

Tabel 3.1 Tabel Nilai Faktor Koreksi untuk  $(N_1)_{60}$ , Skempton (1986)

Faktor	Jenis Alat	Parameter	Koreksi
Tegangan vertikal efektif		$C_N$	$2,2/(1,2+(\sigma_{vo}/P_a))$

Tegangan vertikal efektif		$C_N$	$C_N \leq 1,7$
Rasio Tenaga	Palu donat (Donat Hummer)	$C_E$	0,5 s.d 1,0
Rasio Tenaga	Palu pengaman ( safety hammer)	$C_E$	0,7 s.d 1,2
Rasio Tenaga	Palu otomatis (automatic-trip donut-type hammer)	$C_E$	0,8 s.d 1,3
Diameter Bor	65 s.d 115 mm	$C_B$	1,0
Diameter Bor	150 mm	$C_B$	1,05
Diameter Bor	200 mm	$C_B$	1,15
Panjang Batang	< 3m	$C_B$	0,75
Panjang Batang	3 s.d 4 m	$C_B$	0,8
Panjang Batang	4 s.d 6 m	$C_B$	0,85
Panjang Batang	6 s.d 10 m	$C_B$	0,95
Panjang Batang	10 s.d 30 m	$C_R$	1,0
Pengambilan Contoh	Tabung Standar	$C_S$	1,0
Pengambilan Contoh	Tabung Standar	$C_S$	1,1 s.d 1,3

Adapun persamaan yang digunakan untuk memperoleh  $(N_1)_{60}$  :

$$(N_1)_{60} = N_m \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \quad (2-8)$$

Keterangan :

$N$  = nilai tahanan penetrasi standart.

$C_N$  = faktor normalisasi  $N_m$  terhadap tegangan overbuden pada umumnya

$C_E$  = koreksi rasio energi hammer (ER)

$C_B$  = koreksi untuk diameter lubang bor

$C_R$  = faktor koreksi dan panjang batang

$C_S$  = koreksi untuk sampel

Faktor koreksi tegangan overbuden dan nilai N-SPT mengalami peningkatan maka harus digunakan persamaan Seed dan Idris (1971):

$$C_N = \left( \frac{2,2}{1,2 + \left( \frac{\sigma}{P_0} \right)} \right) \quad (2-9)$$

Dimana  $C_N \leq 1,7$

### b. Menentukan nilai $(N_1)_{60}$

Untuk mengetahui nilai *Fines Content* (FC) ditentukan terlebih dahulu nilai  $(N_1)_{60}$  dengan persamaan dibawah ini :

$$(N_1)_{60} = \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60}$$

$$\text{Dimana nilai } \alpha = 0 ; \beta = 1 \quad (\text{FC}) \leq 50\% \quad (2-10)$$

$$\alpha = \exp \left[ 1,76 - \left[ \frac{190}{\text{FC}^2} \right] \right] \quad 5\% < (\text{FC}) < 35\% \quad (2-11)$$

$$\beta = \left[ 0,99 - \left[ \frac{\text{FC}^{1,5}}{1000} \right] \right] \quad (2-12)$$

$$\alpha = 0 \quad \beta = 1 \quad (\text{FC}) \geq 35\% \quad (2-13)$$

### c. Menentukan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*)

Berdasarkan teori Youd fan Idriss (1997) untuk menentukan nilai CRR pada besaran skala gempa ( $M_w$ ) 7,5 , digunakan persamaan dibawah ini

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{135} + \frac{50}{(10 \cdot (N_1)_{60cs} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (2-14)$$

#### 3.4.2. Data CPT (*Cone Penetration Test*)

Sanglerat (1972) mengungkapkan uji *Cone Penetration Test* (CPT) (ASTM D-3441) adalah suatu metode penafsiran stratipgrafi lapisan bawah permukaan (*stratigraphy subsurface*) yang berhubungan dengan material lunak, material organik (*peat*). Material – material yang berpotensi mudah mencair (*liquefiable*) seperti: lempung, pasir, dan batuan bulat dan tanah longsor (*landslides*).

*Cone Penetration Test* adalah uji sondir yang dikenal dengan uji penetrasi kerucut statis banyak digunakan di Indonesia. Pengujian ini merupakan suatu pengujian yang digunakan untuk menghitung kapasitas dukung tanah. Nilai-nilai tahanan kerucut statis atau hambatan konus ( $q_c$ ) yang diperoleh dan pengujian dapat langsung dikorelasikan dengan kapasitas dukung tanah.

### 1. Perhitungan Rumus CSR (*Cyclic Stress Ratio*)

Untuk perhitungan nilai CSR pada data CPT menggunakan persamaan seperti perhitungan CSR pada data SPT, persamaan (2-5).

### 2. Menentukan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*)

#### a. Perhitungan nilai tahanan ujung terkoreksi

Berdasarkan teori Youd dan Idriss (1997) nilai tahanan ujung terkoreksi yang akan diformulasikan, menggunakan persamaan berikut :

$$q_{cIN} = C_q \cdot \left( \frac{q_c}{P_a} \right) \quad (2-15)$$

Keterangan :

$C_q$  = faktor normalisasi tahanan ujung konus

$P_a$  = tekanan awal

#### b. Perhitungan nilai Q

Untuk pasir murni (*clean -sand*), nilai eksponen pakai  $n=0,5$  dan untuk tanah jenis lempung menggunakan nilai eksponen pakai  $n=1$ . Setelah tanah



yang diuji telah diklasifikasikan jenisnya maka dihitung dengan persamaan dibawah ini : (Youd dan Idris, 1977)

$$Q = \left( \frac{qc - \sigma'_{vo}}{Pa} \right) \cdot \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (2-16)$$

**c. Perhitungan nilai F**

Perhitungan nilai F menggunakan persamaan Youd and Idriss (1997)

$$F = \left( \frac{fs}{qc - \sigma'_{vo}} \right) \cdot 100\%$$

**d. Perhitungan nilai  $I_c$  menggunakan persamaan Youd and Idriss (1997)**

$$I_c = [(3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + \log F)^2]^n$$

**e. Menentukan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*)**

Dalam jurnal *Soil Liquefaction During Earthquake* oleh Idriss dan Boulanger (2008) terdapat persamaan di bawah ini :

- Jika nilai  $(qcIN)_{cs} \leq 211$

Maka nilai

$$CRR_{7,5} = \exp \left[ \frac{(qcIN)_{cs}}{540} + \left( \frac{(qcIN)_{cs}}{67} \right)^2 - \left( \frac{(qcIN)_{cs}}{80} \right)^3 - \left( \frac{(qcIN)_{cs}}{144} \right)^4 - 3 \right] \quad (2-17)$$

- Jika nilai  $(qcIN)_{cs} > 211$

Maka nilai  $CRR_{7,5} = 2$

Keterangan :

$qc$  = tahanan ujung konus

