

LIKUEFAKSI

Yanyan Agustian

Program Studi Teknik Sipil
Universitas Widyatama
Jalan Cikutra No. 204A, Bandung
yanyan.agustian@widyatama.ac.id

Abstrak

Dari beberapa kejadian gempa yang disertai dengan terjadinya likuefaksi, memakan korban harta dan jiwa yang tidak sedikit. Gempa Palu pada tahun 2018 adalah salah satu contoh fenomena likuefaksi yang sangat besar dan menimbulkan banyak korban jiwa dan ratusan struktur bangunan hancur. Dari percobaan sederhana yang dilakukan pada penelitian ini diketahui bahwa tanah pasiran dan jenis air apabila dikenai gaya dari luar akan terjadi penurunan kekuatan dan kekakuannya. Fenomena ini disusul dengan terlihatnya penurunan permukaan pasir dan meniknya permukaan air setelah terjadi guncangan. Beberapa contoh kejadian likuefaksi memperlihatkan bahwa likuefaksi bisa mengakibatkan bencana yang dapat menelan korban harta dan jiwa tidak sedikit.

Kata kunci : likuefaksi, gempa, lateral spreading, bencana, bahaya geoteknik

Abstract

The several earthquakes that were accompanied by liquefaction, which resulted in the loss of property and lives. The Palu Earthquake in 2018 was an example of a very large liquefaction phenomenon and caused many casualties and hundreds of destroyed building structures. From this simple experiment, it is known that sandy and water-saturated soils when subjected to external forces will decrease their strength and stiffness. This phenomenon was followed by the appearance of a lowering in the sand surface and an increase in the water level after the shock occurred. Several examples of liquefaction events show that liquefaction can lead to disasters that can cost many lives and property.

Keywords : *liquefaction, earthquake, lateral spreading, disaster, geotechnical hazards*

I. PENDAHULUAN

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) likuefaksi merujuk pada sebuah kata benda yang mempunyai fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat beban getaran gempa. Kata likuefaksi berasal dari kata *liquefaction*, kosa kata bahasa Inggris yang kata kerjanya adalah *liquefy* (latin: *liquefacere*) yang berarti menjadi/menjadikan cair (*liquid*). Turunan dari kata *liquefy* antara lain *liquefaction* untuk kata benda dan *liquefactive* untuk kata sifatnya. Pada awalnya ada perdebatan apakah likuefaksi atau likuifaksi untuk menamakan fenomena seperti yang didefinisikan oleh KBBI tersebut. KBBI mengategorikan likuifaksi yang berasal dari kata likuid sebagai kata sifat yang berarti “bersifat likuid” dan bukan “menjadi” seperti yang berarti pada kata *liquefy* dalam Bahasa Inggris. Likuid didefinisikan sebagai cair atau dalam bentuk cair. Oleh karena itu kata yang lebih tepat untuk menggambarkan peristiwa “pencairan tanah” adalah likuefaksi dari pada likuifaksi.

Istilah likuefaksi sendiri di Indonesia lebih meluas dikenal di masyarakat umum sejak terjadi gempa besar yang terjadi di Provinsi Sulawesi Tengah, pada tanggal 28 September 2018. BBC Indonesia (2018) melaporkan bahwa Gempa dengan magnitude 7.4 berpusat di sekitar 26 km utara Donggala dan 80 km barat laut Kota Palu ini menelan korban tidak kurang dari 2045 jiwa. Lebih dari setengah dari jumlah korban jiwa ini akibat kerusakan tanah yang diakibatkan oleh fenomena yang bernama likuefaksi ini.

Beberapa gempa di daerah lain di Indonesia juga dilaporkan terjadi likuefaksi pada saat terjadi gempa walaupun tidak sebesar dan seluas yang terjadi pada saat gempa Palu. Koseki et.al (2007) melaporkan adanya sand boiled di bandara Adisucipto yang menandakan adanya fenomena likuefaksi pada saat gempa Jogjakarta pada tahun 2006. Gempa Padang tahun 2009 menyebabkan daerah-daerah di sekitar sungai dan tepi pantai terlikuefaksi (Hakam & Darjanto, 2013)

Penelitian detail tentang mekanisme likuefaksi terutama yang pernah terjadi di Palu dan sekitarnya, masih berlangsung. Akan tetapi penelitian sederhana ini tidak membahas detail dengan rumus yang rumit dalam menggambarkan mekanisme likuefaksi. Penelitian ini ditujukan untuk menganalisa dengan percobaan sederhana untuk menjelaskan mekanisme likuefaksi sehingga bisa dimengerti orang umum sekalipun, yaitu orang-orang yang tidak secara langsung menggeluti bidang geologi, mekanika tanah, kegempaan dan disiplin ilmu terkait secara langsung dengan fenomena likuefaksi. Sedikitnya dari pemahaman yang sederhana ini bisa memperkecil bencana akibat kerusakan yang ditimbulkan oleh fenomena likuefaksi ini.

II. LANDASAN TEORI

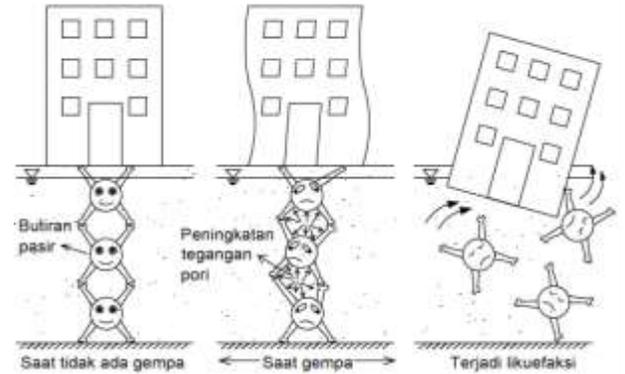
Fenomena apakah likuefaksi itu?

Menurut Braja .M. Das (1992), Likuefaksi (liquefaction) adalah peristiwa hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat adanya gempa bumi. Likuefaksi terjadi biasanya pada tanah yang jenuh air, tekanan air pori menjadi meningkat dan tanah tidak mempunyai daya dukung, sehingga tidak mampu menahan beban yang ada di atasnya, menyebabkan amblesnya bangunan ke dalam tanah.

Pada kondisi normal tanah berpasir tidak ada masalah akan tetapi dengan sebuah pemicu (gempa bumi) akan menyebabkan terjadi kerusakan (kerusakan likuefaksi). Berbagai literature mengatakan bahwa likuefaksi terjadi tidak cukup karena getaran gempa saja, tetapi juga karena perubahan tekanan air pori dan aliran infiltrasi.

Sebagai contoh ilustrasi, perhatikan tanah berpasir tempat dibangunnya bangunan empat lantai di atas permukaan tanah seperti terlihat pada Gambar 2.1. Pasir adalah bahan yang sudah kita kenal sejak lama, akan tetapi kita tidak bisa melihat kondisi sebenarnya di bawah tanah seperti apa. Untuk itu,

gambar tersebut dibuat untuk mendapatkan gambaran sederhana kondisi bawah tanah. Butiran pasir selalu membentuk semacam truktur scrum untuk menopang bangunan, tetapi struktur tersebut kemungkinan besar akan runtuh karena tekanan air di celah antara butiran pasir meningkat dan semakin runtuh karena guncangan akibat gempa.



Gambar 1. Ilustrasi ikatan tanah pasiran di bawah struktur bangunan ketika terjadi gempa(modifikasi dari Sugano, 2008)

Percobaan sederhana berikut ini bisa membantu dalam mempermudah untuk memahami mekanisme likuefaksi, seperti yang ditunjukkan pada Foto 1 (a). Pertama-tama masukkan pasir kering ke dalam botol plastik bekas minumam. Tandai atas permukaan pasir dengan menempelkan selotape berwarna. Kocok/goyangkan beberapa kali, letakkan dan amati. Kita akan mendapatkan permukaan pasir akan turun seperti yang ditunjukkan pada Foto 1 (b). Apabila kita melakukan penekanan dengan jari pada botol untuk kondisi (a), kita akan mendapatkan botol mudah penyok. Lalu bagaimana dengan keadaan (b)? Sedikit banyak perlu tenaga untuk menekannya.. Dari hal ini kita mengerti bahwa pasir yang lepas mudah berubah bentuk, dan bila padat sulit untuk berubah bentuk. Lebih jauh untuk kondisi (b), bagian bawah akan terasa lebih padat dari pada bagian atas. Hal ini disebabkan bagian bawah mengalami pemadatan lebih daripada bagian atas setelah digoyangkan beberapa kali.

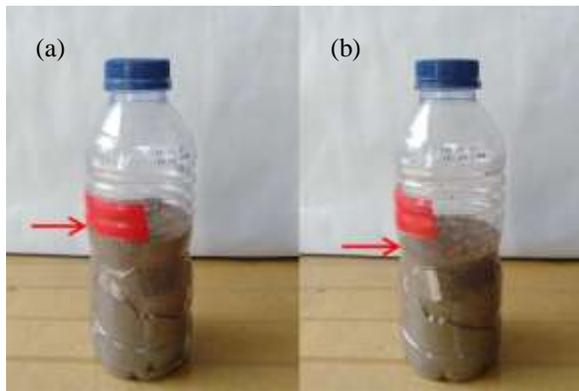


Foto 1. Keadaan pasir pada botol plastik : (a) kondisi alami, (b) Kondisi terpadatkan

Selanjutnya apabila kita perhatikan lebih detail, akan terlihat bahwa butiran halus akan menempati bagian bawah sedangkan butiran kasar akan menempati bagian atas. Hal ini dikarenakan butiran halus akan bergerak lebih bebas dibandingkan butiran yang lebih besar. Sedikit saja terjadi celah akan diisi oleh fraksi halus dari butiran pasir.

Percobaan selanjutnya adalah, setelah pasir dimasukkan ke dalam botol, masukkan juga air secukupnya secara perlahan, tidak melebihi permukaan pasir, tutup botol dengan rapat menggunakan tutupnya. Beri tanda ketinggian permukaan pasir dengan menempelkan selotape, sebagai tanda awal sebelum digoyangkan. Kemudian kocok/goyangkan botol tersebut. Kita akan dapatkan seperti yang terlihat pada Foto 2. permukaan pasir turun pada saat bersamaan permukaan air akan naik seperti terlihat ada (b).

Bila dilakukan hal yang sama seperti di atas yaitu dengan melakukan penekanan terhadap botol sebelum dan sesudah digoyangkan akan terasa perbedaan, pasir mengalami pemadatan setelah digoyangkan sehingga menjadi lebih padat.

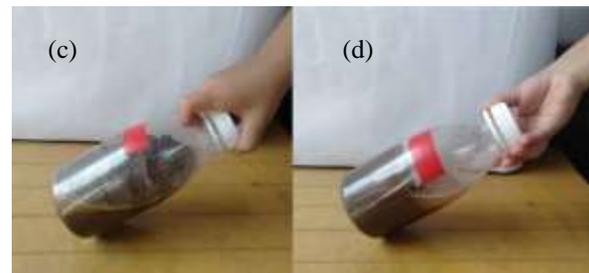
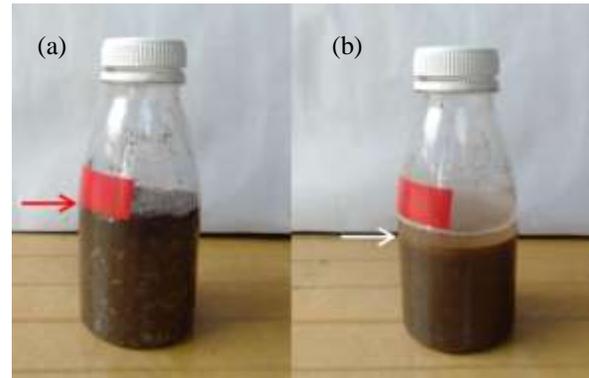
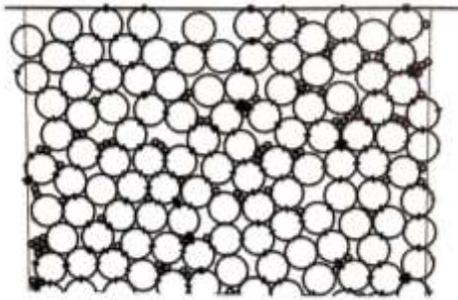


Foto 2. Keadaan pasir berair pada botol plastik : (a) kondisi alami, (b) kondisi terpadatkan, (c) runtuh tatkala botol dimiringkan, (d) sulit untuk runtuh tatkala botol dimiringkan

Hal ini juga bisa dibuktikan dengan dimiringkannya botol sebelum dan sesudah digoyangkan. Sebelum digoyangkan, pasir akan mudah runtuh karena masih lepas, sedangkan setelah digoyangkan, pasir tidak mudah runtuh seperti yang terlihat pada Foto 2 (d).

Tentunya tidak bisa kita melihat dengan mata telanjang struktur tanah sebagaimana digambarkan sebelumnya bahwa strukturnya mirip dengan *scrum*. Akan tetapi dengan menggunakan *Distinct Element Method* (DEM), struktur tanah tersebut dapat disimulasikan. Gambarannya adalah seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. Di sini terlihat bagian-bagian dari struktur tanah tersebut yaitu butiran (O), celah/pori, dan bulatan kecil hitam dan bulatan tipis yang terletak diantara O dan O, yang melambangkan kekuatan yang bekerja pada butiran-butiran tersebut. Di luar dugaan ternyata tidak seluruh butiran O bekerja menerima gaya yang diakibatkan dari luar, ini terlihat tidak semua O ada bulatan-bulatan kecil hitam dan tipis (Sugano, 2008).



Gambar 2. Butiran tanah pada simulasi DEM

Akibat dari kejadian penurunan permukaan dan “pencairan” tanah seperti pada percobaan sederhana di atas, bisa kita perkirakan apabila terjadi pada kenyataannya terhadap struktur bangunan, yang ada pada lapisan tanah dan yang berada di atasnya. Gedung, jembatan, pipa gas, pipa air, jalan, rumah, tanggul dan lain-lain. Kita bisa pastikan kerusakan pada struktur bangunan-bangunan tersebut, karena amblas, miring bahkan jatuh runtuh dan hancur.

Fenomena yang menyerupai Likuefaksi

Dalam industri dan keteknikan ada beberapa fenomena yang menyerupai fenomena likuefaksi, di antaranya adalah :

1. Transportasi *Slurry* : kondisi normal pada pengangkutan batubara menggunakan truck dan alat angkut sejenisnya. Akan tetapi apabila bentuknya slurry, akibat dicampur dengan air, dikirim melewati line pipa
2. *Vibrator* : proses perataan *fresh concrete* pada pengecoran dengan menggunakan vibrator
3. *Vibrohammer* : pada saat penanaman sheet pile ke dalam tanah akan terjadi pemadatan yang diakibatkan oleh getaran dari vibro
4. *Debris flow* : Akibat hujan deras ataupun gempa menyebabkan lereng runtuh, runtuhnya lereng ini bersatu dengan air jatuh ke lembah dan dataran rendah
5. Contoh sederhana : Pemadatan dan pemerataan permukaan beras pada wadah literan dengan menggoyang-goyang wadah agar padat dan rata.

Dari beberapa contoh yang disebutkan di atas yang paling mewakili untuk menggambarkan Likuefaksi adalah adanya benda padat dan cair dan adanya “pergerakan” baik berupa guncangan ataupun pengangkutan/pemindahan sehingga menyebabkan terjadinya Likuefaksi. Dari sini bisa dimengerti

deformasi dari lapisan tanah akan menyebabkan kerusakan yang tidak kecil terhadap struktur bangunan yang berada dalam lapisan tanah ataupun yang berada di atasnya.

III. PENYEBAB KERUSAKAN PADA BANGUNAN

Karena gempa, bangunan-bangunan hasil pekerjaan Teknik Sipil mengalami kerusakan. Pada kondisi ekstrim bangunan-bangunan ini hancur dan rata dengan tanah. Dari sini kita mencoba untuk memahami mengapa struktur bangunan tersebut diakibatkan oleh gempa.

1. Akselerasi maksimum : semakin besar akselerasi semakin besar kerusakan yang terjadi pada bangunan. Pada perhitungan desain anti gempa. Perhitungan intensitas seismik menggunakan perhitungan akselerasi maksimum dibagi dengan akselerasi gravitasi.
2. Fenomena Resonansi
3. Material : akibat penuaan/pelapukan bisa berakibat kerusakan pada bangunan
4. Pergerakan sesar : bisa mengakibatkan kerusakan parah pada bangunan yang terkena jalur sesar
5. Kesalahan desain dan atau kesalahan konstruksi
6. Keburukan dalam penjaagaan/maintenance bangunan
7. Tidak tepat dalam penggunaan metoda tahan gempa pada bangunan

Hal-hal di atas bisa jadi merupakan penyebab terjadinya kerusakan pada bangunan-bangunan teknik sipil. Akan tetapi pada kenyataannya bisa jadi merupakan gabungan diantara dua atau beberapa poin dari yang tersebut di atas sehingga keruntuhan bangunan tersebut merupakan suatu proses yang rumit.

IV. KERUSAKAN AKIBAT LIKUEFAKSI

Kerusakan yang disebabkan oleh likuefaksi bisa menyebabkan bencana, mulai dari kecil sampai besar. Atau bisa jadi bukan merupakan bencana, dalam arti menyebabkan hilangnya nyawa dan property, seperti misalnya apabila likuefaksi terjadi di pulau terpencil yang tidak berpenghuni. Dari banyak kasus terjadi, likuefaksi terjadi di daerah berpenduduk dengan berbagai sarana dan prasarana sebagai penunjang keberlangsungan hidup penduduknya. Sehingga bencana yang ditimbulkan tidak sedikit.

Fenomena likuefaksi yang tercatat paling tua yang terabadikan dengan kamera adalah yang terjadi pada Dam Sheffield, Santa Barbara, pada tahun 1925. Fenomena likuefaksi yang menurut Kramer (1996) tergolong Flow failure ini menghancurkan bagian badan dam dengan center dari dam bergerak ke arah bawah skitar 30 meter dan ribuan nyawa dari penduduk yang tinggal di daerah sekitar menjadi korban dari hancurnya dam ini.



Foto 3. Dam Sheffield setelah gempa pada tahun 1925 (Foto milik University of California, Barkeley)

Kejadian gempa yang menyebabkan terjadinya likuefaksi dan cukup terkenal salah satunya adalah gempa Niigata pada tahun 1964. Berkurangnya daya dukung tanah (*bearing capacity*) menyebabkan rumah-rumah dan Gedung tinggi miring dan terjatuh dengan struktur bangunan tetap utuh seperti terlihat pada Foto 4.



Foto 4. Bangunan apartemen miring dan terjatuh karena kehilangan daya dukung tanahnya akibat likuefaksi (dokumentasi National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, NIED)

Kerusakan lainnya yang sering terjadi pada likuefaksi adalah seperti yang terlihat pada Foto 3,

yaitu terangkatnya *embedded structure* di bawah tanah seperti *manhole*



Foto 5. Terangkatnya manhole pada saat terjadi likuefaksi pada Gempa Tokachi Oki, 2003 (dokumentasi NIED)

Bagi pengguna jalan kerusakan pada manhole ini mungkin tidak terlalu berpengaruh dan hanya bencana kecil akan tetapi untuk pengguna dan pelaksana pengurusan saluran air ini merupakan bencana besar.

Kerusakan berupa ambblasnya tanah (*subsidence*) pada bagian dyke ataupun embankment yang mengakibatkan kerugian material tidak sedikit. Foto 3.4 adalah salah satu contoh akibat gempa Kobe pada tahun 1995.



Foto 6. Dike pada Sungai Yodo setelah gempa Kobe tahun 1995(dokumentasi NIED)

Di Indonesia dilaporkan beberapa fenomena likuefaksi menyertai Gempa yang terjadi di beberapa tempat. Koseki et.al (2006) melaporkan adanya sand boiled di bandara Adisucipto yang menandakan

adanya fenomena likuefaksi pada saat gempa Jogjakarta pada tahun 2006.



Foto 7. Sand boils hasil dari kejadian likuefaksi dan crack di Bandara Adisucipto, Gempa Jogjakarta 2006 (Koseki, et.al., 2007)

Gempa Padang yang terjadi pada tahun 2009 dilaporkan terjadi likuefaksi yang menyebabkan rusaknya bangunan-bangunan dan terjadi di sekitar sungai dan pantai (Hakam dan Darjanto, 2013).



Foto 8. Bangunan rusak akibat gempa Padang Tahun 2009

Gempa lain yang terjadi di Indonesia dan menyita perhatian seluruh ahli ilmu pada bidang kegempaan adalah Gempa Palu yang terjadi pada September 2018. Gempa yang tercatat penyebab kejadian likuefaksi terbesar yang pernah dilaporkan oleh para ahli pada bidang kegempaan di dunia (Irsyam, 2019)

Dampak bencana gempa secara langsung terasa di Kota Palu, Sigli dan Donggala serta beberapa wilayah disekitarnya. Kejadian longsoran dan liquefaksi ini saling berhubungan satu dengan lainnya

dikarenakan kondisi morfologi lokasi daerah Palu ini mempunyai kemiringan yang cukup landai dan bervariasi, yaitu bersealing-seling, baik yang landai maupun sedikit terjal. Gempa yang terjadi dirasakan dengan frekuensi kejadian hingga berkali-kali untuk mencapai tingkat kestabilannya sehingga mengakibatkan terjadinya pergerakan tanah berupa longsoran rayapan dan likuefaksi.



Foto 9. Pergerakan Flow Slide akibat gempa Palu tahun 2018 (Irsyam, 2019)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil percobaan sederhana tentang mekanisme likuefaksi ini dapat disimpulkan beberapa poin yaitu :

1. Likuefaksi adalah fenomena penurunan kekuatan dan kekakuan tanah (*strength and rigidity*) karena ada gaya yang bekerja dari luar.
2. Likuefaksi, sesuai dengan namanya terjadi pada lapisan tanah yang terendam oleh air tanah
3. Pada lapisan tanah berpasir terdapat rongga, dan rongga ini terisi penuh oleh air
4. Pada kondisi normal, tekanan pori adalah tekanan *static pressure*. Akan tetapi karena goyangan dari gempa, struktur butiran berubah, ruang rongga pori juga berubah dan pada saat ini terjadi peningkatan tekanan sehingga struktur butirannya runtuh
5. Daerah dengan tanah berpasir dan air tanah dangkal berpotensi untuk terjadi likuefaksi apabila terjadi gempa

Dari contoh-contoh Gempa yang terjadi yang disertai keterjadian likuefaksi, kerusakan yang ditimbulkannya sangat parah dan tidak sedikit memakan korban jiwa sehingga perlu investigasi dan asesmen daerah-daerah rawan likuefaksi sehingga kerusakan dan korban jiwa dapat berkurang apabila terjadi gempa.

REFERENSI

- BBC Indonesia, <https://www.bbc.com/indonesia/indonesia-45832237>
- Das.Braja M,1992, Principle os soil Dynamic PWS
KENT Publishing Company
- Hakam, H. and Darjanto, H., (2013), Penelusuran Potensi Likuifaksi Pantai Padang Berdasarkan Gradasi Butiran dan Tahanan Penetrasi Standar, *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 20 No. 1, pp. 33-38
- Koseki, J, M Yoshimine, T Hara, T Kiyota, RI Wicaksono, S Goto, and Y Agustian., (2007). Damage survey report on May 27, 2006, Mid Java Earthquake, Indonesia. *Soils and Foundations* 47(5): pp 973–989
- Irsyam, M., (2019), Geotechnical Overview Of The 2018 Indonesian Palu Earthquake, *National Workshop on Joint Research, Assesment, and Mitigation of Liquefaction Hazards (2019 Palu Earthquake)*, Univeristy of Indonesia
- Sugano, T., (2008), 液状化（その1）、地盤工学会誌、社団法人地盤工学会、Vol. 56 No.11 Ser. No. 610, pp. 49-54