

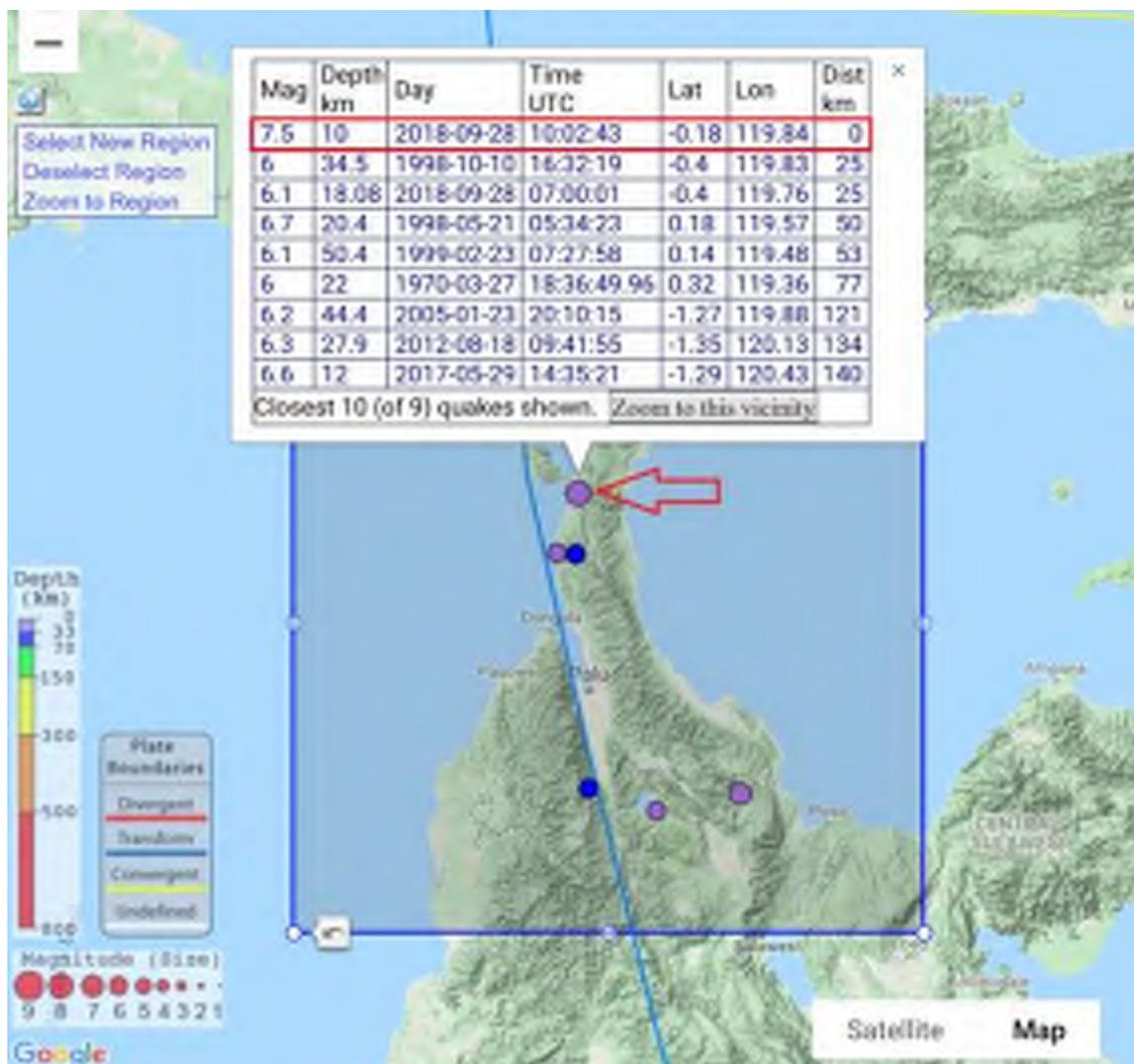
PENGAMATAN KERUSAKAN GEMPA PALU

28 September 2018

Gouw Tjie Liong - 13 Des 2018

1. Pusat Gempa Palu 28 September 2018

Pada tanggal 28 September pukul 17:02:43 waktu Indonesia Tengah kota Palu dan sekitarnya diguncang gempa berkekuatan 7.5Mw akibat pergerakan sesar *strike slip* yang tepat melalui kota Palu. Episenter gempa terletak di 0.18 LS, 119.84 BT dengan kedalaman hiposenter hanya 10 km (Gambar 1). Gempa tersebut menyebabkan terjadinya likuifaksi yang barangkali merupakan area likuifaksi terluas yang pernah teramati di era geoteknik modern. Gempa tersebut juga menimbulkan gelombang tsunami yang dilaporkan penduduk setempat datang hanya dalam hitungan kurang dari 10 menit sejak terjadinya gempa.

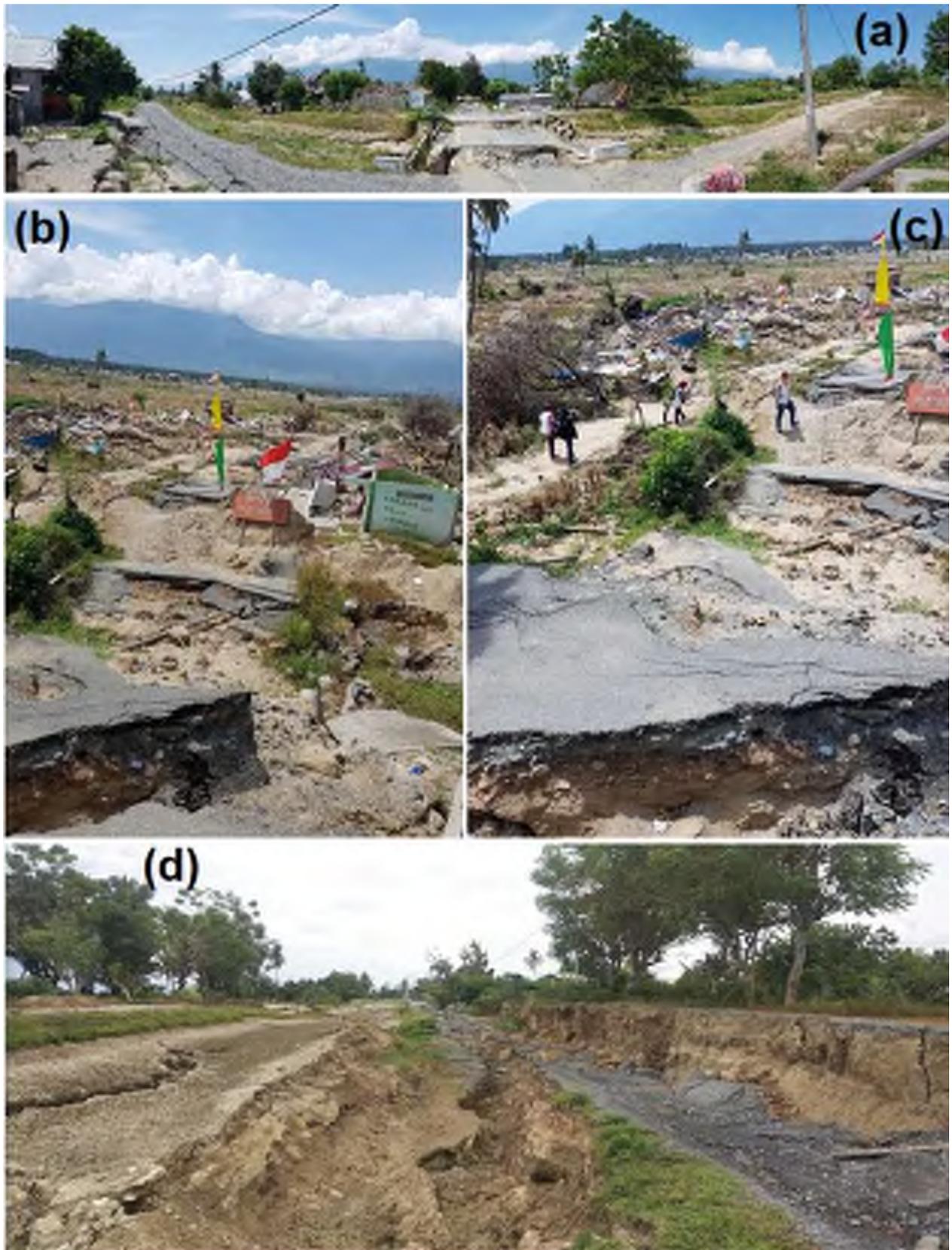


Gambar 1 Sesar *Strike Slip* dan Pusat Gempa Palu 28 September 2018

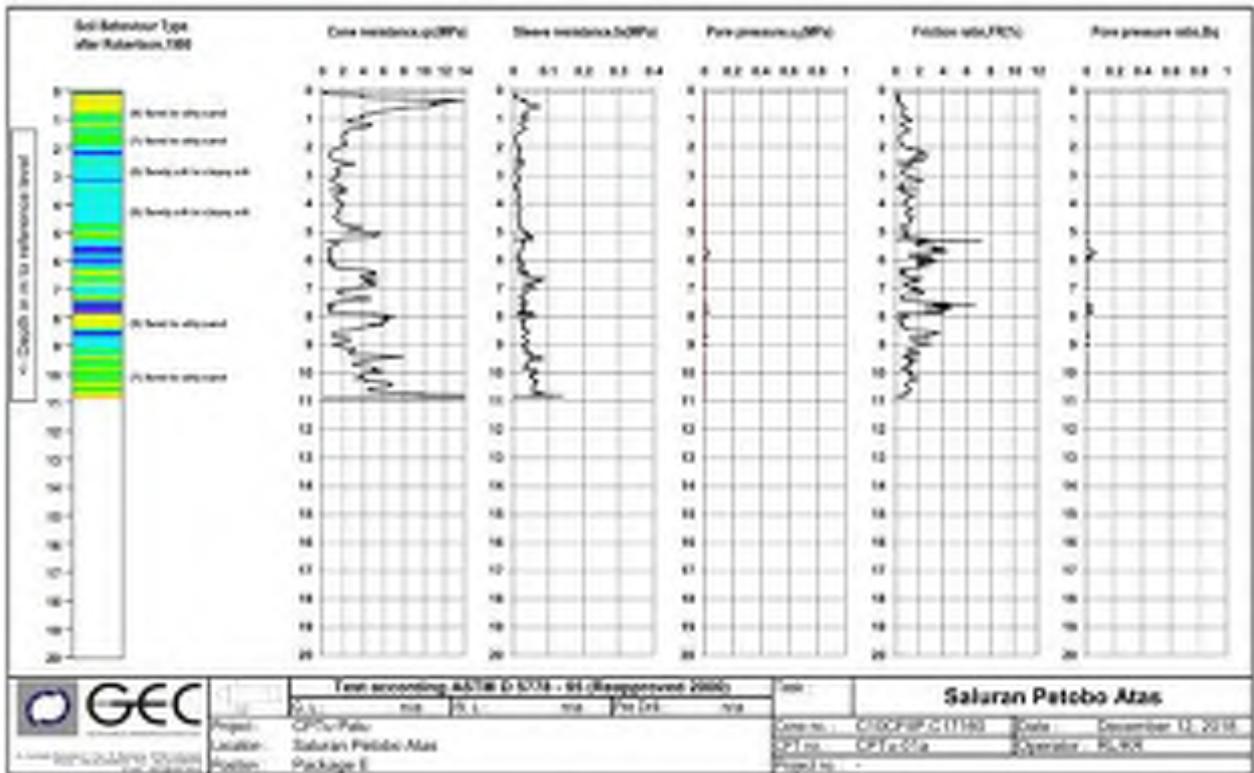
<http://ds.iris.edu/ieb/index.html?format=text&nodata=404&starttime=1970-01-01&endtime=2025-01-01&minmag=6&maxmag=8&orderby=time-desc&limit=20&maxlat=0.491&minlat=-1.794&maxlon=121.104&minlon=118.797&sbl=1&pbl=1&caller=self&zm=8&mt=ter>

Diakses 23 Desember 2018

2. Mekanisme Kerusakan Area Petobo



Gambar 2 Lateral Spreading akibat Likuifaksi di Area Petobo Atas



Gambar 3 Uji CPTu pada Area Petobo Atas – Dominan Pasir (12 Desember 2018)



Gambar 4 Saluran Irigasi di Petobo Atas



Gambar 5 Batas awal *Lateral Spreading*

Gambar 2 menunjukkan situasi lapangan saat dilakukan peninjauan lapangan pada tanggal 10 Desember 2018 di area Petobo atas, pasca gempa 28 September 2018. Gambar 3 menunjukkan hasil uji CPTu di area Petobo atas ini.

Pengamatan lapangan menunjukkan sebelum gempa area Petobo Atas merupakan area yang tidak datar dan memiliki kemiringan tertentu, diperkirakan sekitar 7-10 derajat. Di area Petobo atas ini terdapat saluran irigasi Gumbasa yang pasca gempa telah menjadi kering (Gambar 4).

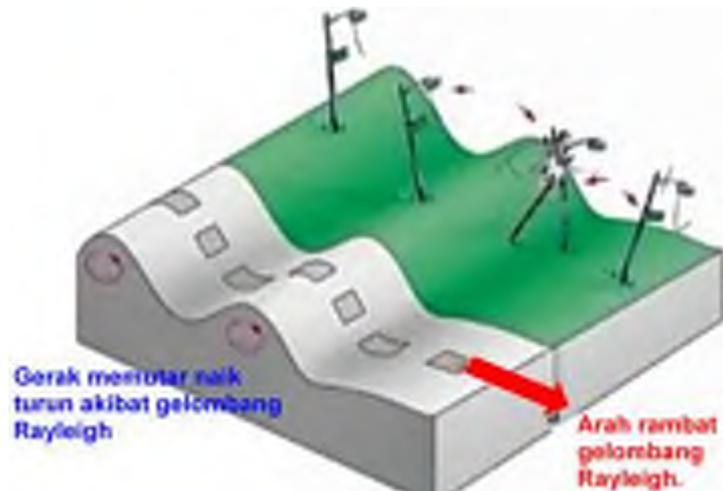
Situasi lapangan pasca gempa menunjukkan keberadaan retakan-retakan tanah memanjang yang lebih kurang sejajar satu sama lain, retakan-retakan ini tegak lurus dengan arah kemiringan tanah di lapangan, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1. Retakan-retakan paralel tegak lurus arah kemiringan tanah ini merupakan fenomena *lateral spreading* yang disebabkan oleh terlikuifaksinya tanah pasiran di area tersebut. Uji CPTu yang dilakukan pada tanggal 12 Desember 2018 menunjukkan keberadaan tanah pasiran dengan ketebalan 10m, dengan beberapa lensa lempung yang sangat tipis. Ditilik dari amblasnya tanah sedalam lebih kurang di area awal terjadinya *lateral spreading* (Gambar 2d dan Gambar 5), diperkirakan ketebalan lapisan tanah yang terlikuifaksi di area Petobo atas ini lebih kurang berketebalan 11m.

Area likuifaksi yang terjadi di daerah Petobo ini sangat luas dengan arah memanjang sejauh lebih kurang 4 km dari Timur ke Barat (Gambar 6). Kontur tanah yang memiliki kemiringan menyebabkan saat tanah pasiran mengalami likuifaksi dan kehilangan daya dukungnya mengalir dari ketinggian ke arah yang lebih rendah. Gaya inersia yang timbul akibat gempa secara progresif menimbulkan retakan *lateral spreading* dan mendorong pasir yang terlikuifaksi dari daerah tinggi ke daerah rendah, dengan kata lain terjadi likuifaksi aliran (*flow liquefaction*) yang membawa serta dan merusak rumah-rumah dan harta benda yang ada di atasnya.



Gambar 6 Area Petobo yang Terdampak Likuifaksi dan *Lateral Spreading*

Penduduk yang selamat dari peristiwa likuifaksi dan *lateral spreading* yang dialaminya melaporkan bahwa mereka terangkat dan terhempas bagaikan terbawa gelombang laut. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat likuifaksi aliran berlangsung, terjadi gelombang Rayleigh yang merambat dan mengakibatkan tanah bergerak memutar naik turun sebagaimana diilustrasikan dalam dalam Gambar 7. Likuifaksi aliran yang dibarengi dengan gelombang Rayleigh ini tidak hanya meluluh lantakkan rumah rumah yang berada di atasnya bahkan menyebabkan tenggelamnya rumah-rumah (Gambar 8), dan menimbulkan banyak korban jiwa.



Gambar 7 Gelombang Rayleigh yang Mengakibatkan Gerakan Memutar secara Vertikal

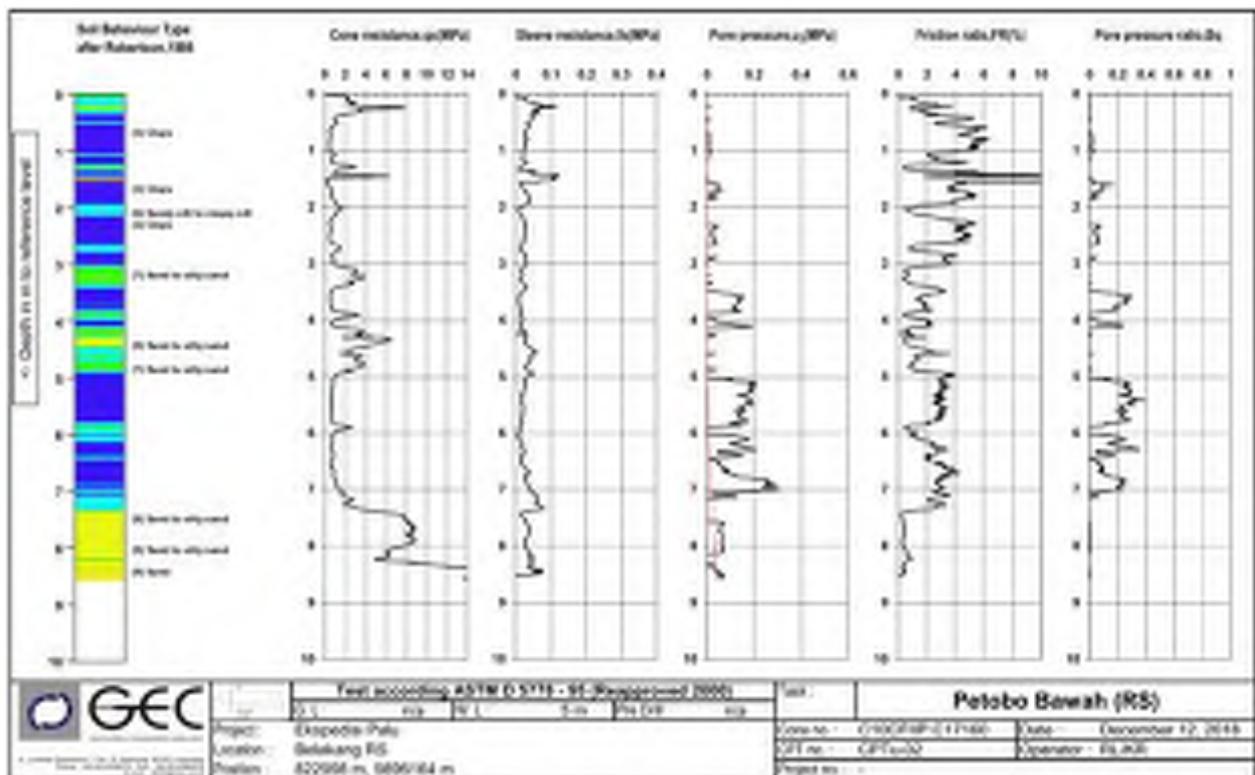


Gambar 8 Kerusakan Bangunan (atas) dan Tenggelamnya Lantai Dasar Rumah (bawah)

Likuifaksi aliran ini berakhir tepat di perbatasan Rumah Sakit Ibu Anak Nasanapura (Gambar 6). Pemeriksaan tanah secara visual (Gambar 9) dan uji CPTU (Gambar 10) di daerah ini menunjukkan keberadaan tanah lempung.

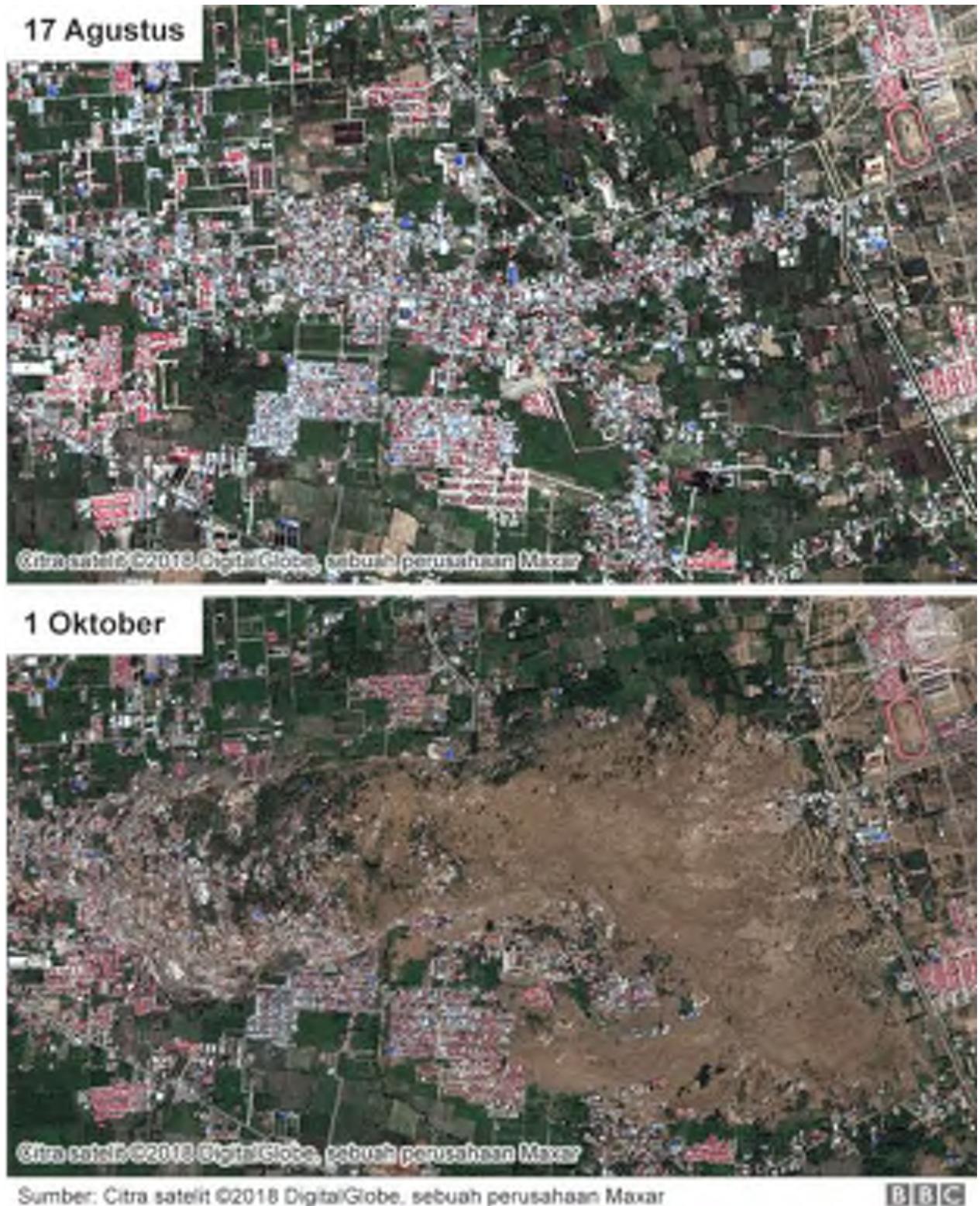


Gambar 9 Tanah Lempung di area Batas Likuifaksi (Petobo bawah / Barat)



Gambar 10 Uji CPTu pada Area Petobo Bawah – Dominan Lempung (12 Desember 2018)

Gambar 11 menunjukkan kondisi Petobo sebelum dan sesudah gempa 28 September 2018. Terlihat bahwa kerusakan yang ditimbulkan sangat luas dan masif.



Gambar 11 Kondisi Petobo Sebelum dan Sesudah Gempa 28 September 2018

3. Mekanisme Kerusakan Area Perumnas Balaroa

Gambar 12 menunjukkan kondisi Perumnas Balaroa sebelum dan sesudah gempa 28 September 2018. Dilaporkan bahwa beberapa detik setelah gempa, terlihat semburan air yang cukup tinggi di kelurahan itu lalu tiba-tiba permukaan tanah menurun sehingga ikut menarik seluruh benda di atasnya. Bahkan, beberapa bangunan seperti masjid bergeser jauh sekitar 50 meter dari posisi semula. Beberapa saksi yang selamat mengatakan bahwa mereka tertarik ke dalam tanah dan merasa terombang-ambing ke kanan kiri seperti diblender dengan tanah pasir yang terlikuifaksi. Gambar 13- 15 menunjukkan beberapa sisa kerusakan yang terjadi di perumnas Balaroa ini.



Gambar 12 Kondisi Perumnas Balaroa Sebelum dan Sesudah Gempa 28 Sep 2018
(<https://www.youtube.com/watch?v=GqOQEvkEZjc> – diakses 13 Desember 2018)



Gambar 13 Perumnas Balaroa Hancur Rata Tanah



Gambar 14 Lantai Dasar Rumah Amblas Akibat Likuifaksi



Gambar 15 Bangunan Mesjid Terguling di Perumas Balaroa

Semburan air dari dalam tanah, tenggelamnya bangunan, dan foto-foto kerusakan di lapangan menunjukkan di daerah ini juga terjadi likuifaksi secara masif. Terombang-ambingnya korban ke kanan kiri yang merasa seperti diblender saat terjadi likuifaksi menunjukkan peristiwa likuifaksi dibarengi dengan gelombang gempa *love wave*, yang mengakibatkan kerusakan yang semakin dahsyat dan meluas. *Love wave* ini menyebabkan gerakan geseran ke kanan kiri tegak lurus dengan arah rambat gelombang (Gambar 16), gerakan gelombang seperti ini sangat merusak bangunan.



Gambar 16 Love Wave mengakibatkan Gerakan Kanan Kiri secara Horizontal

4. Mekanisme Kerusakan Pomp Bensin di Jenjo Oge, Sigi

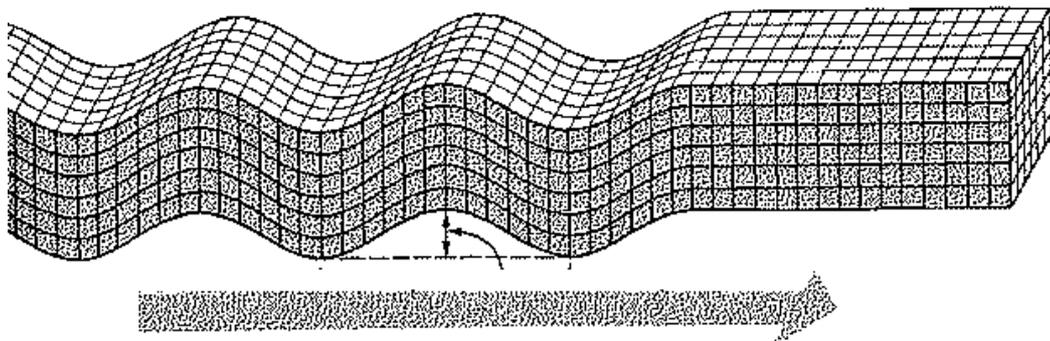


Gambar 17 Kerusakan SPBU Jenjo Oge, Sigi, menunjukkan Naik Turunnya Tanah Seperti Gelombang



Gambar 18 Rumah “Tersobek” akibat Tepat di atas Sesar *Strike Slip* dekat SPBU Jenjo Oge, Sigi

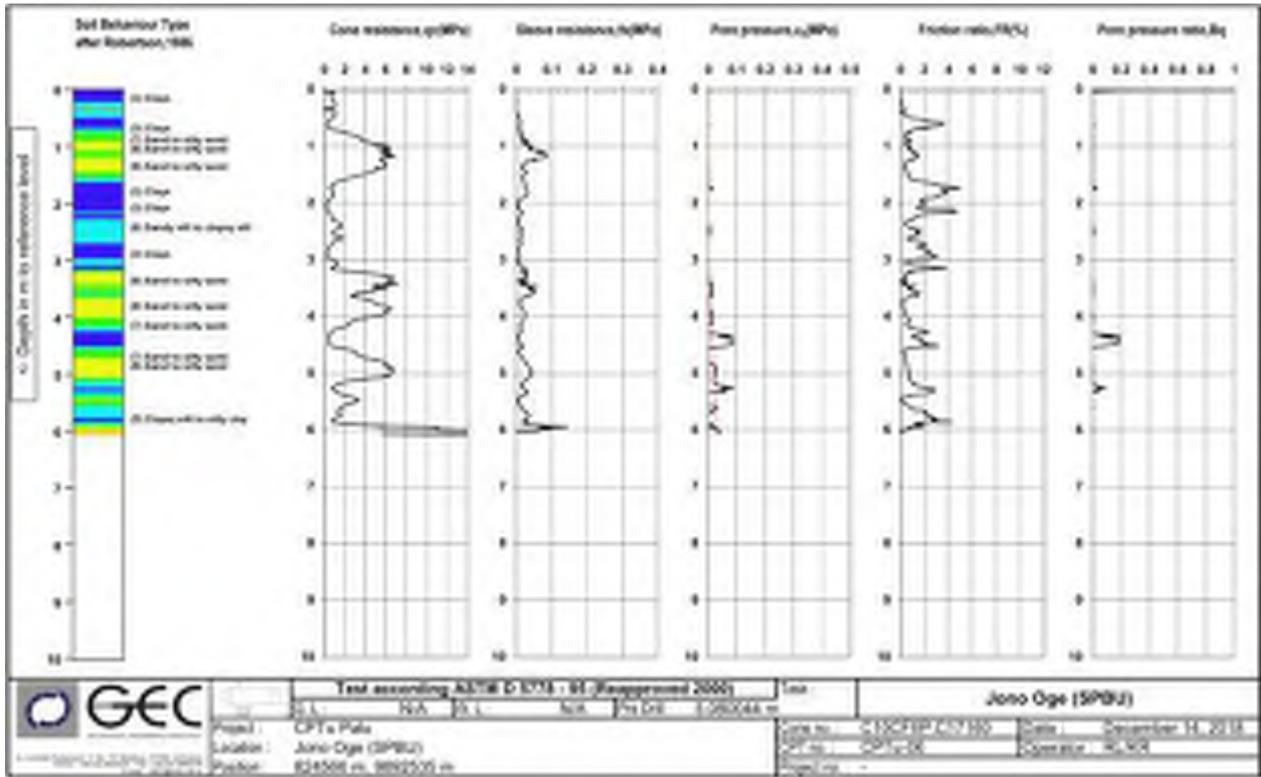
Pengamatan di daerah pomp bensin Sigi menunjukkan permukaan tanah yang naik turun bergelombang cukup tinggi dengan selisih tinggi rendah lebih kurang 1m (Gambar 17). Tidak jauh dari pomp bensin, terlihat adanya rumah yang “tersobek” akibat tepat terletak di atas sesar *strike-slip* yang bergerak horisontal (Gambar 18). Gerakan sesar *strike-slip* yang sangat dekat menimbulkan gelombang geser vertikal (*vertical shear wave, SV*) tegak lurus terhadap arah rambat gelombang sebagaimana diilustrasikan dalam Gambar 19, dan fenomena ini terlihat jelas di daerah pomp bensin.



Gambar 19 Gelombang Geser Vertikal yang Sangat Merusak

Sumber: Bolt, B.A., 1989, *Earthquakes*, W.H.Freeman and Co, New York.

Uji CPTu di daerah SPBU menunjukkan kondisi tanah yang berlapis bergantian antara tanah lempung dengan tanah pasir berlanau dengan nilai perlawanan konus 2-6 MPa, atau setara dengan nilai $SPT N = 2 q_c$ (MPa) = 4 – 12 pukulan/30cm yang juga rentan terhadap likuifaksi.



Gambar 20 CPTu di daerah SPBU Jeno Oge, Sigi



Gambar 21 Naik Turun Tanah akibat Gelombang Rayleigh



Gambar 22 Garis Atap Rumah Terlihat Bergelombang akibat Gelombang Rayleigh

Di daerah Jenong, Sigi ini juga terlihat terjadinya peristiwa terlikuifaksinya tanah, bergesernya bangunan hingga puluhan meter akibat likuifaksi aliran. Juga terlihat tanda-tanda gelombang Rayleigh, yang merusak banyak bangunan (Gambar 21 dan 22).

5. Mekanisme Kerusakan Saluran Irigasi Gumbasa di Sibalaya

Mekanisme kerusakan saluran irigasi di Sibalaya terutama akibat terjadinya likuifaksi aliran yang mengakibatkan longsor saluran irigasi serta bergesernya tanah lapangan sepakbola dan rumah-rumah sejauh ratusan meter. Gambar 23 menunjukkan terputusnya saluran irigasi Gumbasa dan longoran lereng di bawah saluran irigasi. Gambar 24 menunjukkan luasnya jangkauan kerusakan di bawah saluran irigasi akibat likuifaksi aliran.



Gambar 23 Longsor Saluran Irigasi Gumbasa di Sibalaya akibat Likuifaksi Aliran



Gambar 24 Area Longoran dan Likuifaksi Aliran di Sibalaya di foto dari arah Saluran

6. Pengamatan terhadap Keruntuhan Bangunan

Pengamatan terhadap sisa-sisa keruntuhan bangunan menunjukkan detail pembesian yang tidak baik, terutama detail hubungan kolom dengan balok, dan pemasangan penulangan sengkang (tulangan geser) yang tidak benar, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 25 - 29.



Gambar 25 Tidak ada Sambungan yang Baik antara Plat Lantai dengan Balok



Gambar 26 Tidak ada Sengkang di Peremuan Kolom dan Balok dan Sengkang yang sangat Minimal di Kolom, serta Tekukan Sengkang yang tidak 135° . Pipa PVC ditanam dalam Kolom.



Gambar 27 Tidak ada Sengkang di Pertemuan Balok dan Kolom



Gambar 28 Semua Pertemuan Balok dan Kolom Retak



Gambar 29 Detail Hubungan Balok dan Kolom yang Tidak Baik, juga Terlihat Senggang yang Tidak ditekuk 135°

Dari gambar-gambar tersebut di atas terlihat bahwa kerusakan bangunan terutama diakibatkan oleh detailing yang tidak baik.

7. Kesimpulan dan Rekomendasi terhadap Langkah Perbaikan ke Depan

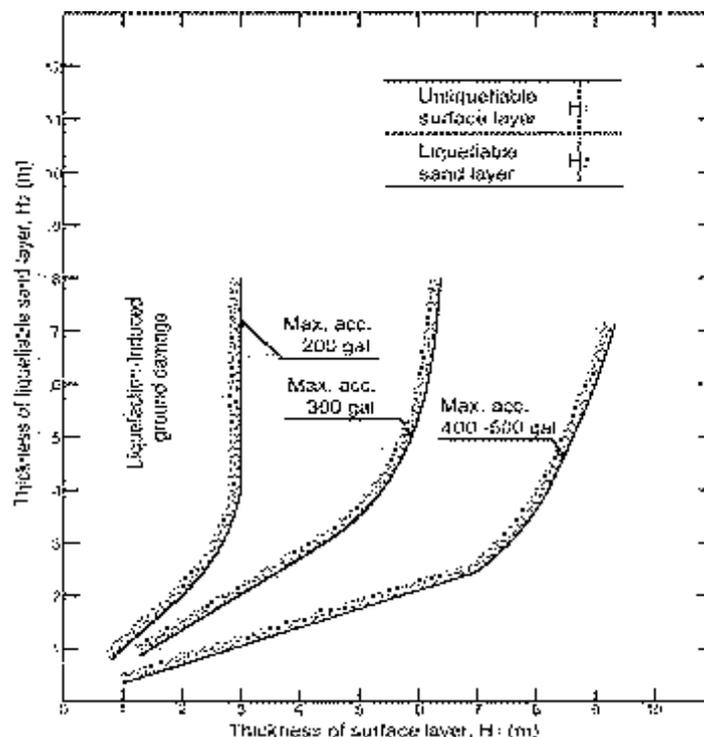
Berdasarkan pengamatan mekanisme kerusakan gempa yang terjadi (di luar dari yang diakibatkan oleh tsunami), kesimpulan utama yang dapat ditarik adalah:

- Rembesan dari saluran irigasi yang dibangun sejak tahun 1980an selama puluhan tahun menyebabkan naiknya permukaan air tanah di tanah pasir, yang saat gempa kuat terjadi menyebabkan terjadinya likuifaksi.

- Kerusakan terberat dan terbesar terutama sekali disebabkan oleh likuifaksi pada daerah yang memiliki kemiringan yang berakibat terjadinya *lateral spreading* dan likuifaksi aliran.
- Keberadaan bangunan yang terletak di dekat dan bahkan di atas / melalui sesar.
- Detail sambungan kolom dan balok bangunan yang tidak memenuhi syarat.

Beberapa rekomendasi yang dapat diberikan adalah:

- Membangun kembali sistem irigasi yang dibuat kedap sehingga muka air tanah tidak tinggi dan dengan demikian mengurangi resiko terjadinya likuifaksi. Agar kedekatan irigasi dapat dijamin dianjurkan untuk memasang geomembran yang dipasang di saluran irigasi. Di atas geomembran dapat dipasang plat beton pracetak sebagaimana yang pernah terpasang pada saluran irigasi yang lalu. Dinding saluran dapat diperkuat dengan menggunakan geotextile teranyam (woven geotextile). Keunggulan geomembran adalah UV protected dan tidak menjadi getas walaupun terkena hawa panas dari matahari, sementara bahan plastik/terpal pada umumnya lambat laun menjadi getas akibat panas matahari, dan akhirnya air dari saluran kembali juga rembes ke dalam tanah.
- Memadatkan tanah pasir di lapisan sebelah atas di area perumahan yang menggunakan pondasi dangkal paling tidak setebal lebih kurang 7m dengan metoda kompaksi dinamis atau sejenis (lihat Gambar 30).



Gambar 30 Syarat Ketebalan Lapisan Pasir yang Tidak Terlikuifaksi

Ishihara, K. (1985) *Stability of Natural Deposits during Earthquake, Proc. 11th ICSMFE, (1), 249-252, Tokyo.*

- Tidak mendirikan bangunan sejarak paling tidak 50m dari daerah sesar (Daerah California di USA mensyaratkan jarak 150m di kanan kiri sesar tidak boleh ada bangunan).
- Mendidik pelaksana lapangan dan mengawasi detailing pembesian bangunan agar memenuhi persyaratan bangunan tahan gempa.