

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Karakteristik Dasar Tanah

Ukuran partikel tanah sangat beragam, yaitu antara lebih besar dari 100 mm sampai kurang dari 0,001 mm. Dari ukuran yang sangat beragam tersebut, maka setiap jenis tanah memiliki sebutan yang berbeda, dimulai dari yang paling halus partikelnya yaitu lempung, lanau, pasir, kerikil, *cabbles*, dan *boulders* untuk bebatuan yang paling keras dan partikelnya paling besar. Pada umumnya, jenis tanah terdiri dari campuran berbagai rentang ukuran dan biasanya lebih dari dua rentang ukuran. Namun partikel yang berukuran lempung tidak selalu merupakan mineral lempung, bubuk batu yang paling halus mungkin berukuran partikel lempung. Jika mineral lempung terdapat pada suatu tanah, biasanya akan dapat mempengaruhi sifat tanah tersebut, meskipun persentasenya tidak terlalu besar.

Secara umum, tanah disebut kohesif bila partikel –partikelnya yang saling melekat setelah membasahi, kemudian dikeringkan maka diperlukan gaya yang cukup besar untuk meremas tanah tersebut, ini tidak termasuk tanah yang partikel – partikelnya saling melekat ketika dibasahi akibat tegangan permukaan. Rentang ukuran partikel pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Rentang Ukuran Partikel

Lempung	Lanau			Pasir			Kerikil			Cobbles	Boulders
	Halus	Medium	Kasar	Halus	Medium	Kasar	Halus	Medium	Kasar		
	0,002	0,006	0,02	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60	200
	0,001	0,01		0,1		1		10		100	
Ukuran partikel (mm)											

Sumber: Craig (1991)

Tanah yang partikelnya terdiri dari rentang ukuran kerikil dan pasir disebut tanah berbutir kasar (*coarse grained*). Sebaliknya, bila partikelnya kebanyakan berukuran partikel lempung dan lanau, disebut tanah berbutir halus (*fine grained*).

Ukuran butiran tanah tergantung pada diameter partikel tanah yang membentuk masa tanah itu. Secara visual, fraksi tanah berbutir kasar dapat

dikenali secara langsung mengingat ukurannya yang besar. Material tanah berbutir kasar paling banyak digunakan dalam konstruksi karena sifat-sifatnya yang menguntungkan. Berikut ini adalah beberapa sifat – sifat fraksi tanah berbutir kasar, yaitu :

1. tidak mempunyai sifat kohesi,
2. tingkat kompressibilitas yang tinggi dan nilai elastisitas yang besar, sehingga baik untuk material urugan. Material ini banyak dipakai untuk mengganti lapisan tanah yang buruk pada konstruksi jalan raya,
3. porositas tinggi karena banya mempunyaicelah atau void dalam susunan strukturnya,
4. mempunyai kuat geser yang besar,
5. dapat terkonsolidasi dalam waktu yang relative cepat, dan
6. partikel berukuran $> 0,075$ mm.

3.1.1 Jenis Tanah

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran lebih dari satu macam ukuran partikelnya. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja. Akan tetapi, dapat bercampur dengan butiran-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik. Ukuran partikel tanah dapat bervariasi dari lebih besar dari 100 mm sampai dengan lebih kecil dari 0,001 mm (Hardiyatmo, 1992).

1. Kerikil (*gravel*), yaitu kepingan bantuan yang kadang juga partikel mineral *quartz* dan *feldspar*.
2. Pasir (*Sand*), yaitu sebagian besar mineral *quartz* *feldspar*.
3. Lanau (*Silt*), yaitu sebagian besar fraksi mikroskopis (yang berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran *quartz* yang sangat halus, dan dari pecahan-pecahan mika.
4. Lempung (*clay*), yaitu sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis (yang berukuran sangat kecil) dan sub-mikroskopis (tidak dapat dilihat, hanya dengan mikroskop). Berukuran lebih kecil dari 0,002 mm (*2 micron*).

3.1.2 Sifat Fisis Tanah dan Mekanis Tanah

Sifat fisik tanah yaitu sifat yang berhubungan dengan elemen penyusunan massa tanah yang ada. Sedangkan sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah pada dikenai suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis.

1. Analisa Saringan

Analisa saringan tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. (Hardiyatmo, 1992). Dalam analisis saringan, sejumlah saringan yang memiliki ukuran lubang berbeda-beda disusun dengan ukuran yang terbesar di atas yang kecil. Penyaringan merupakan metode yang biasanya secara langsung untuk menentukan ukuran partikel dengan didasarkan pada batas-batas bawah ukuran lubang saringan yang digunakan. Tanah digolongkan kedalam 4 macam pokok sebagai berikut ini.

a. Batu kerikil dan pasir

Golongan ini terdiri dari pecahan batu dengan berbagai ukuran dan bentuk. Butir batu kerikil biasanya terdiri dari pecahan batu tetapi kadang mungkin pula terdiri dari suatu macam zat tertentu.

b. Lempung

Lempung terdiri dari butir yang sangat kecil dan menunjukkan sifat plastisitas dan kohesif. Kohesif menyatakan bahawa bagian itu melekat satu sama lainnya. Sedang plastisitas merupakan sifat yang memungkinkan dapat diubah tanpa perubahan isi dan tanpa terjadi retakan.

c. Lanau

Lanau merupakan peralihan antara lempung dan pasir halus. Kurang plastis dan mudah ditembus air dari pada lempung dan memperlihatkan sifat dilatasi yang tidak terdapat dalam lempung. Lanau akan menunjukkan gejala untuk hidup apabila diguncang atau digatar.

2. Kadar Air

Pada dasarnya tanah terdiri dari beberapa bagian yaitu bagian padat dan bagian rongga. Bagian padat terdiri dari partikel-partikel tanah yang padat sedangkan bagian rongga terisi oleh air dan udara. Untuk menentukan suatu kadar air dari tanah tersebut dapat dilakukan pengujian sampel tanah dengan membandingkan antara berat yang terkandung dalam tanah dengan berat butir tanah tersebut dan dinyatakan dalam persen. Kadar air tanah ialah perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah tersebut. Kadar air tanah dapat digunakan untuk menghitung parameter sifat-sifat tanah. Sedangkan pengeringan untuk benda uji yang tidak mengandung bahan organik dilakukan diatas kompor atau dibakar langsung setelah disiram dengan spirtus. Lakukan penimbangan dan pengeringan secara berulangulang sehingga mencapai berat yang tetap. Kadar air dapat diperhitungkan dengan menggunakan Persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3.1)$$

Dengan :

W = Kadar air

W_w = Berat air

W_s = Berat butiran padat

3. Berat Jenis Tanah

Menentukan berat jenis tanah ialah dengan mengukur berat sejumlah tanah yang isinya diketahui. Untuk tanah asli biasanya dipakai sebuah cincin yang dimasukkan kedalam tanah sampai terisi penuh, kemudian atas dan bawahnya diratakan dan cincin serta tanahnya ditimbang. Setelah mendapatkan nilai G_s , maka kita dapat menentukan macam tanah dari berat jenis tanah tersebut dengan nilai-nilai berat jenis tanah seperti pada Tabel 3.2 sedangkan perhitungan nilai G_s dapat menggunakan Persamaan 3.2 seperti di bawah ini.

$$G_s = \frac{Y_s}{Y_w} \quad (3.2)$$

Dengan :

G_s = Berat jenis tanah

Y_s = Berat Volume butiran

Y_w = Berat Volume air

Tabel 3.2 Macam Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis
Kerikil	2.65 – 2.68
Pasir	2.65 – 2.68
Lanau Organik	2.65 – 2.68
Lempung Organik	2.58 – 2.65
Lempung Anorganik	2.68 – 2.75
Humus	1.37
Gambut	1.25 – 1.80

(Sumber: Hardiyatmo,1992)

4. Batas Cair Tanah

Batas cair tanah adalah kadar air minimum di mana sifat suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi plastis. Besaran batas cair digunakan untuk menentukan sifat dan klasifikasi tanah. Konsistensi dari lempung dan tanah – tanah kohesif lainnya sangat dipengaruhi oleh kadar air dari tanah. Tanah yang telah lolos saringan no.40 dicampur dengan air suling, lalu dimasukkan ke mangkok *Casagrande*, lalu putar alat *Liquid Limit* dan hitung jumlah ketukan yang diperlukan untuk menutup celah tanah, lalu ambil sebagian tanah dan masukkan ke dalam oven selama 24 jam untuk menghitung kadar airnya metode

yang digunakan dalam penentuan batas cair adalah ASTM. Batas cair tanah dapat diperhitungkan dengan Persamaan 3.3 berikut ini.

$$LL = W_N \left(\frac{N}{25} \right)^{Tg\beta} \quad (3.3)$$

Dengan :

LL = Batas cair tanah

W_N = Kadar air

N = Jumlah pukulan

$Tg\beta$ = 0,121 (sesuai jenis tanah)

5. Batas Plastis dan Indeks Plastisitas

Batas plastis (*plastic limit/PL*) adalah kadar air minimum (dinyatakan dalam persen) bagi tanah tersebut yang masih dalam kadar plastis. Tanah ada pada keadaan plastis, apabila tanah digiling menjadi batang-batang berdiameter 3mm mulai menjadi retak-retak.

Index plastisitas sesuatu tanah adalah bilangan (dalam persen) yang merupakan selisih antara batas cair dan batas plastisitasnya. Dapat diperhitungkan dengan menggunakan Persamaan 3.4 dibawah ini.

$$PI = LL - PL \quad (3.4)$$

Adapun menurut Atterbeg batasan mengenai indeks plastis, sifat, macam tanah dan kohesinya dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini :

Tabel 3.3 Nilai Indeks Plastisitas Tanah dan Macam Tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non Kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif

> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif
------	--------------------	---------	---------

(Sumber: Hardiyatmo, 1992)

Tanah yang mempunyai kecepatan terhadap pengaruh air sangat mudah mengembang dan akan cepat merusak struktur yang ada di atasnya. Potensi pengembangan (*swelling potensial*) tanah lempung sangat erat kaitannya dengan indeks plastisitas, sehingga tanah khususnya tanah lempung dapat diklasifikasikan sebagai tanah yang mempunyai potensi mengembang tertentu yang didasarkan oleh indeks plastisitasnya (Chen, 1975).

3.2 Klasifikasi Tanah USCS

Pada sistem klasifikasi *Unified*, tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50 % lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50 % lolos saringan nomor 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok dengan simbol - simbol yang digunakan adalah :

- G = Kerikil (*gravel*)
- S = Pasir (*sand*)
- C = lempung (*clay*)
- M = lanau (*silt*)
- O = lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)
- Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*)
- W = gradasi baik (*well – graded*)
- P = gradasi baik (*poorly – graded*)
- H = plastisitas tinggi (*high – plasticity*)
- L = plastisitas tinggi (*low – plasticity*)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sistem unified adalah sebagai berikut :

- 1) Menentukan apakah tanah merupakan butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan nomor 200,
- 2) Jika tanah berupa butiran kasar :
 - a. Menyaring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butiran.
 - b. Menentukan persen butiran lolos saringan No.4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50 %, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila butiran yang lolos lebih dari 50%, klasifikasikan sebagai pasir. Untuk sistem klasifikasi tanah USCS dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Major divisions	Group symbol	Typical names	Classification criteria for coarse-grained soils	
Coarse-grained soils (more than half of material is larger than No. 200)	GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	$C_U \geq 4$ $1 \leq C_C \leq 3$	
	GP	Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	Not meeting all gradation requirements for GW ($C_U < 4$ or $1 > C_C > 3$)	
	GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	Atterberg limits below A line or $I_p < 4$	Above A line with $4 < I_p < 7$ are borderline cases requiring use of dual symbols
	GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures	Atterberg limits above A line with $I_p > 7$	
	Sands (more than half of coarse fraction is smaller than No. 4 sieve size)	SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines	$C_U \geq 6$ $1 \leq C_C \leq 3$
SP		Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines	Not meeting all gradation requirements for SW ($C_U < 6$ or $1 > C_C > 3$)	
SM		Silty sands, sand-silt mixtures	Atterberg limits below A line or $I_p < 4$	Limits plotting in hatched zone with $4 \leq I_p \leq 7$ are borderline cases requiring use of dual symbols
SC		Clayey sands, sand-clay mixtures	Atterberg limits above A line with $I_p > 7$	
Fine-grained soils (more than half of material is smaller than No. 200)	ML	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands, or clayey silts with slight plasticity	1. Determine percentages of sand and gravel from grain-size curve. 2. Depending on percentages of fines (fraction smaller than 200 sieve size), coarse-grained soils are classified as follows: Less than 5%—GW, GP, SW, SP More than 12%—GM, GC, SM, SC 5 to 12%—Borderline cases requiring dual symbols	
	CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays		
	OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity		
	MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts		
	CH	Inorganic clays or high plasticity, fat clays		
	OH	Organic clays of medium to high plasticity, organic silts		
	Pt	Peat and other highly organic soils		

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{10} D_{60}}$$

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

- c. Menentukan jumlah butiran yang lolos saringan no.200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5 %, pertimbangkan

bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SP (bila pasir).

- d. Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan no.200 diantara 5 sampai 12 %, tanah akan mempunyai simbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW - GM, SW - SM, dan sebagainya).
 - e. Jika persentase butiran yang lolos saringan no.200 lebih besar 12 %, harus dilakukan uji batas - batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM - GC atau SM - SC).
- 3) Jika tanah berbutir halus :
- a. Mengerjakan uji -uji batas Aterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no.40. Jika batas cair lebih dari 50, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, klasifikasikan sebagai L (Plastisitas rendah).
 - b. Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas -batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). jika plotnya jatuh digaris A, klasifikasikan sebagai CH.
 - c. Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas - batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A dan area yang diarsir, menentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya didalam oven.
 - d. Jika plot batas - batas Atterberg pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, gunakan simbol dobel.

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari pertikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur dengan butir - butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat bahan organik. Ukuran partikel tanah dapat bervariasi dari lebih besar 100 mm sampai dengan lebih kecil dari 0,001 mm. Klasifikasi butiran tanah dapat dilihat pada Tabel 3.5 dibawah ini.

Tabel 3.5 Klasifikasi Butiran Tanah Menurut Unified Soil Classification System, ASTM, MIT, dan International Nomenclature

	2.0 mm	1.0	0.5	0.25	0.1	0.05	0,002 mm					
Bureau of Soils USDA	kerikil						lanau					lempung
		kasar	sedang	halus	sangat halus							
		pasir										
ASTM	2.0 mm	0,420			0,075		0,005			0,001		
	pasir sedang		pasir halus			lanau			lempung		lempung koloidal	
MIT nomenclature	2.0 mm	0.6	0.2	0.06			0.006	0.002	0.0006	0.0002 mm		
	kasar	sedang	halus	kasar			sedang	halus	kasar	sedang	halus	
	pasir			lanau			lempung					
International nomenclature	2.0 mm	1.0	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002 mm	
	sangat kasar	kasar	sedang	halus	kasar	halus	kasar	halus	kasar	halus	sangat halus	
	pasir				Mo		lanau			lempung		

Sumber (Hardiyatmo, 2006)

3.3 Gempa Bumi

Gempa didefinisikan sebagai kejutan atau sentakan yang terjadi di dalam bumi dimana getarannya dapat dirasakan di permukaan bumi. Gempa disebabkan oleh meningkatnya aktivitas geologi yang terjadi di dalam bumi, seperti terjadinya pergeseran antar lempeng benua, meningkatnya suhu yang dapat menimbulkan penumpukan energi dalam waktu yang lama, sampai akhirnya terlepas dan menyebabkan getaran pada tanah.

Informasi mengenai karakteristik pergerakan tanah akibat gempa bumi didapat dari hasil laporan accelerograph yang telah mencatat peristiwa gempa bumi yang pernah terjadi sebelumnya.

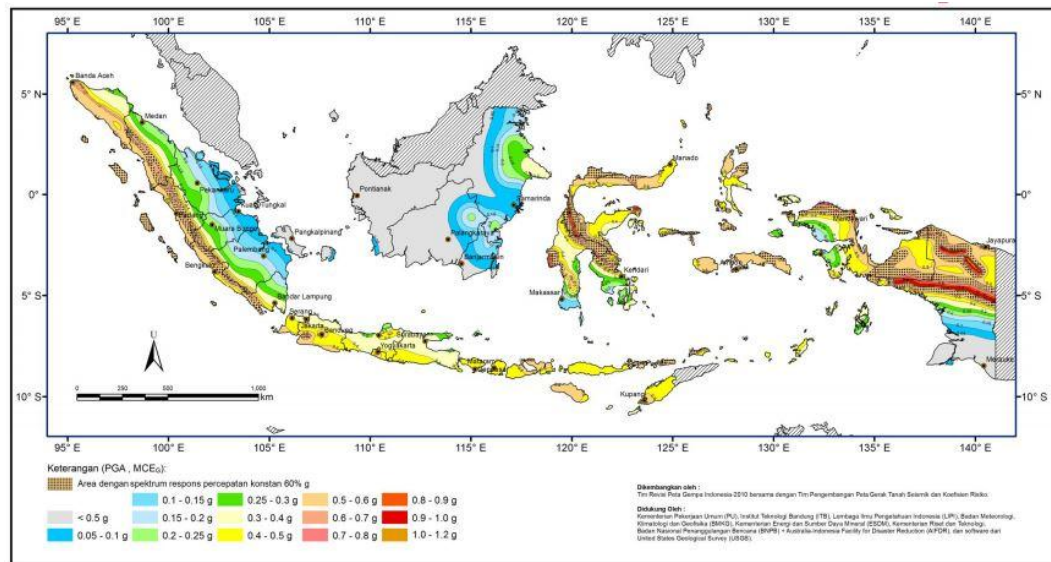
Berdasarkan perkembangan dan proses rekaman *accelerograph* dapat disimpulkan bahwa karakteristik pergerakan tanah akibat gempa bumi terdiri dari :

1. percepatan maksimum tanah,
2. kecepatan maksimum tanah,
3. perpindahan maksimum tanah, dan
4. durasi guncangan tanah.

Parameter tersebut merupakan karakteristik utama dari pergerakan tanah yang terjadi akibat gempa bumi. Namun, parameter tersebut tidak dapat memastikan gambaran efek negatif yang mungkin timbul akibat intensitas guncangan yang terjadi, dimana hal ini juga dipengaruhi oleh karakteristik frekuensi pergerakan yang terjadi. Sebagai contoh gempa dengan percepatan besar yang potensial terhadap kehancuran dan pengrusakan jika terjadi dalam waktu yang singkat , gempa tersebut hanya akan menimbulkan kerusakan kecil pada beberapa jenis struktur yang ada. Karakteristik gempa bumi di beberapa tempat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya:

1. kekuatan dari gempa itu sendiri,
2. jarak pusat gempa ke tempat energi dilepaskan,
3. karakteristik batuan sepanjang rambatan gelombang gempa,
4. mekanisme terbentuknya sumber gempa,
5. efek gangguan gelombang yang dipengaruhi arah dan kecepatan gelombang rambatan, dan
6. kondisi dan jenis tanah pada daerah tersebut.

Kekuatan gempa bumi yang terjadi berdasarkan zona daerah tertentu. Peta zona wilayah gempa Indonesia menggunakan SNI 1726-2012. Peta wilayah gempa Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Peta Wilayah Gempa Indonesia Menurut SNI 1726-2012

(Sumber: SNI 1726-2012)

3.4 Likuifaksi

Dalam peristiwa gempa bumi, umumnya diikuti oleh serangkaian guncangan dan penyesaran tanah akibat dari gelombang gempa yang sampai pada permukaan dan terkadang menimbulkan tsunami. Guncangan tanah dan penyesaran tanah pada lingkungan geologi tertentu salah satunya akan menyebabkan likuifaksi. Proses ini menyebabkan kerusakan pada bangunan, retak maupun runtuh, kerusakan bangunan akibat likuifaksi ini dikatakan sebagai kegagalan tanah (Kertapati, 1998).

Youd (1980) dan Kertapati (1998) meninjau dari 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

tersebut terjadi dan tanah kehilangan kekuatan gesernya maka akan terjadi likuifaksi.

3.4.1 Definisi Likuifaksi

Likuifaksi merupakan kondisi dimana tanah mendapat beban siklik, misalnya beban yang diakibatkan oleh gempa, sehingga mengakibatkan tanah tersebut berdeformasi dari solid menjadi cair (*liquefied*) atau yang sering dikatakan menjadi bubur. Dalam hal ini, tanah yang mengalami likuifaksi adalah tanah berjenis pasir atau mengandung banyak pasir yang berarti tanah tersebut tidak kohesif, dan juga tersaturasi. Pada tanah non-kohesif yang tersaturasi (celah-celah antar partikelnya terisi dengan air). Kandungan air tersebut akan memberikan tekanan pada partikel tanah sehingga menyebabkan adanya ikatan pada partikel-partikel tanah tersebut. Sebelum terjadinya gempa, tekanan air pori relatif rendah, namun guncangan dari gempa dapat memicu kenaikan tekanan air dalam tanah sampai pada titik dimana partikel-partikel tanah dapat saling bergerak atau kehilangan ikatannya.

Beban yang bekerja merupakan beban siklik (dinamik) yang umumnya diakibatkan oleh gempa. Pada saat beban gempa bekerja dalam kondisi *undrained* sedangkan tanah berjenis pasir berada pada kondisi tersaturasi, maka tegangan air pori akan naik sehingga tanah tersebut akan kehilangan kekuatannya atau kuat gesernya menjadi nol.

Fenomena yang terkait dengan likuifaksi adalah *flow liquefaction* dan *cyclic mobility*. Keduanya sangat penting untuk diperhatikan dalam mengevaluasi bahaya likuifaksi. *Flow liquefaction* adalah peristiwa dimana terjadi aliran-aliran tanah. Hal ini terjadi apabila tekanan geser statis yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan pada suatu massa tanah jauh lebih besar daripada tegangan geser tanah dalam kondisi cair (*liquified*). Dengan kata lain, deformasi yang terjadi merupakan akibat dari tekanan geser statik (*static shear stress*). Pada peristiwa *flow liquefaction* ini, terdapat dua karakteristik yang dapat dilihat yaitu kecepatan aliran dan perpindahan material tanah yang sangat besar.

Cyclic mobility merupakan fenomena lainnya yang juga dapat menyebabkan deformasi permanen yang sangat besar akibat adanya guncangan gempa. Berbeda

dengan floe liquefaction, dalam static mobility kondisinya adalah tekanan geser statis lebih kecil dibandingkan dengan tegangan geser tanah cair (liquefied). Pada fenomena ini, deformasi yang terjadi diakibatkan oleh pembebanan siklik (*cyclic loading*) dan tekanan geser statis (static shear stress). Dalam hal ini, deformasi yang terjadi adalah deformasi lateral (*lateral spreading*).

Tercatat bahwa likuifaksi sebagai akibat dari gempa telah banyak terjadi di seluruh dunia selama ratusan tahun, beberapa diantaranya adalah gempa di Alaska, AS (1964), Niigata, Jepang (1964), Loma Prieta, AS (1989), dan Kobe, Jepang (1995).

3.4.2 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Potensi Likuifaksi

Untuk dapat memahami likuifaksi, diperlukan pengenalan kondisi yang terdapat pada tanah sebelum terjadinya gempa. Tanah terdiri dari partikel-partikel yang menyusunnya. Jika dilihat lebih dekat maka akan terlihat bahwa setiap partikel berhubungan dengan partikel lainnya. Karena adanya gaya berat dari partikel tanah, maka terdapatlah gaya antar partikel. Gaya inilah yang membuat setiap partikel tanah dapat berada tetap pada posisinya sehingga ada yang dimaksud dengan kekuatan tanah.

Likuifaksi terjadi apabila suatu pasir yang tersaturasi strukturnya terpecah akibat adanya pembebanan yang berlebihan dan terus-menerus. Karena strukturnya hancur, maka partikel-partikel penyusun pasir tersebut akan bergerak dan cenderung membentuk suatu konfigurasi yang lebih keras. Pada saat terjadinya gempa air yang berada di pori-pori tanah berpasir tidak sempat mengalir keluar, dan terperangkap sehingga partikel – partikel tanah tidak dapat bergerak dan merapat untuk membentuk konfigurasi yang lebih padat. Dengan adanya pembebanan akibat gempa, tekanan air di dalam tanah akan meningkat sehingga memperkecil gaya antar partikel tanah sehingga kekuatan tanahnya menjadi menurun. Pada kasus – kasus yang ekstrim, tekanan air pori akan menjadi sangat tinggi sehingga partikel –partikel tanah kehilangan kontak satu dengan lainnya. Jika hal tersebut terjadi maka tanah akan kehilangan kekuatannya dan berlaku seperti cairan, maka peristiwa tersebut dinamakan likuifaksi.

Adapun faktor – faktor yang mempengaruhi terjadinya likuifaksi pada tanah saat terjadi gempa antara lain adalah kepadatan tanah, umur dari deposit, *fabric* dan gradasi partikel, riwayat tegangan (regangan), nilai *Over Consolidation Ratio* (OCR), kondisi tegangan in-situ, bentuk dari partikel.

Kepadatan dari tanah pasir dapat dinyatakan dengan *relative density* (D_r). Semakin besar nilai D_r maka akan semakin besar tahanannya terhadap bahaya likuifaksi. Likuifaksi umumnya terjadi pada tanah yang bergradasi seragam (*uniformly graded soil*). Sementara tanah yang bergradasi baik (*well graded soil*) umumnya mempunyai tahanan terhadap likuifaksi lebih besar dibandingkan dengan tanah yang bergradasi jelek (*poor graded soil*). Hal ini disebabkan oleh partikel – partikel kecil yang terdapat pada tanah yang bergradasi baik akan dapat mengisi rongga yang ada diantara partikel yang besar, sehingga potensi untuk mengalami perubahan volume pada kondisi drain akan menjadi lebih kecil akibat *undrained loading*.

Tanah dengan partikel yang berbentuk bundar akan lebih mudah mengalami likuifaksi dibandingkan dengan tanah dengan partikel bersudut. Hal ini disebabkan tanah dengan partikel berbentuk bundar lebih mudah untuk dipadatkan.

3.4.3 Bahaya yang Disebabkan oleh Peristiwa Likuifaksi

Likuifaksi hanya terjadi pada tanah yang tersaturasi, maka efeknya seringkali hanya diamati pada area yang dekat dengan badan air seperti sungai, danau, dan laut. Efek yang disebabkan oleh likuifaksi dapat berupa longsor besar ataupun terjadinya retakan – retakan pada tanah yang paralel dengan badan air, seperti kasus yang terjadi pada Montagua River, Guatemala pada tahun 1976.

Saat terjadinya likuifaksi, kekuatan tanah menjadi berkurang dan kemampuan tanah untuk mendukung pondasi dari bangunan di atasnya akan berkurang pula. Likuifaksi juga dapat memberikan tekanan yang besar pada dinding – dinding penahan tanah yang dapat menyebabkan dinding penahan tanah menjadi miring ataupun bergeser. Naiknya tekanan air pori juga dapat memicu terjadinya longsor (*land slides*).

3.5 Metode Untuk Menganalisis Potensi Likuifaksi

Dalam menganalisis potensi likuifaksi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu tes uji llaboratorium dan pendekatan perhitungan dari data tes uji lapangan. Dalam penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil nilai potensi likuifaksi dari hasil uji lapangan yaitu SPT dan CPT. Adapun untuk menganalisis potensi likuifaksi dibutuhkan nilai rasio tegangan siklik (CSR) dan nilai rasio tahanan siklik (CRR) yang bisa didapatkan dari nilai CPT (sondir), SPT (bor dalam), V_s (shearwave velocity), dan beberapa uji tanah lainnya termasuk Becker Penetration Test (BPT). Namun dalam penelitian ini dibatasi dengan perhitungan dari data hasol pengujian SPT dan CPT.

3.5.1 Metode CSR (*Cyclic Stress Ratio*)

Pada tahun 1971 Seed dan Idriss memformulasikan persamaan untuk rasio tegangan siklik seperti Persamaan 3.5 berikut :

$$CSR = (\tau_{av} / \sigma'_{vo}) = 0,65 (\alpha_{max} / g)(\sigma_{vo} / \sigma'_{vo}) r_d \quad (3.5)$$

Dimana α_{max} = aselarasi puncak horizontal pada permukaan tanah yang disebabkan oleh gempa bumi;

g = gravitasi

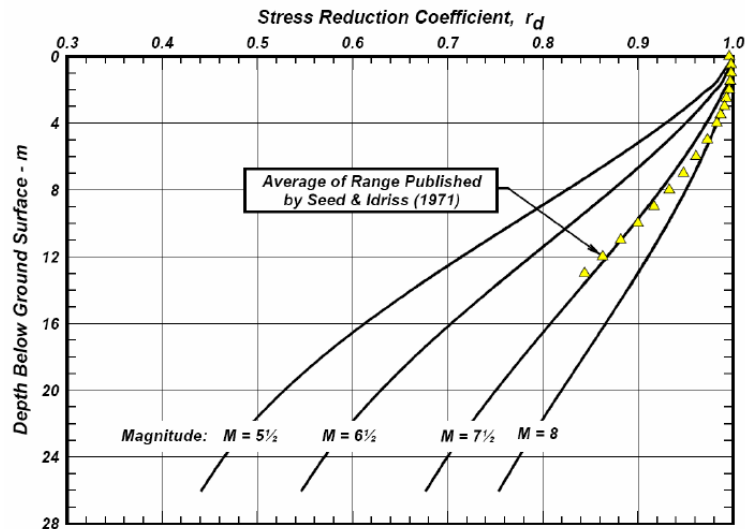
σ_{vo} = tegangan *overburden* vertikal efektif

r_d = koefisien tegangan reduksi

Untuk penyederhanaan dan proyek nonkritis, grafik pada Gambar 3.2 dan persamaan berikut mungkin dapat digunakan untuk memperkirakan nilai r_d rata-rata dengan Persamaan 3.6 dan 3.7 berikut ini (Liao dan Whitman, 1968) :

$$r_d = 1,0 - 0,00765z \quad \text{untuk } z \leq 9,15 \text{ m} \quad (3.6)$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267z \quad \text{untuk } 9,15 \leq z \leq 23 \text{ m} \quad (3.7)$$



Gambar 3.2 r_d versus Depth Curves Developed

(Sumber : Soil Liquefaction During Earthquake by I.M Idriss and R.W. Boulanger)

Untuk memudahkan perhitungan, TF Blake (1996) memperkirakan rata-rata (nilai tengah) plot kurva pada Gambar 3.2 oleh Persamaan 3.8 berikut:

$$R_d = \frac{(1,000 - 0,4113z^{0,5} + 0,04052z + 0,001753z^{1,5})}{1,000 - 0,4177z^{0,5} + 0,05729z - 0,006205z^{1,5} + 0,001210z^2} \quad (3.8)$$

dimana z = kedalaman dibawah permukaan tanah dalam satuan meter

Sedangkan Idriss (1999), meneruskan apa yang dikerjakan oleh Golezorkhi (1989) dilakukan beberapa ratus analisis respon parametrik dan disimpulkan bahwa nilai r_d harus menunjukkan fungsi dari kedalaman dan *earthquake* magnitude (M_w). Dan Persamaan 3.9, 3.10 dan 3.11 berikut menunjukkan hasil dari analisis tersebut.

$$r_d = \exp(\alpha(z) + \beta(z)M) \quad (3.9)$$

$$\alpha(z) = -1,012 - 1,126 \sin\left(\frac{z}{11,73} + 5,133\right) \quad (3.10)$$

$$\beta(z) = 0,106 + 0,118 \sin\left(\frac{z}{11,38} + 5,412\right) \quad (3.11)$$

Dimana z adalah kedalaman dalam meter, M_w adalah momen magnitudo. Persamaan diatas secara matematik dapat diterapkan pada kedalaman $z \leq 34$ m. Namun ketidakpastian nilai r_d dengan meningkatnya kedalaman, maka persamaan diatas sebenarnya hanya bisa diterapkan pada kedalaman kurang dari 20 m.

3.5.2 Metode CRR (*Cyclic Resistance Ratio*)

Nilai CRR dapat dihitung dari berbagai data uji lapangan. Data uji lapangan yang biasa digunakan yaitu CPT (*Cone Penetration Test*), SPT (*Standart Penetration Test*), BPT (*Becker Penetration Test*) dan V_s (*Shear Wave Velocity*). Pada kasus ini penulis hanya melakukan analisis nilai CRR menggunakan data CPT dan SPT sebagai berikut.

3.5.2.1 SPT

Langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mendapatkan nilai CRR dari data SPT yaitu sebagai berikut :

- Tentukan nilai $(N_1)_{60}$ menggunakan faktor koreksi dan normalisasi dengan Persamaan 3.12 berikut.

$$(N_1)_{60} = N_m \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \quad (3.12)$$

dimana N_m ialah nilai SPT, dan yang lainnya ialah faktor koreksi (normalisasi) yang dapat ditentukan melalui tabel berikut.

Tabel 3.6 Nilai Faktor Koreksi untuk $(N_1)_{60}$

FAKTOR	Variabel Alat	Simbol	Koreksi
Tegangan Total	-----	C_N	$\left(\frac{P_a}{\sigma_{vo'}}\right)^{0,5}$
	-----	C_N	$C_N \leq 1,7$
Rasio Energi	Hammer Donat	C_E	0,5 – 1,0
	Safety Hammer	C_E	0,7 – 1,2
	Automatic Hammer	C_E	0,8 – 1,3

Lanjutan Tabel 3.6 Nilai Faktor Koreksi untuk $(N_1)_{60}$

FAKTOR	Variabel Alat	Simbol	Koreksi
Diameter Lubang	65 – 115 mm	C_B	1,0
	150 mm	C_B	1,05
	200 mm	C_B	1,15
Panjang Rod	< 3 m	C_R	0,75
	3 – 4 m	C_R	0,80
	4 – 6 m	C_R	0,85
	6 – 10 m	C_R	0,95
	10 – 30 m	C_R	1,0
Metoda Sampling	Sampler standard	C_S	1,0
	Sampler standard	C_S	1,1 – 1,3

(Sumber : Youd dan Idriss, 1997)

- b. Hitung nilai CRR dengan persamaan 3.13 dibawah ini

$$CRR = \frac{1}{34-(N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{\{10 \times (N_1)_{60} + 45\}^2} - \frac{1}{200} \quad (3.13)$$

- c. Dan langkah terakhir yaitu menghitung faktor keamanan likuifaksi dengan persamaan 3.14 berikut.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (3.14)$$

3.5.2.2 CPT

Nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) merupakan nilai ketahanan suatu laisan tanah terhadap tegangan cyclic. Nilai CRR dapat diperoleh dengan beberapa cara, diantaranya berdasarkan hasil pengujian lapangan yaitu hasil pengujian CPT. Berdasarkan teori Youd dan Idriss (1997) nilai tahanan ujung yang akan diformulasikan, menggunakan persamaan sebagai berikut:

- a. menghitung nilai q_{cIN} , yaitu nilai tahanan ujung terkoreksi yang akan diformulasikan sebagai Persamaan 3.15 berikut.

$$q_{cIN} = C_q(q_c/P_a) \quad (3.15)$$

dimana C_q ialah faktor normalisasi tahanan ujung konus. Dan P_a adalah tekanan pada 1 atm.

- b. kemudian menentukan jenis tanah dengan iterasi ekponen “n” melalui nilai I_c agar diketahui jenis tanah apa yang sedang diuji. Karena teknik CPT tidak dapat memiliki sampel yang bisa diuji di laboratorium. Persamaan 3.16 untuk mendapatkan I_c sebagai berikut :

$$I_c = [(3,47 - \log Q)^2 + (1,22 + \log F)^2]^{0,5} \quad (3.16)$$

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 di kalsifikasikan jenisnya maka dihitung dengan Persamaan 3.17 di bawah ini (Youd dan Idriss, 1997) ;

$$C_q = \left(\frac{P_a}{\sigma_{vo}'} \right)^n \quad (3.17)$$

$$Q = [(q_c - \sigma_{vo})/P_a][(P_a/\sigma_{vo}')^n] \quad (3.18)$$

Rasio friksi CPT (f_s) umumnya meningkat dengan meningkatnya *finest content* dan sifat plastisitas tanah yang memungkinkan perkiraan kasar dari jenis tanah dan *finest content* dapat ditentukan dari data CPT (Robertson and Wride, 1997) dengan Persamaan 3.19 berikut ini.

$$F = [f_s/(q_c - \sigma_{vo})] \times 100\% \quad (3.19)$$

Untuk menentukan nilai CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) berdasarkan Robertson and Wride (1998) dengan Persamaan 3.20 sebagai berikut :

$$CRR = 0,833 \left\{ \frac{qcIN}{1000} \right\} + 0,05 \quad (3.20)$$