

## **Fasies sedimen Kuartar berpotensi likuifaksi Pesisir Kota Padang, Provinsi Sumatra Barat berdasarkan data inti bor dan CPTu**

### *Facies and Quaternary Sediments in Relation to Liquefaction Potential at the Coastal City of Padang, West Sumatra Province, based on Core and CPTu's Data*

Prahara Iqbal<sup>1</sup>, Adrin Tohari<sup>2</sup>, Imam A. Sadisun<sup>3</sup>, dan Dwiharso Nugroho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UPT LUTPMB LIPI,

Pekon Padang Dalam, Liwa, Lampung Barat, 34873

<sup>2</sup>Puslit Geoteknologi LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan,  
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung

#### **ABSTRAK**

Kajian fasies dan sifat fisik sedimen Kuartar kaitannya dengan potensi likuifaksi di daerah Pesisir Kota Padang dan sekitarnya dilakukan dengan tujuan mendapatkan hubungan antara fasies dan karakteristik fisik sedimen Kuartar terhadap potensi likuifaksinya. Metode yang digunakan adalah observasi inti bor dan pola kurva CPTu untuk menentukan fasies yang berkembang, analisis laboratorium, dan analisis potensi likuifaksi untuk mengetahui karakteristik fisik setiap fasies. Berdasarkan asosiasi litologi, pengamatan pola kurva CPTu, analisis laboratorium, dan analisis potensi likuifaksi, terdapat tiga fasies yang berkembang di daerah penelitian dengan potensi likuifaksi yang berbeda. Fasies pasir fluvial memiliki potensi likuifaksi yang lebih tinggi daripada fasies pasir pematang pantai dan fasies lempung rawa, sedangkan fasies lempung rawa memiliki potensi likuifaksi yang paling rendah di antara fasies-fasies tersebut.

**Kata Kunci:** Fasies sedimen Kuartar, CPTu, Likuifaksi, Kota Padang

#### **ABSTRACT**

*The study of Facies and physical property of Quaternary sediments and its relationship with liquefaction potential was conducted at the coastal area of Padang city, West Sumatra Province in order to get the relationship between facies and physical characteristics of the Quaternary sediments and its liquefaction potential. The method used are core and CPTu patterns observations to determine the developed facies, laboratory analysis, and liquefaction potential analysis to determine the physical characteristics of each facies. Based on lithological associations, CPTu pattern observations, laboratory analysis, and liquefaction potential analysis, there are three facies that develop at the research areas with different liquefaction potential. Fluvial sand facies has*

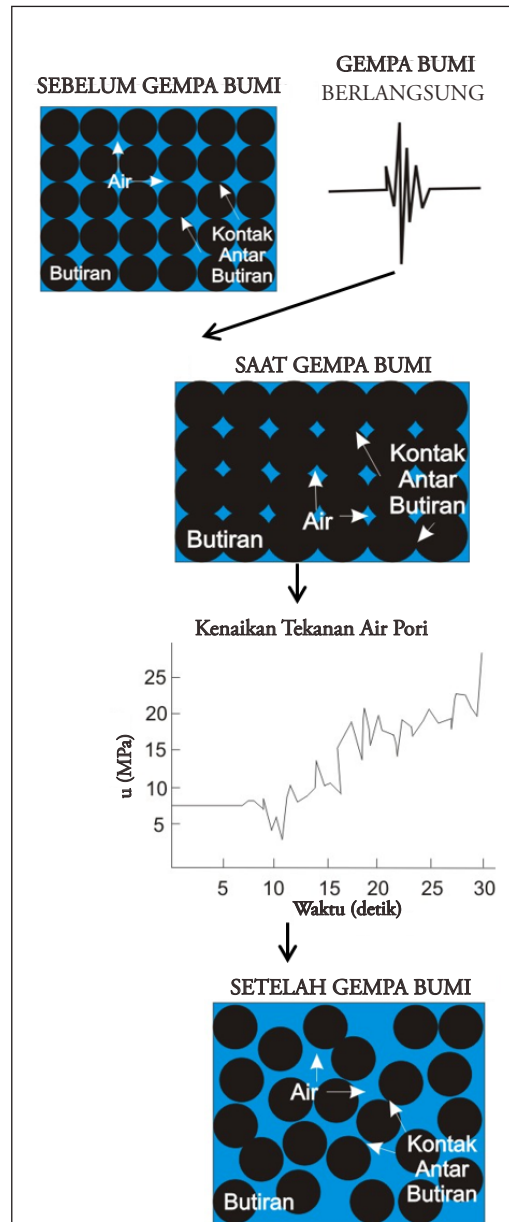
*greater liquefaction potential than the beach ridge sand facies and marsh clay facies, while marsh clay facies has the smallest one among two facies.*

**Keyword:** *Facies and Quarternary sediments Kuarter, CPTu, liquefaction, city of Padang*

## PENDAHULUAN

Likuifaksi adalah fenomena berubahnya sifat sedimen dari keadaan padat menjadi keadaan cair yang disebabkan oleh tegangan siklik (tegangan geser bolak-balik) pada waktu terjadi gempa bumi (Seed, 1982). Proses tersebut terjadi karena hilangnya kekuatan sedimen akibat tekanan air pori berlebihan sehingga tegangan sedimen total hampir seluruhnya digantikan oleh tekanan air pori (Gambar 1). Syarat terjadinya peristiwa likuifaksi harus memenuhi beberapa kriteria, yaitu lapisan sedimennya berupa pasir (non kohesif), bersifat terurai atau gembur (tidak padat), berada di bawah muka air tanah atau jenuh air, muka air tanah dangkal, serta gempa buminya harus kuat dan lama (Juang dan Jiang, 2000).

Lapisan sedimen yang rawan terhadap likuifaksi berada dalam daerah geologi yang relatif terbatas (Youd, 1992), umumnya terbentuk di dalam lingkungan geologi Kuarter (Seed dan Idris, 1971). Lingkungan pengendapan atau fasies suatu lapisan sedimen, hidrologi, dan umur lapisan mempunyai efek kerawanan terhadap likuifaksi (Youd dan Hoose, 1978). Gradasi butiran dan ukuran butir sedimen turut mempengaruhi tingkat kerawanan likuifaksi. Sedimen bergradasi buruk dengan ukuran butir halus akan lebih mudah mengalami likuifaksi dibandingkan dengan sedimen bergradasi baik dengan ukuran butir kasar (Tsuchida, 1970; Ishihara, 1985).



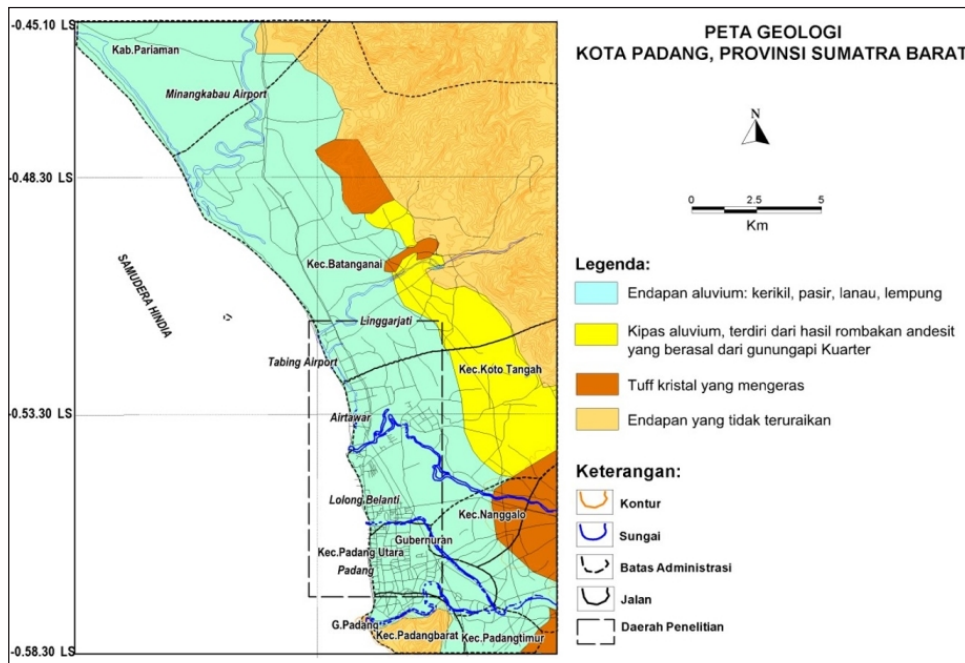
Gambar 1. Mekanisme likuifaksi akibat gempa bumi (modifikasi dari Seed, 1982).

Pesisir Kota Padang, Provinsi Sumatra Barat dipilih menjadi daerah penelitian karena secara geologi daerah ini terbentuk oleh sedimen yang berumur Kuartar dengan susunan lapisan pasir kerikil - lempung, lanau, dan pasir yang memiliki ketebalan 5 m sampai 200 m serta memiliki kedalaman muka air tanah yang dangkal (Gambar 2 dan 3) (Kastowo *et al.*, 1996; Tohari *et al.*, 2006). Selain itu, Pesisir Kota Padang merupakan wilayah yang memiliki kerawanan bahaya gempa bumi yang tinggi karena wilayah ini berada + 250 km sebelah timur zona subduksi Sumatra yang bergerak sekitar 40 mm sampai 70 mm per tahun (Natawidjaja *et al.*, 2010). Oleh karena hal tersebut, Pesisir Kota Padang rawan akan bencana geologi, termasuk likuifaksi.

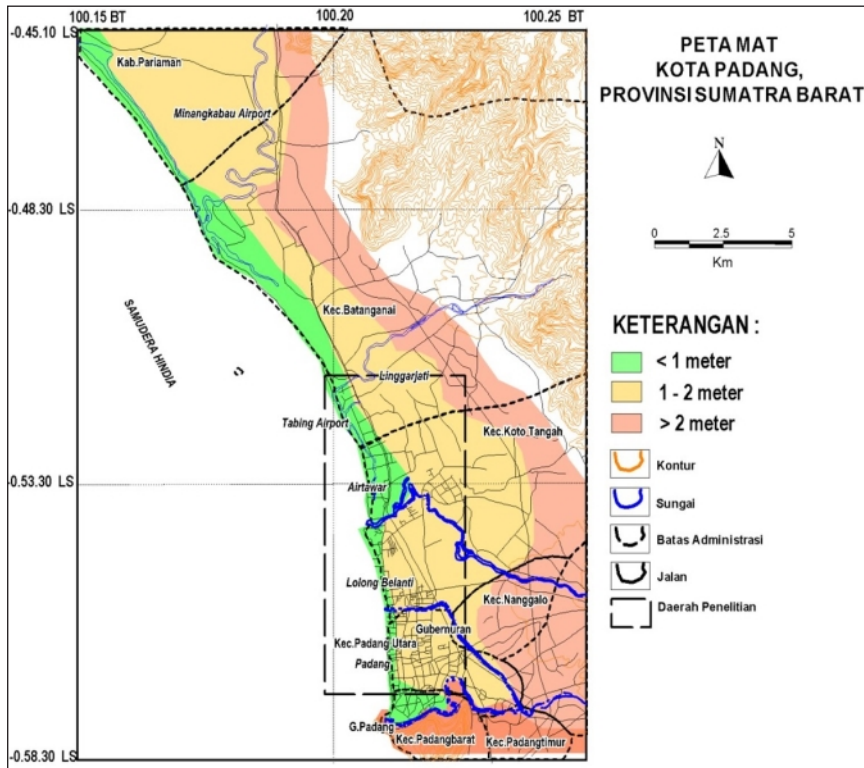
## METODOLOGI

Metodologi penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan (Gambar 4), yaitu: 1) studi literatur, 2) pengumpulan data, dan 3) analisis dan integrasi data. Studi literatur meliputi kajian publikasi ilmiah baik nasional dan internasional, kajian *text book*, dan kajian data sekunder yang relevan dengan topik penelitian. Kegiatan pengumpulan data meliputi pengumpulan data primer yang berupa peta lokasi pengeboran, data inti bor, data N-SPT, data CPTu, dan data kedalaman muka air tanah (MAT). Data yang telah terkumpul kemudian dianalisis dan diintegrasikan.

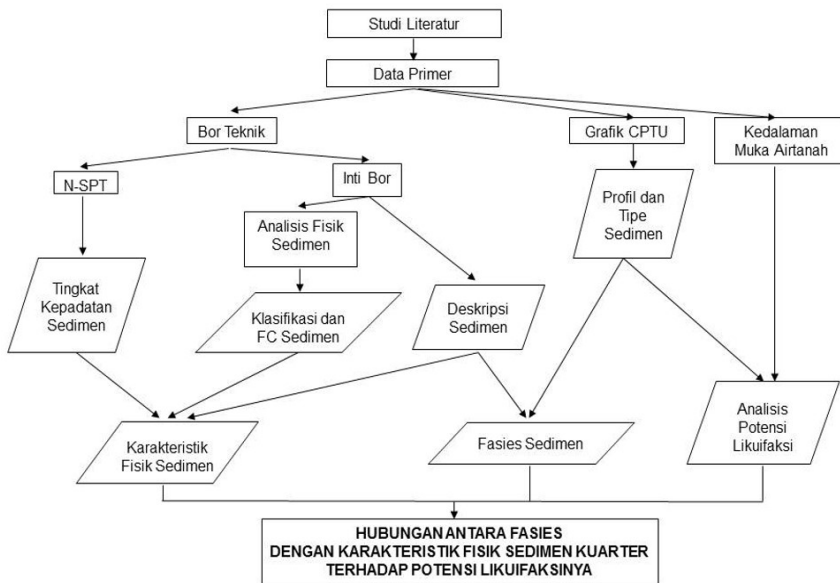
Analisis data dilakukan dengan analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan



Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian (Kastowo *et al.*, 1996).



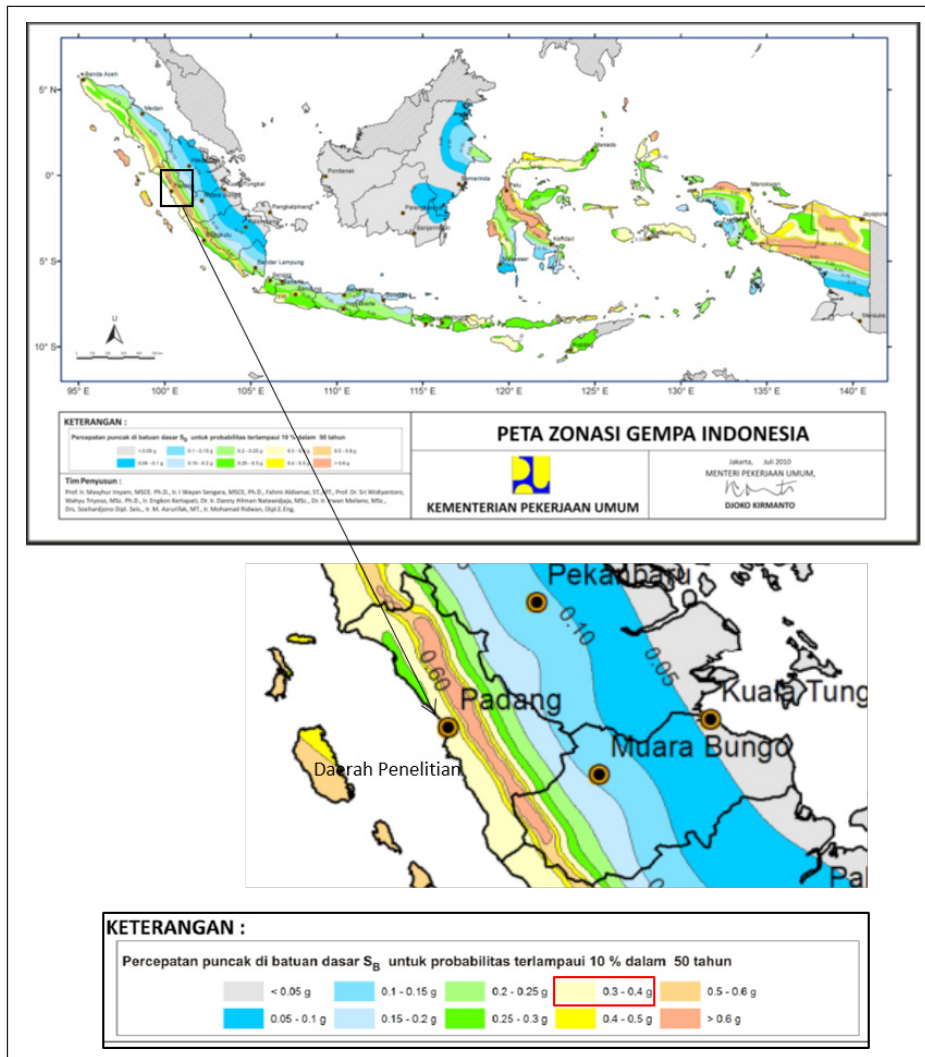
Gambar 3. Peta muka air tanah daerah penelitian (Tohari *et al.*, 2006).



Gambar 4. Bagan alir penelitian.

untuk menentukan fasies yang berkembang di daerah penelitian dengan cara observasi inti bor dan pengamatan pola kurva CPTu, sedangkan analisis kuantitatif meliputi analisis laboratorium dan analisis potensi likuifaksi yang memanfaatkan perangkat lunak komputer. Analisis laboratorium meliputi analisis karakteristik fisik sedimen (berat jenis, batas-batas

Atterberg, analisis ukuran butir, dan klasifikasi sedimen) serta analisis kandungan butir halus (FC). Analisis potensi likuifaksi dilakukan dengan menggunakan data distribusi ukuran butir, gempa bumi terakhir pemicu likuifaksi, PGA regional (Irsyam *et al.*, 2010) (Gambar 5), CPTu, kandungan butir halus, dan kedalaman MAT (Tabel 1). Ukuran butir sedimen digu-



Gambar 5. Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (Irsyam *et al.*, 2010).

Tabel 1. Kedalaman muka air tanah berdasarkan CPTu

No Uji	Lokasi	Kedalaman MAT (m)
CPTU 19	Linggarjati, Kecamatan Batanganai	1
CPTU 20	Lolong Belanti, Kecamatan Koto Tengah	1
CPTU 21	Airtawar, Kecamatan Koto Tengah	1

nakan untuk melihat distribusi ukuran butir yang berpotensi likuifaksi berdasarkan grafik ukuran butir Tsuchida (1970). Data gempa bumi terakhir pemicu likuifaksi, PGA regional, CPTu, kandungan butir halus, dan kedalaman MAT dibutuhkan untuk melakukan perhitungan potensi likuifaksi yang dibagi menjadi empat tahap:

1. Perhitungan rasio tegangan siklik (CSR, beban gempa bumi) yang dihasilkan oleh gempa bumi berdasarkan Metode Seed (1971).
2. Perhitungan rasio hambatan siklik (CRR, kekuatan sedimen) berdasarkan CPTu. Perhitungan ini dilakukan menggunakan Metode Suzuki *et al.* (1997).
3. Perhitungan faktor keamanan lapisan sedimen terhadap likuifaksi (FK, rasio dari CRR/CSR). FK yang digunakan minimal 1,0. Nilai tersebut dipakai karena mencerminkan keadaan seimbang antara kekuatan sedimen dengan kekuatan gempa bumi.
4. Evaluasi potensi likuifaksi berdasarkan perhitungan IL (indeks likuifaksi) yang akan berkorelasi dengan nilai FK (Iwasaki *et al.*, 1978). Berdasarkan perhitungan tersebut akan menghasilkan nilai IL yang dapat mencerminkan tiga kategori potensi likuifaksi, yaitu:

0 : Tidak terjadi likuifaksi

0 –5 : Potensi likuifaksi rendah

5 –15 : Potensi likuifaksi tinggi

>15 : Potensi likuifaksi sangat tinggi

Analisis potensi likuifaksi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak komputer LiqIT v4.7.7.1 (Geologismiki, 2006).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

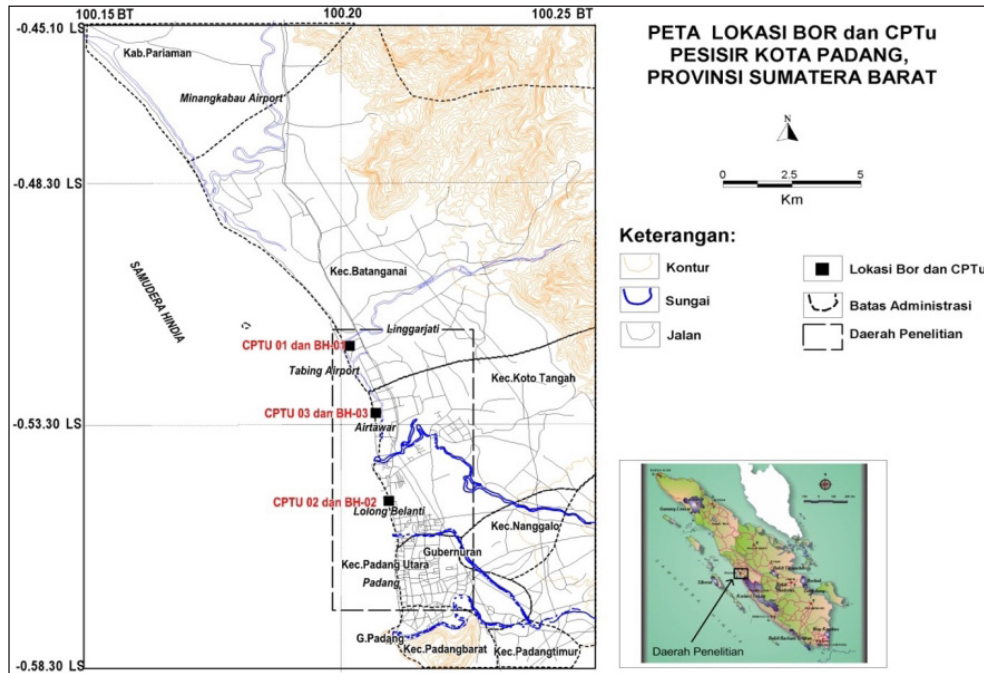
### Fasies yang berkembang

Interpretasi kualitatif dilakukan pada tiga inti bor dan tiga kurva CPTu yang berada di daerah penelitian (Gambar 6) untuk menentukan fasies apa saja yang berkembang, yang kemudian akan menjadi objek penelitian. Tiga CPTu (CPTu 01 - CPTu 03) diikat dengan tiga bor (BH 01 - BH 03) untuk membantu analisis fasies berdasarkan pengamatan pola kurva CPTu. CPTu dan Bor dilakukan sampai dengan kedalaman + 30 m. Berdasarkan asosiasi litologi yang hadir serta pengamatan pola kurva CPTu, terdapat tiga fasies yang berkembang di daerah penelitian. Ketebalan, jenis sedimen, serta sifat fisik sedimen turut membedakan ketiga fasies tersebut.

### Fasies Pasir Fluvial

Berdasarkan ciri litologinya, fasies ini dicirikan oleh pasir berukuran sedang sampai sangat halus, terpilah sedang sampai baik, membandar





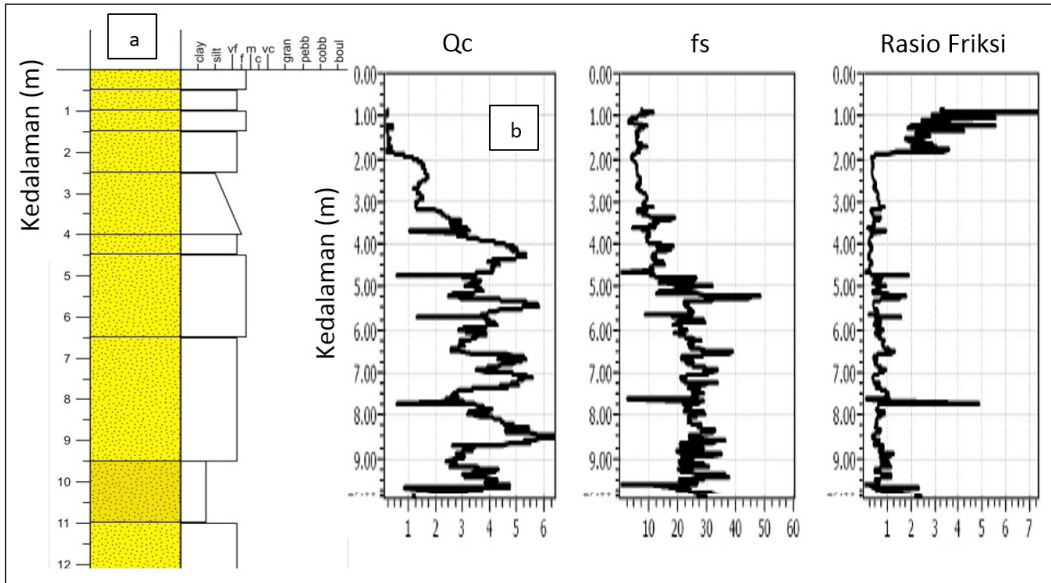
Gambar 6. Peta lokasi bor dan CPTu daerah penelitian.

tanggung sampai sangat membundar, memiliki tingkat kepadatan sangat lepas sampai agak padat, tidak mengandung pecahan cangkang fauna laut, ketebalan + 12 m, dan jenis sedimen yang berkembang adalah GW, SP, dan SM dengan kandungan butir halus (FC) berkisar 7-37%. (Gambar 7). Secara fisik, fasies pasir fluvial memiliki N-SPT yang bervariasi, berkisar 2-15 (sangat lepas sampai agak padat). Berdasarkan pengamatan pola kurva CPTu, fasies ini dicirikan oleh bentuk kurva tidak rata (Serra, 1985; Walker dan James, 1992) dengan nilai  $Q_c$  1-20 MPa (Gambar 7).

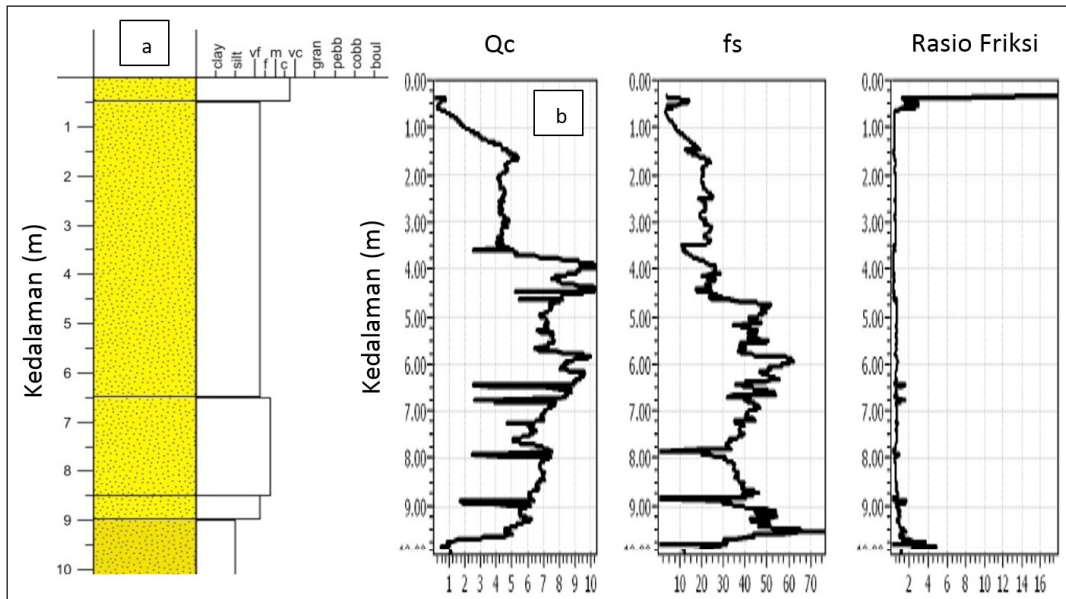
### ***Fasies Pasir Pematang Pantai***

Fasies pasir pematang pantai secara umum disusun oleh pasir berukuran sangat kasar sampai

sangat halus, terpilah buruk sampai baik, bentuk butir menyudut tanggung sampai sangat membundar, dan memiliki tingkat kepadatan lepas sampai agak padat. Fasies ini mengandung pecahan cangkang fauna laut dengan ukuran 1-2 mm, memiliki ketebalan + 11 m, jenis sedimen yang berkembang lebih bervariasi daripada fasies pasir fluvial, yaitu GW, SP, SW, dan SM dengan kandungan butir halus berkisar 0,1-36% (Gambar 8 dan 9). Fasies pasir pematang pantai memiliki N-SPT yang bervariasi dan lebih besar daripada fasies pasir fluvial, berkisar 4-25 (lepas sampai agak padat). Berdasarkan pengamatan pola kurva CPTu, fasies ini dicirikan oleh bentuk kurva mengkasar ke atas (Serra, 1985; Walker dan James, 1992) dengan nilai  $Q_c$  2-25 MPa (Gambar 8 dan 9).

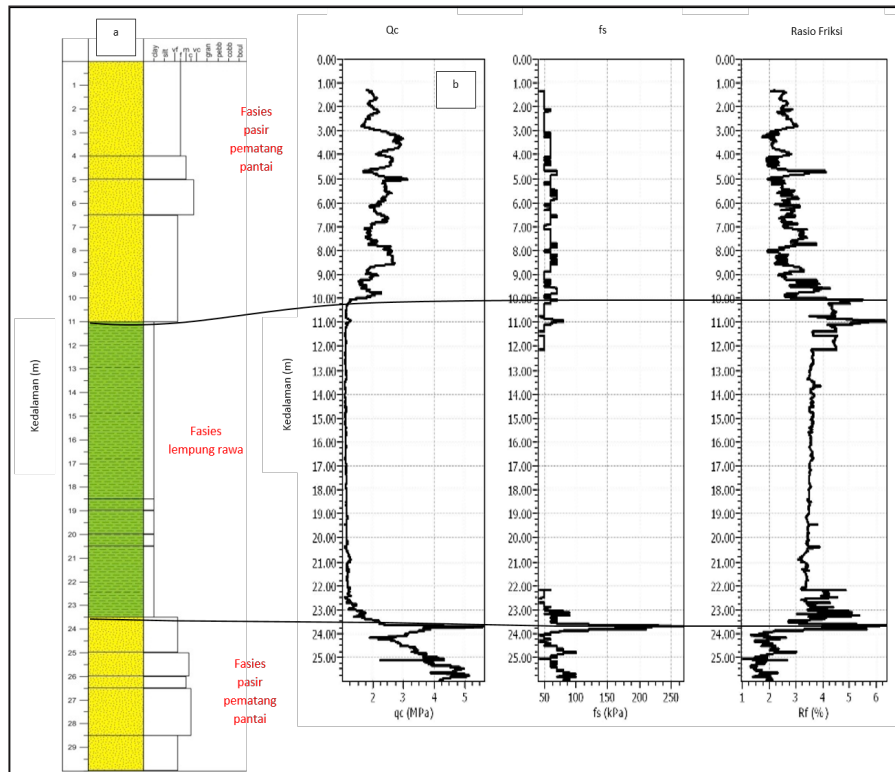


Gambar 7. Kesebandingan antara BH 01 (a) dengan CPTu 01 (b) untuk penentuan fasies pasir fluvial.



Gambar 8. Kesebandingan antara BH 02 (a) dengan CPTu 02 (b) untuk penentuan fasies pasir pematang pantai.





Gambar 9. Kesebandingan antara BH 03 (a) dengan CPTu 03 (b) untuk penentuan fasies pasir pematang pantai.

### ***Fasies Lempung Rawa***

Fasies lempung rawa berbeda dengan fasies pasir fluvial dan fasies pasir pematang pantai. Secara litologi fasies ini disusun oleh lempung, lunak sampai keras, dan mengandung banyak pecahan cangkang fauna laut dengan ketebalan + 19,5 m (Gambar 10). Jenis sedimen yang berkembang di fasies lempung rawa adalah OH dengan kandungan butir halus (FC) berkisar 65-85%. Fasies lempung rawa memiliki N-SPT yang bervariasi, berkisar 0-12 (sangat lepas sampai agak padat). Berdasarkan pengamatan pola kurva CPTu, fasies ini dicirikan oleh bentuk kurva silindris (Serra, 1985; Walker dan James,

1992) dengan nilai  $Q_c$  0,5-4,5 MPa (Gambar 10).

### **Analisis Potensi Likuifaksi**

Dalam analisis ini, digunakan distribusi ukuran butir, nilai percepatan gempa maksimum di permukaan sebesar 0,3 g, nilai magnitudo gempa sebesar 7,9 SR, kedalaman muka air tanah, dan nilai faktor keamanan (FK) minimal yang dipakai sebesar 1,0. Hasil analisis potensi likuifaksi tercermin dari grafik distribusi ukuran butir sedimen, FK (potensi likuifaksi setiap kedalaman), dan indeks likuifaksi (IL) di setiap lokasi CPTu.

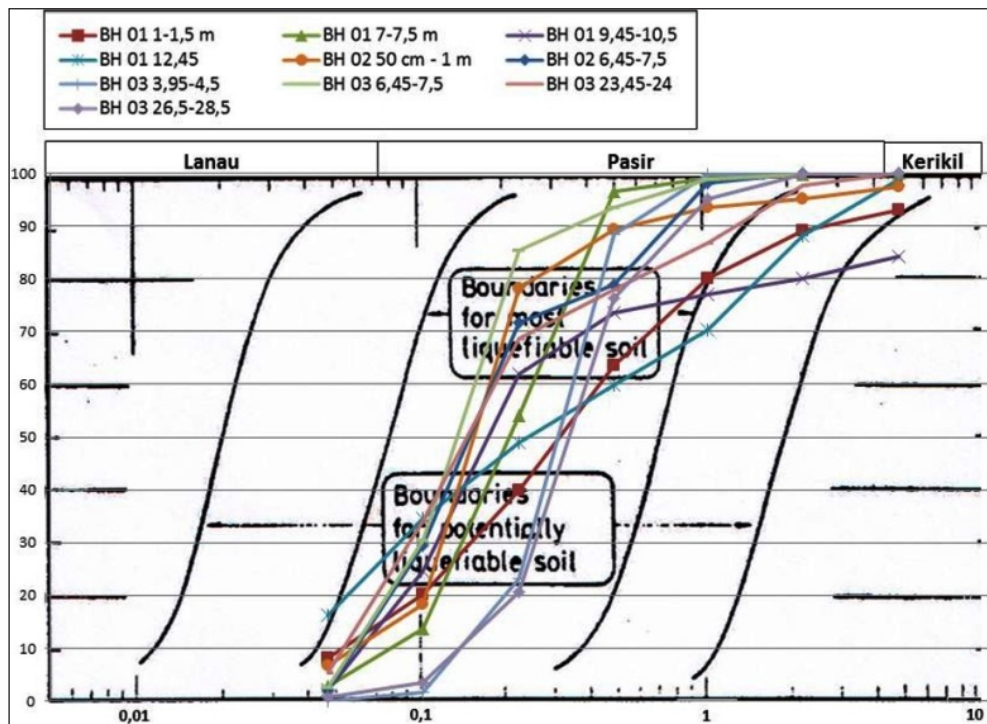


Hasil analisis ukuran butir percontoh sedimen pasir menunjukkan bahwa sedimen pasir di daerah penelitian merupakan endapan pasir lanauan sampai pasir kerikilan yang termasuk ke dalam zona mudah - sangat mudah terlikuifaksi (Gambar 11), dan untuk mempertajam potensi likuifaksi daerah penelitian maka dilakukan analisis potensi likuifaksi menggunakan data CPTu yang akan menghasilkan hubungan rasio hambatan siklik (CRR, kekuatan sedimen) dengan tegangan siklik (CSR, beban gempa bumi), nilai faktor keamanan (FK), dan IL. Hubungan rasio CRR dengan CSR akan menghasilkan FK di setiap kedalaman (Gambar 12) dan akan berkorelasi dengan nilai IL (Tabel 2). Secara umum analisis potensi likuifaksi berdasarkan CPTu menunjukkan bahwa daerah

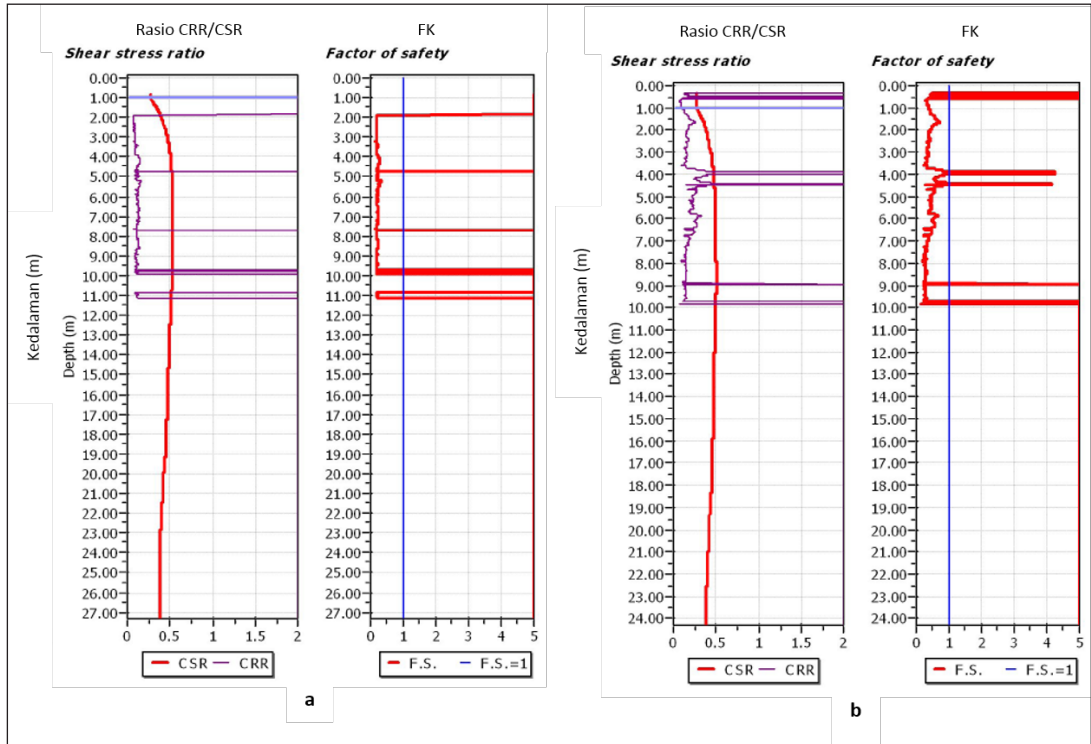
penelitian memiliki potensi likuifaksi yang besar. Nilai IL yang didapatkan bervariasi, mulai dari 26 sampai dengan 45,5 (potensi likuifaksi sangat besar). Kedalaman lapisan yang berpotensi likuifaksi pun sangat bervariasi, mulai dari kedalaman 0,5 m sampai dengan kedalaman 9,5 m (Tabel 2).

## DISKUSI

Daerah penelitian secara fisiografi terletak di dataran pantai yang berhadapan langsung dengan laut. Berdasarkan data kegepmaan, daerah penelitian termasuk kedalam wilayah yang rawan bencana gempa bumi. Secara geologi, daerah penelitian tersusun oleh endapan Kuartar berupa pasir dan lempung dengan keteba-



Gambar 11. Grafik ukuran butir contoh sedimen pasir daerah penelitian.



Gambar 12. Grafik hubungan rasio hambatan siklik (CRR) dengan rasio tegangan siklik (CSR) di (a). CPTu 01, (b) CPTu 02, dan (c) CPTu 03.

Tabel 2. Nilai IL dan Kedalaman Lapisan Sedimen yang Berpotensi Likuiifikasi Setiap Lokasi CPTu

No CPTu	IL	Potensi Likuiifikasi	Kedalaman Lapisan Sedimen yang berpotensi Likuiifikasi (m)
CPTu 01	45,15	Sangat tinggi	2-9,5
CPTu 02	39,05	Sangat tinggi	0,5-3,5; dan 4,5-9,5
CPTu 03	26,02	Sangat tinggi	1- 4,5; 5-6; 6,5-7; dan 8-8,5

lan yang bervariasi mulai dari 1 hingga 19,5 m serta dengan kondisi kedalaman muka air tanah yang dangkal. Endapan pasir sebagai litologi dominan penyusun daerah penelitian memiliki karakteristik ukuran butir pasir sangat kasar sampai sangat halus dengan sisipan pasir lanau-

an dan lempung. Endapan sedimen di daerah penelitian secara spesifik terbagi menjadi tiga fasies yang memiliki asosiasi litologi dan karakteristik fisik yang berbeda, yaitu fasies pasir fluvial, fasies pasir pematang pantai, dan fasies lempung rawa.

Berdasarkan analisis potensi likuifaksi, daerah penelitian memiliki potensi likuifaksi relatif tinggi. Hal tersebut disebabkan karakteristik fisik daerah penelitian yang tersusun oleh endapan Kuartar yang bersifat lepas ( $N-SPT \leq 20$ ), memiliki muka air tanah yang dangkal, secara fisiografi berhadapan langsung dengan laut yang menyebabkan sedimen penyusun daerah penelitian jenuh air, dan berada di lokasi yang rawan gempa bumi besar. Selain hal-hal tersebut, fasies dan karakteristik fisik sedimen penyusun daerah penelitian memegang peranan penting dalam analisis potensi likuifaksi. Fasies yang berkembang di daerah penelitian memiliki karakteristik fisik yang spesifik yang menjadikannya memiliki potensi likuifaksi yang berbeda satu dengan lainnya.

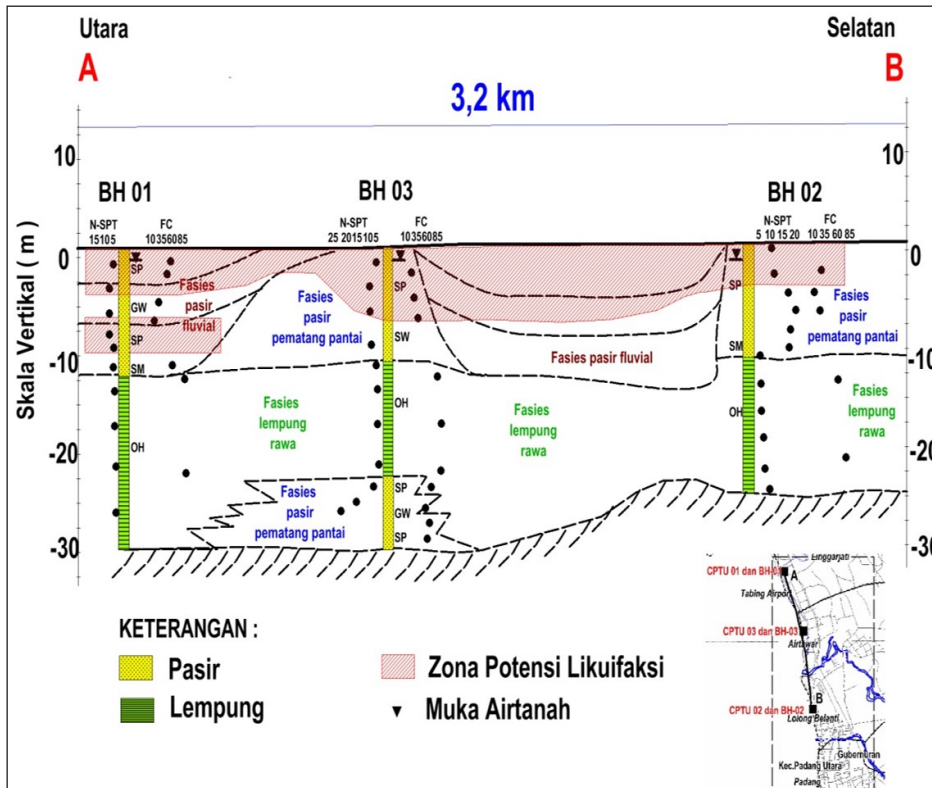
Gambar 13 memperlihatkan penampang geologi bawah permukaan utara - selatan daerah penelitian. Pada penampang terlihat hubungan antara fasies dan karakteristik fisiknya (jenis sedimen, N-SPT, dan FC) dengan kedalaman lapisan yang berpotensi likuifaksi. Zona potensi likuifaksi berada di kedalaman 0,5-9,5 m. Jika dilihat pada kedalaman tersebut, maka zona yang berpotensi likuifaksi tinggi berada di litologi pasir dengan jenis sedimen SP, N-SPT kurang dari 20, dan kisaran FC 1-12%. Endapan pasir dengan karakteristik fisik tersebut umumnya berkembang di fasies pasir fluvial. Kontrol lain yang menyebabkan fasies pasir fluvial memiliki potensi likuifaksi relatif besar adalah kondisi fisiknya yang umumnya bergradasi buruk (terpilah baik), memiliki ukuran butir pasir sedang sampai sangat halus, dengan bentuk butir membundar tanggung sampai sangat membundar, dan tentu saja jenuh air. Sementara pasir yang diendapkan di lingku-

ngan pematang pantai memiliki karakteristik fisik yang umumnya bergradasi baik (terpilah buruk), memiliki ukuran butir pasir sangat kasar sampai sangat halus, dengan bentuk butir menyudut tanggung sampai sangat membundar. Karakteristik fisik yang dimiliki oleh pasir pematang pantai akan menyebabkan potensi likuifaksinya relatif lebih rendah daripada pasir fluvial. Sementara fasies lempung rawa akan memiliki potensi likuifaksi yang lebih rendah daripada fasies pasir fluvial dan fasies pasir pematang pantai karena litologinya lempung dengan jenis sedimen OH.

Secara geologi, karakteristik fisik yang dimiliki oleh fasies pasir fluvial akan terbentuk di lingkungan fluvial dekat dengan muara (Kramer, 1996 dan Day, 2010) secara spesifik di sistem sungai berliku (*meandering river system*) (Boggs, 1995). Kondisi fisik sistem sungai berliku yang memiliki kecepatan arus yang rendah, mekanisme pengendapan yang dominan dikontrol oleh arus suspensi, serta memiliki gradien lereng yang relatif lebih landai akan menghasilkan sedimen pasir dengan ukuran butir pasir halus sampai pasir kerikilan (Boggs, 1995; Nichols, 2009). Sementara itu fasies pasir pematang pantai secara geologi akan terbentuk di daerah yang memiliki mekanisme pengendapan yang dipengaruhi oleh arus pasang surut dan arus sungai (Walker dan James, 1992). Fasies pasir pematang pantai akan terbentuk dari sedimen yang berasal baik itu dari sungai ataupun dari laut yang akan menghasilkan endapan pasir yang lebih kasar daripada endapan pasir fluvial (Walker dan James, 1992).

Bagaimana pengaruh fasies dan karakteristik fisik terhadap potensi likuifaksinya akan dijelaskan dalam mekanisme likuifaksi. Mekanisme





Gambar 13. Penampang geologi bawah permukaan utara-selatan daerah penelitian.

likuifaksi dimulai ketika endapan pasir yang jenuh air terkena efek gempa bumi. Pada kondisi sebelum terkena gempa bumi, endapan pasir jenuh air masih memiliki kekuatan karena kontak antarbutiran pasir (tegangan efektif) masih tinggi dibandingkan tekanan air pori (Seed, 1982).

Ketika gempa bumi terjadi, endapan pasir menerima tegangan geser bolak-balik (Seed, 1982) sehingga endapan pasir tersebut cenderung memadat dan diikuti oleh kenaikan tekanan air pori (Kramer, 1996). Pada saat itu, air akan terdesak dan mencari jalan keluar, sehingga air akan mendesak butiran pasir yang akan memadat dan terbentuk tekanan air pori

berlebih (*excess pore water pressure*) yang menyebabkan ikatan antarbutiran pasir hilang (Seed, 1982). Pada saat terjadinya gempa bumi, seluruh air yang terkandung di dalam endapan pasir tidak akan memiliki cukup waktu untuk berdisipasi melalui rongga-rongga pasir, sehingga sebagian akan keluar ke permukaan melalui zona-zona lemah berupa retakan atau rekahan dengan membawa butiran pasir yang sudah kehilangan kekuatannya (pasir akan berperilaku seperti cairan) (Seed, 1982). Fenomena tersebut akan terlihat di permukaan berupa semburan pasir (Kramer, 1996) (Gambar 14).

Ukuran, bentuk, dan gradasi butir yang dimiliki endapan pasir akan mempengaruhi potensi

likuifaksi. Dalam keadaan kering, endapan pasir yang memiliki karakteristik pasir kasar, bentuk butir relatif menyudut, dan bergradasi baik (*poorly sorted*), seperti pada fasies pasir pematang pantai, akan memiliki kuat geser (*shear strength*) yang lebih besar, rongga antar butiran yang lebih sedikit, dan tidak mudah memadat daripada endapan pasir dengan karakteristik pasir sedang sampai halus, bentuk butir membuldar, dan bergradasi jelek (*well sorted*), seperti pada fasies pasir fluvial. Hal yang sama juga dikemukakan oleh Ishihara (1985), Kramer (1996), dan Bell (2007).

Dalam keadaan jenuh dan terkena efek gempa bumi, fasies pasir pematang pantai akan lebih tahan terhadap likuifaksi daripada fasies pasir fluvial. Fasies pasir pematang pantai memiliki bentuk butir yang relatif menyudut daripada fasies pasir fluvial. Bentuk butir yang relatif menyudut akan menciptakan kontak antarbutiran yang panjang (*long contact*), sementara

bentuk butir yang relatif membuldar hanya akan menciptakan kontak butiran di sebagian sisinya (*point contact*). Kondisi tersebut menyebabkan kuat geser fasies pasir pematang pantai akan lebih besar daripada fasies pasir fluvial, seperti halnya diungkapkan oleh Bell (2007). Selain hal tersebut, bentuk butir yang relatif menyudut tidak akan mudah memadat dibandingkan dengan bentuk butir yang relatif membuldar, yang hal ini juga dikemukakan oleh Kramer (1996).

Gradasi butiran memegang peranan yang penting pula dalam penentuan potensi likuifaksi suatu endapan pasir. Fasies pasir pematang pantai memiliki gradasi butiran yang lebih baik daripada fasies pasir fluvial. Gradasi butiran yang dimiliki oleh fasies pasir pematang pantai akan menyebabkan pengisian rongga (*the filling of voids*) antar butiran yang besar dengan butiran yang kecil berlangsung sempurna, seperti halnya diungkapkan oleh Kramer (1996). Ber-



Gambar 14. Fenomena semburan pasir akibat likuifaksi gempa bumi padang 30 September 2009 (Sumber: Eko Soebowo, 2009).

beda dengan fasies pasir fluvial yang bergradasi jelek (*well sorted*), pada fasies ini tidak ada pengisian rongga karena ukuran butir fasies pasir fluvial relatif sama (*well sorted*). Gradasi butiran yang dimiliki oleh fasies pasir fluvial akan menyebabkan fasies tersebut memiliki rongga antar butiran yang lebih banyak, sehingga jika terkena efek gempa bumi volume fasies pasir fluvial akan banyak berubah akibat proses pemadatan. Hal senada juga didapatkan oleh Kramer (1996).

Proses pemadatan butiran pasir akan berhubungan dengan proses disipasi air yang terkandung di dalam endapan pasir. Endapan pasir yang mudah memadat seperti fasies pasir fluvial akan lebih cepat membentuk tekanan air pori berlebih (*excess pore water pressure*) karena proses pemadatan akan mencegah air berdisipasi. Berbanding terbalik dengan fasies pasir pematang pantai, fasies tersebut tidak mudah untuk memadat, sehingga memudahkan air untuk berdisipasi melalui rongga-rongga antarbutiran, yang menyebabkan tekanan air pori berlebih (*excess pore water pressure*) akan terbentuk lebih lama.

Selain ukuran, bentuk, dan gradasi butir yang dimiliki endapan pasir kaitannya dengan potensi likuifaksi, kandungan butir halus (FC) juga ikut mempengaruhi suatu endapan pasir memiliki potensi likuifaksi yang rendah atau tinggi. FC dalam endapan akan berada di antara butiran pasir dan berkaitan dengan kondisi drainase suatu endapan pasir (Chang *et al.*, 2011). Dalam keadaan jenuh dan terkena efek gempa bumi, FC tersebut akan memiliki kohesivitas (Chang *et al.*, 2011). Kohesivitas yang dimiliki FC mengakibatkan peristiwa kenaikan tekanan air pori berlangsung cepat, karena FC

akan menahan air untuk berdisipasi (Ueng *et al.*, 2004).

## KESIMPULAN

Fasies yang berkembang di daerah penelitian dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu fasies pasir fluvial, fasies pasir pematang pantai, dan fasies lempung rawa dengan karakteristik fisik yang spesifik. Fasies pasir fluvial secara umum disusun oleh pasir dengan ukuran butir pasir sedang sampai pasir sangat halus, memiliki N-SPT berkisar 1-15, dan jenis sedimen yang berkembang adalah GW, SP, dan SM dengan FC berkisar 7-37%. Sementara itu, fasies pasir pematang pantai secara umum dicirikan oleh pasir sangat kasar sampai pasir sangat halus, memiliki N-SPT berkisar 4-25. Jenis sedimen yang berkembang di fasies ini adalah GW, SP, SW, dan SM dengan FC berkisar 0,1-36%. Berbeda dengan kedua fasies di atas, fasies lempung rawa secara litologi disusun oleh lempung. Secara fisik fasies ini memiliki N-SPT berkisar 0-12. OH adalah jenis sedimen yang berkembang di fasies lempung rawa dengan FC berkisar antara 65-85%. Berdasarkan analisis karakteristik fisik dan analisis potensi likuifaksi, fasies pasir fluvial memiliki potensi likuifaksi yang terbesar sedangkan fasies lempung rawa memiliki potensi likuifaksi yang terkecil.

Hasil analisis likuifaksi menggambarkan adanya perubahan nilai FK fasies pasir fluvial dan fasies pasir pematang pantai secara vertikal di setiap kedalaman. Perubahan potensi likuifaksi fasies pasir fluvial fasies dan pasir pematang pantai secara vertikal dari potensi kecil menjadi tinggi atau sebaliknya dikarenakan adanya perubahan litologi, perubahan jenis sedimen, FC, N-SPT, dan nilai Qc. Secara umum potensi likuifaksi

akan semakin tinggi jika litologinya berupa pasir sedang - halus, jenis sedimen SP, FC 1-12%, N-SPT < 20 (sangat lepas - agak padat), dan  $Q_c < 10$  MPa. Jika litologi pasir kasar - sangat kasar, jenis sedimen GW, SM, atau SW, FC < 1% dan FC > 36%, N-SPT  $\leq 20$  (sangat lepas - agak padat), dan  $Q_c \leq 10$  MPa maka potensi likuifaksi rendah - tinggi.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis secara khusus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Eko Soebowo atas diskusi, saran, dan kritiknya. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada semua pihak yang membantu hingga makalah ini dapat diterbitkan.

### ACUAN

Bell, F.G., 2007, *Engineering Geology*, Elsevier, edisi ke 2.

Boggs Jr, S., 1995, *Principles of Sedimentology and Stratigraphy, edisi ke 4*, Pearson Education Inc, Upper Saddle River, USA.

Chang, W.J., Ni, S.H., Huang, A.B., Huang, Y.H., dan Yang, Y.Z., 2011, Geotechnical reconnaissance and liquefaction analyses of a liquefaction site with silty fine sand in Southern Taiwan, *Engineering Geology, volume 123*, 235–245.

Day, R.W., 2010, *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook*, McGraw-Hill Handbooks.

Geologismiki, 2006, LiqITv.4.7.7.4, [www.geologismiki.gr/documents/liqIT/liqit\\_content\\_dyn.html](http://www.geologismiki.gr/documents/liqIT/liqit_content_dyn.html), 1 September 2012.

Irsyam, M., Sengara, I.W., Aldiamar, F., Widiyanto, S., Triyoso, W., Kertapati, E., Natawidjaja, D.H., Meilano, I., Soehardjono, Asrirufak, M., dan Rid-

wan, M., 2010, *Penggunaan Peta Gempa Indonesia 2010*, Kementerian Pekerjaan Umum.

Ishihara, K., 1985, Stability of natural deposits during earthquakes, *Proc. 11th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng. volume 1*, 321-376.

Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuko, F., dan Yasuda, S., 1978, A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various site in Japan, *Proc. 2nd. Int. Conf. on Microzonation, volume 2*.

Juang, C.H. dan Jiang, T., 2000, Assessing probabilistic methods for liquefaction potential evaluation, *Proceedings of the GeoDenver Conference—Soil Dynamics and Liquefaction 2000, volume 62*.

Kastowo, L, Gerhard, W. Gafoer, S. dan Amin, T.C., 1996, *Peta Geologi Lembar Padang, Sumatera*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Kramer, S.L., 1996, *Geotechnical Earthquake Engineering*, University of Washington.

Natawidjaja, D.H., Triyoso, W., Widoyoko, B., dan Abidin, H., 2010, *Pengembangan Laboratorium dan Sistem GPS Kontinyu Sumatran GPS Array untuk Penelitian Gempabumi dan Peringatan Dini Masyarakat*, Laporan Penelitian, Puslit Geoteknologi, LIPI.

Nichols, G., 2009, *Sedimentology and Stratigraphy, edisi ke 2*, John Willey and sons Ltd & Willey blackwell publishing, Chichester, UK

Seed, H.B., 1982, *Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquake*, Earthquake Engineering Research Institute, Pasadena, California.

Seed, H.B. dan Idris, I.M., 1971, Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, *Journal of Soil Mechanics and Foundation, volume 97*, 1249 – 1273.

Serra, O., 1985, *Sedimentary Environments From*

*Wireline Logs: with The Contribution of Examples From Schlumberger's Geologist*, Schlumberger Internal Publication

Suzuki, Y., Tokimatsu, K., dan Koyamada, K., 1997, Prediction of liquefaction resistance based on CPT tip resistance and sleeve friction, *Proc. 1st International Conf. on Site Characterization*, 603-606.

Tohari, A., Soebowo, E., Kamtono, Daryono, M.R., Kumoro, Y., Anwar, H.Z., Galih, D.R., dan Rahardjo, P.P., 2006, *Mitigasi Gerakan Tanah di Daerah Tektonik Aktif: Kajian Potensi Likuifaksi Akibat Gempabumi di Daerah Padang dan Sekitarnya*, Laporan Penelitian, Geoteknologi, LIPI.

Tsuchida, H., 1970, *Prediction and counter-measure*

*against liquefaction in sand deposits*, Seminar in Port and Harbor Institute (in Japanese).

Walker, R.G. dan James, N.P., 1992, *Facies Models: Response to Sea Level Change*, Geological Association of Canada.

Youd, T.L., 1992, Liquefaction, ground failure, and consequent damage during the 22 April 1991 Costa Rica earthquake, *Proceedings of The NSF/UCR Earthquakes of 1990 – 1991: Effects on Soils and Structures*, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA.

Youd, T.L. dan Hoose, S.N., 1978, Historic ground failures in northern California triggered by earthquake, *US Geological Survey, volume 993*.