

STUDI LIKUIFAKSI TERHADAP KERUNTUHAN BANGUNAN PASCA GEMPA BENGKULU DENGAN PENDEKATAN UJI LABORATORIUM

ABSTRAK

Gempa adalah suatu fenomena alam yang tidak dapat ditentukan dimana, kapan dan seberapa besarnya. Yang bisa dilakukan adalah memprediksi dan memperkirakan dengan cara teori kemungkinan berdasarkan kejadian gempa sebelumnya. Kerusakan bangunan akibat gempa ada beberapa type, yaitu pertama akibat struktur tidak kuat terhadap gempa sehingga bangunan runtuh, yang kedua akibat tanah tidak kuat terhadap gempa sehingga bangunan juga tetap mengalami keruntuhan. Type keruntuhan yang terakhir yang sangat berbahaya yang dieirikan oleh tanah pasir halus jatuh air dan disebut Likuifaksi. Likuifaksi pernah terjadi di Jepang, Amerika dan Mexico dan didalam Negeri seperti di Flores tahun 1993. Gempa Bengkulu yang terjadi bulan Juni 2000 memperlihatkan kemungkinan terjadinya proses likuifaksi tersebut yang membawa keruntuhan bangunan/struktur. Keruntuhan likuifaksi ini dapat di uji dilaboratorium dengan membawa sampel tanah asli dan terganggu dari lapangan. Dengan mengetahui bahwa suatu daerah telah terjadi keruntuhan/kerusakan bangunan akibat gempa karena proses likuifaksi, maka antisipasi dan penanganannya baik sebelum membangun maupun sesudahnya dapat dilakukan dengan tepat untuk mengurangi resiko akibat gempa terhadap bangunan dan jiwa manusia.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada bidang rekayasa sipil, kajian secara teknis mengenai kekuatan struktur (upper structure) yang tahan terhadap gempa telah banyak dilakukan pada saat ini, tetapi disisi lain kajian mengenai pengaruh gempa pada tanah (sub structure) sebagai tempat kedudukan dari bangunan / konstruksi sipil yang juga memiliki andil besar terhadap ketahanan struktur tidak sepopuler struktur.

Satu kasus terbaru yang menunjukkan terjadinya kerusakan struktur yang cukup fatal sebagai akibat dari gempa bumi adalah dengan terjadinya gempa di provinsi Bengkulu pada bulan Juni 2000, dengan kekuatan 7,4 pada skala Richter. Dari hasil pengamatan langsung oleh tim observasi Fakultas Teknik Universitas Andalas pada lokasi gempa bumi, didapatkan suatu kesimpulan awal (hipotesa) bahwa pada gempa bumi yang terjadi di provinsi Bengkulu tersebut telah menimbulkan suatu fenomena keruntuhan struktur sebagai akibat dari hilangnya tegangan efektif dari tanah yang berada dibawah struktur (bangunan). Gejala ini secara teknis dikenal sebagai *likuifaksi*, yaitu suatu gejala yang terjadi pada sub structure dimana hilangnya tegangan efektif tanah sebagai akibat dari naiknya tegangan air pori pada saat timbulnya beban lateral (gempa).

Benar atau tidaknya hipotesa diatas perlu dibuktikan dengan serangkaian engujian properties tanah dilaboratorium beserta analisa dengan pendekatan empiris ang khususnya mengkaji mengenai kemungkinan terjadinya gejala liquifaksi tersebut.

3. Maksud dan Tujuan Penelitian

1. Memberikan gambaran secara umum mengenai gejala liquifaksi dan kemungkinan penyebabnya pada tanah sebagai pendukung struktur
2. Menyelidiki kemungkinan terjadinya liquifaksi pasca gempa Bengkulu dengan pendekatan uji laboratorium dan analitis.
3. Dapat menjadi rujukan bagi kota Padang yang juga mempunyai karakteristik tanah yang sama dengan Bengkulu.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah :

1. Kajian Pustaka dari permasalahan
2. Pengumpulan data dan pengambilan sampel dilapangan
3. Pelaksanaan testing di laboratorium
4. Analisa dan pengolahan data
5. Diskusi hasil dan kesimpulan

III. BATASAN MASALAH

Penelitian laboratorium yang dilakukan adalah terhadap sampel tanah pada daerah Lempuing Kecamatan Gading Cempaka Kota Madya Bengkulu, Provinsi Bengkulu, untuk dua lokasi, yaitu ; lokasi yang kemungkinan mengalami keruntuhan struktur/bangunan akibat liquifaksi dan lokasi yang tidak terkena dampak liquifaksi (tidak terjadi keruntuhan). Adapun penelitian yang dilakukan adalah:

1. Menentukan jenis tanah yang diperkirakan terkena dampak dari gejala liquifaksi, yang ditentukan dengan cara klasifikasi tanah asli berdasarkan AASTHO dan Unified.
2. Menentukan Properties dari tanah yang meliputi kadar air, berat volume dan berat jenis butiran.
3. Menentukan kepadatan relatif serta kckuatan geser dari tanah (kohesi dan sudut geser).

Pengujian laboratorium yang dilakukan untuk mendapatkan hal-hal diatas adalah :

- Analisa saringan dan Hidrometer (Sieve Analysis & Hidrometer)
- Penentuan Kadar air (Water Content)
- Penentuan Berat Volume Tanah (Bulk Density)
- Penentuan Berat jenis butiran (Specific Gravity)
- Penentuan Kepadatan Relatif (Relative Density)
- Uji Geser Langsung (Direct Shear)
 - ↳ Kohesi (C)
 - ↳ Sudut Geser (ϕ)

IV. PERATURAN DAN PEDOMAN YANG DIGUNAKAN

1. AASHTO

- T 88-78 Particle Size Analysis

2. ASTM

- D 2216 Natural Water Content Test
- D 2937 Bulk Density Test
- D 854 – 58 (72) Specific Gravity Test
- D 427 – 81 Atterberg Limit Test
- D 422 – 72 Sieve Analysis Test
- D 422 – 72 Hidrometer Test
- D 3080 – 82 Direct Shear Test
- D 2049 Relative Density Test

V. TINJAUAN PUSTAKA

1. **Liquifaksi Dari Tanah.**

Selama proses gempa berlangsung, kerusakan yang prinsip terjadi pada bermacam tipe struktur yang diakibatkan oleh retakan tanah, gerakan yang tidak normal dan kehilangan tegangan yang terjadi pada tanah. Kehilangan tegangan pada tanah ini mengakibatkan terjadinya penurunan pada bangunan, keruntuhan dam, runtuh tanah dan bentuk kerusakan lainnya. Secara umum proses dimana hilangnya tegangan pada tanah inilah yang disebut sebagai *liquifaksi* atau juga dapat didefinisikan sebagai suatu

gejala perubahan sifat dari solid menjadi liquid. Perubahan sifat dari tanah ini disebabkan oleh beberapa jenis pembebanan, yaitu :

1. Akibat pembebanan monotonic, yang dikenal dengan nama static liquefaction. Liquefaksi jenis ini biasanya terjadi pada tanah lempung (clay) yang mengalami tekanan dari gaya rembesan air ataupun arus pasang sehingga menimbulkan gejala "quick clay" dimana pada peristiwa ini tanah lempung kehilangan kekuatan gesernya.
2. Akibat pembebanan cyclic, yang dikenal dengan nama cyclic liquefaction. Liquefaksi jenis ini biasanya terjadi pada tanah pasir jenuh air yang mengalami getaran gempa sehingga pasir akan kehilangan daya dukungnya.
3. Akibat pembebanan yang bersifat shock wave, yang dikenal dengan nama impact liquefaction. Biasanya terjadi pada tanah pasir kering berbutir halus yang mengalami getaran gempa yang bersifat shock wave atau getaran dari bom, sehingga menimbulkan gejala fluidization yang berupa kelongsoran tanah.

Pada pembahasan selanjutnya penulis hanya akan membahas masalah cyclic liquefaction, yang pada sebutan berikutnya hanya disebut sebagai liquefaction/liquefaksi saja.

Perubahan sifat tanah dari solid menjadi liquid yang terjadi pada pasir jenuh air ini diakibatkan oleh peningkatan tekanan air pori dan pengurangan tegangan efektif dari tanah.

Berdasarkan pada prinsip tegangan efektif, untuk setiap kedalaman dari lapisan tanah

$$\sigma' = \sigma - u \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

σ' = Tegangan efektif

σ = Tegangan Total

u = Tekanan Air pori

Sedangkan untuk kekuatan geser tanah (S) tegangan efektif (σ') juga memiliki peranan penting, dimana :

$$S = \sigma' \cdot \text{Tg } \phi' \dots\dots\dots(2.2)$$

Sehingga terlihat dengan jelas dari kedua rumus diatas bahwa peningkatan tekanan air pori akan berarti mengurangi tegangan efektif dan sekaligus juga berarti mengurangi kekuatan geser dari tanah yang bersangkutan.

Jika besarnya harga σ relatif konstan, dan besarnya tekanan air pori u terus meningkat, pada suatu saat harga σ akan sama dengan u . Pada saat itu maka harga σ' akan sama dengan nol. Pada kondisi ini, pasir tersebut tidak akan memiliki kekuatan geser, dan akan memiliki sifat seperti cairan. Keadaan ini disebut sebagai *initial liquefaction*. Untuk menormalisasi kelebihan tekanan air pori ini terjadilah dissipasi air pori (aliran air pori kearah permukaan) yang dapat diasumsikan identik dengan peristiwa konsolidasi. Aliran air pori ini akan memancar keluar dari permukaan tanah yang dapat mengakibatkan liquifaksi pada lapisan permukaan, yang juga akan memungkinkan timbulnya gejala sand boils.

Dari penjelasan diatas, maka definisi dari liquifaksi secara lebih spesifik dapat diberikan sebagai berikut :

Liquifaksi adalah suatu gejala dimana tanah pasir jenuh air yang dibebani secara cyclic, akan mengalami perubahan sifat, yaitu dari sifat solid ke sifat liquid sebagai akibat dari peningkatan tekanan air pori dan pengurangan tegangan efektif dari tanah.

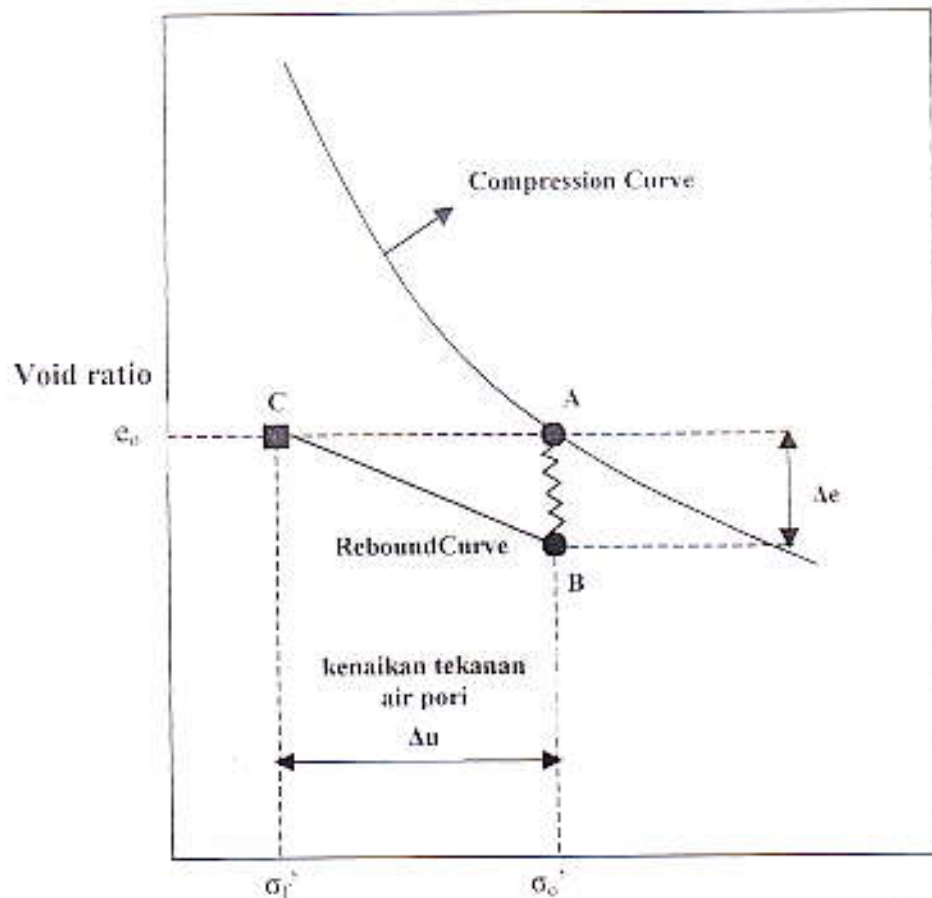
Beberapa contoh liquifaksi pada tanah adalah kerusakan yang terjadi akibat gempa di Niigata (Jepang) pada tanggal 16 Juni 1964, gempa Alaska pada tahun 1964, gempa bumi San Fernando 1971 dan juga gempa bumi Chiapas (Mexico) tahun 1975.

2. Mekanisme Naiknya Tekanan Air Pori.

Akibat dari beban cyclic, tanah mengalami konsolidasi dimana air keluar meninggalkan pori sehingga menimbulkan pengurangan volume tanah dan permukaan air tanah menjadi lebih tinggi. Hal ini menyebabkan tekanan air pori meningkat, sebaliknya tegangan efektif berkurang dan dengan demikian kekuatan geser juga berkurang. Hal ini dapat dijelaskan dengan Gambar 2.1.

Pada keadaan awal sebelum diberi beban cyclic, tanah pasir yang mempunyai tegangan σ_v' dan void ratio (angka pori) e_0 (Titik A), setelah diberi beban cyclic struktur

tanah pasir tersebut akan cenderung memadat (volume pori berkurang) yang berarti void ratio mengecil (Titik B).



Gambar 2.1. Skema Mekanisme Naiknya Tekanan Air Pori Selama Beban Cyclic

Keterangan :

$\sigma_{c'}$ = Tekanan efektif pada keadaan awal.

$\sigma_{f'}$ = Tekanan efektif pada keadaan akhir.

Δe = Perubahan volume dari struktur tanah akibat beban cyclic selama pembebanan secara drained.

Akibatnya tekanan air pori meningkat dan tegangan efektif ($\sigma_{f'}$) menurun berdasarkan "rebound characteristic" tanah, penurunan tegangan efektif ini akan menimbulkan penambahan pada volume tanah. Sampai pada proses ini air dianggap belum mengalami dissipasi (keluarnya air meninggalkan pori). Penambahan volume tanah tadi adalah sedemikian rupa sehingga harga void ratio kembali mencapai e_0 (Titik C). Hal ini berarti pengurangan volume akibat beban cyclic dan penambahan volume

akibat tegangan efektif yang berkurang adalah seimbang. Lebih lanjut dengan beban cyclic yang berkepanjangan akan terus mengurangi harga tegangan efektif dan bahkan naiknya permukaan air akan sampai menimbulkan dissipasi pada permukaan tanah, yang akan mengakibatkan volume total berkurang, sehingga harga void ratio sebesar e_0 tidak mungkin tercapai lagi, dan selanjutnya hal ini akan menimbulkan penurunan (settlement) pada permukaan tanah.

VI. HASIL PENGUJIAN

1. Data Gempa Bengkulu

Tanggal Terjadinya Gempa	: 4 Juni 2000
Waktu	: 00.04 WIB
Lokasi	: 4,7° LS ; 102° BT
Magnitude Gempa	: 7,4 Skala Richter
Epicentrum	: 146,20 Km
Nilai gravitasi	: 978,092 gal / 978,092 cm/dt ²
Percepatan Tanah Maks	: 0,25 g (Zona Seismik 3).....*)

*) Sumber Stasiun Geofisika Kepahyang Bengkulu

2. Kemungkinan Likuifaksi Menurut Cara Seed et.al

Lihat tabel 6.1. halaman berikut

3. Kemungkinan Likuifaksi Menurut Cara Whitman

Lihat tabel 6.2. halaman berikut

4. Perbandingan ke Dua Cara

Dari kedua metoda analisa yang digunakan diatas, secara umum dapat dikatakan bahwa hasil kesimpulan terhadap kemungkinan liquifaksi yang didapatkan adalah sama. Pada setiap kedalaman yang ditinjau baik dengan metoda Seed maupun dengan metoda Whitman memperlihatkan bahwa pada tanah telah terjadi liquifaksi selama proses gempa

berlangsung. Perbandingan secara lengkap dapat dilihat pada tabel 6.3 yang memuat hasil akhir dari kedua metoda analisis.

Kedalaman	Dr	Metoda Seed et al			Metoda Whitman		
		NL	Neq	Kemungkinan	Cyclic ratio	Cyclic ratio	Kemungkinan
(m)	(%)	(cycle)	(cycle)	Liquifaksi	t eq/s vo'	kritis	Liquifaksi
0.60	16.7	0.01776	16.8	ada	0.16234	0.01847	Ada
0.80	16.7	0.00748	16.8	ada	0.18990	0.01847	Ada
1.00	16.7	0.00413	16.8	ada	0.21125	0.01847	Ada
1.20	16.9	0.00283	16.8	ada	0.22645	0.01847	Ada
1.40	16.9	0.00203	16.8	ada	0.24256	0.01847	Ada

Tabel 6.3. Perbandingan Hasil Analisa Metoda Seed dan Whitman

Kedalaman (m)	Dr (%)	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	rd	τ_{maks} (kN/m ²)	τ_{eq} (kN/m ²)	NL (cycle)	Neq (cycle)	Kemungkinan Likuifaksi
0.60	16.7	10.138	10.138	0.999	2.532	1.646	0.0178	18.4	ada
0.80	16.7	13.518	11.562	0.999	3.376	2.194	0.0075	18.4	ada
1.00	16.7	16.897	12.985	0.999	4.220	2.743	0.0041	18.4	ada
1.20	16.87	20.276	14.408	0.999	5.064	3.292	0.0028	18.4	ada
1.40	16.87	23.656	15.832	0.999	5.908	3.840	0.0020	18.4	ada

Tabel 6.1 Perhitungan Kemungkinan Likuifaksi dengan Metoda Seed et al

Kedalaman (m)	Dr (%)	σ_{vo} (kN/m ²)	σ'_{vo} (kN/m ²)	rd	τ_{maks} (kN/m ²)	τ_{eq} (kN/m ²)	Cyclic ratio		Kemungkinan Likuifaksi
							τ_{eq}/σ'_{vo}	kritis	
0.60	16.7	10.138	10.138	0.999	2.532	1.646	0.162	0.01847	ada
0.80	16.7	13.519	11.562	0.999	3.376	2.194	0.190	0.01847	ada
1.00	16.7	16.897	12.985	0.999	4.220	2.743	0.211	0.01847	ada
1.20	16.87	20.276	14.408	0.999	5.064	3.292	0.228	0.01847	ada
1.40	16.87	23.656	15.832	0.999	5.908	3.840	0.243	0.01847	ada

Tabel 6.2. Perhitungan Kemungkinan Likuifaksi dengan Metoda Whitman

VII. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Jenis tanah yang terdapat pada lokasi yang mengalami liquifaksi (lokasi keruntuhan) adalah tergolong pasir halus lepas dengan simbol kelompok SP menurut klasifikasi USCS dan termasuk kedalam kelompok A-3 menurut sistem klasifikasi AASHTO.
2. Jenis tanah pada lokasi yang tidak mengalami liquifaksi (tidak terjadi keruntuhan) dapat digolongkan sebagai tanah berbutir halus atau tanah berlempung dengan simbol kelompok OL menurut klasifikasi USCS dan termasuk kedalam kelompok A-7-5 (10) menurut sistem klasifikasi AASHTO.
3. Untuk setiap kedalaman yang ditinjau pada lokasi keruntuhan, baik menurut analisa yang diusulkan oleh Seed et al, dan Whitman memberikan hasil bahwa selama gempa berlangsung telah terjadi liquifaksi.
4. Terjadinya keruntuhan bangunan pada lokasi tinjauan disebabkan oleh timbulnya gejala liquifaksi pada tanah.
5. Dalam mengkaji kemungkinan liquifaksi, nilai kepadatan relatif (D_r), besarnya magnitude gempa (M) dan percepatan tanah maksimum (a_{max}) akan sangat menentukan hasil akhir dari analisa yang dilakukan.
6. Kedalaman Muka Air Tanah (MAT) akan sangat berpengaruh terhadap penentuan zona liquifaksi. Semakin dekat suatu kedalaman yang ditinjau terhadap kedalaman MAT, maka kemungkinan liquifaksi akan semakin kecil.

VIII. DAFTAR PUSTAKA

1. Das, Braja M, Principles of Soil Dynamics, PWS-KENT Publishing Company, Boston, 1992
2. Seed, H.B., Martin.P, Lysmer.J.,The Generation and Disipation of Pore Water Pressure During Soil Liquefaction, Report N0. EERC75-26, University of California,1975
3. Darmawan. D., Liquefaction of Cohesionless Soil, A Review, Asian Institute of Technology, Bangkok, 1978
4. Tokimatsu. K., Generation and Dissipation of Pore Water Pressure in Sand Deposits During Earthquake, Thesis Tokyo Institute of Technology, Oh-okayama, Tokyo,
5. Head, K. H, Manual Soil Laboratory Testing Volume-2 Pentech Press, 1980