

FENOMENA SAND BOILING DAN HUBUNGANNYA DENGAN LIKUIFAKSI

Rina Yuliet^{1,2}, Abdul Hakam³, Mas Mera⁴, Fauzan⁵

¹Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: rina@ft.unand.ac.id

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email: abdulhakam2008@gmail.com

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. Email : mas_mera@eng.unand.ac.id

⁵Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang fauzan@ft.unand.ac.id

ABSTRACT

Some phenomena which are associated with liquefaction are the rise of pore-water pressure, sand boiling and various types of soil deformation. This paper is a preliminary study presenting a general description of sand boiling phenomenon and its associate with liquefaction. Several previous studies related to both analytical and experimental studies have been devised to describe sand boiling. As a result, this paper is an attempt to extend and complement the understanding of sand boiling phenomenon. The present preliminary study reports that the sand boiling phenomenon: (a) has a strong relationship with the liquefaction; (b) is a diagnostic evidence that the pore-water pressure has increased; and (c) indicates that liquefaction has occurred.

Keywords: sand boiling, liquefaction, pore-water pressure, soil deformation.

ABSTRAK

Beberapa fenomena yang berhubungan dengan likuifaksi adalah kenaikan tekanan air pori, *sand boiling* dan berbagai variasi tipe deformasi tanah. Makalah ini adalah studi awal yang menyajikan suatu gambaran umum dari fenomena *sand boiling* dan hubungannya dengan likuifaksi. Beberapa studi sebelumnya baik eksperimental dan analitis sudah dirancang untuk mempelajari *sand boiling*. Oleh sebab itu, makalah ini merupakan upaya untuk memperluas dan melengkapi pemahaman tentang fenomena *sand boiling*. Studi awal ini melaporkan bahwa fenomena *sand boiling*: (a) sangat berhubungan dengan likuifaksi; (b) adalah bukti diagnostik bahwa tekanan air pori telah meningkat; dan (c) adalah indikasi bahwa likuifaksi sudah terjadi.

KataKunci : *sand boiling*, likuifaksi, tekanan air pori, deformasi tanah.

1. PENDAHULUAN

Likuifaksi adalah salah satu topik yang paling penting, menarik, kompleks dan kontroversial dalam geoteknik kegempaan. Efeknya yang menghancurkan menjadi perhatian para insinyur geoteknik dalam periode tiga bulan sejak terjadinya gempa di Alaska pada tanggal 29 April 1964 dengan magnitudo ≈ 8.3 , dan diikuti oleh gempa Nigata Jepang pada tanggal 16 Juni 1964 dengan magnitudo ≈ 7.5 . Kedua gempa

tersebut memicu terjadinya likuifaksi yang mengakibatkan kerusakan meliputi keruntuhan lereng, keruntuhan pondasi bangunan dan jembatan serta terjadinya pengapungan pada struktur yang tertanam dalam tanah (Castro & Poulos, 1997). Pada umumnya, penyebab kerusakan bangunan menurut Kishida (1969) adalah karena berkurangnya daya dukung tanah yang disertai penurunan, retakan dan perpindahan dari tanah pendukung.

Contoh kerusakan yang berhubungan dengan likuifaksi tanah yang terjadi di beberapa daerah di Indonesia adalah gempa tektonik berkekuatan 7,6 Scala Richter (SR) yang terjadi di pantai Padang Sumatera Barat pada tanggal 30 September 2009, pukul 17:16:09 WIB (USGS, 2009). Gempa ini menyebabkan kerusakan bangunan, fasilitas air bersih, tanggul dan jalan raya. Tohari dkk (2011) menyajikan hasil investigasi geoteknik yang dilakukan untuk mengetahui potensi likuifaksi dan hasil pengamatan fenomena likuifaksi di kota Padang setahun sebelum terjadinya gempa-bumi tersebut. Hasil mikrozonasi prediksi memperlihatkan hasil yang bersesuaian dengan pengamatan fenomena likuifaksi di lapangan, dimana terjadi penurunan tanah, *sand boiling* dan penyebaran lateral yang terjadi pada daerah hingga 5 km dari bibir pantai.

Hakam (2012) melaporkan hasil potensi likuifaksi kota Padang berdasarkan pengamatan lapangan dan penilaian analitik. Dari hasil pengamatan pada sejumlah titik di lapangan meliputi jalan, tanggul sungai dan lapangan bermain. Contoh tanah yang mengalami *sand boiling* dikirim ke laboratorium untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah. Hasil pengujian ditemukan bahwa jenis tanah yang diamati memenuhi kriteria kerentanan likuifaksi, sehingga hasil menunjukkan bahwa lokasi pengamatan berpotensi likuifaksi. Makalah ini menyajikan suatu gambaran umum dari fenomena *sand boiling* dan hubungannya dengan likuifaksi dengan meninjau beberapa penelitian yang sudah dilakukan.

2. MEKANISME LIKUIFAKSI

Salah satu percobaan yang pertama kali dilakukan untuk menjelaskan fenomena likuifaksi pada tanah pasir dilakukan oleh Casagrande (1936). Percobaan ini didasarkan pada konsep void rasio kritis (Das & Ramana, 2011). Istilah likuifaksi, awalnya diciptakan oleh Mogami dan Kubo (1953), secara historis telah digunakan dalam berbagai fenomena yang meliputi deformasi tanah yang disebabkan oleh gangguan monotonik, transient/ mendadak atau siklik dari tanah non kohesif jenuh air pada kondisi tak terdrainase. Kelebihan tekanan air pori (*Excess Pore Water Pressure, EPWP*) yang dihasilkan pada kondisi beban tak terdrainase adalah ciri khas dari semua fenomena likuifaksi. Ketika tanah non kohesif dijenuhkan, kemudian tiba-tiba terjadi pembebanan yang cepat pada kondisi tak terdrainase, maka butiran tanah cenderung untuk memadat yang menyebabkan terjadinya *EPWP* dan berkurangnya tegangan efektif (Kramer, 1996).

Studi mekanisme penyebab likuifaksi diawali oleh pemodelan tanah jenuh air yang digetar dilakukan oleh Maslov (1957) dan Florin dan Ivanov (1961) seperti yang disitasi dalam Towhata (2008) dan Yoshimi (1967). Ketika geser terjadi pada kondisi tak

terdrainase, air pori tidak dapat dialirkan keluar dan terjadilah tekanan. Tekanan ini disebut dengan *EPWP* dan didefinisikan sebagai selisih dari tekanan air pori u dan tekanan hidrostatis. Sementara itu, tegangan efektif σ' dapat dihitung sebagai selisih dari tegangan total σ dan tekanan air pori u . Tegangan total σ sama dengan berat tanah dan air pada elevasi tertentu dan tidak berubah terhadap waktu. Tegangan efektif σ' berkurang ketika tekanan air pori u bertambah. Akibatnya, pasir menjadi lebih lunak. Ketika tegangan efektif σ' mencapai nol maka tidak ada lagi kekuatan geser dari pasir (kriteria keruntuhan Coulomb), pasir akan berperilaku mirip dengan cairan dan deformasi tanah yang besar akan terjadi. Kelebihan tekanan air pori yang tinggi akan hilang setelah 10 menit. Prosedur konsolidasi ini disebut dengan subsiden tanah (penurunan tanah).

Likuifaksi pada endapan pasir lepas jenuh air telah menyebabkan keruntuhan dari lereng, tanggul, dam tanah dan juga bangunan-bangunan yang didirikan di atas endapan tersebut (Castro, 1969). Menurut Castro dan Poulos (1997) likuifaksi adalah suatu fenomena dimana pasir jenuh air kehilangan kekuatannya akibat pembebanan monotonik dan pembebanan siklik. Menurut Marcuson (1978) dalam Youd dan Idriss (2001) likuifaksi didefinisikan sebagai perubahan dari suatu material berbutir dari keadaan padat ke cair sebagai akibat dari kenaikan tekanan air pori. Youd dan Idriss (2001) juga melaporkan bahwa kenaikan tekanan air pori diakibatkan oleh kecenderungan dari material berbutir untuk memadat ketika mengalami deformasi geser siklik, biasanya terjadi pada tanah berbutir lepas hingga kepadatan sedang.

Menurut Bowles (1977) dalam FHWA (2006), tanah berbutir halus sangat lepas memiliki nilai kerapatan relative (*relative density, D_r*) antara 0 dan 0,15 dan nilai *N-SPT* koreksi antara 0 dan 4; tanah berbutir halus lepas memiliki nilai D_r antara 0,15 dan 0,35 dan nilai *N-SPT* koreksi antara 4 dan 10; dan tanah berbutir halus sedang memiliki nilai D_r antara 0,35 dan 0,65 dengan nilai *N-SPT* koreksi antara 10 dan 30.

3. EVALUASI POTENSI LIKUIFAKSI

Banyak cara yang bisa digunakan untuk mengevaluasi potensi likuifaksi. Seed dan Idriss (1971) dalam Das dan Ramana (2011) mengembangkan prosedur sederhana untuk menentukan hubungan antara kerapatan relatif dari endapan pasir di lapangan untuk menentukan kondisi likuifaksi awal. Analisis potensi likuifaksi juga bisa dilakukan berdasarkan data uji penetrasi standar (*N-SPT*). Seed dkk (1983) dalam Das dan Ramana (2011) menyimpulkan bahwa jika *N-SPT* koreksi lebih dari 30 maka umumnya likuifaksi tidak mungkin terjadi.

Towhata (2008) menjelaskan cara praktis lain untuk mengevaluasi potensi likuifaksi berdasarkan nilai *N-SPT* kritis dimana untuk $N-SPT < 15$ kemungkinan memiliki potensi likuifaksi yang tinggi. Korelasi lain untuk analisis potensi likuifaksi di lapangan dapat menggunakan data uji penetrai konus (*Cone Penetration Test, CPT*). Pada cara ini tahanan penetrasi konus di lapangan harus dikoreksi terhadap nilai tegangan akibat berat sendiri efektif dari tanah.

Ecemis & Karaman (2014) melakukan penelitian tentang pengaruh tanah berbutir halus plastisitas rendah (non plastis) terhadap tahanan likuifaksi berdasarkan uji penetrasi konus (*CPT*). Penelitian ini berdasarkan pada empat uji lapangan berkualitas tinggi dilakukan pada 20 lokasi yang berbeda di pantai utara Teluk Izmir. Pengujian lapangan tersebut adalah uji penetrasi *piezocone* (*Piezocone Penetration Test, CPTu*), uji dissipasi tekanan air pori (*Pore Pressure Dissipation Test, PPDT*), uji permeabilitas dorongan langsung (*Direct Push Permeability Test, DPPT*) dan uji penetrasi standar (*Standard Penetration Test, SPT*). Total kedalaman sounding untuk setiap pengujian kira-kira 15 m. Bagian pertama dari penelitian ini adalah memeriksa pengaruh dari koefisien konsolidasi atau karakteristik drainase dari tanah yang mengandung butiran halus pada tahanan penetrasi konus. Koefisien konsolidasi dipengaruhi oleh kadar halus dan kerapatan relatif dari tanah. Bagian kedua dari penelitian ini adalah menyelidiki kontribusi dari kadar butiran halus < 30% berat terhadap tahanan likuifaksi dari tanah dengan kerapatan relatif yang berbeda. Untuk kadar butiran halus > 30% berat tidak dibahas pada penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interpretasi hasil uji penetrasi konus *CPT* cenderung tidak konsisten dengan korelasi berdasarkan uji laboratorium yang diperoleh beberapa peneliti sebelumnya.

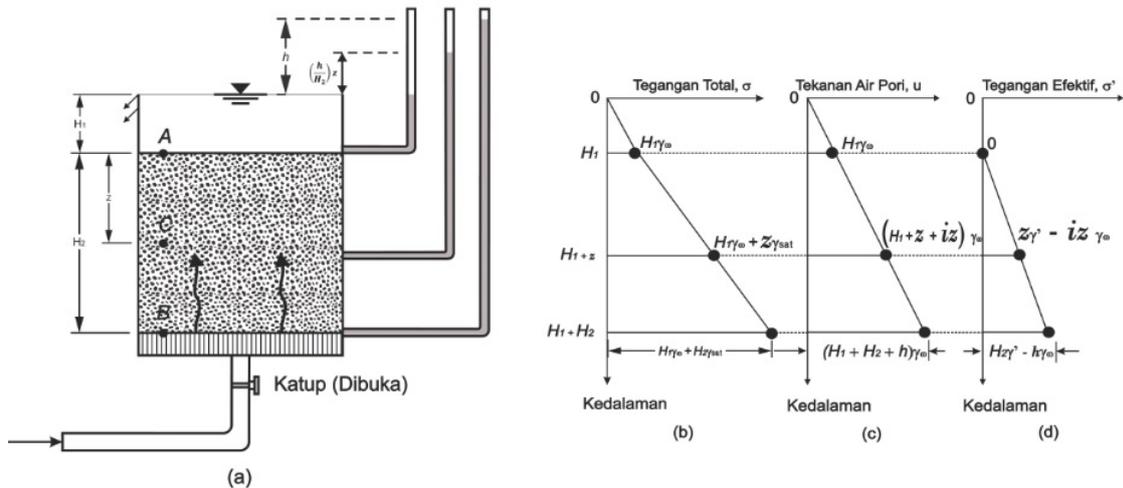
Boulanger & Idriss (2006) melakukan penelitian tentang kriteria kerentanan likuifaksi untuk tanah lempung dan lanau jenuh yang mengalami beban gempa. Ada beberapa kriteria yang digunakan untuk menentukan kerentanan likuifaksi pada penelitian ini. Kriteria pertama adalah kriteria Chinese. Kriteria ini sudah digunakan secara luas sejak tahun 1980-an untuk mengetahui kerentanan likuifaksi dari tanah lempung dan lanau. Kriteria ini berdasarkan pada pengamatan likuifaksi dari berbagai variasi tanah berbutir halus di China selama terjadinya gempa kuat seperti yang dilaporkan oleh Wang (1979). Berdasarkan batas-batas Atterbergh untuk tanah-tanah tersebut yang memiliki potensi likuifaksi adalah *CL*, *CL-ML*, dan *ML* menurut sistim klasifikasi tanah terpadu (*Unified Clasification System, USCS*). Seed dan Idris (1982) merangkum penemuan Wang terhadap kerentanan likuifaksi: tanah lempung yang memiliki butiran halus ($0,005 \text{ mm} = 5 \mu\text{m} < 15\%$); batas cair (*LL*) < 35; kadar air > 0,9 *LL*; dan liquidity indeks > 0,75. Kriteria kedua diusulkan oleh Bray dkk (2004), dimana kriteria kerentanan likuifaksi berdasarkan tanah berbutir halus di Adapaari Turkey pada tahun 1999 dan hasil uji laboratorium siklik pada sampel dilapangan dari beberapa lokasi penelitian. Kriteria Bray dkk (2004) adalah: kriteria kerentanan terhadap likuifaksi (tanah berbutir halus dengan $PI \leq 12$; kadar air $w_c > 0,85 LL$; kriteria ketahanan terhadap likuifaksi tapi masih rentan terhadap siklik mobility (kadar air $w_c > 0,8 LL$; $12 < PI < 20$). Kriteria ketiga dilaporkan oleh Seed dkk (2003), yang menggambarkan tiga zona pada grafik batas-batas Atterbergh. Zona A, yaitu tanah memiliki $PI \leq 12$ dan $LL \leq 37$, berpotensi rentan terhadap likuifaksi yang disebabkan oleh beban siklik jika kadar air > 80% *LL*. Zona B, yaitutanah memiliki $PI \leq 20$ dan $LL \leq 47$ berpotensi likuifaksi dengan uji laboratorium dianjurkan jika kadar air > 80% *LL*. Zona C, yaitu tanah dengan $PI > 20$ atau $LL < 47$ tidak rentan terhadap likuifaksi siklik.

Studi terhadap tahanan likuifaksi dari pasir halus plastis dan non plastis sudah dilakukan oleh Boobathiraja dkk (2014). Yang dimaksud dengan pasir halus plastis pada penelitian tersebut adalah partikel lempung dan pasir halus non plastis adalah lanau yang diperoleh

dari debu tambang. Parameter yang digunakan untuk membandingkan hasil adalah tinggi air (*head water*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi air untuk pasir dengan 1% dan 2% lanau meningkat sehingga tahanan likuifaksi juga meningkat.

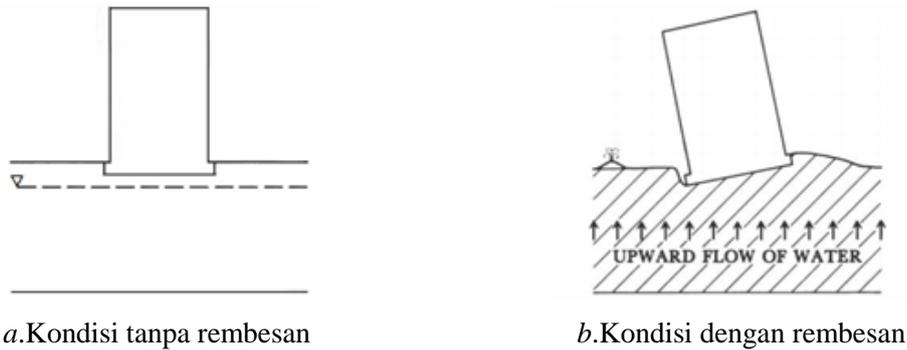
4. REMBESAN AIR KE ATAS

Gambar 1 menunjukkan suatu lapisan tanah berbutir di dalam silinder dimana terdapat rembesan air ke atas (*upward flow of water*) yang disebabkan oleh adanya penambahan air melalui saluran pada dasar silinder.



Gambar 1. (a) Lapisan tanah dalam silinder dengan rembesan keatas, (b) Distribusi tegangan total, (c) Tekanan airpori, dan (d) Tegangan efektif terhadap kedalaman pada lapisan tanah dengan rembesan air ke atas (Das dan Sobhan, 2014)

Kecepatan penambahan aliran dibuat tetap. Variasi tegangan total σ , tekanan air pori u dan tegangan efektif σ' terhadap kedalaman dapat dilihat pada Gambar 1. Pada Gambar 1d tegangan efektif σ' yang terletak pada kedalaman z dari permukaan tanah $\gamma'z$ akan berkurang sebesar $iz\gamma_w$ yang disebabkan oleh adanya rembesan air ke atas. Apabila kecepatan rembesan (dan gradient hidrolis) bertambah secara perlahan, suatu keadaan batas akan dicapai dimana tegangan efektif σ' sama dengan nol. Dalam keadaan seperti ini, kestabilan tanah akan hilang. Keadaan ini biasanya dikenal sebagai *boiling* atau *quick condition*, dimana gradient hidrolis kritis i_{cr} adalah berbanding lurus dengan berat volume efektif tanah γ' dan berbanding terbalik dengan berat volume air γ_w . Gambar 2 berikut ini adalah contoh miringnya bangunan dan kehilangan kekuatan dukung dari tanah yang disebabkan oleh rembesan air ke atas.



Gambar 2. Kemiringan bangunan akibat rembesan air ke atas (Youd, 1984)

5. SAND BOILING

Committee on Earthquake Engineering (1985) menjelaskan bahwa manifestasi likuifaksi yang paling sering diamati adalah terjadinya *sand boiling* di permukaan tanah. Pada saat gempa, terjadi kenaikan tekanan air pori dalam tanah. Jika tekanan yang terjadi sudah cukup besar maka aliran air akan menerobos lapisan tanah di atasnya dengan melewati celah-celah dan bagian lemah dari lapisan tanah dan membawa serta butiran tanah dari bagian lapisan tanah. Dan jika sudah mencapai permukaan, air bercampur butiran tanah akan menyembur keluar dan butiran tanah tersebut akan mengendap dan membentuk kerucut disekeliling lubang semburan (Gambar 3). Menurut *Earthquake USGS Glossary*, *sand boiling* adalah keluarnya pasir dan air ke atas permukaan tanah selama gempa sebagai hasil dari likuifaksi.

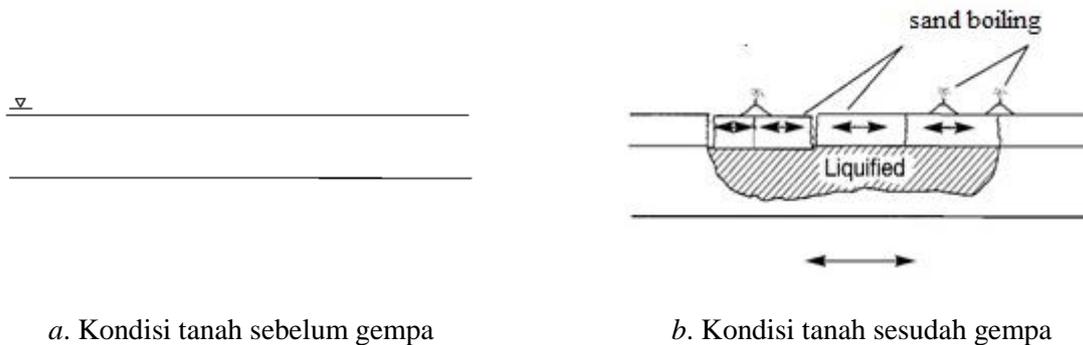


Gambar 3. Semburan pasir ke atas permukaan tanah karena *sand boiling* (Brennan, 2008)

Sangawa (1999) melaporkan hasil pengamatan terhadap fenomena *sand boiling* dengan melakukan penggalian pada sebuah situs arkeolog. Dari hasil pengamatan disimpulkan bahwa fenomena *sand boiling* berhubungan dengan likuifaksi dan hasil pengamatan terhadap situs arkeolog menunjukkan bahwa material kasar tidak tertransportasi ke permukaan tanah.

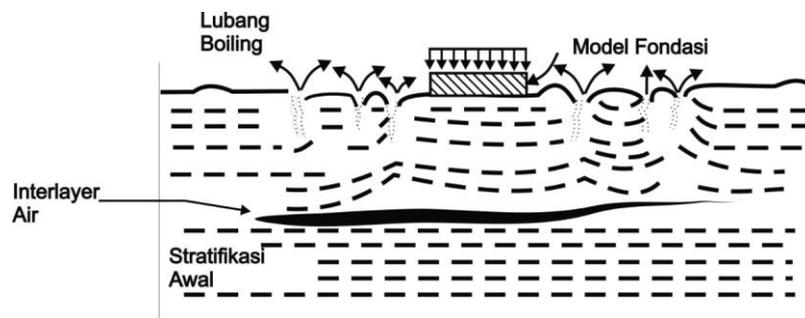
Gambar 4 menunjukkan terjadinya likuifaksi pada kedalaman di bawah permukaan tanah akibat gempa. Tanah yang terlikuifaksi akan terpisah dari tanah permukaan dan menghasilkan gerakan tanah transien yang besar. Tanah permukaan sering patah dalam

bentuk blok-blok dan dipisahkan oleh retakan yang dapat terbuka dan tertutup selama gempa.



Gambar 4. Gerakan tanah menurut Youd (1984) (Kramer, 1996)

Permodelan di laboratorium untuk menyelidiki *sand boiling* telah dilakukan oleh Liu dan Qiao tahun 1984 dengan menggunakan meja getar (*shaking table*) dan yang dilakukan oleh Fiegel dan Kutter tahun 1992 dengan cara sentrifugal (Gambar 5). Hasil pengujian menunjukkan bahwa air pori mulai mengalir dari lapisan yang longgar dan terakumulasi di bawah lapisan yang kurang permeabel dan terbentuk lapisan air diantara lapisan tanah (*inter-layer*). Pengaliran air dari lapisan yang longgar juga membawa butiran tanah dari lapisan tersebut. *Sand boiling* dapat terjadi ketika air pada lapisan *inter-layer* tadi berusaha bergerak ke atas dengan mencari celah-celah lemah dari lapisan tanah di atasnya dan ketika mencapai permukaan air akan menyembur dan membawa butiran tanah dari lapisan permukaan (Kramer, 1996).



Gambar 5. Formasi lapisan air diantara lapisan tanah pada uji meja getar menurut Liu dan Qiao (1984) dalam Kramer (1996)

Brennan (2008) melakukan pengamatan terhadap *sand boiling* dengan menggunakan uji model sederhana. Pemodelan dilakukan di laboratorium pada tanah pasir halus yang terdiri dari satu atau lebih lapisan lanau kemudian digetar dan dilakukan pengamatan terhadap *sand boiling* akibat pengaruh dari beberapa lapisan tanah lanau. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa fondasi yang relatif berat diletakan di atas lapisan lanau yang tipis rentan terhadap *sand boiling*.

Fujisawa dkk (2013) melakukan penelitian tentang hubungan antara gaya rembes dan kecepatan rembes dari partikel pasir selama *sand boiling*. Pengujian dilakukan dengan

dua macam arah aliran rembesan yaitu uji *sand boiling* dengan aliran rembesan ke atas dan transportasi dari partikel pasir oleh aliran rembesan horizontal. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa selama *sand boiling* diinduksi oleh aliran rembesan ke atas maka gaya rembesan akan diseimbangkan dengan gaya gravitasi yang diberikan oleh kumpulan partikel pasir dan dijaga tetap konstan bahkan ketika partikel pasir bergerak secara vertikal. Kecepatan vertikal dari partikel pasir ditransportasikan oleh aliran rembesan ke atas dapat diprediksi dengan bantuan persamaan keseimbangan antara gaya rembes dengan gaya gravitasi (akibat berat sendiri dari massa pasir).

6. KESIMPULAN

Dari studi awal ini dapat disimpulkan bahwa fenomena *sand boiling*: (a) sangat berhubungan dengan likuifaksi; (b) adalah bukti diagnostik bahwa tekanan air pori telah meningkat; dan (c) adalah indikasi bahwa likuifaksi sudah terjadi.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Boobathiraja, S.,P. Balamurugan, P. C. Siva, danS. Ashwin, 2014. "Study on the Liquefaction Resistance of Sand With Plastic And Non Plastic Fines". *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)* Vol. 04, Issue 02 (February. 2014),12-19.
- Boulanger, R., dan Idriss. 2006. "Liquefaction Susceptibility Criteria for Silt and Clays". *ASCE* 1090-0241-2006-132 : 11-1413.
- Brennan, A. 2008. "Observations on Sand Boils from Simple Model Tests". 1-10.
- Castro, G. 1969. "Liquefaction of Sands". *In Soil Mechanics Series* No. 81 (pp. 1-127). Cambirdge, Massachusetts: Pierce Hall.
- Castro, G., danS. J. Poulos, 1997. "Factors Affecting Liquefaction and Cyclic Mobility". *Journal of The Geotechnical Engineering Division* Vol. 103 No. GT6 June 1997, 501-516.
- Committee on Eearthquake Engineering. 1985. *Liquefaction of Soils During Earthquakes*. Washington, D.C: National Academy Press.
- Das, B. M., danG. Ramana, 2011. *Principles of Soil Dynamics, Second Edition*. United States of America: Cengage Learning.
- Das, B. M., danK. Sobhan, 2014. *Principles of Geotechnical Engineering, Eghth Edition*. United States of America: Cengage Learning.
- Ecemis, N., danM. Karaman, 2014. "Influence of non/low plastic fines on cone penetration and liquefaction resistance". *Engineering Geology* 181 (2014) , 48-57.
- FHWA,2006. *Design and Construction of Driven Pile Foundations*. Reference Manual Vol. 1 Nasional Higway Institute.
- Fujisawa, K., A. Murakami, S. Nishimura, danT. Shuku, 2013. "Relation between seepage force and velocity of sand particles during sand boiling". *Geotechnical*

Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA Vol. 44 No.2 June 2013 ISSN 0046-5828 , 9-17.

- Hakam, A.,2012. "Soil Liquefaction in Padang Due to Padang Earthquake 30 September 2009". *Civil Engineering Dimension*, Vol 14, No. 2, September 2012 , 64-68.
- Kishida, H.,1969. "Damage to Reinforced Concrete Buildings in Niigata City with Special Reference to Foundation Engineering". *Soil and Foundation*, Vol. 6 No. 2, 71-88.
- Kramer, S.,1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall.
- Sangawa, A.,1999. "Paleoliquefaction Features at Archaeological Sites in Japan". *Journal of Geography* 108(4), 391-398.
- Tohari, A., K. Sigianti, danE. Soebowo, 2011. "Liquefaction Potential at Padang city : A Comparison of Predicted and Observed Liquefactions During The 2009 Padang earthquake". *Riset Geologi dan Pertambangan*, Vol. 21 No. 1 (2011) , 7-18.
- Towhata, I.,2008. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Verlag Berlin Heidelberg: Springer.
- Yoshimi, Y.,1967. "An Experimental Study of Liquefaction of Saturated Sands". *Soil and Foundation* Vol. VII No. 2 January 1967 , 20-32.
- Youd, T., danI. Idriss, 2001. "Liquefaction Resistance Of Soils: Summary Report From The 1996 NCEER And 1998 NCEER/NSF Workshops On Evaluation Of Liquefaction Resistance Of Soils".*Journal Of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* / April 2001 , 297-313.