

## Hubungan Potensi Likuifaksi Pada Endapan Gunungapi Merapi Muda Dengan Kerusakan Bangunan Di Kabupaten Bantul Pada Kasus Gempabumi 27 Mei 2006

### *The Relationship of Liquefaction Potential on Young Volcanic Deposits of Merapi Volcano And Damaged Buildings At Bantul Regency Due To Earthquake On May 27<sup>th</sup>, 2006*

Taufiq Wira Buana<sup>1</sup>, Muhammad Wafid. A.N<sup>1</sup>, & Imam A. Sadisun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Badan Geologi, Jalan Diponegoro No. 57 Bandung 40122 – Indonesia

<sup>2</sup>Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha No. 10 Bandung – Indonesia

Naskah diterima 12 April 2016, selesai direvisi 18 Juli 2016, dan disetujui 28 Juli 2016

e-mail: [taufiq.wb@gmail.com](mailto:taufiq.wb@gmail.com)

#### ABSTRAK

Kerusakan bangunan merupakan salah satu kerugian saat gempabumi 27 Mei 2006 di Kabupaten Bantul. Bangunan-bangunan tersebut berada pada Endapan Gunungapi Merapi Muda yang berumur Kuartar, dan endapan tersebut merupakan material yang belum terkonsolidasi, tersusun atas endapan pasir, lanau, dan lempung yang relatif berada dalam kondisi jenuh air. Kondisi ini berpotensi untuk terjadinya likuifaksi dan telah terbukti dengan kejadian likuifaksi pada saat gempabumi tersebut. Fakta di lapangan menunjukkan lokasi yang terlikuifaksi mengalami kerusakan bangunan yang relatif lebih parah. Konfirmasi dari penelitian terdahulu terhadap karakteristik likuifaksi yang terjadi pada saat itu telah diterapkan dengan pendekatan konsep tegangan siklik. Hasilnya menunjukkan potensi likuifaksi tinggi sebanding dengan tingkat kerusakan bangunan aktual yang telah dipetakan oleh UNOSAT dan RESPOND.

**Kata kunci:** Endapan Gunungapi Merapi Muda, potensi likuifaksi, kerusakan bangunan

#### ABSTRACT

*Building damage is one of the earthquake destructed effects at May 27th, 2006 on Bantul region. The buildings lie on Quaternary Young Volcanic Deposits of Merapi Volcano that consist of unconsolidated material such as saturated sand, silt, and clay deposits. This condition is potential to liquefaction and it had proven when the earthquake occurred. In fact, the liquefied locations show relatively extensive collapsed buildings. The early research with cyclic stress concept against liquefaction behavior due to earthquake have been confirmed. The result shows high liquefaction potential equivalent to actual damaged buildings rating mapped by UNOSAT and RESPOND.*

**Keywords:** *Young Volcanic Deposits of Merapi Volcano, liquefaction potential, damaged buildings*

**PENDAHULUAN**

Kerusakan bangunan akibat gempa bumi di Kabupaten Bantul tanggal 27 Mei 2006 dapat disebabkan oleh beberapa faktor, dan tulisan ini difokuskan pada kejadian likuifaksi yang menyertai gempa bumi saat itu. Khusus untuk kerusakan bangunan, UNOSAT (2006) dan RESPOND (2006) telah membuat deliniasi zona aman hingga yang rusak parah akibat gempa bumi tersebut, bahkan BAPPENAS (2006) telah mengidentifikasi adanya kerusakan bangunan hingga 79.889 buah. Kasus likuifaksi ini merupakan salah satu efek berantai peristiwa gempa bumi. Fenomena likuifaksi menjadi pertanyaan penting: apakah likuifaksi juga berperan terhadap kerusakan bangunan di Bantul saat gempa bumi 27 Mei 2006.

Maksud kajian ini adalah untuk mengetahui hubungan likuifaksi terhadap kerusakan bangunan pada endapan Gunungapi Merapi Muda. Adapun tujuan kajian ini adalah:

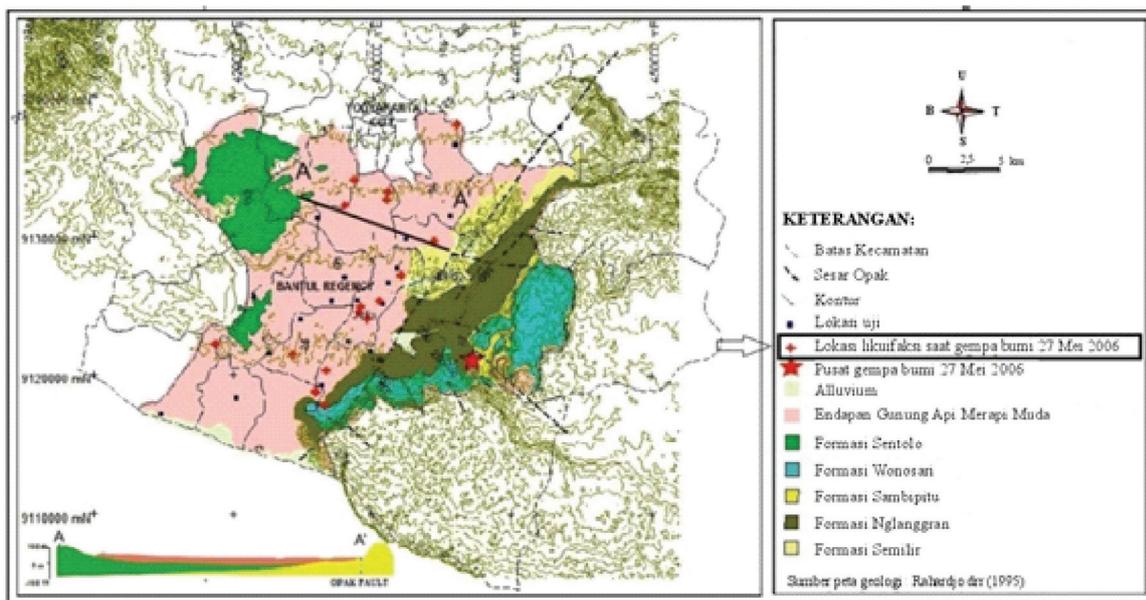
1. Menentukan indeks potensi likuifaksi dan perkiraan penurunan tanah akibat likuifaksi,
2. Mengetahui hubungan potensi likuifaksi dan kerusakan bangunan dengan kompilasi peta potensi likuifaksi terhadap peta distribusi kerusakan bangunan yang telah dipetakan melalui pemantauan satelit oleh UNOSAT (2006) dan RESPOND (2006).

Hipotesis yang digunakan dalam kajian ini adalah endapan Gunungapi Merapi Muda sangat berpotensi untuk terjadinya proses likuifaksi, dan terdapat hubungan positif antara kerusakan bangunan dengan kejadian likuifaksi. Kajian ini tidak melibatkan analisis faktor kualitas bangunan terhadap guncangan gempa bumi.

**Likuifaksi 27 Mei 2006**

Berdasarkan data BMKG (2012) patahan Opak merupakan salah satu sumber gempa yang bersifat merusak, dan gempa bumi di sekitar patahan ini pada umumnya memiliki kekuatan kurang dari 5 SR. Salah satu gempa bumi yang bersifat merusak pada lokasi penelitian telah terjadi pada 27 Mei 2006. Gempabumi tersebut memiliki kekuatan sebesar 6,3 SR, terletak 25 km tenggara kota Yogyakarta (110,45° BT dan 7,96°LS pada kedalaman 12 km) dan dirasakan di Yogyakarta pada skala VIII MMI.

Pengamatan setelah gempa bumi, likuifaksi yang terjadi di daerah penelitian hampir semua memiliki tipe dominan *cyclic mobility*, sedangkan tipe likuifaksi aliran (*flow liquefaction*) hanya terjadi di lokasi Desa Caturharjo, Kecamatan Pandak (lokasi di titik P 90). Tipe *cyclic mobility* yang dijumpai berupa sebaran lateral (*lateral spreading*) dan *sand boil*. Peta sebaran likuifaksi pada 27 Mei 2006



Gambar 1. Lokasi sebaran likuifaksi pascagempabumi 27 Mei 2006 (Buana dan Agung, 2015).

telah dipublikasikan oleh Buana dan Agung (2015) seperti terlihat pada Gambar 1. Sudarsono dan Sugiyanto (2007) menyebutkan potensi likuifaksi tinggi terjadi pada Endapan Gunungapi Merapi Muda, sedangkan daerah dengan morfologi perbukitan memiliki potensi yang rendah.

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Yogyakarta (Rahardjo dr., 1995), Endapan Gunungapi Merapi Muda berada dalam Terban Bantul berumur Kuartar, sedangkan litologi berumur Tersier berada di Pegunungan Selatan dan Pegunungan Kulon Progo.

Buana dan Agung (2015) telah mengelompokkan litologi pada Endapan Gunungapi Merapi Muda di Kabupaten Bantul menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. Endapan pasir  
Endapan pasir adalah endapan yang paling dominan dan terdiri atas pasir, pasir lanauan, dan pasir kerikilan yang dijabarkan sebagai berikut:
  - a. Pasir berwarna abu-abu, ukuran butir halus sampai kasar, sedikit kerikil, beberapa terlihat gradasi normal, bentuk butir cenderung membundar tanggung - membundar, dan kepadatan bervariasi mulai sangat urai hingga sangat padat.
  - b. Pasir lanauan berwarna abu-abu kecoklatan, ukuran butir halus sampai kasar, sedikit lanau dan kerikil, bentuk butir cenderung membundar tanggung - membundar, dan kepadatan bervariasi mulai sangat urai hingga sangat padat.
  - c. Pasir kerikilan, berwarna abu-abu, ukuran butir halus sampai kasar, jumlah kerikil lebih banyak daripada pada pasir dan pasir lanauan, bentuk butir cenderung membundar tanggung - membundar, dan kepadatan sedang hingga sangat padat.
2. Endapan lanau  
Endapan lanau memiliki penyebaran yang tidak luas dan berselingan tipis dengan endapan pasir. Endapan lanau dijumpai di daerah yang dekat dengan sungai seperti Sungai Opak di sebelah timur dan Sungai Bedog di sebelah barat. Endapan lanau terdiri atas lanau dan lanau pasiran yang diuraikan sebagai berikut:
  - a. Lanau berwarna coklat muda, konsistensi lunak hingga kaku, dan memiliki plastisitas rendah hingga sedang dan terkadang bersifat nonplastis.
  - b. Lanau pasiran berwarna coklat muda,

konsistensi lunak hingga kaku, nonplastis hingga plastisitas rendah, dan terdapat sedikit pasir sangat halus hingga pasir halus.

3. Endapan lempung  
Endapan lempung terdiri atas lempung pasiran dan lempung yang diuraikan sebagai berikut:
  - a. Lempung pasiran berwarna coklat, konsistensi lunak hingga kaku, dan plastisitas sedang, sedikit mengandung pasir sangat halus.
  - b. Lempung berwarna hitam kebiruan, konsistensi kaku hingga keras, plastisitas sedang hingga tinggi.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Indeks Potensi Likuifaksi

Indeks potensi likuifaksi (PL) merupakan nilai yang menerjemahkan potensi likuifaksi ke dalam interpretasi kualitatif. Iwasaki (1978, dalam Tatsuoka dr., 1980) membagi potensi likuifaksi menjadi tiga kelas, yaitu:

1. Potensi rendah untuk nilai  $PL < 5$ ,
2. Potensi sedang untuk nilai  $PL$  antara 5 dan 15,
3. Potensi tinggi untuk nilai  $PL > 15$ .

Perhitungan nilai indeks potensi likuifaksi (PL) dengan rumusan dari Iwasaki (1978 dalam Tatsuoka dr., 1980), yaitu :

$$P = \int_0^p F \cdot w(z) dz \dots\dots\dots 1$$

Keterangan:

F adalah fungsi faktor keamanan dengan persyaratan jika:

$$F = 1 - F_s \text{ jika } F_s \leq 1, \text{ dan } F = 1 \text{ jika } F_s > 1$$

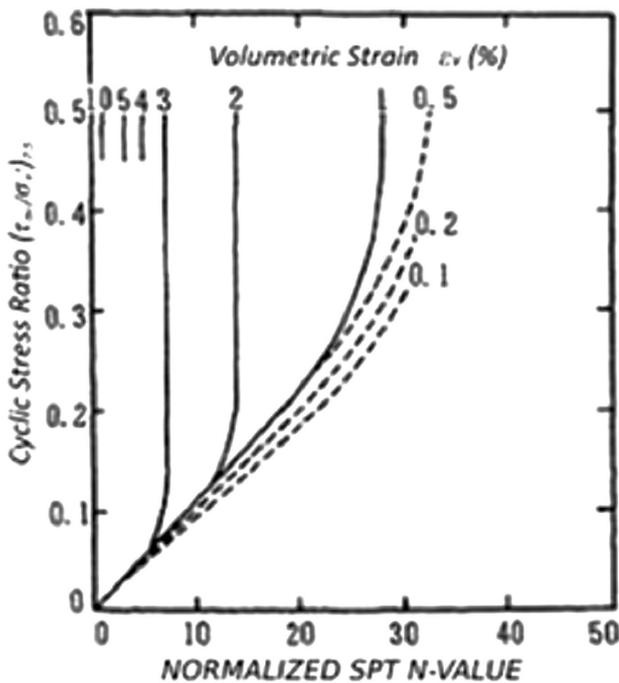
w(z) adalah fungsi faktor kedalaman dengan formula  $w(z) = 10^{-0,5(z)}$

z adalah kedalaman (m).

Nilai indeks potensi likuifaksi pada kasus ini menggunakan hasil yang telah dipublikasikan oleh Buana dan Agung (2015) dengan menggunakan uji penetrasi standar sebagai metode untuk menentukan nilai faktor keamanan (Fs).

### Penurunan Tanah Akibat Likuifaksi

Endapan pasir dalam kondisi jenuh air ketika



Gambar 2. Hubungan *Cyclic Stress Ratio* dengan nilai uji penetrasi standar terkoreksi yang menyebabkan peningkatan regangan volume (Ishii dan Tokimatsu, 1988).

terkena guncangan gempabumi akan meningkatkan tekanan air pori dan perubahan volume, sehingga menyebabkan likuifaksi yang disertai dengan penurunan tanah (Ishihara, 1996). Ishii dan Tokimatsu (1988) menyebutkan bahwa gempabumi dapat menyebabkan penurunan tanah akibat peningkatan regangan volume (*volumetric strain*) karena peningkatan tekanan air pori (Gambar 2).

Penurunan tanah akibat likuifaksi merupakan perbandingan antara ketebalan lapisan tanah ( $H$ ) dan regangan geser ( $\epsilon_v$ ) seperti terlihat pada

persamaan 2 yang dipublikasikan oleh (Lee, 2007):

$$S = \sum_{i=1}^n H_i \epsilon_{v_i} \dots\dots\dots 2$$

Ishihara (1996) memberikan klasifikasi kualitatif antara penurunan tanah akibat likuifaksi dengan area kerusakan bangunan (Tabel 1).

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil perhitungan indeks potensi likuifaksi (Tabel 2) oleh Buana dan Agung (2015) menunjukkan sebagian besar memiliki potensi likuifaksi tinggi ( $PL > 15$ ). Semakin jauh dengan sumber pusat gempa bumi, nilai indeks potensi likuifaksi akan semakin kecil. Nilai indeks potensi likuifaksi tersebut cenderung sebanding dengan nilai percepatan gempabumi maksimum pada permukaan tanah oleh Buana dan Sadisun (2013b). Hal ini merupakan hasil akhir perhitungan nilai percepatan gempabumi maksimum batuan dasar oleh Buana dan Sadisun (2013a) dengan faktor amplifikasi oleh Buana dan Sadisun (2013b) sebagaimana telah dikompilasi pada Gambar 5.

Hasil perhitungan penurunan tanah merupakan analisis kilas balik terhadap potensi penurunan tanah yang disebabkan oleh likuifaksi, walaupun pada saat pengamatan sulit untuk diketahui penurunannya secara akurat. Hasil perhitungan potensi penurunan tanah akibat likuifaksi (Tabel 2) berbanding lurus dengan kenaikan percepatan gempabumi maksimum pada permukaan tanah (Gambar 3).

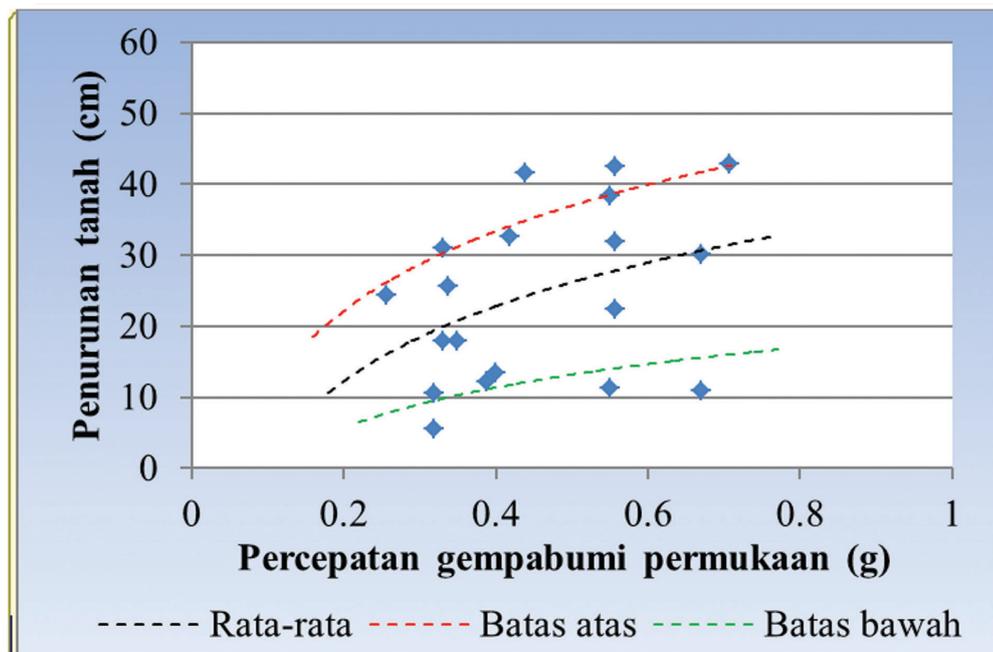
Selain percepatan gempabumi maksimum pada permukaan tanah, faktor ketebalan juga memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap peningkatan regangan volume. Semakin tebal tanah

Tabel 1. Tingkat kerusakan kualitatif berdasarkan penurunan tanah akibat likuifaksi (Ishihara, 1996)

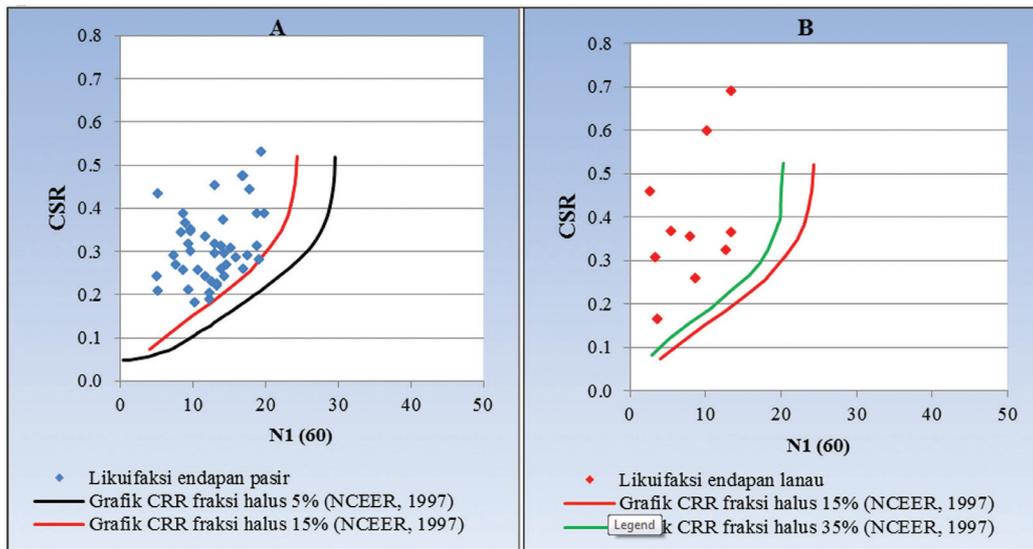
Area Kerusakan	Penurunan (cm)	Fenomena di permukaan tanah
Tidak rusak hingga rendah	0 - 10	Retakan minor
Sedang	10 - 30	Retakan sempit, <i>oozing of sand</i>
Luas	30 - 70	Retakan lebar, semburan pasir ( <i>spouting sand</i> ), <i>offset</i> lebar, pergerakan lateral.

Tabel 2. Indeks potensi likuifaksi dan penurunan tanah akibat likuifaksi

Kode	Lokasi	Indeks Potensi Likuifaksi (Buana & Agung, 2015)	Potensi Penurunan Tanah Akibat Likuifaksi (cm)
P2	Wonokromo, Sewon	26,90	22,8
P11	Trimulyo, Jetis	28,40	42,2
P20	Sumberagung, Jetis	18,01	11,06
P24	Barongan, Jetis	28,87	31,9
P28	Patalan, Jetis	26,89	38,15
P34	Trirenggo, Bantul	13,26	17,86
P40	Srihardono, Pundong	36,01	41,39
P46	Patalan, Jetis	16,47	42,79
P50	Trirenggo, Bantul	14,25	32,59
P55	Pelemadu, Sriharjo	38,21	30,26
P63	Madurejo, Prambanan	8,03	17,77
P67	Jambidan, Banguntapan	11,44	30,94
P77	Baturetno, Banguntapan	43,78	25,39
P83	Pendowoharjo, Sewon	0,00	0
P85	Wijirejo, Pandak	8,04	5,45
P90	Caturharjo, Pandak	16,46	10,47
P91	Sidomulyo, Bambanglipuro	10,84	13,15
P93	Panjangrejo, Pundong	41,13	10,70
P96	Murtigading, Sanden	21,55	22,8
P99	Poncosari, Srandakan	12,22	42,2



Gambar 3. Hubungan percepatan gempabumi permukaan dengan potensi penurunan tanah.



Gambar 4. Hubungan percepatan gempabumi dan likuifaksi pada endapan pasir (A) dan endapan lanau (B) (Buana dan Agung, 2015).

yang terlikuifaksi, semakin berpotensi mengalami penurunan tanah yang relatif besar. Akan tetapi hal ini juga bergantung pada hubungan tingkat kepadatan tanah dan nilai percepatan gempabumi yang terwakili dengan nilai regangan volume. Hasil perhitungan dengan menggunakan formula Ishii dan Tokimatsu (1988) pada persamaan 2 menunjukkan potensi penurunan tanah antara 5,45 cm hingga 42,79 cm. Rentang nilai potensi penurunan tersebut merupakan hasil perhitungan dari variasi nilai regangan volume antara 1,45% hingga 5,51% dan ketebalan lapisan terlikuifaksi antara 1,5 m hingga 18,2 m.

Percepatan gempabumi maksimum pada permukaan tanah dalam perhitungan likuifaksi disajikan dalam bentuk rasio tegangan siklik (CSR) yang sudah memasukkan unsur tegangan *overburden* dan faktor reduksi. Tingkat kepadatan tanah yang disertai dengan unsur fraksi halus merupakan bentuk rasio ketahanan siklik (CRR). Hubungan-hubungan tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4 (Buana dan Agung, 2015).

Endapan pasir dan lanau yang memiliki nilai tingkat kepadatan maupun tingkat konsistensi tinggi membutuhkan nilai percepatan gempabumi yang lebih besar untuk mengurai butiran tanah menjadi likuifaksi. Kepadatan tanah berperan penting dalam meningkatkan ketahanan terhadap likuifaksi. Buana dan Agung (2015) telah menghubungkan nilai uji penetrasi standar terkoreksi ( $N_{1(60)}$ ) yang

menyebabkan likuifaksi pada endapan pasir akan terjadi jika nilai ( $N_{1(60)}$ ) kurang dari 20, sedangkan pada endapan lanau akan terjadi pada nilai ( $N_{1(60)}$ ) kurang dari 15.

Energi gempabumi yang terjadi saat gempabumi 27 Mei 2006 diperkirakan semakin besar hingga ke permukaan tanah, sehingga menimbulkan amplifikasi. Amplifikasi yang terjadi saat itu memiliki rentang nilai 1,3 hingga 2,92 kali atau rata-rata sekitar 2 kali (Buana dan Sadisun, 2013b). Amplifikasi juga memicu likuifaksi pada endapan pasir dan lanau walaupun lanau sedikit lebih resisten dibandingkan endapan pasir (Buana dan Agung, 2015).

Berdasarkan pengamatan di lapangan bulan Juni 2006, likuifaksi yang terjadi paling banyak dijumpai dalam bentuk *sand boil* di sumur gali. Hasil perhitungan indeks potensi likuifaksi yang sesuai dengan kondisi aktual dan akurat adalah pada lokasi P 40 dan P 90. Likuifaksi pada lokasi yang lain tidak teramati pada permukaan tanah sesuai dengan lokasi pengeboran, akan tetapi dapat ditemukan gejalanya di dekat lokasi tersebut. Likuifaksi yang tidak teramati di permukaan tanah pada titik pengeboran bukan berarti lokasi titik bor tersebut tidak terjadi likuifaksi. Menurut hasil analisis yang menunjukkan tidak terjadi likuifaksi pada kedalaman tertentu diduga endapan pasir/lanau yang sudah semakin padat ketika pengujian berlangsung dibandingkan sebelum terjadi gempabumi 27 Mei 2006. Proses pemadatan

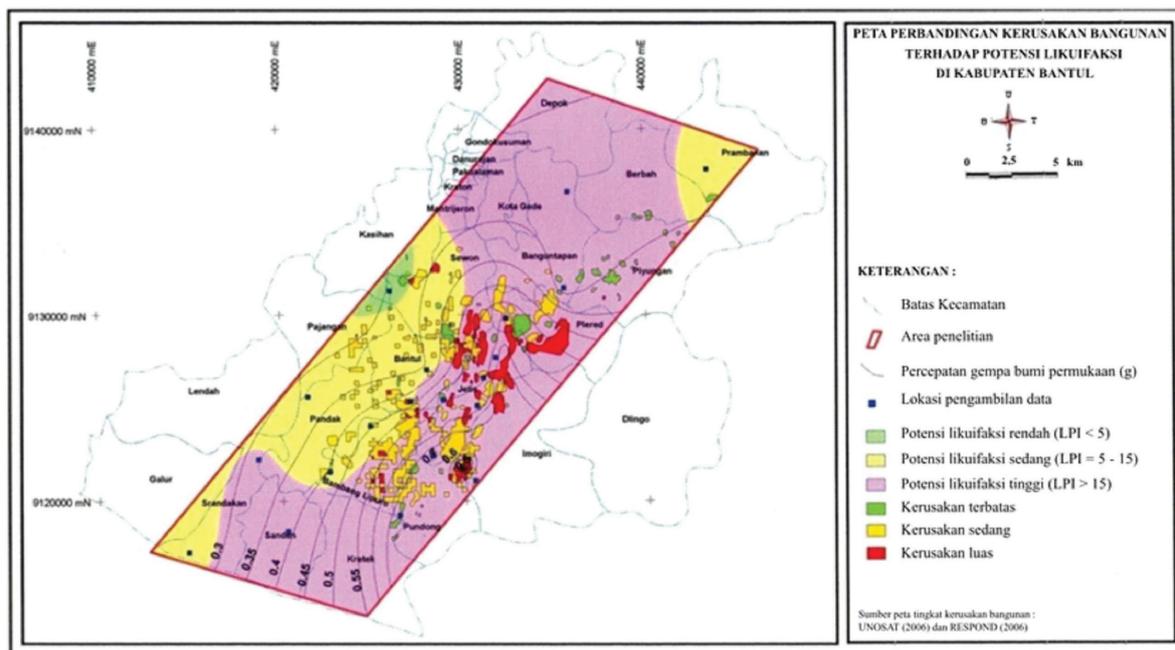
tersebut diduga sebagai akibat likuifaksi tipe *cyclic mobility* yang membuat tanah semakin padat setelah terkena gempabumi 27 Mei 2006.

Salah satu isu penting dalam gempabumi 27 Mei 2006 adalah kerusakan bangunan di daerah penelitian. UNOSAT (2006) dan RESPOND (2006) telah membuat peta kerusakan bangunan setelah kejadian gempabumi tersebut yang

terangkum dalam Gambar 5. Tabel 3 merupakan perbandingan tingkat kerusakan bangunan dengan percepatan gempabumi permukaan dan potensi likuifaksi-likuifaksinya, walaupun di sebagian lokasi tidak teridentifikasi secara baik. Adapun lokasi gempabumi yang tidak teridentifikasi kemungkinan disebabkan oleh faktor kualitas bangunan yang tidak disertakan dalam analisis.

Tabel 3. Perbandingan Gempabumi Dan Likuifaksi Terhadap Sebaran Kerusakan Bangunan

Lokasi Uji	Percepatana Gempabumi Maksimum di Permukaan tanah (g) Buandansadisun (2013b)	Potensi Likuifaksi (Klasifikasi Iwasaki, 1978)	Sebaran Kerusakan Area Dari Penurunan Tanah Akibat Likuifaksi (Klasifikasi Ishihara, 1996)	Sebaran Area Kerusakan Bangunan 27 Mei 2006 Kombinasi versi UNOSAT (2006) dan RESPOND (2006)
P 2	0,56	Tinggi	Sedang	Sedang
P 11	0,56	Tinggi	Luas	Luas
P 20	0,55	Tinggi	Sedang	Sedang
P 24	0,56	Tinggi	Berat	Sedang
P28	0,55	Tinggi	Berat	Luas
P 34	0,35	Sedang	Sedang	Sedang
P40	0,44	Tinggi	Luas	Luas
P46	0,71	Tinggi	Luas	Tidak Teridentifikasi
P50	0,42	Sedang	Luas	Luas
P55	0,67	Tinggi	Luas	Tidak Teridentifikasi
P 63	0,33	Sedang	Sedang	Tidak Teridentifikasi
P67	0,33	Sedang	Luas	Tidak Teridentifikasi
P77	0,34	Tinggi	Sedang	Tidak Teridentifikasi
P 85	0,30	Rendah	Tidak rusak - rendah	Tidak Teridentifikasi
P90	0,32	Sedang	Tidak rusak - rendah	Tidak Teridentifikasi
P93	0,32	Tinggi	Sedang	Sedang
P96	0,40	Sedang	Tidak Teridentifikasi	Tidak Teridentifikasi
P 99	0,67	Tinggi	Tidak Teridentifikasi	Tidak Teridentifikasi



Gambar 5. Peta perbandingan kerusakan bangunan terhadap potensi likuifaksi akibat gempa bumi 27 Mei 2006.

### KESIMPULAN

Potensi likuifaksi di lokasi penelitian sebagian besar berpotensi sedang, dan semakin ke arah Sesar Opak (timur) potensinya semakin tinggi. Potensi likuifaksi ini memiliki nilai yang sebanding dengan perhitungan dampak kerusakan akibat penurunan tanah. Likuifaksi merupakan salah satu faktor penyumbang kerusakan bangunan pada gempa bumi 27 Mei 2006 karena menunjukkan hubungan yang positif antara potensi likuifaksi beserta perhitungan penurunan tanah akibat likuifaksi dengan distribusi kerusakan bangunan yang telah dipetakan oleh UNOSAT maupun RESPOND pada tahun 2006.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan *GEORISK PROJECT* yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk terlibat aktif dalam kegiatan di Yogyakarta, dan kepada Kepala Stasiun Geofisika Gamping (BMKG) dalam akses data kegempaan.

### DAFTAR PUSTAKA

BAPPENAS , 2006. *Preliminary Damage and Loss Assesment Yogyakarta and Central Java Natural Disaster, A Joint Report from BAPPENAS, the Provincial and Local Governments of D.I.Yogyakarta, the Provincial and Local Governments of Central Java, and international partners*, Jakarta, h.1-140.

BMKG , 2012. Data Pusat Gempabumi Tahun 1924 Hingga Maret 2012 Pada Radius 200 Km dari Pusat Kota Bantul, Stasiun Geofisika Yogyakarta. (Tidak dipublikasikan)

Buana T.W. dan Sadisun, I.A., 2013a. Penentuan Percepatan Gempabumi Batuan Maksimum Dengan Metode Analisis Bahaya Seismik Deterministik Di Kabupaten Bantul. *Buletin Geologi Tata Lingkungan*, v. 23, no. 1, h. 13-22.

Buana, T.W. dan Sadisun, I.A., 2013b. Karakteristik Amplifikasi Pada Endapan Gunungapi Merapi Muda Akibat Gempabumi 27 Mei 2006 Di Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta Berdasarkan Analisis Respon

- Tanah Linier Ekuivalen. *Buletin Geologi Tata Lingkungan* v. 23, no. 2, h.67-76.
- Buana, T.W. dan Agung, M.W., 2015. *Liquefaction Characteristic Based on Ground Response Linier Equivalent Analysis and Cyclic Stress Concept on Young Merapi Volcanic Deposit in Bantul Regency, Yogyakarta, Indonesia, Proceeding of The 10th Anniversary Asian Regional Conference of IAEG Geohazards and Engineering Geology*, Japan, h.1-5.
- Ishihara, K., 1996. *Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics*, Oxford Science Publications., 385 h.
- Ishii, Y. dan Tokimatsu, K., 1988. *Simplified Procedure for The Evaluation of Settlements of Structures During Earthquakes, Proceedings of the 9<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, h. 95 -100.
- Lee, C.Y. , 2007. Earthquake-Induced Settlements in Saturated Sandy Soils, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, h. 6 -13.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, dan Rosidi, H.M.D., 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta skala 1:100.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- RESPOND, 2006. *Bantul Region Damage Assesments*, [http://: www.respond-int.org](http://www.respond-int.org) [7 Januari 2013].
- Sudarsono, U. dan Sugiyanto, 2007. Zonasi Likuifaksi Daerah Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, *Proceedings Annual Joint Convention Bali 2007 The 32nd HAGI, The 36th IAGI, and The 29<sup>th</sup> IATMI Annual Conference and Exhibition*, Bali.
- Tatsuoka, F., Iwasaki, T., Tokida, K., Yasuda, S., Hirose, M., Imai, T., Konno, M., 1980. *Standard Penetration Test and Soil Liquefaction Potential Evaluation, Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, v.24 no.4, h. 95-111.
- UNOSAT, 2006. *Preliminary Damage Assesments: Java Earthquake*, [http://: www.UNOSAT.org](http://www.UNOSAT.org) [7 Januari 2013].

**Terimakasih**  
**Kepada para penelaah/*reviewers***  
**Tim penyunting/*Scientific Editor***

Prof. Dr. Ir. H.R. Febri Hirnawan  
Dr. Dicky Muslim, M.Sc.  
Dr. Sapari Dwi Hadian, MT.  
**Universitas Padjajaran**

Dr. Ahmad Djumarma Wirakusumah, Dipl. Seis.  
Ir. Dodid Murdohardono, M.Sc.  
**Sekolah Tinggi Energi dan Mineral Akamigas Cepu**

Dr.Sci. Ir. Rachmat Fadjar Lubis  
**Geoteknologi LIPI**

Dr. Igan S. Sutawijaya, M.Sc.  
Dr. Supartoyo, S.T., M.T.  
**Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi**

Dr. Nenen Adriani, M.A  
Ir. Asdani Suhaemi, Dipl. S. Eng  
**Pusat Survei Geologi**

Ir. Oki Oktariadi, M.Si  
**Pusat Air Tanah dan Geologi Tata Lingkungan**