

## Studi Potensi Likuifaksi Di Daerah Zona Patahan Opak Patalan - Bantul, Jogjakarta

Eko Soebowo, Adrin Tohari, Dwi Sarah  
Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI

**ABSTRAK:** Sejumlah data geologi permukaan dan bawah permukaan telah dilakukan untuk mengetahui gambaran susunan lapisan tanah/batuan bawah permukaan dan hidrogeologi di daerah Patalan, Bantul dan sekitarnya kaitannya dengan wilayah yang berpotensi likuifaksi. Hasil kajian menunjukkan bahwa stratifikasi lapisan tanah bawah permukaan disusun oleh pasir halus, sedang, kasar, lanau dan lempung dan kerikil juga pasir lepas. Kondisi muka airtanah di daerah ini dicirikan dengan kedalaman - 0.5 hingga - 4 meter bahkan ada yang lebih - 4 meter. Analisa perhitungan dengan formula metode “*simplified procedure*” (Seed, B dan Idriss, I, 1971 dan Roberson, P.K., and Wride, B.H., 1989) berdasarkan data-data N-SPT, CPT/CPTu dengan nilai percepatan gempa maksimum (p.g.a) di permukaan sebesar 0,25g, skala gempabumi 6.2 SR ( $M_s : 6.2$ ), jarak sumber gempa terhadap daerah studi kurang lebih 5 - 10 km sekitar patahan aktif Opak, dan muka air tanah setempat, menunjukkan bahwa hampir semua titik telah terjadi likuifaksi dengan kedalaman bervariasi mulai - 0.4 hingga - 6 meter. Analisis likuifaksi dan penurunan dengan metode Ishihara dan Yoshimine (1990), dengan nilai Faktor Keamanan diambil hasil evaluasi potensi likuifaksi (metode Seed, 1977 dan Suzuki, 1997) dan menggunakan Software LIQUIT, maka penurunan total lapisan tanah terutama terkonsentrasi di bagian tengah Patalan, bervariasi antara 2 hingga 10 cm, dengan penurunan terbesar (> 10cm). Pola penyebaran penurunan setidaknya sangat dikontrol oleh segmen dari patahan Opak. Oleh karena itu potensi likuifaksi yang diikuti penurunan lapisan tanah perlu mendapat perhatian dalam mengkaji keamanan bangunan tinggi dalam menghadapi bahaya gempa bumi besar di masa mendatang. Peningkatan kepadatan tanah diperlukan sebelum pelaksanaan konstruksi bangunan tinggi dengan pondasi dalam untuk mengatasi dan mecegah penurunan saat gempa bumi besar.

**Kata kunci :** likuifaksi, gempa bumi,

### PENDAHULUAN

Gempabumi Jogjakarta telah terjadi pada hari Sabtu, 27 Mei 2006 dengan skala richter 6,2 ( $M_s = 6.2$ ). Peristiwa tersebut di beberapa tempat menimbulkan kejadian fenomena bencana geologi seperti longoran, rekahan tanah dan likuifaksi dengan luas area kurang lebih berarah timur laut – barat daya sejajar dengan patahan Opak. Wilayah Bantul - Jogjakarta merupakan zona dengan seismisitas cukup tinggi dan aktif yang dikategorikan dalam zona seismik 3 (BMG), dimana terletak pada

endapan kuarter berupa endapan fluviatil, alluvium dan pematang pantai yang dibeberepa lokasi rentan terhadap potensi bahaya likuifaksi. Material untuk terjadinya zona likuifaksi umumnya di daerah endapan pasir atau soil yang lepas, lanau dan memiliki karakter granular jenuh air dengan kepadatan rendah, non kohesif, tekanan air pori dalam sedimen matrik, muka airtanah dangkal dan di daerah dengan kemungkinan pergerakan permukaan ko-seismik melebihi nilai batas ambangnya karena adanya getaran tanah seketika akibat gempa bumi

(Seed, HB dan Idriss, I, 1971, Kovaks, 1983, Bowles, 1988, Kramer, 1993).

Peristiwa likuifaksi dapat menimbulkan amblesan, keruntuhan, *tilting* pada bangunan, *ground cracking*, kelongsoran, dan merusakkan sarana publik. Sebagai contoh saat gempa bumi Kobe 1995, Turki 2002, Taiwan 1999, India 2001, Maumere 1 Desember 1992, Aceh dan Nias 26 Desember 2004, Bengkulu, 2000, Jogjakarta 27 Mei 2006 yang diikuti dengan fenomena peristiwa likuifaksi. Pengetahuan potensi dan kerawanan likuifaksi sangat penting dalam rangka melakukan usaha mitigasi yang disesuaikan dengan derajat kerentanan terhadap bahaya likuifaksi di wilayah ini yang diharapkan dapat digunakan untuk mitigasi bahaya likuifaksi di daerah lainnya di Indonesia.

Tulisan ini menyajikan hasil penelitian kondisi geologi dan penampang geologi teknik bawah permukaan kaitannya dengan potensi bahaya likuifaksi di daerah Patalan, Bantul, Jogjakarta.

## 2 METODA PENELITIAN

Dalam studi likuifaksi ini dilakukan pendekatan melalui pengumpulan data lapangan berupa hasil pemboran teknik dengan uji SPT, pengujian sondir/CPT, pengujian CPTu, dan pengukuran muka air tanah di beberapa lokasi yang terpilih baik yang mengalami maupun yang tidak mengalami gejala likuifaksi di zona patahan Opak, Bantul, Jogjakarta.

Analisa data lapangan dan hasil perhitungan yang disintesakan dengan formula metode "*simplified procedure*" (Seed, B dan Idriss, I, 1971, dan Roberson, P.K., and Wride, B.H., 1989), maka selanjutnya dilakukan analisis potensi likuifaksi di lokasi studi berdasarkan data-data N-SPT, CPT/CPTu, ukuran butir dan berat isi. Dalam analisis ini, digunakan nilai percepatan gempa maksimum (p.g.a) di permukaan sebesar 0,2g dengan skenario gempabumi skala 6.2 SR ( $M_s : 6.2$ ), jarak sumber gempa terhadap daerah studi kurang lebih 5 - 10 km sekitar patahan aktif Opak dan muka air tanah diasumsikan mencapai permukaan tanah akibat gempa, Untuk analisis likuifaksi dan penurunan akibat gempa, maka nilai FK minimal yang dipakai sebesar 1,2.

Sedangkan analisa potensi likuifaksi dan penurunan lapisan tanah dengan menggunakan Software LIQUIT, dimana dapat mengetahui besaran nilai total settlement dan Indeks Likuifaksi, maka diperoleh hasil evaluasi potensi zona likuifaksi yang tercermin dalam bentuk kurva yang memisahkan lapisan setempat baik yang mengalami *likuifaksi* dan *tidak mengalami likuifaksi*. Juga dilakukan pengujian laboratorium terhadap beberapa contoh lapisan sedimen tanah/pasir untuk mengetahui distribusi ukuran butir dari lapisan sedimen tersebut, apabila berada pada rentan batas "*very easily liquefy*" atau "*easily liquefy*", maka dapat diartikan bahwa lapisan

tanah/pasir tersebut berpotensi likuifaksi. Oleh karena itu karakter lapisan tanah yang terjadi peristiwa likuifaksi akan sangat spesifik di setiap daerah dan juga dipengaruhi oleh kondisi geologi setempat, proses sedimentasi, hidrogeologi dan seismisitasnya.

## 3 HASIL

### 3.1 Geologi daerah Bantul dan sekitarnya

Daerah yang mengalami kerusakan gempa bumi Jogjakarta Sabtu 27 Mei 2006, termasuk dalam dataran Bantul – Klaten yang memanjang mulai Kali Opak hingga barat Klaten. Sedangkan menurut Rahardjo dkk (1995) batuan tertua yang tersingkap di sekitar dataran Bantul – Klaten antara lain Formasi Kebo – Butak yang berumur Oligo-Miosen yang tersusun oleh breksi vulkanik, andesit dan aglomerat. Diatasnya diendapkan Formasi Semilir yang terdiri dari perulangan breksi tufa dan lempung tufaan yang berumur Oligo – Miosen. Tidak selaras diatasnya diendapkan Formasi Nglangran berupa breksi gunungapi, tufa yang berumur Miosen Awal – Tengah. Selanjutnya diendapkan Formasi Sambipitu yang terdiri dari tufa, serpih, batulanau. Selanjutnya diendapkan Formasi Wonosari yang berupa batugamping terumbu dan batugamping berlapis kalkarenit. Diatasnya diendapkan Formasi Kepek yang terdiri dari napal dan batugamping. Selanjutnya di bagian barat diendapkan Formasi Sentolo yang terdiri dari batugamping berlapis. Diatasnya diendapkan Formasi Sentolo terdiri dari batugamping, batupasir napalan. Selanjutnya secara tidak selaras diendapkan material vulkanik Gunungapi Merapi dan endapan koluvium dan alluvial yang kesemuanya sebagai endapan kuartar (Gambar 1).

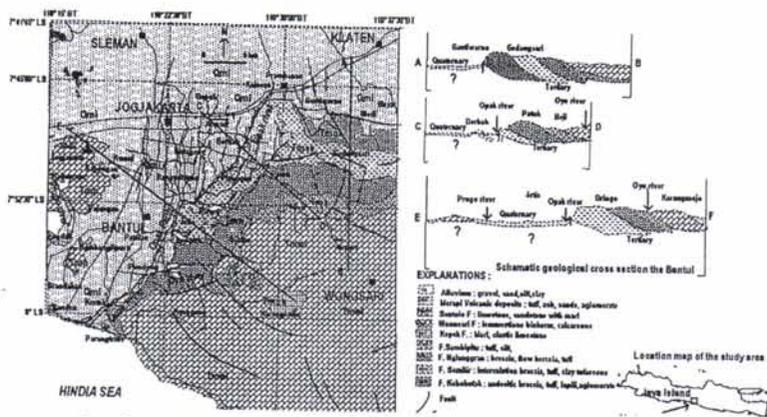
Struktur geologi yang berkembang di daerah dataran Bantul – Klaten berupa patahan/esar mendatar yang dikenal sebagai sesar Opak yang berarah timur laut – baratdaya kurang lebih  $U 235^\circ T/80^\circ$ , dimana blok timur relatif bergeser ke utara dan blok barat ke selatan. Lebar zona patahan diduga mencapai kurang lebih 2,5 km. Patahan lainnya yang berarah barat laut – tenggara berkedudukan kurang lebih  $U 325^\circ T/70^\circ$ , yang menuju ke arah Gantiwarno. Pengamatan lapangan zona patahan menunjukkan bahwa pada zona patahan aktif Opak ini secara semi detail telah memberikan gambaran bahwa zona patahan tersebut dicirikan oleh segmen-segmen yang lebih kecil dengan ukuran bervariasi mulai beberapa cm hingga beberapa puluh meter.

Berdasarkan interpretasi pengelompokan nilai anomali gayaberat tersebut tampak bahwa dari Bandara Adisucipto Jogjakarta ke arah Barat hingga daerah Kenteng dijumpai anomali yang cukup tinggi dari 90 mGal hingga 125 mGal. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi bawah permukaan pada daerah ini

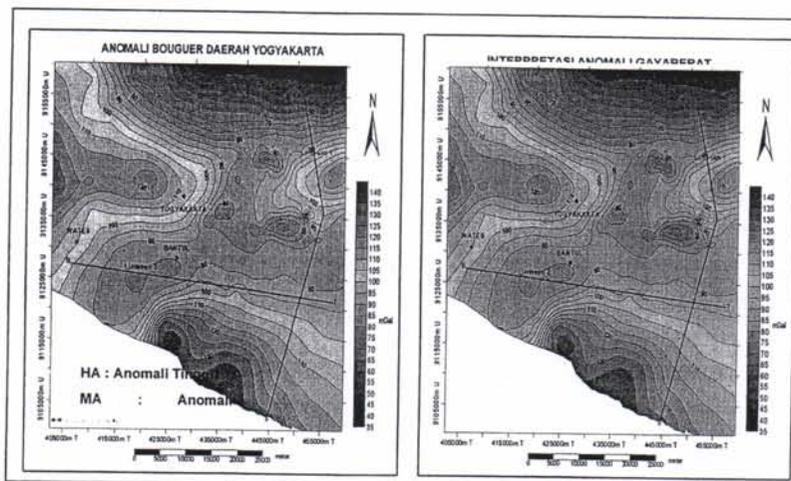
didominasi oleh batuan yang mempunyai nilai massa jenis yang cukup tinggi dan dari data geologi permukaan dijumpai singkapan - singkapan batuan Tersier berumur Oligo - Miosen (Formasi Kebo Butak) dan batuan berumur Eosen - Oligosen (F. Nanggulan). Walaupun di permukaan disusun oleh batuan vulkanik muda dari produk Merapi, kemungkinan batuan pada tinggian Kenteng - Adisucipto dalam sejarahnya merupakan penahan dan *spill way* endapan gunung api muda yang berasal dari Gunung Merapi. Hal yang sama di jumpai di daerah Bayat (tinggian Bayat) yang disusun oleh batuan batuan metamorf (Pra- Tersier) dan batuan Tersier berumur Eosen (Formasi Wungkal) dan batuan berumur Oligo-Miosen (Formasi Kebo-Butak). Tinggian lainnya adalah tinggian Gunung Kidul yang sebagian besar tersingkap batugamping Wonosari. Ekspresi nilai

anomali yang tinggi kemungkinan disebabkan oleh nilai densitasnya yang besar dan tersingkap di permukaan.

Diantara tinggian anomali Adisucipto - Kenteng dan tinggian Bayat ditempati oleh anomali menengah yang menyebar ke arah Baratdaya hingga pantai Samas - Parangtritis kecenderungan arah anomali menengah dalam arah ini disebut Bantul - Kalasan trend. Nilai anomali menengah ini juga mempunyai kecenderungan menyebar ke arah Timur yang dimulai dari Piyungan menuju ke G. Baturagung sehingga disebut Piyungan - Baturagung trend (Gambar 2).



Gambar 1. Peta geologi daerah Bantul, Jogjakarta dan sekitarnya.

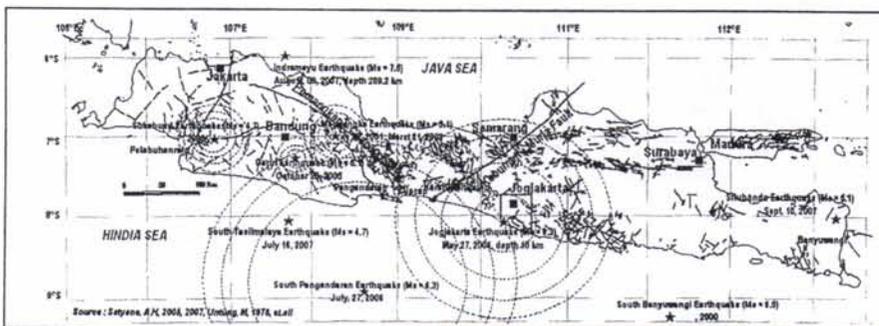


Gambar 2. Hasil interpretasi anomali gaya berat daerah Jogjakarta dan sekitarnya.

### 3.2 Tektonik

Wilayah pantai Jawa selatan dan sekitarnya merupakan wilayah yang memiliki kerentanan bahaya gempabumi yang tinggi karena wilayah ini berada  $\pm$  200 km sebelah selatan zona subduksi Jawa Selatan. Daerah perbatasan lempeng ini merupakan zona seismisitas yang aktif, sehingga banyak terjadi gempa bumi tektonik yang diakibatkan oleh tumbukan antar lempeng tersebut. Letak yang berdekatan dengan batas antar lempeng ini mengakibatkan daerah-daerah tersebut rawan terhadap aktivitas seismik yang ditimbulkan oleh pergeseran antar lempeng.

Tektonik pada bagian Jawa selatan sangat dipengaruhi oleh subduksi yang berada di selatan Jawa, Hal ini dapat dicerminkan oleh adanya patahan yang berarah hampir barat laut – tenggara (Sesar Pemanukan – Cilacap) dan barat daya - timur laut (sesar Muria – Kebumen). Kedua patahan tersebut bertemu dan saling mendekat di sebelah selatan Jawa Tengah. Pergerakan lateral sepanjang patahan-patahan di Pulau Jawa ini telah menyebabkan kegempaan aktif dan menyebabkan terjadinya ekstensi, salah satunya di sekitar Jogjakarta (Untung M dan Sato, Y, 1978) dan Satyana, A.H (2005, 2007) dan berbagai sumber (Gambar 3).



Gambar 3. Peta tektonik Pulau Jawa dan sekitarnya

Sedangkan untuk di daerah dataran Bantul – Klaten yang berkembang berupa patahan/sesar mendatar yang dikenal sebagai sesar Opak yang berarah timur laut – baratdaya kurang lebih  $U 235^{\circ} T/80^{\circ}$ , dimana blok timur relatif bergeser ke utara dan blok barat ke selatan. Lebar zona patahan diduga mencapai kurang lebih 2,5 km. Dampak dari gempa bumi Jogjakarta 27 Mei 2006 juga menimbulkan gejala pergeseran lapisan tanah dari beberapa mm hingga kurang lebih 10 cm dan rekahan-rekahan dengan dimensi bervariasi mulai ukuran beberapa mm hingga lebih 10 cm. Pola rekahan yang terjadi mempunyai arah yang bervariasi, namun yang dominan mendekati arah hampir utara – timur ( $U 10 - 20^{\circ} T$ ). Rekahan tersebut tampak dengan jelas di peladangan sawah, jalan raya, ladang perkebunan.

Gempa ini juga menimbulkan rel kereta api di Prambanan dan Jl.Bantul Km 5 melengkung dan diikuti gejala rekahan-rekahan baru di sekitarnya.

Sistem rekahan tektonik yang teridentifikasi cukup baik berupa tension fractures/rekahan regang (*extension fractures, gash fractures, release fractures*) dan patahan-patahan mesoskopis. Konfigurasi struktur-struktur tersebut di lapangan membentuk pola *en echelon relay overstep left stepping, overstep right stepping* dan *horse tail splay*. Pola-pola tersebut membentuk *pull apart basin* dan *push up swell' local* (kecil dari beberapa cm hingga meter) dengan *shear strain* positif dan negatif. Tipe patahan Opak ini diduga mendatar/geser sinistral menurun. Rekahan-rekahan yang tampak menunjukkan arah bervariasi, yaitu  $U 0 - 20^{\circ} T$  dengan kemiringan relatif hampir tegak  $65^{\circ} - 85^{\circ}$  dengan lebar kurang lebih 5 – 30 cm,  $U 90 - 100^{\circ} E$ ; dan  $N 200 - 225^{\circ} E$  lebar rekahan bervariasi kurang lebih 5 – 30 cm (pada jalan, tegalan dan sawah), rekahan tersebut dengan panjang kurang lebih 50 cm - 5 meter. Pergeseran dari rekahan yang terukur kurang lebih sebesar 3 – 10 cm dengan kedalaman kurang lebih 5 cm – 20 cm (sebagian rekahan telah terisi oleh pelapukan dan runtuhnya tanah). Rekahan-rekahan tektonik yang tampak

merupakan rekahan tension/dilation (bukaan). Pada zona rekahan di beberapa lokasi tampak sembulan dan amblesan dengan diameter dari beberapa cm hingga beberapa meter.

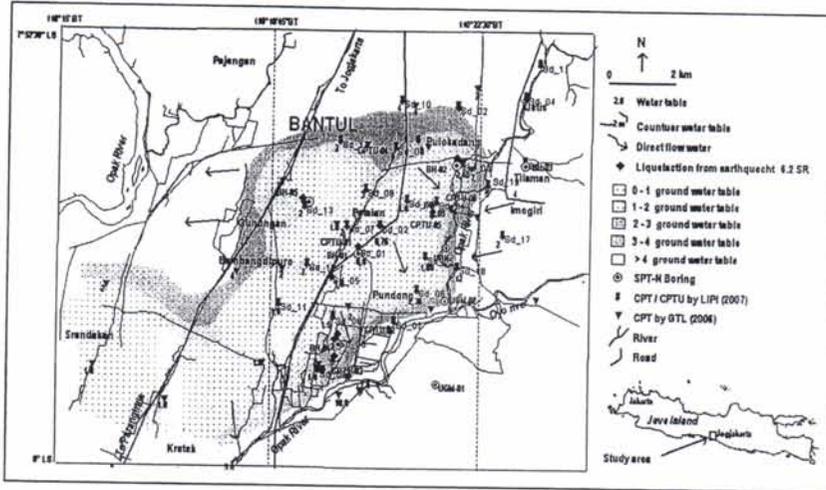
Pola rekahan yang baru terbentuk pada saat kejadian gempa umumnya berarah hampir utara – selatan, yang nampaknya merupakan rekahan-rekahan tensional. Rekahan-rekahan baru ini tidak menunjukkan adanya pergerakan vertikal maupun horisontal hanya memperlihatkan gerakan membuka secara umumnya, sering kali hanya rekahan yang searah dengan 'main shear', Rekahan *main shear* umumnya berukuran lebih besar dibandingkan rekahan tensional. Dibeberapa lokasi apabila dijumpai rekahan-rekahan baru yang diduga berarah barat – timur, kemungkinan merupakan reaktivasi

dari struktur geologi yang lebih tua. Lokasi-lokasi rekahan ini menyebar secara acak dari daerah Parangtritis, Imogiri, Bantul, Berbah, Kasongan, Bambangdipuro, Playen, Piyungan dan Gantiwarno (Gambar 5).

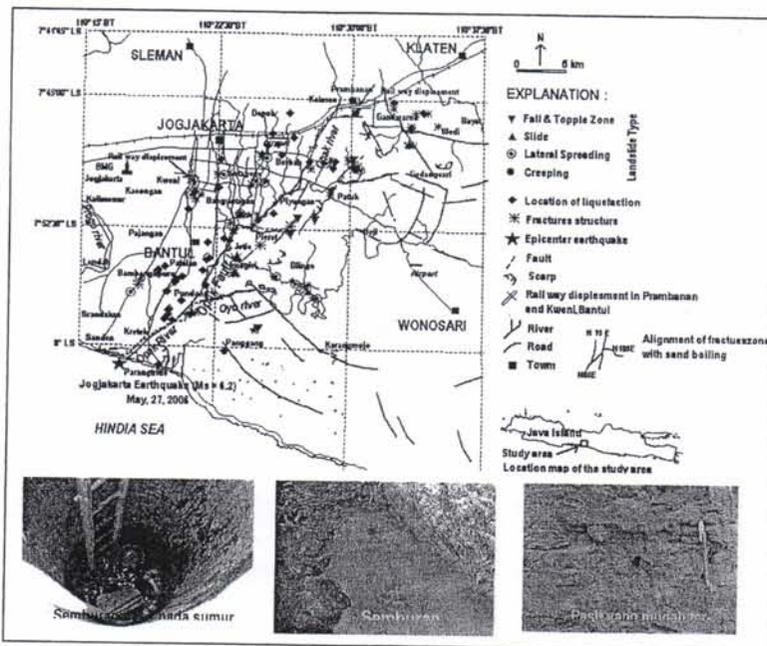
Opak, Kuning, Gajahwong, Dengkung beserta anak sungainya, kesemua sungai berhulu di bagian selatan lereng G.Merapi yang mengalir kearah selatan hingga ke daerah pantai selatan Samas – Parangtritis melalui dataran endapan aluvium dan dataran pantai Holosen. Gambaran sebaran muka air tanah di daerah Patalan, Bantul – Imogiri umumnya terdapat pada aliran sungai, sumur penduduk, pemboran air dan pemboran teknik, dengan kedalaman muka

### 3.3 Muka Air Tanah

Daerah Patalan, Bantul – Imogiri, Jogjakarta dan sekitarnya dilalui oleh sungai besar yaitu sungai



Gambar 4. Peta muka airtanah di daerah Patalan, Bantul – Imogiri dan sekitarnya.

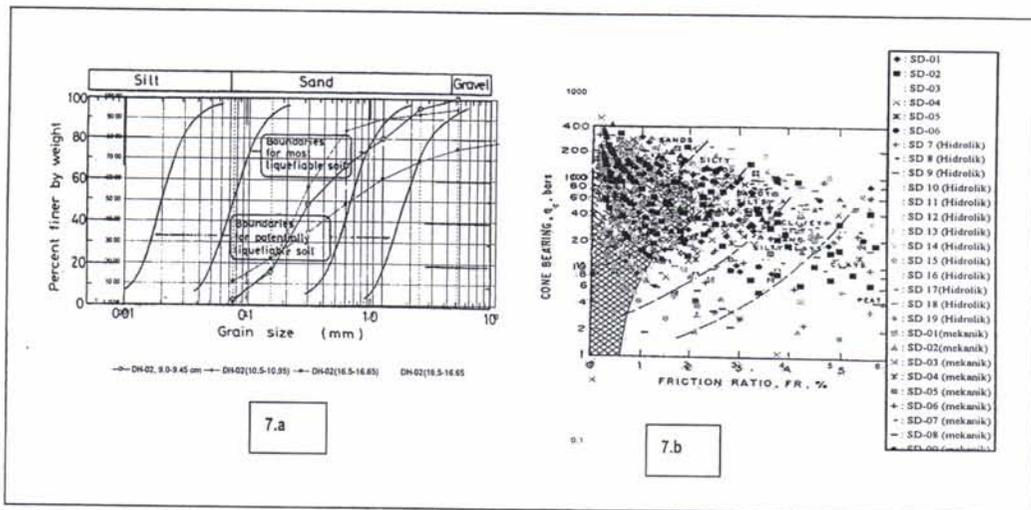


Gambar 5. Peta lokasi kejadian likuifaksi di daerah Jogjakarta – Klaten pada saat gempa Jogjakarta.



#### 4.2 Identifikasi Potensi Likuifaksi

Hasil pengujian terhadap beberapa conto lapisan tanah/pasir, maka distribusi butiran seperti ditunjukkan pada gambar 7a, dimana material tanah cenderung mengandung material pasir yang berada pada rentan batas "very easily liquefy" atau *easily liquefy* yang diartikan bahwa lapisan tanah/pasir tersebut berpotensi likuifaksi, hal ini mengindikasikan tanah di Patalan, Bantul tergolong mudah mengalami likuifaksi. Sedangkan dengan menggunakan korelasi tahanan ujung dengan friction ration (Robertson et. Al, 1985), lapisan tanah/pasir di daerah ini cenderung juga mengalami likuifaksi. Tanah yang berpotensi likuifaksi adalah tanah yang berada di daerah yang diarsir (Zona A) seperti terlihat pada gambar 7b.



Gambar 7. Tipikal lapisan tanah yang mudah mengalami likuifaksi di daerah Patalan, Jogjakarta

#### 4.3 Evaluasi Potensi Likuifaksi

Berdasarkan gambaran seismotektonik di daerah ini dengan skenario gempa bumi skala 6.2 SR ( $M_s : 6.2$ ), nilai percepatan gempa ( $p.g.a : 0.25 g$ ), jarak sumber gempa terhadap daerah studi kurang lebih 5 - 10 km dari patahan Opak dan muka air tanah diasumsikan mencapai permukaan tanah akibat gempa, maka akan diperoleh hasil evaluasi terhadap potensi likuifaksi yang tercermin dalam bentuk kurva yang memisahkan lapisan setempat baik yang mengalami likuifaksi dan tidak mengalami likuifaksi.

Ketebalan dari masing-masing lapisan yang terlikuifaksi berkisar antara 0.2 - 3.5 meter, tetapi apabila bagian atas hingga bawah batasnya masih

mencerminkan kejadian likuifaksi, maka zona likuifaksi akan memperluas baik ke arah vertikal maupun horisontal. Zona likuifaksi mengindikasikan lapisan lanau - pasir dan campuran pasir - gravel dengan kondisi loose/lepas hingga agak padat. Analisa potensi likuifaksi dan faktor keamanan di beberapa titik uji SPT, CPT, CPTu seluruh titik menunjukkan  $< 1$ , dengan demikian lapisan tanah dibawah permukaan ini merupakan jalur/zona untuk mudah terjadinya likuifaksi (Gambar 8).

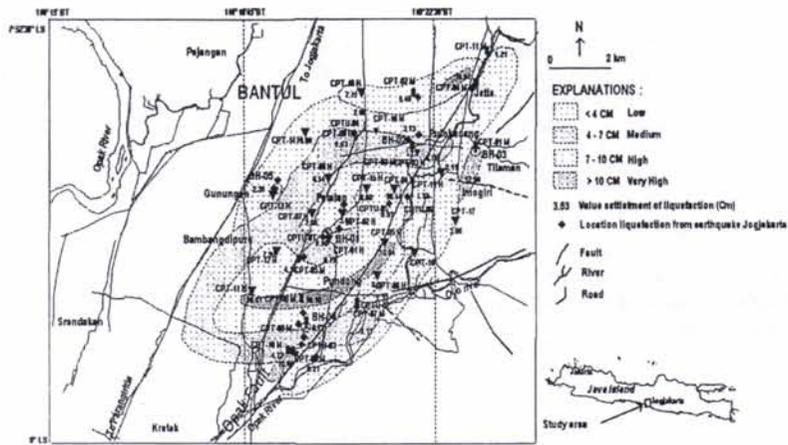
#### 4.4 Penurunan

Analisis penurunan lapisan tanah di setiap lokasi pemboran teknik dan uji CPT/CPTU dilakukan dengan menggunakan metode Ishihara dan

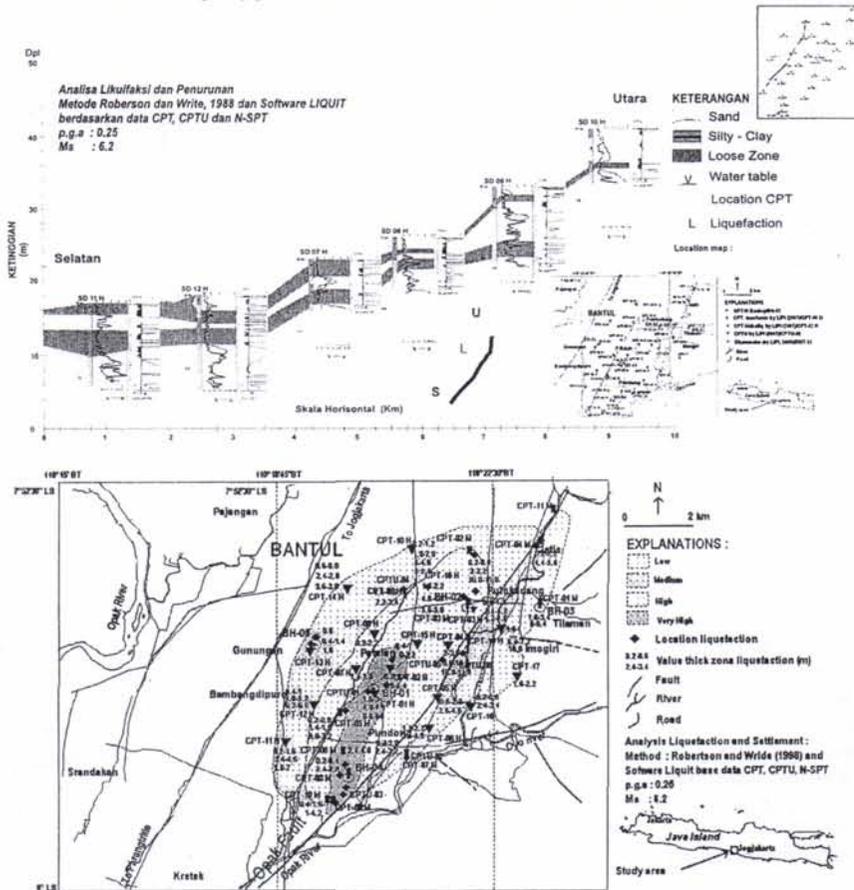
Yoshimine (1990). Data faktor keamanan diambil dari hasil perhitungan evaluasi potensi likuifaksi berdasarkan metode Seed (1971) dan Suzuki (1997). Dari hasil perhitungan disajikan pada Gambar 9, penurunan lapisan tanah bervariasi antara 2 hingga 10 cm, dengan penurunan terbesar ( $> 10cm$ ) terjadi pada daerah bagian tengah Patalan.

### 5 Kesimpulan Dan Rekomendasi

- Kemunculan muka airtanah dangkal, kondisi lapisan pasir lepas dan gambaran kegempaan di daerah lapisan sedimen bawah permukaan ini mudah mengalami terjadi likuifaksi.



Gambar 8. Penampang potensi likuifaksi dan kerentanan likuifaksi dengan magnitute gempa 6.2



Gambar 9. Peta penurunan akibat likuifaksi di daerah Patalan, Bantul, Jogjakarta dan

- Zona likuifaksi dan penurunan di wilayah Patalan ini mengikuti pola tegasan arah struktur patahan Opak yang berarah hampir timurlaut – baratdaya.
- Daerah-daerah berpotensi likuifaksi sebaiknya dilakukan tindakan prefentif, apabila hendak dibangun bangunan tinggi, seperti melakukan *grouting* atau tindakan-tindakan prefentif lainnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Seed, H.B. and Idriss, I.M., 1971, Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquefaction Potential, *Journal of soil mechanics and foundation*, Division, ASCE, vol.97. No.9, pp. 1249 – 1273.
- Roberson, P.K., and Wride, B.H., 1989, Cyclic Liquefaction and the Evaluation Based on the SPT and CPT, in *Proceedings* edited by Youd and Idriss, 1988, p. 41 – 88.
- Soebowo, E, dkk., 2006, Studi geologi, geofisika dan kebencanaan pasca gempa bumi Jogjakarta, Laporan Teknis, Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI, 2006.
- Suzuki, Y., Koyamada, K., and Tokimatsu, K. (1997). "Prediction of liquefaction resistance based on CPT tip resistance and sleeve friction," *Proc. XIV Intl. Conf. on Soil Mech. and Foundation Engrg.*, Hamburg, Germany, pp. 603-606.
- Wartono, R., Sukandarrumidi., Rosidi, H.M.D., 1977, Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan, Bandung.