

POTENSI LIKUIFAKSI AKIBAT GEMPABUMI BERDASARKAN DATA CPT DAN N-SPT DI DAERAH PATALAN BANTUL, YOGYAKARTA

Eko Soebowo, Adrin Tohari dan Dwi Sarah

ABSTRAK Gempabumi dapat menimbulkan bahaya likuifaksi yang dapat merusakkan bangunan dan sarana infrastruktur khususnya di wilayah perkotaan di Indonesia. Investigasi geoteknik bawah permukaan telah dilakukan di daerah Patalan, Bantul, Yogyakarta, untuk mendapatkan gambaran susunan lapisan tanah dan kekuatannya, menentukan kedalaman dan ketebalan lapisan tanah yang berpotensi likuifaksi dan penurunan lapisan tanah akibat likuifaksi. Analisis potensi likuifaksi dilakukan menggunakan data CPT (*cone penetration test*) dan N-SPT (*standard penetration test*), dengan mempertimbangkan nilai percepatan getaran tanah maksimum (p.g.a) sebesar 0,25g, magnitudo gempabumi sebesar 6,2 SR dan muka airtanah setempat. Hasil penyelidikan menunjukkan bahwa lapisan tanah lepas selama gempabumi terdiri dari pasir lanauan dan lanau pasiran pada kedalaman antara 0,2 - 12,8 m. Analisis potensi likuifaksi mengindikasikan bahwa ketebalan lapisan tanah yang berpotensi terlikuifaksi bervariasi antara 0,2 m dan 5,2 m, Sedangkan penurunan total lapisan tanah terutama terkonsentrasi di wilayah bagian tengah yang terletak di jalur Patahan Opak dengan besaran antara 0,21 cm hingga 12,98 cm.

Naskah masuk : 26 Agustus 2009

Naskah diterima: 22 Oktober 2009

Eko Soebowo
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135
Email : eko.soebowo@geotek.lipi.go.id

Adrin Tohari
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135
Email : adrin@geotek.lipi.go.id

Dwi Sarah
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40135
Email : sarah@geotek.lipi.go.id

Zona likuifaksi dan penurunan ini berada pada lapisan sedimen bagian atas yang mengisi pada cekungan Bantul di sekitar Patahan Opak.

Kata kunci : gempabumi, investigasi geoteknik, likuifaksi, patahan Opak, penurunan

ABSTRACT Earthquake may induce liquefaction hazard which could cause damage to the buildings and infrastructure, particularly in the municipals of Indonesia. Subsurface geotechnical investigation was carried out in the Patalan region, Bantul, Yogyakarta to obtain the soil stratification and its geotechnical properties in order to determine the thickness and the depth of the potentially liquefied soil layers, and the associated settlement due to liquefaction. The liquefaction potential analysis was conducted using CPT and N-SPT methods, with the peak ground acceleration value of 0.25, earthquake magnitude of 6.2 SR and local water table condition. The field investigation results revealed that the loose soil layer consists of silty sand and sandy silt at the depth between 0.2- 12.8 m are potentially liquefied during the earthquake. Results of liquefaction analysis indicate that the thickness of the liquefied soil layer varies between 0.2 m and 5.2 m. Meanwhile, the total settlement induced by the liquefaction is varied between 0.21 cm and 12.98 cm, and is concentrated in most areas located at the middle part of Opak Fault. The liquefaction and settlement zone occupies the upper sediment of Bantul graben near the Opak Fault.

Keywords: earthquake, geotechnical investigation, liquefaction, Opak fault, settlement

PENDAHULUAN

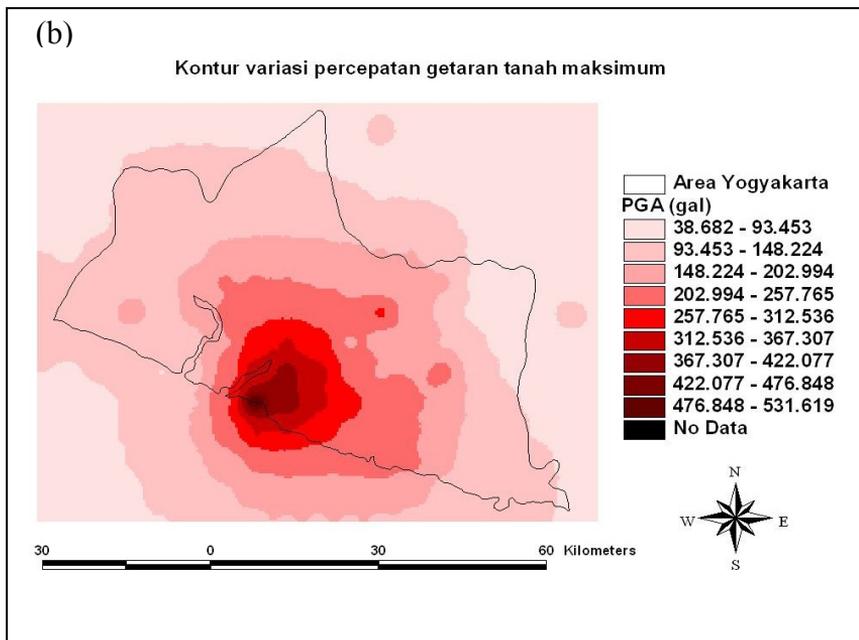
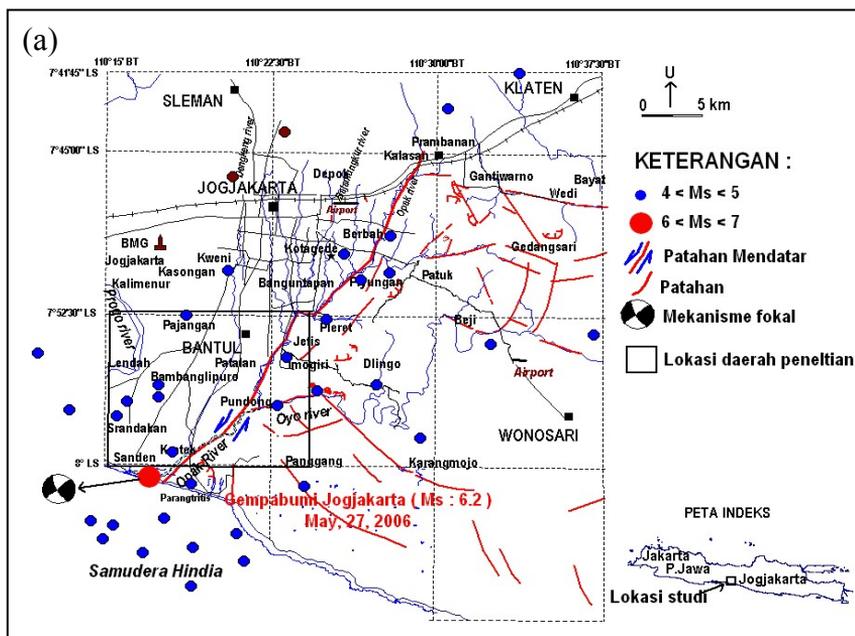
Ancaman bahaya geologis khususnya peristiwa likuifaksi saat gempabumi besar pada zona seismik atau jalur gempabumi merupakan

sesuatu yang dapat terjadi dan dapat menimbulkan kerusakan yang luas pada bangunan dan sarana infrastruktur di wilayah perkotaan di Indonesia. Peristiwa likuifaksi dapat menimbulkan amblesan, keruntuhan, *tilting* pada bangunan, retakan tanah, kelongsoran dan lain-lain. Salah satu contoh dari pengaruh likuifaksi adalah kerusakan-kerusakan yang dihasilkan selama gempa bumi Bengkulu 2000, gempa bumi Aceh 2004, gempa bumi Nias 2005 dan gempa bumi Yogyakarta 2006. Dari penelitian likuifaksi di beberapa negara, diketahui bahwa peristiwa likuifaksi ko-seismik, dan sebaran kerusakan akibat likuifaksi pada umumnya hanya terjadi pada daerah yang terbentuk oleh lapisan sedimen granular yang jenuh air dengan kepadatan yang rendah, dan kemungkinan pergerakan ko-seismik di permukaan melebihi nilai batas ambang tertentu (Seed dan Idriss, 1971; Kramer, 1996). Peristiwa likuifaksi pada lapisan tanah dipengaruhi oleh sifat keteknikan tanah, kondisi lingkungan geologi dan karakteristik gempa bumi. Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan antara lain ukuran butir, muka airtanah dan percepatan getaran tanah maksimum (Seed dan Idriss, 1971). Berdasarkan catatan sejarah, peristiwa gempa bumi yang pernah terjadi di wilayah ini antara lain pada 4 Januari 1840, 20 Oktober 1859, 10 Juni 1867, 28 Maret 1875 (New Comb dan Mc Cann, 1987), 23 Juli 1943, 12 Oktober 1957, 14 Maret 1981 dan terakhir pada tanggal 27 Mei 2006 (6,2 SR) (USGS dan BMKG, 2006) yang telah menelan korban jiwa kurang lebih 5.500 jiwa dan menimbulkan kerusakan bangunan dan sarana infrastruktur, seperti jalan, jembatan, bangunan rumah, perkantoran dan landasan pesawat terbang. Gempa bumi yang terjadi ini telah memicu terjadinya peristiwa likuifaksi di wilayah Patalan, Bantul. Hal ini disebabkan oleh kondisi lingkungan geologi berupa endapan aluvium, kondisi muka airtanah, jalur zona patahan Opak aktif dan pada cekungan Bantul (*Bantul Graben*) (Wartono dkk, 1977). Dengan melihat kondisi geologi yang demikian maka diperlukan penelitian sejauh mana yang berdampak terjadinya bahaya likuifaksi. Untuk mengetahuinya maka dilakukan pengujian di lapangan dengan uji sondir/CPT, CPTu, pengeboran teknik (termasuk uji SPT) dan

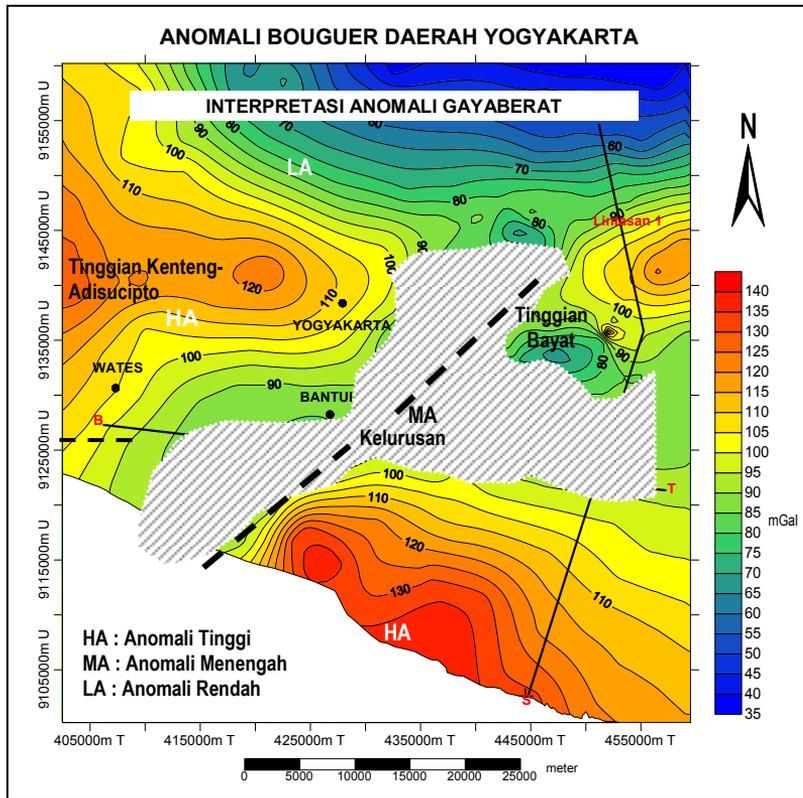
pengamatan muka airtanah sehingga dapat diketahui sejauh mana sebaran, kedalaman dan penurunan yang terjadi dan selanjutnya dapat dicari hubungan antara ketebalan lapisan yang terlikuifaksi dengan kondisi geologi setempat kaitannya untuk dapat memprediksi zona bahaya likuifaksi. Tulisan ini menyajikan kondisi kedalaman dan ketebalan lapisan tanah yang berpotensi likuifaksi dan penurunan akibat gempa bumi di daerah Patalan, Bantul yang diharapkan dapat membantu dalam memecahkan masalah dalam mendukung penyusunan rencana tata ruang di wilayah Bantul, Yogyakarta di masa mendatang, mengingat gempa bumi kemungkinan akan terjadi di wilayah ini di masa mendatang.

LOKASI PENELITIAN

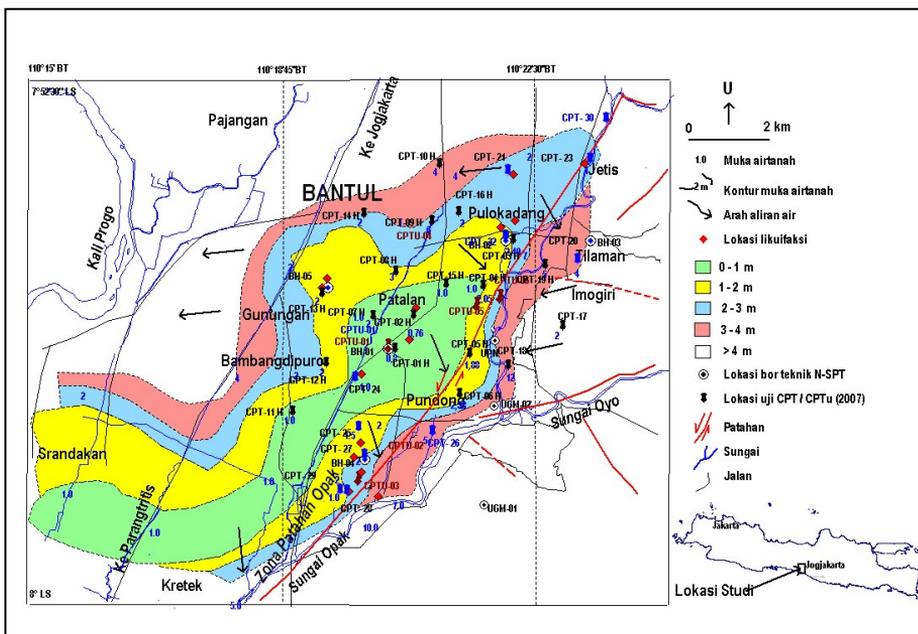
Lokasi penelitian terletak di Patalan, Bantul, Yogyakarta, dimana merupakan paparan endapan aluvium dan endapan lahar dari Merapi yang terletak pada "*Bantul Graben*" yang dibatasi oleh batuan dasar yang terdapat di bagian timur dan barat yang berumur Oligo-Miosen, tersusun oleh breksi vulkanik, andesit dan aglomerat, perulangan breksi tufa dan lempung tufaan, serpih, batulanau dan batugamping terumbu dan batugamping berlapis kalkarenit dan batupasir napalan. Daerah ini sebagian merupakan bagian dari jalur zona patahan aktif Opak yang berarah timurlaut – baratdaya (Wartono dkk, 1977). Daerah Yogyakarta merupakan wilayah dengan seismisitas cukup tinggi dan aktif dengan variasi percepatan getaran tanah maksimum yang menggambarkan pola kontur mulai 0,038 hingga 0,531 g (Gambar 1a dan b, Kirbani dkk, 2006). Data hasil pemoran air, pemoran teknik dan survei gaya berat (Mac Donald dkk, 1984, Gambar 2), menunjukkan bahwa ketebalan endapan aluvium dan lahar pada cekungan Bantul ini berkisar antara 20 sampai 200 meter bahkan di beberapa lokasi bisa lebih dari 200 meter. Sebaran muka airtanah di daerah ini umumnya didapat dari data aliran sungai, sumur penduduk, pemoran air, pemoran teknik, pengujian sondir yang menunjukkan kedalaman muka airtanah bervariasi mulai sangat dangkal hingga dangkal dengan kedalaman mulai – 0,6 hingga - 4 m bahkan ada yang mencapai >5 meter (Gambar 3).



Gambar 1. (a) Peta distribusi kegempaan dan tektonik daerah Yogyakarta (BMKG, 2006), (b) Peta variasi percepatan getaran tanah maksimum daerah Yogyakarta (Kirbani dkk, 2006).



Gambar 2. Peta anomali gaya berat Yogyakarta



Gambar 3. Peta muka airtanah daerah Patalan, Bantul, Yogyakarta

TINJAUAN PUSTAKA

Lapisan tanah yang peka terhadap kejadian likuifaksi umumnya dibentuk dalam lingkungan geologi Kuartar (Seed dan Idriss, 1971, Youd dan Perkins, 1978, Youd, 1991). Secara spesifik umumnya berhubungan pada endapan sedimen Kuartar seperti aliran sungai, lembah daratan Kuartar, sejarah pasang surut daratan, rawa, payau, estuari, pantai, endapan danau dan endapan gumuk pasir lepas. Material lapisan tanah yang dibentuk tersebut oleh proses pergerakan sehingga mengalami pemisahan dan membentuk distribusi ukuran butir seragam dalam kondisi lepas yang memungkinkan untuk terjadinya likuifaksi.

Likuifaksi hanya terjadi pada tanah jenuh, sehingga kedalaman muka air tanah akan mempengaruhi kerentanan terhadap likuifaksi. Kerentanan terhadap likuifaksi akan menurun dengan bertambah dalamnya muka airtanah, dan pengaruh likuifaksi secara langsung dapat diamati di lapangan dimana muka airtanah berada beberapa meter dari permukaan tanah. Di daerah dimana level muka air tanah berfluktuasi (berubah) secara jelas, bahaya likuifaksi juga akan berubah. Fenomena likuifaksi terjadi seiring terjadinya gempa bumi. Secara visual peristiwa likuifaksi ini ditandai munculnya lumpur pasir di permukaan tanah berupa semburan pasir (*sand boil*), rembesan air melalui rekahan tanah, atau bisa juga dalam bentuk tenggelamnya struktur bangunan di atas permukaan, penurunan muka tanah dan perpindahan lateral. Pada saat gempa terjadi, gelombang gempa merambat ke segala arah, salah satunya adalah perambatan gelombang geser yang berasal dari pusat pelepasan energi (Kramer, 1996). Bila lapisan pasir jenuh air mengalami getaran, maka massa pasir tersebut akan cenderung untuk memadat atau volumenya akan mengecil, bila dalam proses tersebut air dalam pori-pori tanah pasir tidak dapat berdrainase, maka kecenderungan pasir untuk memadat mengakibatkan kenaikan tekanan air pori, dan bila tekanan air pori meningkat terus hingga menyamai tegangan total dalam elemen tanah, maka tegangan efektifnya menjadi nol dan pasir akan kehilangan kekuatan gesernya sehingga akan berperilaku seperti cairan/lumpur.

Secara umum penyebab utama peristiwa pencairan tanah pasir saat gempa adalah

peningkatan tekanan air pori berlebihan (*excess pore water pressure*) akibat tegangan siklik (tegangan geser bolak-balik) dalam getaran tanah. Akibat struktur tanah pasir menerima tegangan geser secara berturut-turut, struktur tersebut akan mengecil volumenya atau dengan kata lain memadat, tetapi karena peristiwa ini terjadi dengan sangat cepat maka pengecilan volume dicegah karena air tidak sempat keluar dari pori-pori tanah sehingga terjadi pengalihan tegangan tersebut kepada air pori dan pengurangan tegangan kontak antara partikel tanah pasir (Seed dan Idriss, 1982).

Deformasi yang besar mengakibatkan tegangan air pori mendekati tegangan total elemen tanah pada kedalaman yang ditinjau. Secara teoritis deformasi ini tidak terbatas (terjadi pengaliran). Pada tanah pasir yang lepas maka kondisi tersebut akan lebih cepat dicapai. Proses likuifaksi dengan cara di atas dapat terjadi pada lapisan pasir dengan kombinasi antara kepadatan relatif tanah dan tegangan keliling dan getaran tertentu. Zona ini dapat terjadi di dekat permukaan maupun pada suatu kedalaman tergantung kondisi pasir dan tingkat getaran akibat gempa. Pencairan lapisan atas pasir dapat saja terjadi karena pengaliran air oleh peristiwa pencairan yang terjadi pada lapisan bawahnya.

Evaluasi potensi likuifaksi pada suatu lapisan tanah dapat ditentukan dari kombinasi dari sifat-sifat tanah (modulus geser, redaman, berat jenis, gradasi butiran, kepadatan relatif, struktur tanah), lingkungan geologi (proses pembentukan lapisan tanah, sejarah kegempaan, kedalaman airtanah) dan karakteristik gempa (intensitas gempa, durasi getaran, besar dan arah getaran). Selain masalah tersebut di atas, maka konsistensi tanah juga sangat menentukan dalam peristiwa likuifaksi. Salah satu cara untuk mengetahui konsistensi tanah adalah dengan menggunakan data CPT (Robertson dan Wride, 1989)

Menurut Robertson dan Wride (1989) evaluasi potensi likuifaksi beberapa faktor di atas tidak dapat ditentukan secara langsung, tetapi pengaruhnya dapat ditentukan ke dalam prosedur evaluasi dengan melakukan uji pembebanan siklik atau dengan mengukur karakteristik tanah dengan uji lapangan *cone penetration test* (CPT) dan *standard penetration test* (N-SPT, Blake, 1997). Prosedur perhitungan potensi likuifaksi dibagi menjadi 4 (empat) tahapan yaitu (1)

Perhitungan rasio tegangan siklik (CSR, beban gempabumi) yang dihasilkan oleh gempabumi, (2) Perhitungan rasio hambatan siklik (CRR, kekuatan tanah) berdasarkan hasil uji insitu CPT atau N-SPT, (3) Evaluasi potensi likuifaksi dengan menghitung faktor keamanan lapisan tanah granular terhadap likuifaksi faktor keamanan, perbandingan ratio dari CRR/CSR) dan (4) Perkiraan penurunan akibat likuifaksi.

Rasio tegangan siklik dihitung berdasarkan metode Seed dan Idriss (1971) yang telah dimodifikasi pada tahun 1996 (Youd,1996):

$$CSR = 0.65 \frac{\sigma_0}{\sigma_0'} a_{max} r_d$$

dimana 0.65 adalah *weighing factor* untuk menghitung siklus tegangan uniform yang dibutuhkan untuk menghasilkan kenaikan tekanan air pori yang sama dengan getaran gempabumi iregular, σ_0 total tegangan beban vertikal, σ_0' adalah tegangan beban vertikal efektif, a_{max} percepatan permukaan horisontal maksimum (dalam satuan *gravity*) dan r_d adalah koefisien pengurang tegangan. Faktor pengurang tegangan merupakan fungsi kedalaman, dan dihitung dengan menggunakan rumus-di bawah ini (Seed dan Idriss, 1971):

$$r_d = 1.0 - 0.00765 \times z \quad \text{untuk } z \leq 9.15 \text{ m}$$

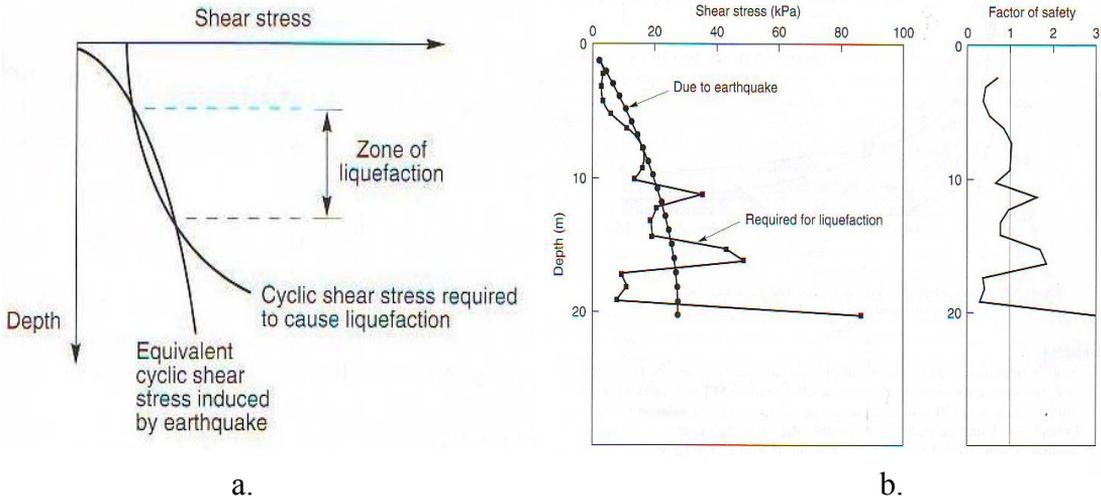
$$r_d = 1.174 - 0.0267 \times z \quad \text{untuk } 9.15 \text{ m} < z < 23 \text{ m}$$

$$r_d = 0.744 - 0.008 \times z \quad \text{untuk } 23 \text{ m} < z < 30 \text{ m}$$

$$r_d = 0.5 \quad \text{untuk } z \geq 30 \text{ m}$$

Dengan maksud alasan praktis dan yang kritis dengan uji lapangan, saat ini telah berkembang

penentuan besaran tegangan geser siklik (Robertson dan Wride,1989). Tegangan geser yang diperlukan untuk mengakibatkan likuifaksi ini kemudian diplot sebagai fungsi dari kedalaman. Tegangan geser yang terjadi di lapangan akibat gempa (τ_{ave}) terhadap tegangan geser yang diperlukan untuk mengakibatkan likuifaksi (τ_1) sebagai tegangan geser lawan. Zona dimana harga $\tau_{ave} > \tau_1$ merupakan daerah yang berpotensi mengalami likuifaksi saat gempa. Proses ini ditunjukkan seperti pada Gambar 4a. Perhitungan tegangan geser akibat gempa (τ_{ave}) dan tegangan geser yang diperlukan untuk mengakibatkan likuifaksi (τ_1) terhadap kedalaman dilakukan untuk mendapatkan faktor keamanan terhadap likuifaksi pada tiap kedalaman lapisan (Gambar 4b). Perhitungan penurunan setiap lapisan tanah jenuh air dihasilkan dari perkalian antara regangan volumetrik dan ketebalan setiap lapisan tanah (Ishihara, 1993). Kondisi tatanan lingkungan geologi yang berada pada cekungan Bantul bagian atas berupa endapan aluvium dan sedimen lahar Merapi dengan sebaran distribusi muka airtanah yang dangkal, yang terletak pada jalur zona Patahan Opak yang disertai kegempaan yang cukup tinggi (Wartono dkk, 1977 ; Kirbani dkk, 2006) ini memungkinkan terjadinya fenomena likuifaksi di beberapa lokasi tertentu. Dengan memperhatikan kondisi lingkungan geologi yang demikian, maka akan mudah memicu terjadinya likuifaksi sehingga diperlukan penelitian untuk mengungkap keberadaan sebaran likuifaksi di dalam lapisan tanah yang dapat digunakan dalam mitigasi dan memprediksi bahaya likuifaksi.



Gambar 4. Metode untuk menentukan potensi likuifaksi (Seed dan Idriss, 1971)

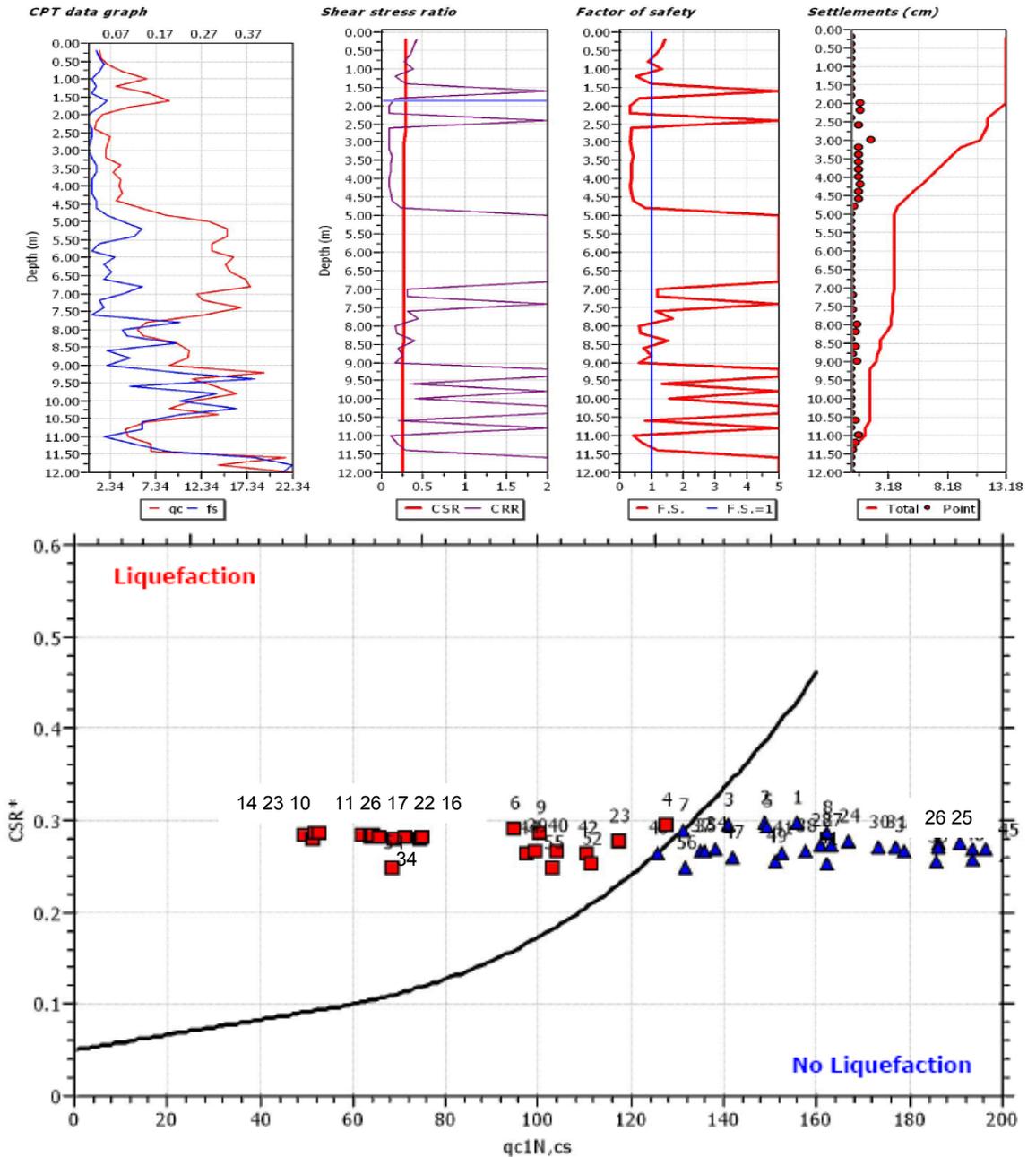
METODA

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi investigasi geoteknik bawah permukaan terdiri dari pemboran teknik pada 5 titik dengan kedalaman masing-masing 20 meter disertai uji N-SPT pada setiap kedalaman 1,5 m, uji penetrasi konus (CPT) sebanyak 30 titik hingga kedalaman maksimum 20 meter yang tersebar di lokasi penelitian, dan pengukuran muka airtanah pada sumur-sumur penduduk di lokasi-lokasi yang mengalami likuifaksi dan tidak.

Identifikasi potensi likuifaksi menggunakan data CPT dan CPTu yang merupakan salah satu cara untuk mengetahui konsistensi lapisan tanah terhadap potensi likuifaksi (Robertson dan Campanella, 1985). Perhitungan potensi likuifaksi dilakukan berdasarkan data parameter geoteknik *cone penetration test* (CPT), *standard penetration test* (N-SPT) dan kegempaan yang diasumsikan nilai percepatan puncak di permukaan (p.g.a) di daerah Yogyakarta kurang lebih rata-rata sebesar 0,25 g dengan skenario

gempabumi skala 6,2 SR, jarak sumber gempa kurang lebih 10 km di sekitar pantai Selatan Parangtritis dengan muka air tanah maksimum diasumsikan mencapai permukaan tanah akibat getaran gempabumi menggunakan perangkat lunak LiqIT yang dikembangkan oleh Robertson (1988).

Uji luaran dan ketelitian berupa grafik hubungan antara rasio tegangan siklik (CSR) akibat beban gempa dan rasio hambatan siklik (CRR) akibat kekuatan tanah serta faktor keamanan lapisan tanah yaitu rasio perbandingan CRR/CSR. Faktor keamanan (FK) yang digunakan dalam studi ini menggunakan batasan $FK > 1,2$ untuk mengindikasikan lapisan tanah aman terhadap likuifaksi, dan $FK < 1,2$ untuk mengindikasikan lapisan tanah tidak aman terhadap likuifaksi. Grafik hasil analisis potensi likuifaksi pada satu titik CPT menggunakan metode Robertson dan Wride (1989) dapat dilihat pada Gambar 5 yang menunjukkan kedalaman dan ketebalan lapisan tanah yang terlikuifaksi dan penurunan tanah totalnya.



Gambar 5. Grafik hasil analisis potensi likuifaksi yang memperlihatkan kedalaman dan ketebalan lapisan tanah yang terlikuifaksi dan penurunan tanah total berdasarkan data CPT menggunakan metode Robertson dan Wride (1989).

HASIL DAN DISKUSI

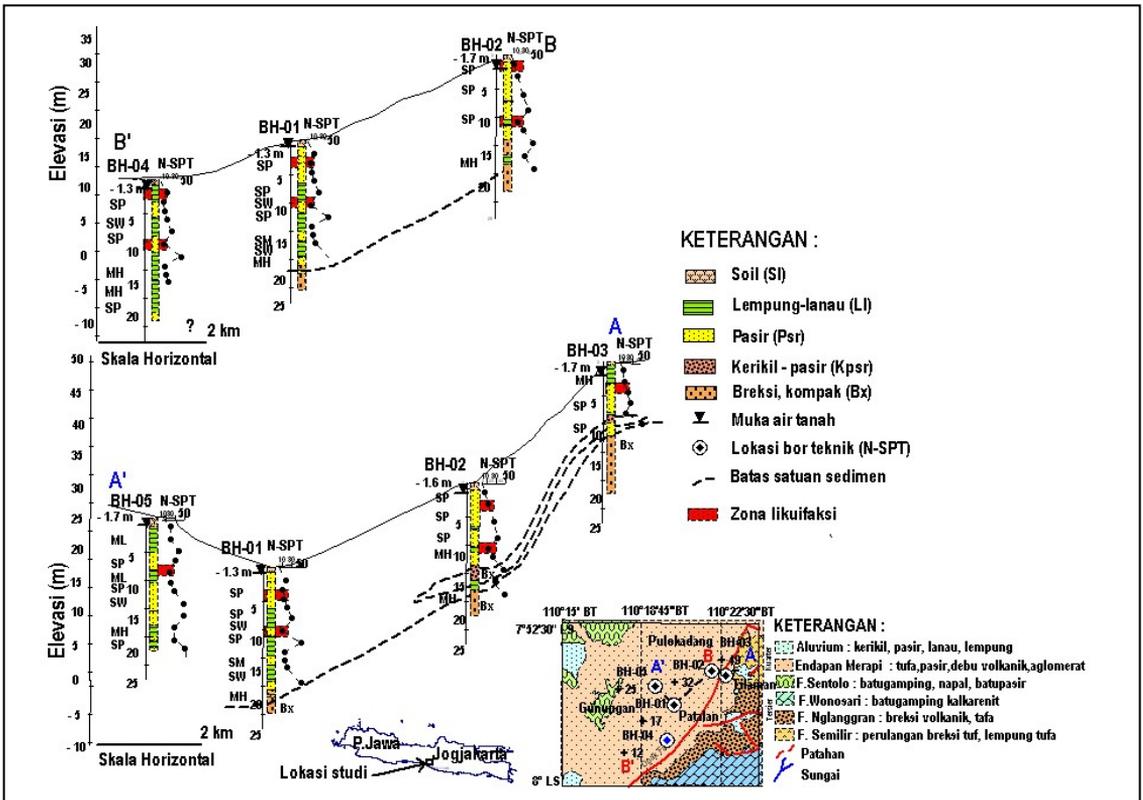
Geologi Bawah Permukaan

Penampang geologi bawah permukaan menunjukkan bahwa kondisi stratigrafi bawah permukaan dataran aluvium ini dicirikan oleh perulangan satuan pasir yang cukup dominan dengan ukuran butiran mulai halus hingga kasar, lanau, lempung di beberapa tempat campuran pasir - kerikil dan breksi. Perulangan lapisan di daerah ini, menunjukkan bahwa daerah ini setidaknya telah terjadi proses sedimentasi yang berulang-ulang akibat pengangkatan dan penurunan baik oleh tektonik ataupun oleh proses sedimentasi pada saat pengendapan masa lalu pada cekungan Bantul.

Perulangan perlapisan satuan tanah/batuan yang bervariasi ini dicirikan oleh siklus endapan pasir

yang lepas baik berukuran halus hingga kasar dengan ketidakmenerusan lapisan lanau dan lempung yang saling membaji/interfingering di beberapa tempat (Gambar 6).

Gambaran tingkat konsistensi kepadatan lapisan tanah sedimen dari atas hingga bawah dapat mencerminkan tingkat kepadatannya yang dicirikan oleh material lepas hingga agak padat (nilai N-SPT < 10), material yang agak padat – padat (nilai N-SPT 10 – 30) dan material padat – sangat padat (nilai N-SPT > 30; Mayerhoff, 1956). Dengan demikian gambaran tingkat konsistensi kepadatan lapisan tanah di daerah ini secara vertikal hingga kedalaman 25 meter yang cukup dominan cenderung material pasir lepas hingga agak padat.



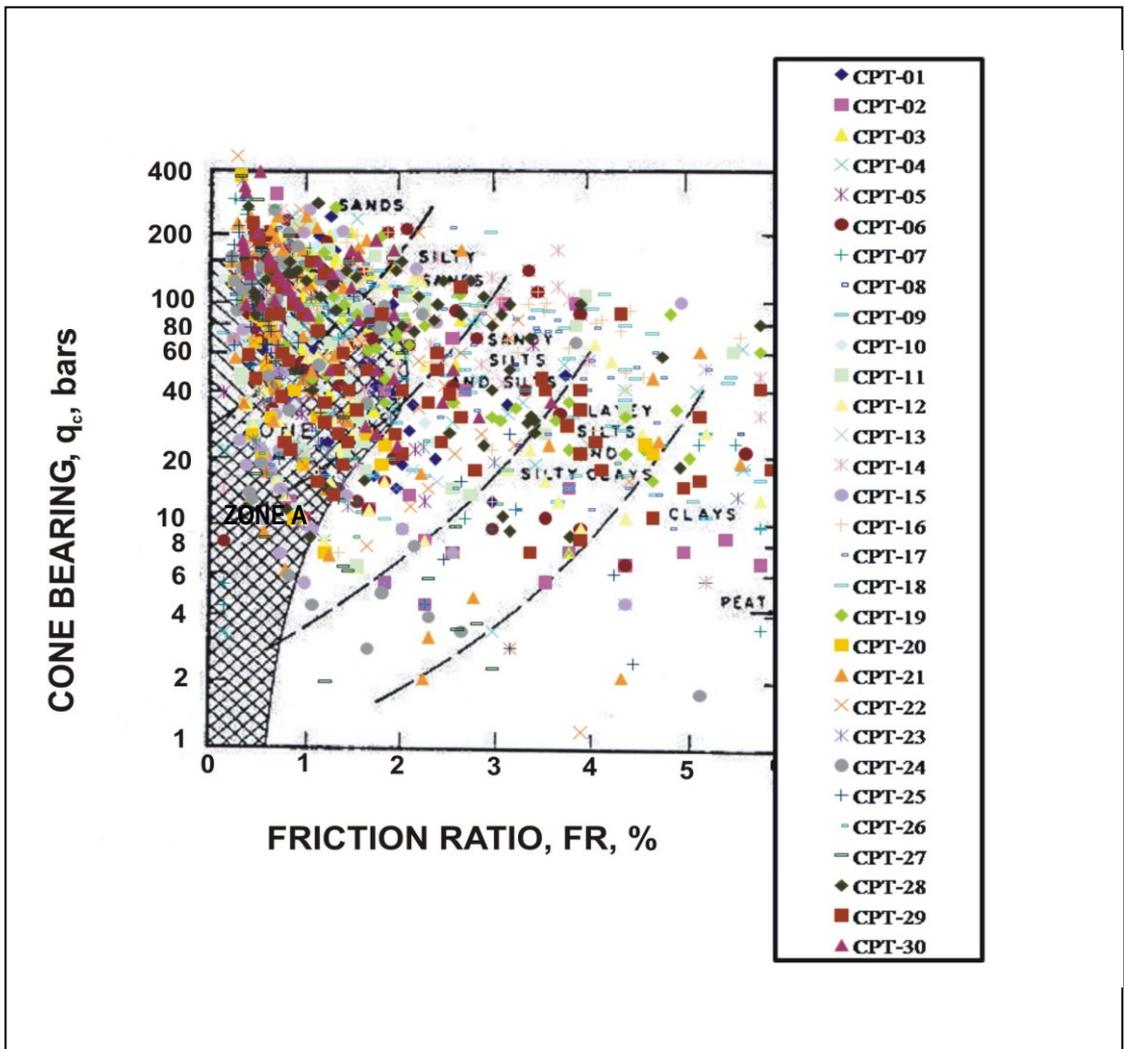
Gambar 6. Penampang stratifikasi bawah permukaan, nilai N-SPT dan zona likuifaksi daerah Patalan, Bantul, Yogyakarta berdasarkan perhitungan dengan data N-SPT (Blake, 1997).

Potensi Likuifaksi dan Penurunan

Gambar 7 menunjukkan sebaran hubungan antara nilai tahanan konus dan *friction ratio* dari data uji CPT di semua lokasi uji memperlihatkan bahwa beberapa bagian dari lapisan tanah pasir di wilayah Patalan, Bantul berada di dalam Zona A, menunjukkan bahwa lapisan pasir tersebut berpotensi terjadi likuifaksi (Robertson dan Campanella, 1985). Hal ini didukung juga dari hasil korelasi penampang bawah permukaan, dimana lapisan pasir lepas di daerah Patalan,

Bantul cukup dominan pelamparannya baik secara vertikal dan horisontal.

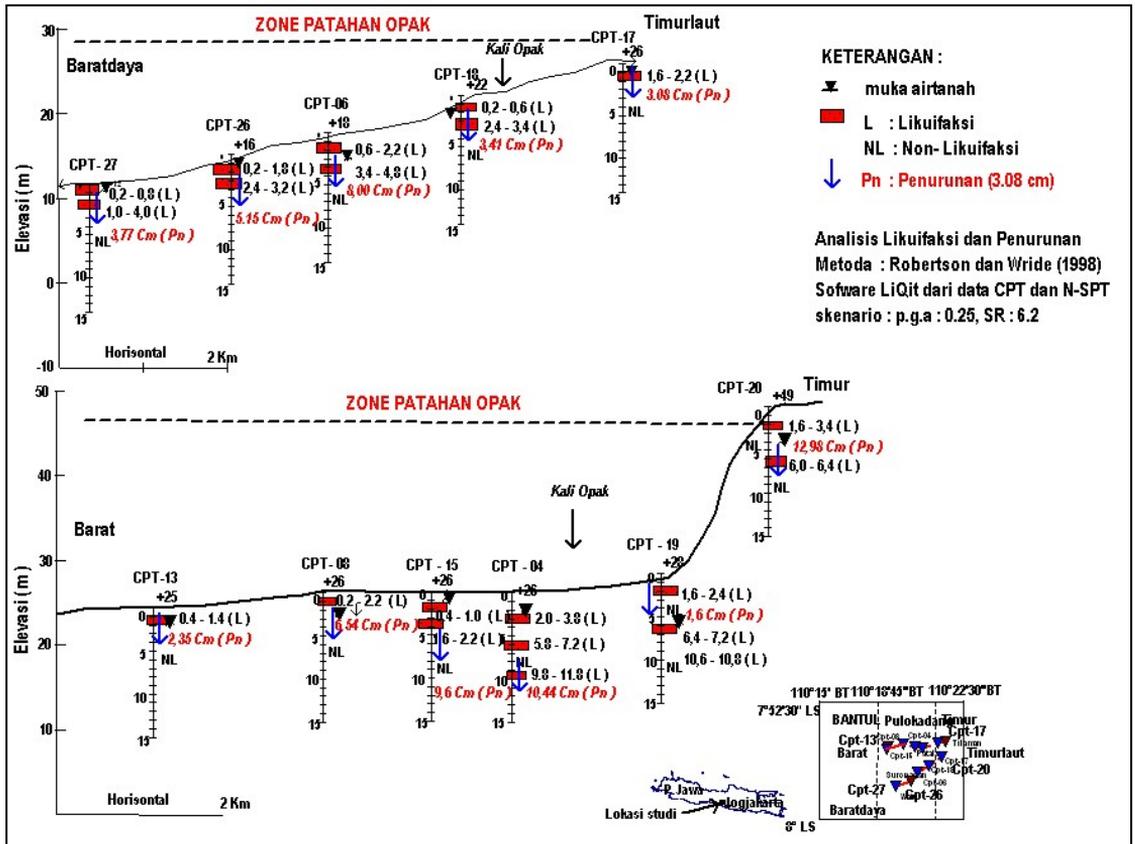
Hasil analisis potensi likuifaksi berdasarkan data nilai CPT/CPTu dan N-SPT seperti pada Gambar 8, menunjukkan bahwa hampir semua titik uji mengindikasikan peristiwa likuifaksi pada lapisan lanau - pasir yang terbentang pada kedalaman kisaran 0,0 - 12,0 m dengan ketebalan antara 0,2 - 5,2 m dengan muka airtanah antara 0,76 - 5,7 m.



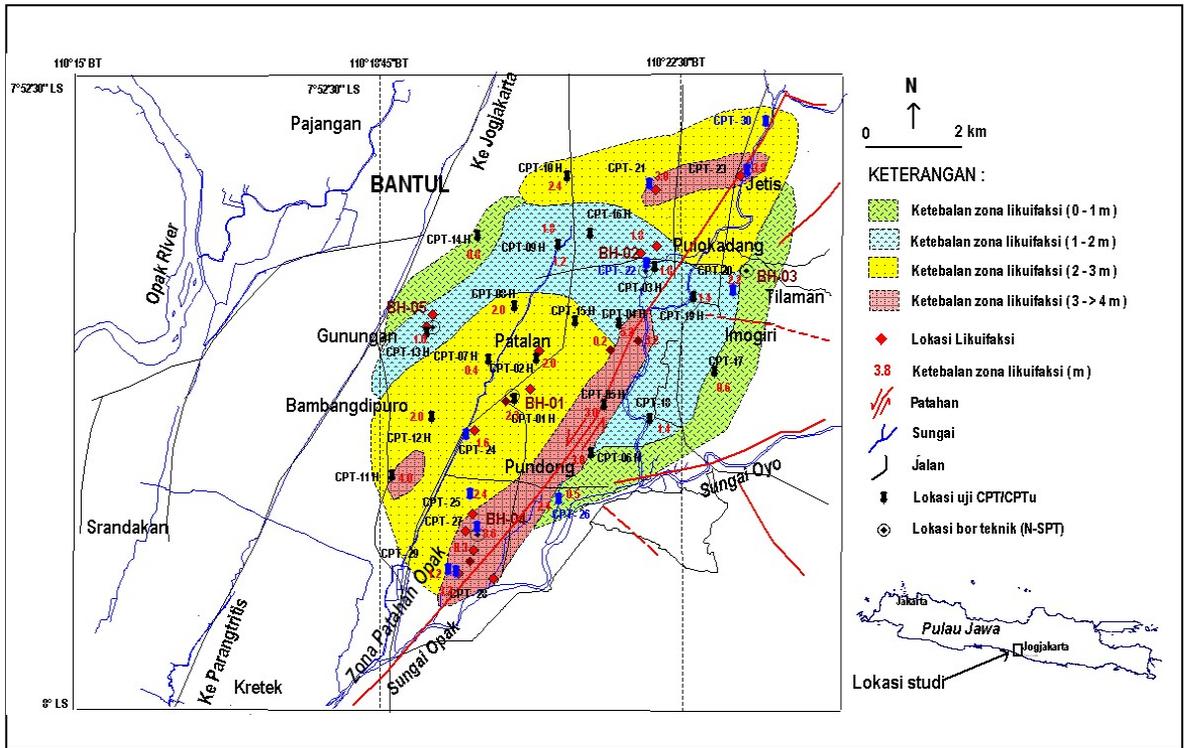
Gambar 7. Identifikasi potensi likuifaksi berdasarkan data CPT (Robertson dan Campanella, 1985)

Gambaran ketebalan zona likuifaksi ditunjukkan pada Gambar 9, dimana di bagian tengah daerah penelitian lintasan titik CPT 04, 05, 06, 11, 27, 28 daerah Pundong, Bambangdipuro dan CPT 21, 23 Jetis menunjukkan zona ketebalan likuifaksi yang cukup tebal mencapai kisaran 3 - 5.2 meter. Hal ini didukung pula oleh kenampakan di lapangan sewaktu kejadian gempa bumi di beberapa lokasi munculnya

semburan pasir, rekahan lateral, penurunan permukaan tanah, sumur gali yang tertutup pasir dan mengalami kerusakan yang cukup parah. Dengan demikian daerah yang cukup tebal zona likuifaksi diduga adalah merupakan bagian dari jalur zona Patahan Opak. Zona likuifaksi dan penurunan ini berada pada lapisan sedimen bagian atas yang mengisi pada cekungan Bantul di sekitar Patahan Opak.



Gambar 8. Penampang kedalaman distribusi zona likuifaksi pada beberapa titik CPT di daerah Patalan, Bantul, Yogyakarta.



Gambar 9. Peta zona ketebalan likuifaksi di daerah Patalan, Bantul, Yogyakarta

KESIMPULAN

Hasil perhitungan analisis potensi likuifaksi dan penurunan di daerah ini menunjukkan bahwa hampir semua titik pengujian mengindikasikan terjadinya likuifaksi dan penurunan. Zona likuifaksi terutama terkonsentrasi di bagian tengah daerah studi pada kedalaman kisaran 0,2 - 12,8 m dengan ketebalan antara 0,2 - 5,2 m serta penurunan antara 0,21 cm hingga 12,98 cm pada daerah Patalan, Bantul yang merupakan bagian jalur patahan Opak yang berarah timurlaut – baratdaya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI yang telah memberikan kesempatan dan kepercayaan untuk melakukan penelitian ini. Ucapan yang sama juga disampaikan kepada seluruh pengelola anggaran DIPA tahun anggaran 2006, 2007, juga

kepada rekan-rekan teknis GTKK yang telah membantu terlaksananya kegiatan di lapangan dan laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

Blake, T.F., 1997. “Formula (4), Summary Report of Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils”. Youd, T.L., and Idriss, I.M., eds. *Technical Report NCEER*, 97-0022.
<http://www.bmg.go.id/60gempa.bmkg?Jenis=URL&IDS=9279258135813849788>
<http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2007/us2007hmas/>
 Ishihara, K. 1993. “Liquefaction and Flow Failures During Earthquakes.” *Geotechnique*, Vol. 43, No. 3, pp. 351-415.

- Kirbani, S.B, Prasetya, T, Widigdo, F.M., 2006. "Percepatan Getaran Tanah Maksimum Daerah Istimewa Yogyakarta 1943 – 2006", *Jurnal Geofisika, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia*, Edisi 2006, No.1, hal. 19 – 22.
- Kramer, S.L., 1996. *Geotechnical earthquake engineering*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 653.
- Mac Donald, SM, and Partners in association with Hunting Technical Service, Ltd, 1984. *Ground Water Resource Study, Proyek Pengembangan Airtanah (P2AT), Yogyakarta (Technical Report)*.
- Mayerhoff, G.G., 1956. Penetration test and bearing capacity of cohesionless soils, *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE*, 28 (1).
- Newcomb, K.R., McCann, W.R., 1987. Seismic history and seismotectonic of the Sunda arc, *J. Geophys. Res.* 92, 421 - 439.
- Robertson, P.K., dan Campanella, R.G., 1985. "Liquefaction of Sands Using the Cone Penetration Test", *Journal of the Geotechnical Division, ASCE*, Vol.111.No.3, p. 298 – 307.
- Robertson, 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.
- Robertson, P.K., 1988, *LiqIT, v.4.7.6.1, Soil Liquefaction Assesment Software*
- 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.
- Seed H.B, and Idriss I.M.1982. "Ground motions and soil liquefaction during earthquakes", *EERI Monograph*.
- Wartono, R., Sukandarrumidi., Rosidi, H.M.D., 1977. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan, Bandung*.
- Youd TL, Perkins DM., 1978. Mapping liquefaction induced ground failure potential. *J Geotech Eng Div, ASCE* 104, 4: 443 - 446.
- Youd TL, 1991. Mapping of earthquake - induced liquefaction for seismic zonation In : *Proceedings of 4th International Conference on Seismic Zonation, Stanford, California* 1 : 231 - 238.