
Fasies Sedimen Kuarternya Dengan Potensi Likuefaksi Di Kawasan Das Cimanuk, Indramayu, Jawa Barat

Rifki Asrul Sani¹, Eko Soebowo², Imam A. Sadisun³

¹Politeknik Batulicin, ²Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Bandung,

³Institut Teknologi Bandung

Email: kang.sani.geologi@gmail.com¹, ekosoebowo@gmail.com², iasadisun@itb.ac.id³

ABSTRACT

The lower Cimanuk catchment area which will be developed as industrial area is dominated by Quaternary deposits which are susceptible against liquefaction if large earthquakes occurred. The presence of Subang, Cirebon 1 and Cirebon 2 active fault segments will trigger earthquake which potentially liquefaction. This study aims to characterize the type of sedimentary facies induced liquefaction hazard in the lower Cimanuk catchment area, Indramayu, West Java. This research methods consist of borehole description and sedimentary facies analysis based on CPT and CPTu data with cone resistance (qt) corrected value, friction ratio (Fr), laboratory analysis and liquefaction potential based on SNI 1726:2019, which is deterministic and 2,500 years return period PGA value. Based on facies association analysis there are three facies that developed in the study area. First, delta plain facies consisting of fluvial sands, silt and clay. Second, delta front facies consisting of beach ridge sands and sandy silt. Third, silt and clay prodelta facies. Liquefaction potential analysis based on N-SPT, CPT and CPTu data shows that almost all test point are potentially liquefied, especially beach ridge sands and silty sand delta front facies. Liquefaction potential is more in the northern region of the study area, caused by the low density of sand and sandy sediments (N-SPT value < 10 or qc < 6,000 kPa).

Keywords: *liquefaction potential, quaternary sediment, sediment facies*

INTISARI

Kawasan DAS Cimanuk bagian hilir yang akan dikembangkan sebagai kawasan industri didominasi oleh endapan Kuarternya yang rentan terhadap ancaman bahaya likuefaksi apabila terjadi guncangan gempa besar. Terdapat segmen sesar aktif Subang, Cirebon 1 dan Cirebon 2 akan memicu kejadian gempa yang berpotensi terhadap kejadian likuefaksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaraktisasi tipe fasies sedimen kuarternya dengan ancaman bahaya likuefaksi pada DAS Cimanuk bagian hilir, Indramayu, Jawa Barat. Metode penelitian meliputi deskripsi inti bor teknik dan analisa fasies sedimen berdasarkan data CPT dan CPTu dari nilai koreksi resistensi kerucut (qt), gesekan lengan (Fr), analisis laboratorium dan analisis potensi likuefaksi dengan skenario PGA berdasarkan SNI 1726:2019 yakni nilai PGA deterministik dan periode ulang 2.500 tahun. Berdasarkan hasil analisis asosiasi fasies sedimen terdapat tiga fasies yang berkembang di daerah penelitian. Pertama, fasies delta plain yang terdiri dari pasir endapan sungai, lanau dan lempung. Kedua, fasies delta front yang terdiri dari pasir pematang pantai dan lanau pasir. Ketiga, fasies lanau dan lempung prodelta. Analisis potensi likuefaksi berdasarkan data N-SPT, CPT, dan CPTu menunjukkan bahwa hampir keseluruhan titik uji berpotensi likuefaksi, terutama fasies pasir pematang pantai dan lanau pasir delta front. Potensi likuefaksi lebih banyak berada pada wilayah utara daerah penelitian, yang disebabkan oleh rendahnya tingkat kepadatan sedimen pasir dan pasiran (nilai N-SPT < 10 atau qc < 6.000 kPa).

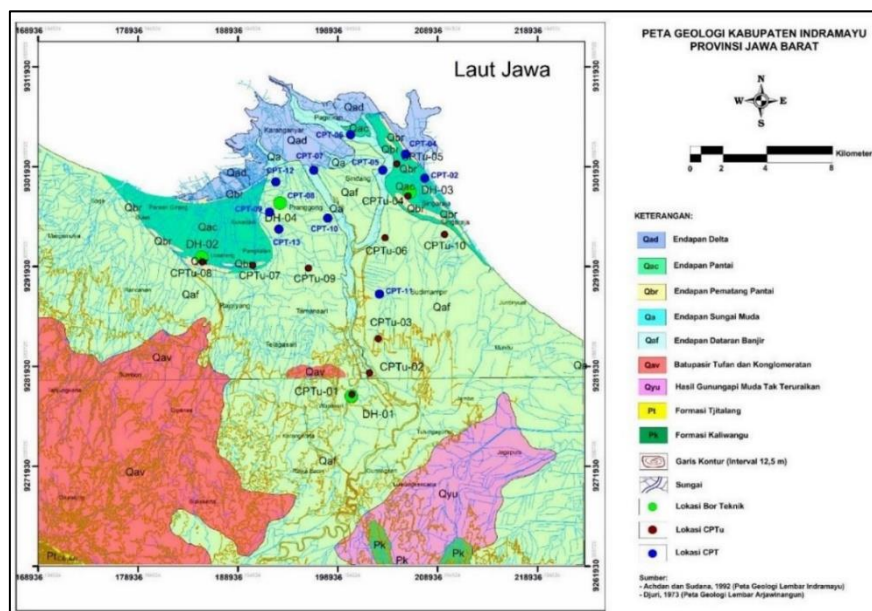
Kata kunci: fasies sedimen, potensi likuefaksi, sedimen kuarternya

PENDAHULUAN

Berdasarkan hasil riset dan studi Pusat Gempa Nasional tahun 2017 (Irsyam dkk., 2017), kawasan DAS Cimanuk bagian hilir di Kabupaten Indramayu yang akan dikembangkan sebagai Kawasan Industri berada pada tiga zona segmen sesar aktif. Ketiga segmen sesar aktif tersebut memiliki besaran magnitudo yang berbeda, di antaranya segmen sesar Subang dengan skala 6,5 Mw, segmen sesar Cirebon 1 dengan skala 6,2 Mw, dan segmen sesar Cirebon 2 dengan skala 6,5 Mw. Kejadian Gempa yang merusak di Indramayu dan sekitarnya pernah terjadi tahun 1847 (Nguyen dkk., 2015), yang kemungkinan terjadi fenomena likuefaksi. Secara umum, Indramayu termasuk

kedalam wilayah atau zona yang rentan terhadap bahaya geologi berupa likuefaksi (Batu dan Hidayat, 2011; Buana dkk., 2019; Sani dkk., 2020).

Secara geologi, Kabupaten Indramayu dan sekitarnya (Gambar 1) disusun oleh sedimen Kuartar yang berumur Plistosen - Holosen, terdiri dari batupasir tufan dan konglomerat, endapan dataran banjir, endapan sungai muda, endapan pematang pantai, endapan pantai, dan endapan delta (Djuri, 1973; Achdan dan Sudana, 1992). Endapan dataran banjir menempati wilayah terluas dibandingkan sedimen yang lainnya ($\pm 70\%$) berupa lempung pasiran dan pasir lempungan (sebagian tufan). Dengan mempertimbangkan kondisi geologi berupa sedimen Kuartar yang belum terkonsolidasi dan berada pada daerah rawan guncangan gempa, maka pengetahuan mengenai karakteristik geologi teknik bawah permukaan penting untuk diketahui (Soebowo, 2016).



Gambar 1. Peta geologi daerah studi dan lokasi bortechnik dan CPTu / CPT.

METODE

Analisis Fasies Sedimen

Analisis fasies mengacu pada model serta metode penelitian pada endapan sungai dan pantai (delta) seperti Amorosi dan Marchi (1999), Lafuerza dkk. (2005), De Mio dan Giacheti (2006), Styllas (2014), Iqbal dkk. (2016), Satriyo (2017) dan Sani dkk. (2020). Analisis pola kurva CPT-CPTu menggunakan metode Robertson dan Wride (1998). Analisis ini dilakukan untuk mengetahui fasies sedimen yang berkembang di daerah penelitian. Asosiasi litologi yang hadir di setiap inti bor akan dibandingkan dengan pola kurva CPT-CPTu, kemudian akan mencerminkan sebaran asosiasi fasies sedimen (Styllas, 2014).

Secara ringkas, metode yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga kegiatan, yaitu; pertama, kegiatan di studio untuk mendapatkan gambaran mengenai daerah penelitian dengan memanfaatkan data-data sekunder seperti penelitian terdahulu terkait kondisi geologi dan geologi teknik daerah Indramayu dan sekitarnya semisal peta geologi dan publikasi ilmiah terkait. Acuan yang digunakan akan membantu dalam proses interpretasi geologi bawah permukaan serta karakteristik keteknikan sedimen pada daerah penelitian.

Kedua, kegiatan di lapangan berupa pengamatan hasil pemboran geologi teknik, yakni uji SPT pada 4 titik bor dan uji penetrasi konus (13 titik uji CPT dan 10 titik uji CPTu). Terakhir, kegiatan di laboratorium seperti analisis besar butir, hidrometer, batas-batas *Atterberg* (Batas Cair, Batas Plastis dan Indeks Plastisitas), dan klasifikasi USCS untuk mendapatkan parameter sifat fisik dan mekanik tanah. Seluruh uji laboratorium dilakukan di Laboratorium Geomekanika Pusat Geoteknologi BRIN Bandung.

Analisis Potensi likuefaksi

Dalam Analisa potensi likuefaksi, nilai PGA yang digunakan dari Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017 (Irsyam dkk., 2017) yakni 0,15 g (deterministik) dan 0,3 g (periode ulang 2.500 tahun) sesuai dengan SNI 1726:2019. Data uji CPT-CPTu dan SPT digunakan untuk

memperoleh nilai rasio tegangan siklik (*Cyclic Stress Ratio-CSR*), rasio hambatan siklik (*Cyclic Resistance Ratio-CRR*) dan faktor keamanan terhadap likuefaksi (FS_L). Metode yang digunakan dalam menghitung nilai CSR adalah menurut Kramer (2008) berdasarkan persamaan:

$$CSR = 0,65 \frac{a_{max} \sigma_{vo} r_d}{g \sigma'_{vo} MSF} \dots\dots\dots (1)$$

dengan a_{max} percepatan horizontal maksimum pada permukaan lapisan tanah, g adalah percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$), σ_{vo} adalah tegangan beban vertikal total, σ'_{vo} adalah tegangan beban vertikal efektif, r_d adalah faktor pengurangan tegangan berdasarkan kedalaman, dan MSF adalah skala faktor guncangan (*Magnitude Scaling Factor*). Perhitungan rasio hambatan siklik (CRR) berdasarkan data SPT berdasarkan prosedur Boulanger dan Idriss (2014):

$$CRR_{\sigma'_{v=1 \text{ atm}}} = \exp \frac{(N_1)_{60,cs}}{14,1} + \left(\frac{(N_1)_{60,cs}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60,cs}}{23,6} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60,cs}}{25,4} \right)^4 - 2,8 \dots\dots\dots (2)$$

Perhitungan rasio hambatan siklik (CRR) berdasarkan data CPT-CPTu dengan prosedur Boulanger dan Idriss (2014):

$$CRR_{\sigma'_{v=1 \text{ atm}}} = \exp \frac{q_{c1Ncs}}{113} + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{1000} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1Ncs}}{140} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{137} \right)^4 - 2,8 \dots\dots\dots (3)$$

Evaluasi potensi likuefaksi diperoleh dari nilai CSR dan CRR yang dihitung berdasarkan fungsi kedalaman (z) berdasarkan rumus:

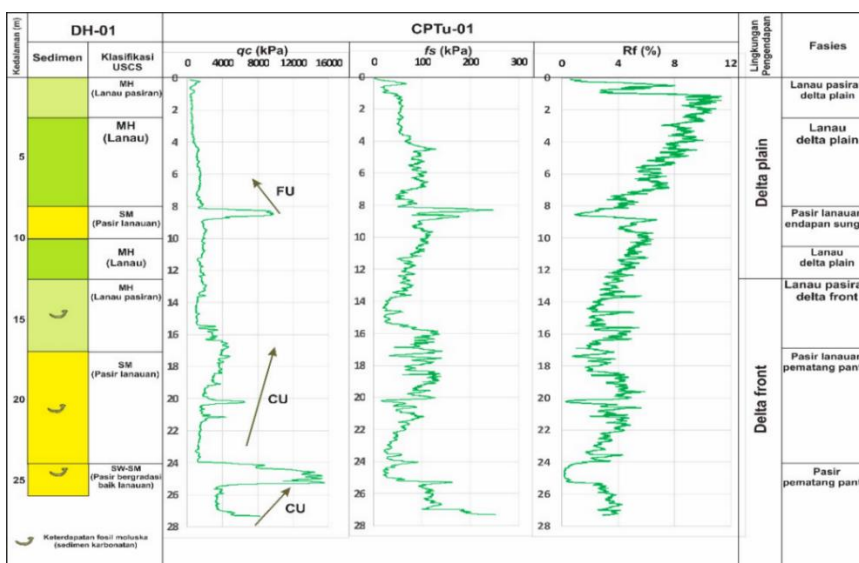
$$FS_L(z) = \frac{CRR(z)}{CSR(z)} \dots\dots\dots (4)$$

Faktor keamanan yang digunakan dalam perhitungan potensi likuefaksi adalah 1.0 dengan menggunakan skenario gempa berbeda sebagai bahan acuan dalam keperluan desain keteknikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Asosiasi Fasies

Interpretasi kualitatif dilakukan pada empat inti bor, 13 kurva CPT, dan 10 kurva CPTu yang berada di daerah penelitian. CPTu-01 diikat dengan bor DH-01 (Gambar 2), CPTu-08 diikat dengan bor DH-02, CPTu-04 diikat dengan bor DH-03, dan CPT-08 diikat dengan bor DH-04. Korelasi antara pola kurva CPT-CPTu dengan pemboran teknik akan membantu pengamatan pola kurva CPT-CPTu lainnya. Berdasarkan asosiasi litologi yang hadir pada pemboran teknik serta pengamatan pola kurva CPT-CPTu, terdapat tiga fasies yang berkembang di daerah penelitian yakni fasies paparan delta (*delta plain*), muka delta (*delta front*), dan ujung delta (*prodelta*). Ketiga fasies yang berkembang di daerah penelitian memiliki ciri-ciri yang khas baik dari ukuran butir, pola kurva CPT/CPTu, tingkat kepadatan (untuk sedimen pasir), konsistensi (untuk sedimen lanau dan lempung) serta klasifikasi sedimen berdasarkan USCS sebagaimana terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kesebandingan antara DH-01 dengan CPTu-01 untuk penentuan fasies.

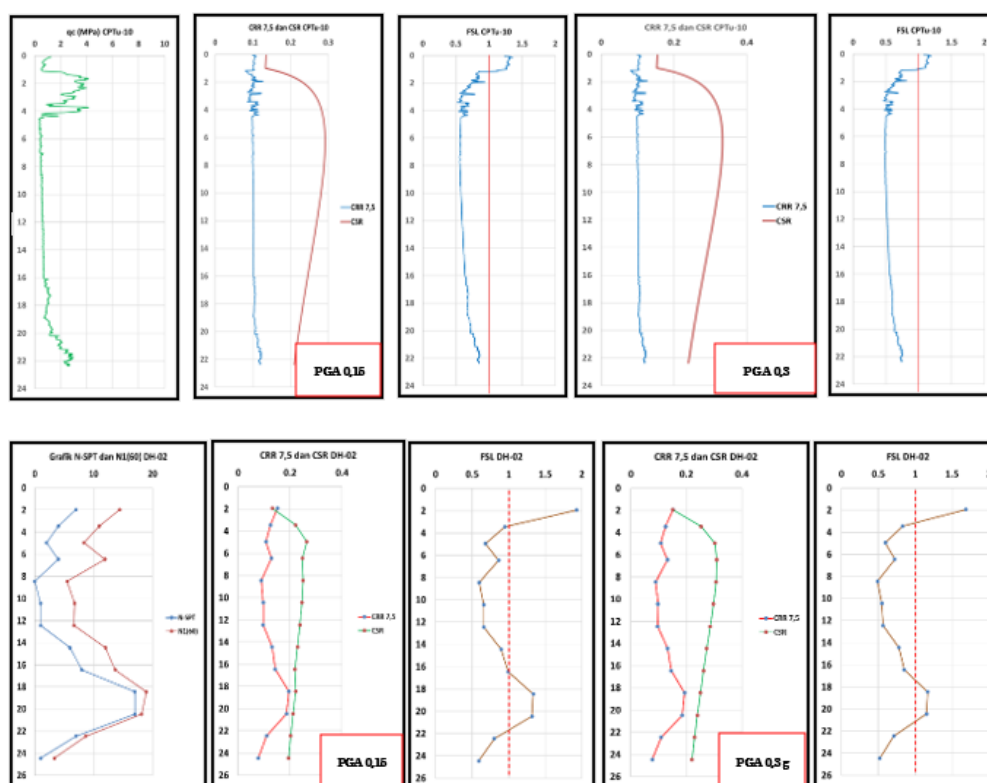
Analisis Potensi Likuefaksi

Pada tabel 1 merupakan karakteristik fasies sedimen yang berkembang di daerah penelitian, sedangkan gambar 3 menunjukkan perubahan rasio tegangan siklik (CSR, beban gempa bumi)

dengan rasio hambatan siklik (CRR, kekuatan tanah) serta perubahan nilai faktor keamanan pada titik pengujian CPTu-10 dan DH-02. Pada gambar tersebut terlihat bahwa nilai CSR cenderung mengalami kenaikan mulai dari kedalaman 0 – 6 m sedang CRR dan FSL cenderung mengalami penurunan, kemudian nilai CSR menurun mulai dari kedalaman 6 m sedang CRR dan FSL kebalikannya. Hal tersebut menunjukkan bahwa potensi likuefaksi membesar mulai dari kedalaman 0 – 6 m, kemudian mengecil di kedalaman 6 m sampai kedalaman terakhir pengujian.

Tabel 1. Karakteristik fasies sedimen yang berkembang di daerah penelitian.

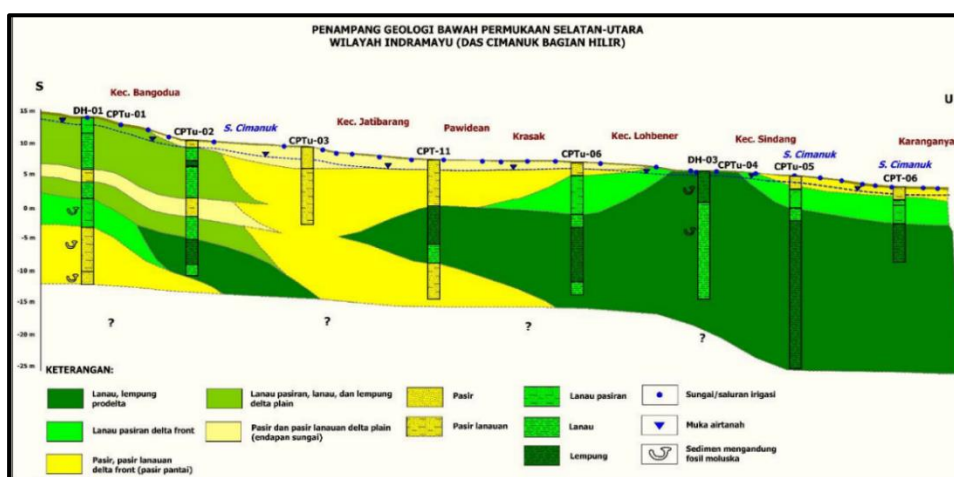
Fasies	q_c (kPa)	N-SPT	Karakteristik sedimen
Fasies <i>delta plain</i> : Pasir endapan sungai (<i>fluvial sands</i>)	2.000 – 12.000	30	Tersusun oleh pasir sangat kasar sampai sangat halus, tingkat kepadatan sedang sampai padat, gradasi buruk, bentuk butir membundar tanggung, SM (klasifikasi USCS), pola kurva CPT menghalus ke atas (FU).
Lanau dan lempung <i>delta plain</i>	700 – 2.000	6 – 29	Tersusun oleh lanau dan lempung dengan sedikit kandungan pasir, konsistensi sedang sampai keras, MH (klasifikasi USCS), pola kurva CPT cenderung silindris atau bergradasi secara teratur.
Fasies <i>delta front</i> : Pasir pematang pantai (<i>beach ridge sands</i>)	500 – 16.000	2 – >53	Tersusun oleh pasir sangat kasar sampai halus, kaya akan cangkang fauna laut, tingkat kepadatan sangat lepas sampai sangat padat, gradasi baik, bentuk butir menyudut sampai membundar, SM dan SW-SM (klasifikasi USCS), pola kurva CPT umumnya mengkasar ke atas (CU) dan beberapa membentuk pola FU (fase transgresi).
Lanau pasiran <i>delta front</i>	300 – 4.900	1 – 37	Tersusun oleh lanau dengan kandungan pasir berukuran butir pasir sedang sampai sangat halus, konsistensi lunak sampai keras, kaya akan cangkang fauna laut, MH (klasifikasi USCS), pola kurva CPT mengkasar ke atas (CU).
Fasies lanau dan lempung <i>prodelta</i>	200 – 3.000	0 – 12	Tersusun oleh lanau dan lempung dengan sedikit kandungan pasir, konsistensi lunak sampai keras, kaya akan cangkang fauna laut, CH dan MH (klasifikasi USCS), pola kurva CPT cenderung rata dan sebagian membentuk pola bergradasi (FU).



Gambar 3. Grafik hasil analisis potensi likuefaksi pada titik uji CPTu-10 dan DH-02.

Diskusi

Berdasarkan kegempaan, daerah penelitian termasuk ke dalam wilayah yang cukup rawan bencana gempa bumi. Secara geologi, daerah penelitian tersusun oleh endapan Kuartar berupa pasir, lanau, dan lempung dengan ketebalan yang bervariasi mulai 0,5 – 15 m serta kondisi kedalaman muka airtanah berkisar antara 0,5 – 2,5 m. Setiap titik uji yang berdekatan dihubungkan untuk memperoleh korelasi geologi bawah permukaan, hasil integrasi data pengeboran teknik dan pola kurva CPT/CPTu. Fasies lanau dan lempung prodelta mendominasi $\pm 65\%$, baik pada wilayah DAS Cimanuk bagian hilir maupun daerah sekitar pesisir pantai utara Kabupaten Indramayu. Gambar 4 menunjukkan perubahan garis pantai daerah penelitian dari pengamatan pola kurva CPT/CPTu dan deskripsi log bor. Interpretasi geologi bawah permukaan mempertimbangkan catatan hasil penelitian terdahulu semisal Tjia dkk. (1968) serta Bird dan Ongkosongo (1980), sehingga dapat disimpulkan bahwa wilayah sekitar titik uji CPTu-03 dan CPT-11 kemungkinan merupakan garis pantai tahun 1857 yang kemudian semakin bergeser semakin ke arah utara.

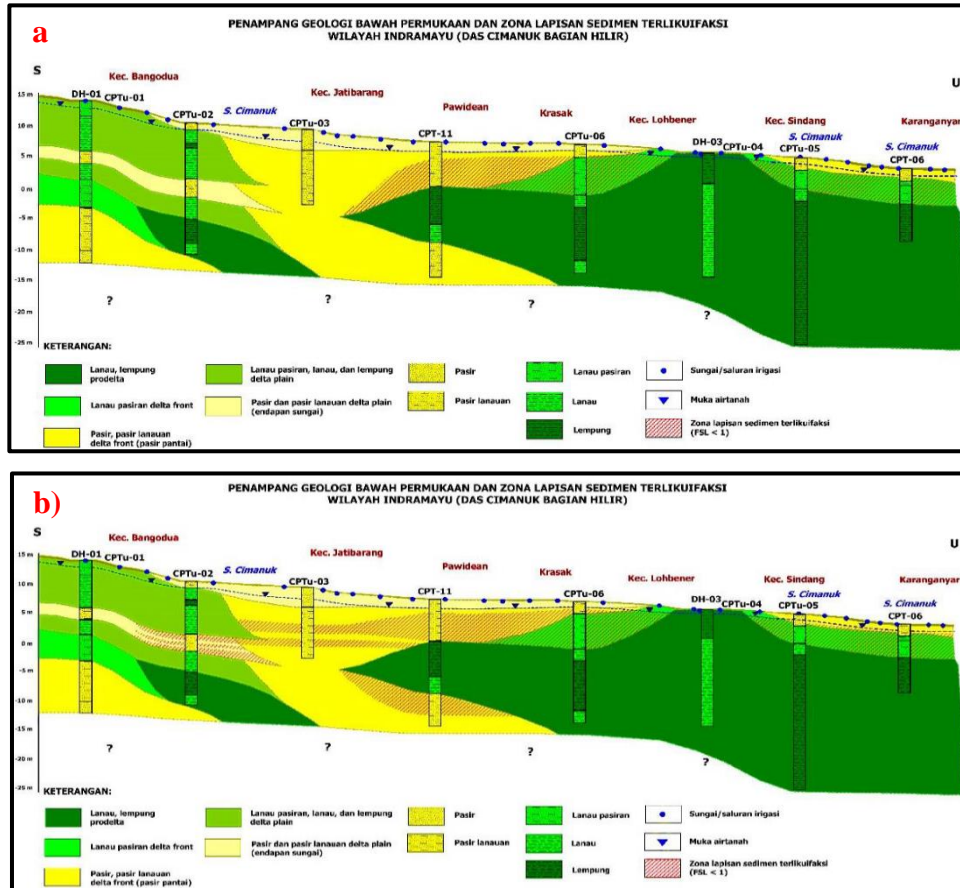


Gambar 4. Korelasi stratifikasi bawah permukaan selatan–utara berdasarkan bor teknik, CPT dan CPTu.

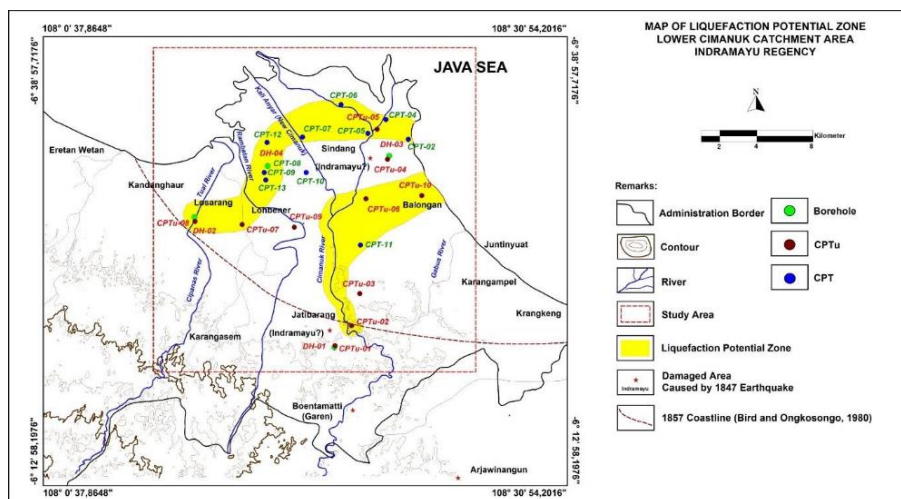
Dalam keadaan jenuh dan terkena efek gempabumi, fasies pasir pematang pantai akan lebih tahan terhadap likuefaksi daripada fasies pasir fluvial (Iqbal, 2013). Fasies pasir pematang pantai memiliki bentuk butir yang relatif menyudut daripada fasies pasir fluvial. Bentuk butir yang relatif menyudut akan menciptakan kontak antar butiran yang panjang (long contact), sementara bentuk butir relatif membundar hanya akan menciptakan kontak butiran di sebagian sisinya (point contact) (Nichols, 2009). Kondisi tersebut menyebabkan kuat geser fasies pasir pematang pantai akan lebih besar daripada fasies pasir fluvial (Bell, 2007). Peristiwa likuefaksi yang terjadi di fasies pasir pematang pantai akan berkaitan dengan ukuran butir pasir yang lebih halus, jenis sedimen SP, N-SPT < 20, dan nilai $q_c < 10$ MPa (Iqbal, 2013). Selain ukuran, bentuk, dan gradasi butir yang dimiliki endapan pasir kaitannya dengan potensi likuefaksi, kandungan butir halus (FC) juga ikut mempengaruhi suatu endapan pasir memiliki potensi likuefaksi yang kecil atau besar. Sedimen dengan kandungan FC $\geq 50\%$ (pasiran) berpotensi likuefaksi pada kedalaman sampai ± 9 m dengan kondisi karakteristik sedimen yang spesifik (Boulanger dan Idriss, 2014). Lapisan pasir dan pasiran yang berpotensi likuefaksi (FSL < 1) pada daerah penelitian memiliki nilai N-SPT < 10 ((N1)60 < 15) atau $q_c < 6$ MPa (6.000 kPa), terjadi baik pada fasies pasir endapan sungai (fluvial) maupun fasies pasir pantai (pematang pantai) dan fasies lanau pasiran delta front.

Gempa dengan kekuatan 6,5 Mw yang bersumber dari sesar aktif Baribis-Subang berdasarkan hasil analisis dalam penelitian ini berpotensi memicu likuefaksi pada lapisan pasir dan pasiran daerah penelitian. Potensi likuefaksi berdasarkan pada nilai faktor keamanan terhadap likuefaksi (FSL) < 1 yang lebih banyak terjadi fasies pasir pematang pantai (beach ridge sands) dan fasies lanau pasiran delta front. Kedua fasies tersebut memiliki tingkat kepadatan yang lepas sampai sangat lepas (N-SPT < 10 atau $q_c < 6$ MPa/6.000 kPa), karakteristik butiran yang halus (pasir sedang sampai sangat halus), dan jenis sedimen SM (DH-02 kedalaman 0 – 5 m) atau MH (DH-04 kedalaman 2,5 – 7 m). Potensi likuefaksi pada daerah penelitian lebih banyak dipengaruhi oleh karakteristik mekanik yang spesifik, yakni nilai N-SPT atau tahanan konus (q_c). Kandungan butir halus (FC) sedimen pasir dan pasiran serta kedalaman potensi likuefaksi selaras dengan yang dikemukakan Boulanger dan Idriss (2014).

Gambar 5 menunjukkan profil penampang stratifikasi (geologi bawah permukaan) selatan – utara dengan lapisan sedimen berpotensi likuefaksi ($FSL < 1$) dan Gambar 6 menunjukkan profil penampang arah barat – timur. Berdasarkan hasil analisis nilai faktor keamanan terhadap likuefaksi, nilai PGA 0,3 g menghasilkan zona lapisan terlikuefaksi yang lebih banyak dibandingkan nilai PGA lainnya. Hal ini disebabkan oleh nilai rasio tegangan siklik (CSR) yang besar. Sementara itu, Gambar 6 menunjukkan gambaran umum wilayah DAS Cimanuk bagian hilir yang berpotensi likuefaksi apabila terjadi gempa besar yang mirip dengan kejadian gempa tahun 1847.



Gambar 5. Profil penampang selatan-utara perbandingan zona lapisan sedimen terlikuefaksi atau berpotensi likuefaksi di daerah penelitian. a) PGA 0,15 g dan b) PGA 0,3 g.



Gambar 6. Peta zona potensi likuefaksi pada wilayah DAS Cimanuk bagian hilir Kabupaten Indramayu.

KESIMPULAN

Fasies yang berkembang di daerah penelitian berdasarkan interpretasi kesebandingan pola kurva CPT dan CPTu dengan titik bor adalah fasies paparan delta (delta plain), muka delta (delta front), dan ujung delta (prodelta). Fasies tersebut berkembang pada seluruh daerah penelitian seiring dengan perubahan garis pantai. Fasies lanau dan lempung prodelta paling banyak ditemukan di daerah penelitian, terutama pada wilayah bagian utara.

Secara umum, sedimen pasir (fasies pasir fluvial dan pasir pematang pantai) dan pasir (fasies lanau pasir delta front) di daerah penelitian berpotensi terhadap likuifaksi baik analisis dengan menggunakan data SPT maupun CPT/CPTu. Potensi likuifaksi lebih banyak berada pada wilayah utara daerah penelitian, yang disebabkan oleh rendahnya tingkat kepadatan sedimen pasir dan pasir (nilai N-SPT < 10 atau qc < 6.000 kPa).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan RI yang telah memberikan kesempatan melanjutkan studi pascasarjana serta bantuan dana penelitian serta Pusat Penelitian Geoteknologi BRIN Bandung atas kesempatan dan kepercayaan untuk melakukan penelitian ini.

KESIMPULAN

Simpulan berisi rangkuman singkat atas hasil penelitian dan pembahasan. Simpulan adalah temuan penelitian yang berupa jawaban atas tujuan penelitian Berdasarkan hal tersebut dapat dikembangkan pokok-pokok pikiran baru yang merupakan esensi dari temuan penelitian. Hasil penelitian memberikan saran/kontribusi terhadap aplikasi dan/atau pengembangan ilmu. Simpulan dan saran dipaparkan dalam bentuk paragraf, antara 5-10% total panjang naskah.

DAFTAR PUSTAKA

- Achdan, A. dan Sudana, D. (1992). *Peta geologi lembar Indramayu*, Jawa Barat. Bandung, Badan Geologi.
- Amorosi, A. dan Marchi, N. (1999). High resolution sequence stratigraphy from piezose test: an example from Late Quaternary deposits of the southeastern Po Plain. *Sedimentary Geology*, Elsevier, 128, 67-81.
- Batu, U. M. L dan Hidayat, S. (2011). Geologi bawah permukaan kaitannya dengan potensi pelulukan likuifaksi di daerah Eretan dan Losarang, Jawa Barat. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, 21, 109-124.
- Bell, F. G., (2007). *Engineering Geology*, second edition. Butterworth-Heinemann, Elsevier Ltd., Jordan Hill, Oxford.
- Bird, E. C. F. dan Ongkosongo, O. S. R. (1980). Environmental changes on the coasts of Indonesia. The United Nation University, Tokyo.
- Boulanger, R. W. dan Idriss, I. M. (2014). *CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Department of Civil and Environmental Engineering*, University of California.
- Buana, T. W., Hermawan, W., Rahdiana, R. N., Widyaningrum, R., Wahyudin, Hasibuan, G., Wiyono, dan Solly, W. P. (2019). Atlas zona kerentanan likuifaksi Indonesia. Badan Geologi, Bandung.
- De Mio, G. dan Giacheti, H. L. (2006). The use of piezose test for high-resolution stratigraphy of Quaternary sediment sequences in the Brazilian coast. *Annals of The Brazilian Academy of Sciences*, 79, 153-170.
- Djuri, M. (1973). Peta geologi lembar Arjawinangun, Jawa Barat. Bandung, Badan Geologi.
- Iqbal, P. (2013). *Fasies dan karakteristik fisik sedimen Kuartar berpotensi likuifaksi di pesisir Kota Padang dan sekitarnya, provinsi Sumatra Barat*. Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Iqbal, P., Soebowo. E., Tohari, A., Sadisun, I. A., dan Nugroho, D. (2016). Interpretasi data CPT untuk stratigrafi kuartar resolusi tinggi daerah pesisir Kota Padang, Sumatra Barat. Dalam Prosiding Geotek Expo Puslit Geoteknologi LIPI, Bandung, Indonesia.
- Irsyam, M., Widiyantoro, S., Natawidjaja, D. H., Meilano, I., Rudyanto, A., Hidayati, S., Triyoso, W., Hanifa, N. R., Djarwadi, D., Faisal, L., dan Sunarjito. (2017). Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

- Kramer, S. L. (2008). *Evaluation of liquefaction hazards in Washington State*. Washington State Transportation Center, Washington, USA.
- Lafuerza, S., Canals, M., Casamor, J. L., dan Devicienci, J. M. (2005). Characterization of deltaic sediment bodies based on in situ CPT/CPTU profiles: A case study of the Llobregat delta plain, Barcelona, Spain. *Marine Geology*, Elsevier, 222, 497-510.
- Nguyen, N., Griffin, J., Cipta, A., dan Cummins, P. R. (2015). *Indonesia's Historical Earthquakes: Modelled examples for improving the national hazard map*. Record 2015/23. Geoscience Australia, Canberra. <http://dx.doi.org/10.11636/Record.2015.023>
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy* 2nd edition. John Willey and Sons Ltd., Blackwell Publishing, Chichester, UK.
- Robertson, P. K., dan Wride, C. E. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, 35, 442-459.
- Sani, R. A., Soebowo, E., dan Sadisun, I. A. (2020). Karakteristik keteknikan sedimen Kuartar kaitannya dengan potensi bahaya geologi di kawasan DAS Cimanuk bagian hilir. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 11, 161-173.
- Satriyo, A. S. (2017). *Analisis karakteristik fisik dan daya dukung sedimen Kuartar di wilayah pesisir Pendungan, Kabupaten Bali Selatan serta kaitannya dengan sebaran fasies*, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung.
- Soebowo, E. (2016). Geologi teknik sedimen Kuartar dan bahaya amblesan, likuefaksi di Serangan - Tuban - Tanjung Benoa, Bali. *Riset Geologi dan Pertambangan*, 26, 41-54.
- Styllas, M. (2014). *A simple approach to define Holocene sequence stratigraphy using borehole and cone penetration test data*. *Sedimentology*, 61, 444-460.
- Tjia, H. D., Asikin, S., dan Atmadja, R. S. (1968). Coastal accretion in western Indonesia. *Bulletin of National Institute of Geology and Mining*, 1, 15-45.