

PENGARUH KARAKTERISTIK ENDAPAN SEDIMEN PANTAI TERHADAP LIQUIFAKSI DI KAWASAN PESISIR PANGANDARAN DAN SEKITARNYA, KABUPATEN CIAMIS, JAWA BARAT

Oleh :

Kris Budiono dan Purnomo Raharjo

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjuran No. 236 Bandung-40174

SARI

Liquifaksi adalah salah satu bencana geologi yang berhubungan dengan kegempaan, dimana tekanan pori dalam tanah atau sedimen mengalami peningkatan akibat getaran, sehingga mengakibatkan aliran air ke arah permukaan tanah. Liquifaksi umumnya terjadi pada dataran rendah termasuk kawasan pesisir.

Daerah penelitian yang terletak di sekitar pantai Pangandaran dan Parigi terdiri dari endapan lempung, lanau, pasir dan kerikil yang bersifat lepas dan jenuh air, secara regional sering dipengaruhi oleh kekuatan gempa antara 5,5 – 6 skala Richter dengan percepatan tanah antara 150 – 200 mgal. Kondisi seperti ini apabila terjadi gempa sangat memungkinkan untuk terjadi liquifaksi.

Berdasarkan hasil perhitungan secara kuantitatif nisbah pori kritis, tidak semua lokasi penelitian akan mengalami liquifaksi pada percepatan permukaan 150 – 200 mgal. Berdasarkan nilai tumbukan SPT yang dipakai untuk analisis “simplified procedure”, daerah penelitian secara umum relatif kecil terhadap bahaya liquifaksi.

Namun demikian berdasarkan korelasi antara sifat mekanik tanah dengan nilai SPT, pada kedalaman 0 – 8 m terdapat lapisan sedimen yang cukup rentan terhadap liquifaksi.

Kata kunci: Liquifaksi, sedimen pantai, Pangandaran

ABSTRACT

Liquefaction is one of many geological hazards related to an earthquake, where the void ratio pressure in soil or sediment will increase due to the vibration, that causing water flow up to the ground surface. Generally liquefaction is occurred in the low lying areas including coastal zone.

The survey area located in the Pangandaran and Parigi coasts, is consisted of clay, silt, sand and gravel, of loose and saturated properties, generally is frequently influenced by 5,5 – 6 Richter scale of earthquake strength with the ground acceleration between 150 – 200 mgal. The liquefaction will be occurred in this condition if there is an earthquake.

Based on the quantitatively calculation of critical void ratio, the liquefaction at ground acceleration of 150 – 200 mgal will not be occurred at all of the survey area. Based on the number of blows of SPT which is used for simplified procedure analysis, it shows that the study area is less influenced by the liquefaction.

Nevertheless, based on the correlation between soil mechanic properties and SPT value, there is potential liquefiable sediments layer between the depth of 0 – 8 meters.

Key words: liquefaction, coastal sediment, Pangandaran

PENDAHULUAN

Lokasi daerah penelitian berada di kawasan pantai, wilayah Kecamatan Pangandaran dan Kecamatan Parigi, Kabupaten Ciamis, Provinsi Jawa Barat, yang secara geografis terletak pada koordinat $108,48^{\circ}$ – $108,67^{\circ}$ Bujur Timur dan $7,62^{\circ}$ - $7,75^{\circ}$ Lintang Selatan (Gambar 1)

Penelitian ini merupakan salah satu pengembangan dari hasil penelitian Geologi dan Geofisika Kelautan yang telah dilakukan oleh Puslitbang Geologi Kelautan di kawasan pantai dan Perairan Pangandaran pada tahun 2003.

Secara umum latar belakang penelitian ini adalah karena banyaknya likuifaksi yang terjadi di sekitar kawasan pantai yang menyebabkan rusaknya infrastruktur.

Maksud dan tujuan penelitian adalah untuk melihat sampai sejauh mana karakteristik sedimen atau tanah di sekitar kawasan pantai pangandaran dan sekitarnya berpengaruh terhadap likuifaksi apabila daerah tersebut dilanda gempa.

Diharapkan hasil analisis ini dipakai sebagai acuan untuk menempatkan bangunan infrastruktur pada lokasi yang relatif aman terhadap kejadian likuifaksi.

GEOLOGI TEKNIK DAERAH PENELITIAN

Berdasarkan pemetaan geologi teknik yang dilakukan di sekitar kawasan pesisir Pangandaran dan modifikasi dari hasil pemetaan geologi yang telah dilakukan oleh Simandjuntak dan Suroso (1992), Supriatna (1992) serta Sutrisno (1983), maka kondisi geologi teknik daerah penelitian adalah sebagai berikut:

Sedimen pasirlanauan

Pasirlanauan merupakan endapan pantai dan pematang pantai, berwarna abu-abu kehitaman, berbutir halus – sedang, membundar – membundar tanggung, lepas – sangat lepas, bergradasi baik dengan kelembaban basah-kering, mengandung fragmen batuan, mineral hitam, plagioklas, gelas vulkanik dan karbonat.

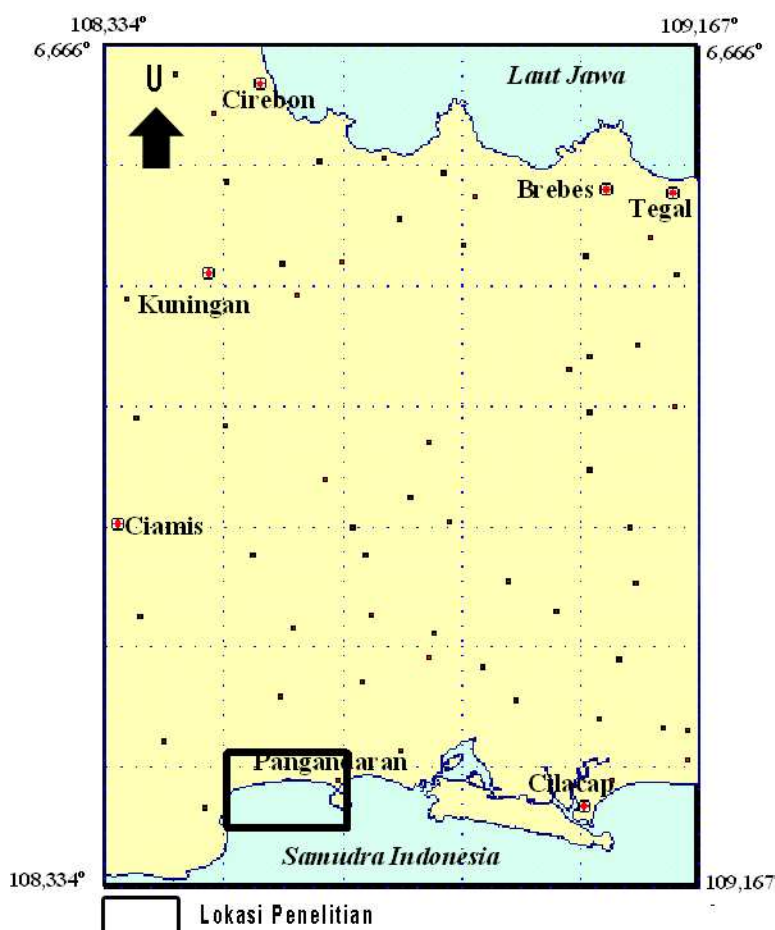
Sedimen ini tersebar di sepanjang Pantai Parigi – Pangandaran.

Sedimen pasirlempungan

Sedimen ini pada umumnya merupakan endapan limbah banjir, terdiri dari pasir, lempung dan sedikit krikil, berwarna abu kehitaman-coklat, berbutir halus – kasar, berbentuk membundar tanggung – menyudut tanggung, sortasi jelek, bersifat lepas – agak padat, kelembaban lembab – basah, mengandung fragmen batuan, mineral hitam, plagioklas dan gelas vulkanik. Tersebar di sebelah barat Parigi.

Sedimen lempungpasiran

Sedimen lempung pasiran terdapat di sekitar rawa-rawa muara Sungai Citonjong dengan penyebaran yang merata. Sedimen ini berwarna abu-abu kehitaman sampai kelabu terang, agak kenyal – kenyal, berplastisitas sedang – tinggi, setempat mengandung cangkang moluska dan sedikit material vulkanik.



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian

Sedimen kerikil lempungan

Sedimen ini terdiri dari fragmen batu lempung dan batu gamping, berwarna kelabu – coklat, bentuk butir membundar tanggung – menyudut tanggung, bersifat lepas, tersebar disekitar Kampung Parigi.

Batulempung

Batulempung terdapat di sebelah barat daerah penelitian, berwarna kelabu muda, bersifat padu, berlapis baik, kadang-kadang bercampur dengan batuan tufa pasiran.

Lingkungan pengendapan batuan ini adalah laut dangkal yang berumur Miosen Tengah (Simandjuntak dan Surono, 1992).

Tufa

Tufa, berwarna kelabu kecoklatan–kekuningan, padat, berlapis baik, mengandung plagioklas, piroksin, oksida besi dan setempat bersifat gampingan. Batuan ini berumur Miosen Tengah dan merupakan endapan laut dangkal terbuka (Simandjuntak dan Surono, 1992).

Batupasir

Batupasir ini bersifat gampingan, berwarna putih kotor – putih kekuningan, berukuran sedang-kasar, berbentuk membundar tanggung, terdiri dari kuarsa dan mineral hitam, bersifat lunak dan setempat terdapat sisipan lignit. Batuan ini terdapat disebelah barat daerah penelitian. Umur batuan ini adalah Miosen Akhir dan merupakan endapan neritik (Supriatna dr, 1992).

Breksi

Batuan ini berwarna kelabu tua – hitam, terdiri dari aneka bahan, bersifat padat dan keras, komponen berukuran antara 0,5 cm dan 2 meter yang terdiri dari andesit, batu gamping, tufa dan batu pasir, berbentuk menyudut tanggung.

Batugamping

Batuan ini merupakan batugamping terumbu, berwarna putih kelabu, padat, keras, berongga dan pada beberapa tempat berlapis, merupakan endapan laut dangkal yang berumur Miosen Tengah –Pliosen Awal (Simandjuntak dan Surono, 1992).

Struktur geologi dan kegempaan

Pada daerah penelitian tidak dijumpai struktur geologi berupa perlipatan dan patahan,

hal ini mencirikan bahwa daerah penelitian tidak dipengaruhi oleh struktur geologi.

Secara regional, daerah selatan Jawa Barat sangat dipengaruhi oleh pergerakan lempeng Samudra Hindia. Berdasarkan laporan Badan Meteorologi dan Geofisika, daerah penelitian termasuk pada zona gempa 5,5 – 6 skala Richter dan mempunyai percepatan permukaan antara 150 – 200 mgal (Anonim, 2001)

Geohidrologi

Secara umum litologi daerah penelitian terdiri dari lempung, lanau, pasir, kerikil, breksi, tufa, breksi dan batu gamping. Kelulusan air (permeabilitas) litologi tersebut sedang – tinggi untuk material kasar dan relatif kecil untuk materil fraksi halus. Pada umumnya kedalaman muka air tanah berkisar antara 0,5 – 1,5 m pada sedimen pasir lempungan dengan debit < 5 l/hr (Soetrisno, 1983)

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang telah dilakukan terdiri dari pemboran inti, pengujian SPT di tempat, pengujian laboratorium mekanika tanah, dan pengolahan data terdiri dari analisis kegempaan, analisis geologi teknik dan analisis potensi liquifaksi.

Pemboran dan pengujian SPT

Pemboran inti telah dilakukan di tiga lokasi dengan kedalaman maksimum 22 m. Dalam pemboran inti ini telah dilakukan pengujian setempat dengan metode SPT (Standard Penetration Test) yaitu dengan menggunakan *split-spoon sampler*, masa seberat 63,5 kg yang dijatuhkan secara bebas dari ketinggian 76,2 cm.

Nilai SPT yang akan digunakan untuk analisis liquifaksi dikoreksi terlebih dahulu terhadap besaran energi tumbukan dan tegangan timbunan tanah.

Koreksi energi tumbukan dibuat berdasarkan Tosun dan Ulusay (1997) dengan memakai formula:

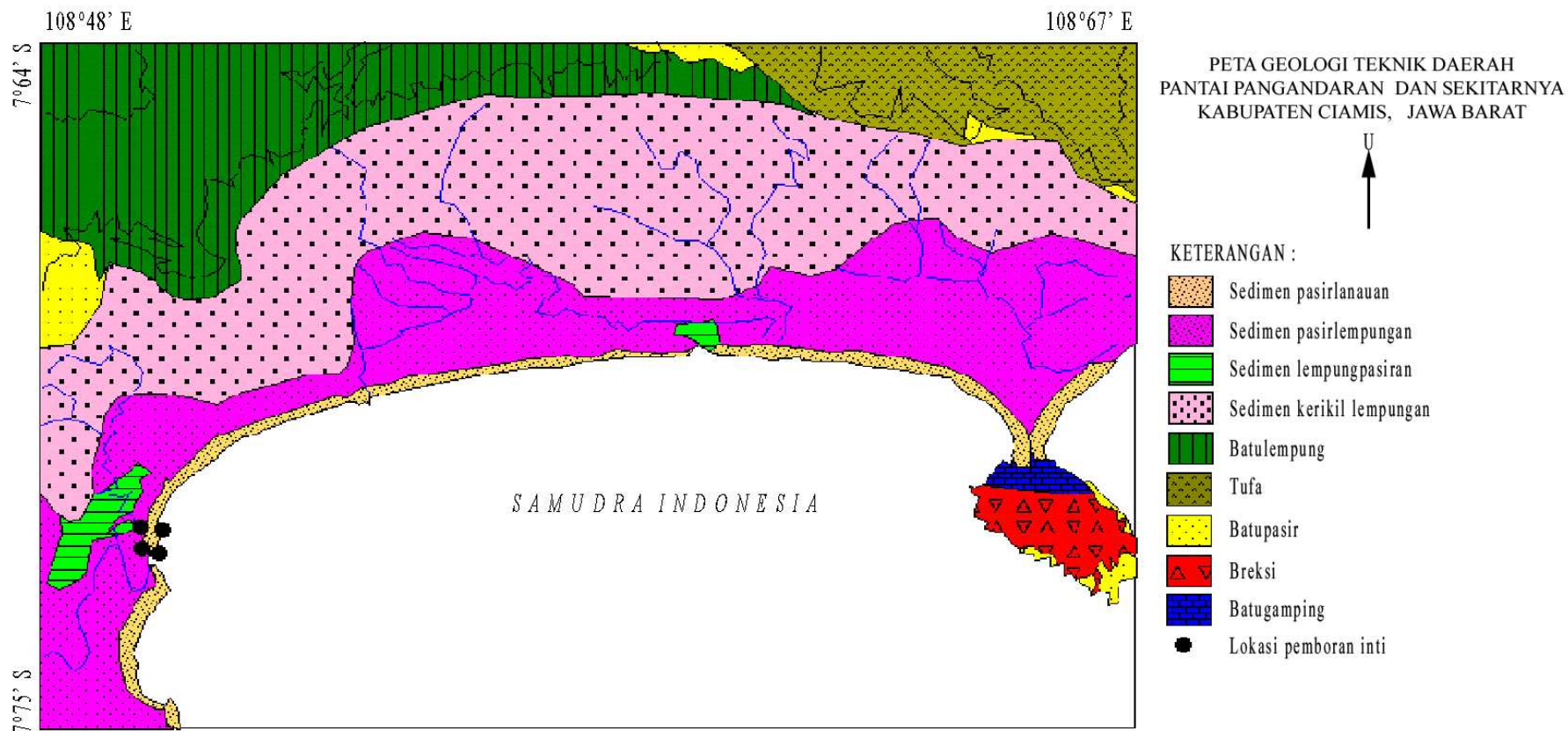
$$N_{60} = N \cdot (ER_r/60)$$

Dengan:

N_{60} = nilai koreksi N-ST

N = nilai N –SPT terukur

ER_r = faktor rasio energi, digunakan 60% pada tiap tumbukan



Gambar 2. Peta geologi teknik daerah pantai Pangandaran dan sekitarnya (modifikasi dari :Simanjutak dan Surono (1992), Supriatna (1992), Sutrisno (1983)

Koreksi terhadap tekanan *overburden* mempergunakan formula

$$(N1)60 = CNN60$$

Dengan:

CN = faktor koreksi terhadap tegangan efektif

Pengujian laboratorium

Pengujian mekanika tanah yang telah dilakukan terdiri dari pengujian: batas Atterberg, tegangan efektif dan kuat geser tanah

Analisis kegempaan

Gempa pada frekuensi tertentu dapat menimbulkan likuifaksi serta bencana susulan berupa *settlement*, *subsidence* dan longsoran. Kerusakan yang akan terjadi dapat diperkirakan berdasarkan perbandingan antara besaran gempa dan intensitas maksimum.

Sejarah kegempaan dan data kegempaan terakhir merupakan informasi penting untuk prediksi likuifaksi pada jenis sedimen tertentu. Tanah atau sedimen yang pernah mengalami likuifaksi kemungkinan dapat terjadi lagi pada gempa yang akan datang (Kramer, 1996)

Analisis geologi teknik

Tanah atau batuan mempunyai sifat fisik dan mekanik yang berbeda, bergantung kepada tempat asalnya. Beberapa ciri geologi yang mempengaruhi sifat fisik dan keteknikan tanah atau batuan adalah : kandungan dan komposisi mineral akan berhubungan dengan *specific gravity*(Gs), batas atterberg dan indeks plastis, tekstur dan struktur akan berhubungan dengan berat unit; porositas, kandungan air, konsistensi; pengkekan akan berhubungan dengan kekuatan (strength), deformasi dan permeabilitas (Anonymous, 1976). Berdasarkan perbedaan sifat fisik dan keteknikan tersebut, akan dihasilkan satuan geologi teknik.

Analisis potensi likuifaksi

Jenis tanah atau sedimen sangat berpengaruh terhadap kerentanan likuifaksi. Sedimen pasir, pasirlanauan dan lanaupasiran diklasifikasikan sebagai sedimen atau tanah yang rentan terhadap likuifaksi. Hal-hal lain yang mempengaruhi kerentanan terhadap likuifaksi adalah, ukuran butir, bentuk butir dan lain-lain.

Resiko kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh likuifaksi bergantung pada

tinggi rendahnya indeks potensi likuifaksi (I_L). Indeks potensi likuifaksi dipengaruhi oleh kedalaman dan faktor ketahanan tanah terhadap likuifaksi (F_L). Selanjutnya Iwasaki (1978; dalam Iwasaki dkk 1982) memperkirakan bahwa likuifaksi sering terjadi pada kedalaman <10 meter. Untuk mengetahui hal ini dipakai formula sebagai berikut:

$$I_L = \int_0^{20} F \times W(Z) dZ$$

Dengan:

$$F = 1 - F_L \quad F \leq 1$$

$$F = 0 \quad F > 1$$

$$W(Z) = 10 - 0,5Z \text{ (m)}$$

Analisis kerentanan tanah terhadap likuifaksi

Analisis potensi likuifaksi dilakukan dengan mencari faktor ketahanan tanah terhadap likuifaksi (F_L). Faktor ketahanan tanah terhadap likuifaksi adalah kemampuan tanah pada kedalaman tertentu untuk bertahan terhadap likuifaksi yang timbul akibat goncangan selama gempa terjadi. Faktor ini dihasilkan berdasarkan persamaan :

$$F_L = \frac{R}{L}$$

Dengan:

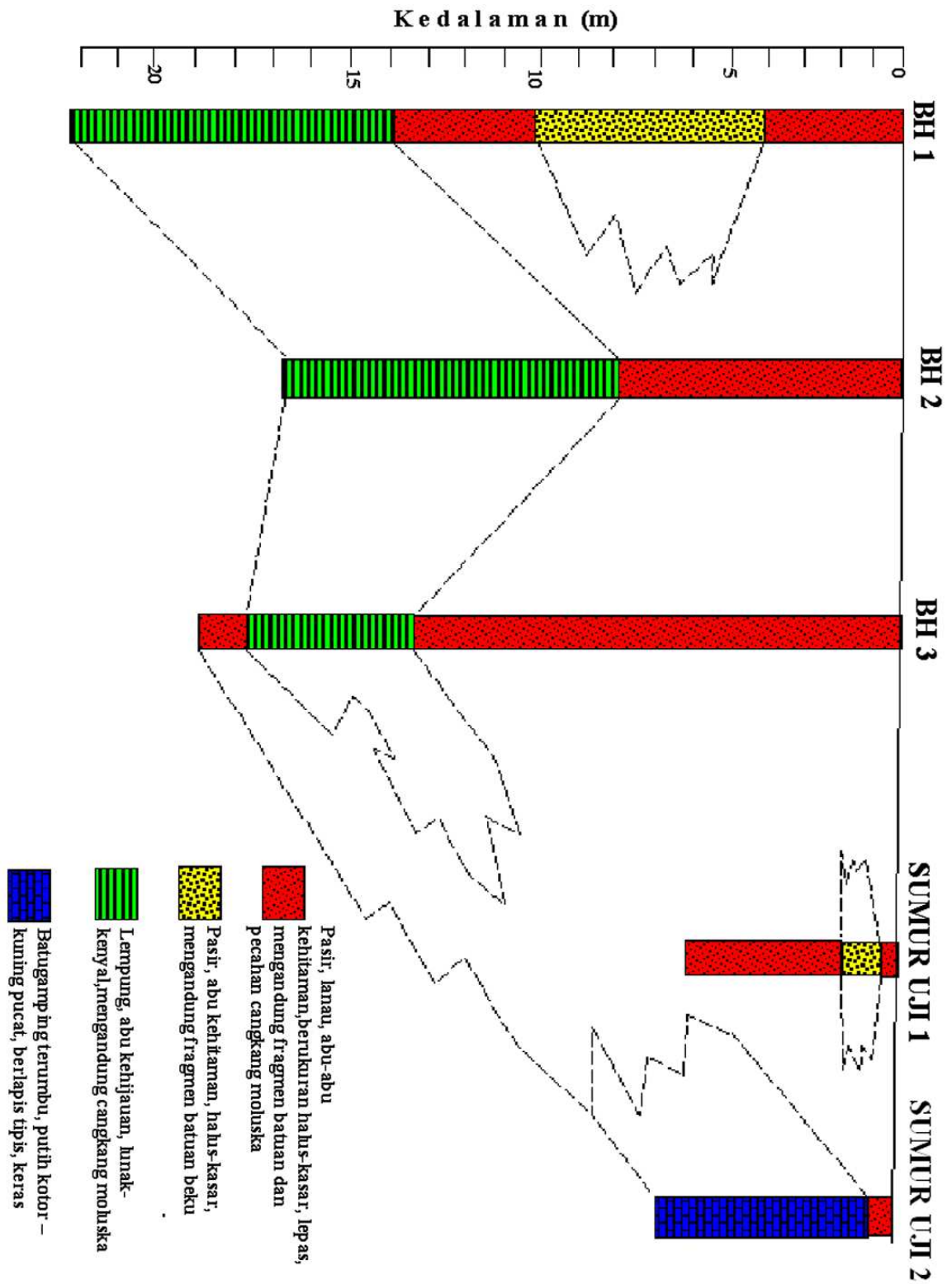
R = daya tahan tanah terhadap tegasan, berdasarkan N-SPT

L = tekanan maksimum pada tanah yang ditimbulkan oleh gempa

HASIL PENELITIAN

Berdasarkan hasil pemboran inti, pengujian SPT (Purnomo, 2001), pengujian laboratorium dan pengolahan data maka karakteristik sedimen atau tanah di daerah penelitian adalah sebagai berikut :

Litologi di daerah penelitian terdiri dari pasir lanauan, pasir dan lempung. Pasir lanauan merupakan lapisan paling atas, sangat halus, berwarna abu-abu kecoklatan – kehitaman, berukuran halus – kasar, berbentuk membundar tanggung – menyudut tanggung, bersifat lepas, mengandung material vulkanik dan pecahan cangkang moluska, tersebar merata dengan ketebalan lebih kurang 1 – 15 m. Secara umum



Gambar 3. Penampang sedimen berdasarkan hasil pemboran

jenis sedimen ini merupakan endapan dekat pantai.

Di bawah sedimen pasir dan lanau dijumpai sedimen pasir, berwarna abu-abu kehitaman, berukuran kasar, bersifat lepas, mengandung fragmen vulkanik yang cukup melimpah dan merupakan lensa-lensa. Sedimen ini merupakan endapan limbah banjir dengan ketebalan 1,5 – 6 meter.

Sedimen lempung, merupakan lapisan paling bawah, berwarna abu-abu terang, bersifat plastis, lunak, kenyal, mengandung material vulkanik dan pecahan cangkang moluska, ketebalan 5 – 8,5 meter.

Berdasarkan sejarah kegempaan, daerah penelitian pernah mengalami pengaruh gempa yang cukup merusak yaitu: Gempa bumi Jawa Tengah dan Sukabumi dengan magnitudo 4,3 – 5,5 skala Richter dan kedalaman antara 33 – 100 km.

Pengujian SPT sangat membantu dalam analisis geoteknik, khususnya untuk melihat karakteristik sedimen terhadap pengaruh liquifaksi. Hasil pengujian SPT di lapangan selanjutnya dikoreksi terhadap tegangan efektif tanah dan dikorelasikan dengan densitas untuk jenis tanah pasir dan konsistensi untuk jenis tanah lempung (Terzaghi & Peck, 1984).

Berdasarkan korelasi nilai N-SPT koreksi, dengan sifat fisik tanah seperti jenis sedimen dan densitas, terdapat beberapa lapisan tanah atau sedimen yang cukup rentan terhadap pengaruh liquifaksi (Tabel 1). Pada lubang pemboran 1 (BH-1), pada kedalaman 2 – 6 meter terdapat pasir halus yang bersifat lepas, demikian pula di BH-3 pada kedalaman 0,25 – 2,3 meter. Pada jenis tanah yang sama, nilai N-SPT akan semakin besar seiring dengan bertambahnya kedalaman. Sedimen atau tanah yang rawan terhadap liquifaksi adalah sedimen yang memiliki densitas kecil atau bersifat lepas dan ditandai oleh nilai SPT yang kecil. Selanjutnya Iwasaki (1978) memperkirakan bahwa tanah yang mengalami liquifaksi pada umumnya berada pada kedalaman < 10 meter. Di daerah penelitian sedimen yang rentan terhadap liquifaksi berada pada kedalaman 0,25 – 6 m.

Berdasarkan sifat indeks tanah, liquifaksi akan terjadi apabila fraksi halus (lempung) $\leq 15\%$ dari total keseluruhan fraksi kasar (Wang, 1979 dalam Chung & Wong, 1982).

Di daerah penelitian, tanah atau sedimen dengan lempung kurang dari 15% dan cenderung terjadinya liquifaksi terdapat pada kedalaman 0 – 8 meter.

PEMBAHASAN

Resiko kerusakan pada bangunan yang terjadi pada bangunan akibat liquifaksi bergantung kepada tinggi rendahnya indeks potensi liquifaksi (I_L) yang dipengaruhi oleh faktor daya tahan terhadap liquifaksi (F_L) pada kedalaman tertentu. Apabila daya tahan terhadap liquifaksi semakin besar, maka resiko kerusakan bangunan akan semakin kecil. Sebagai contoh di BH-1 pada kedalaman 1 meter dengan percepatan 200mgal, maka perhitungan untuk mendapatkan potensi liquifaksi adalah:

$$\text{Jika } F_L = 3,368$$

$$F = 1 - F_L; \text{ maka } F = 1 - 3,368 = -2,368$$

$$W(Z) = 10 - 0,5Z; \text{ jika } Z = 1 \text{ meter, maka}$$

$$W(Z) = 9,5 \text{ meter}$$

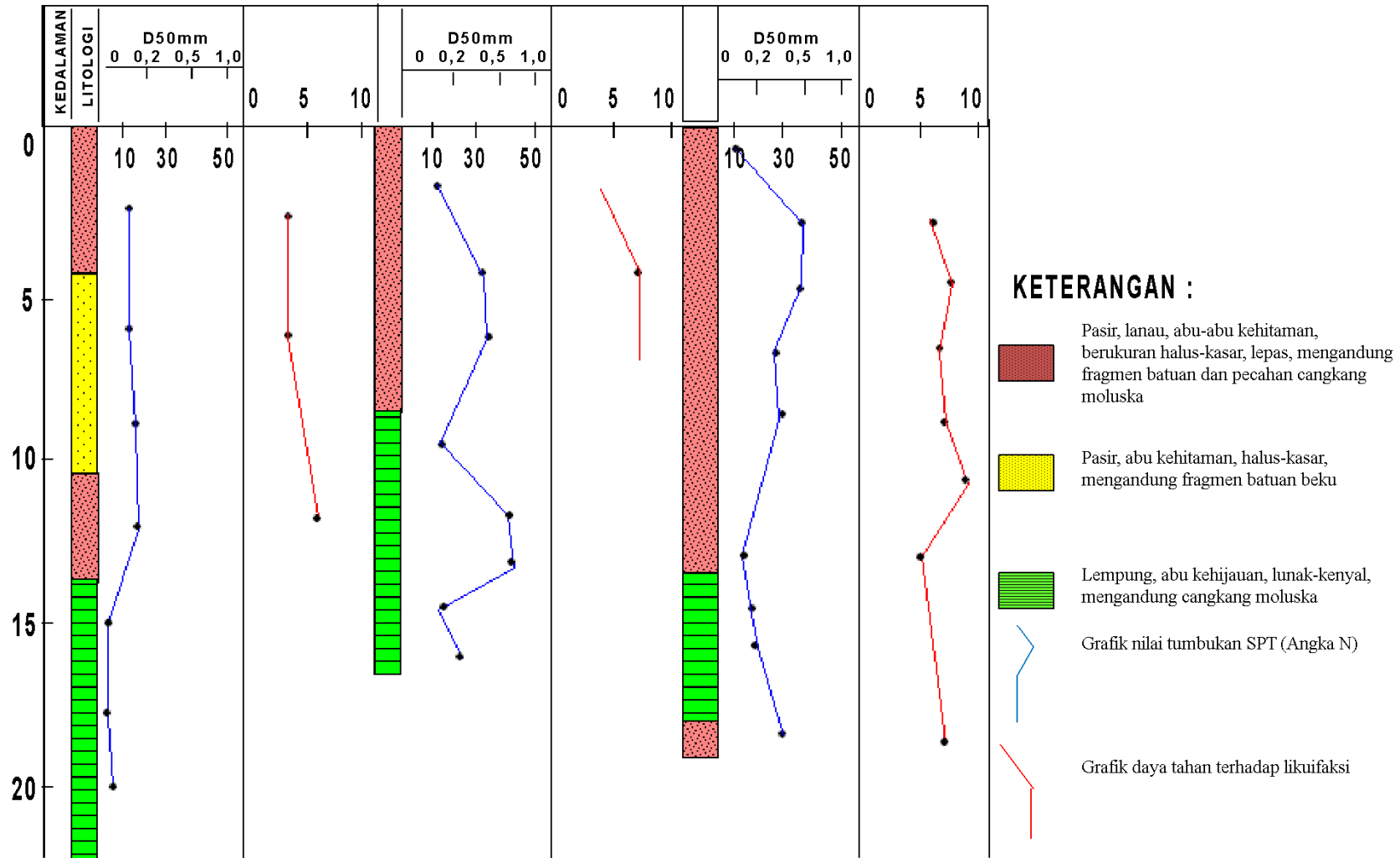
$$I_L = \int_0^{20} F X W(Z) dZ$$

$$I_L = -2,368 \times 9,5$$

$$= -22,496$$

Iwasaki dkk (1982) berpendapat bahwa jika $I_L = 0$, potensi liquifaksi sangat rendah. Berdasarkan perhitungan di daerah penelitian di BH-1 pada kedalaman 1 m, harga $I_L = -22,496$. Kondisi ini memperlihatkan bahwa harga $I_L < 0$ yang menandakan bahwa pada percepatan antara 150 – 200 mgal daerah penelitian tidak berpotensi terhadap liquifaksi. Berdasarkan perhitungan analisis potensi liquifaksi dengan mempergunakan metode *simplified procedure* daerah penelitian kembali tidak memperlihatkan resiko terjadinya liquifaksi (Gambar 4). Namun demikian pada beberapa tempat ada lapisan tanah yang kemungkinan rentan terhadap liquifaksi terutama pada jenis sedimen pasir yang bergradasi baik seperti di BH-1 pada kedalaman 2,3 dan 9 meter dan di BH 2 pada kedalaman 7 – 8 meter.

Untuk mengantisipasi terhadap bencana liquifaksi apabila percepatannya lebih besar dari 200 mgal, harus dilakukan perhitungan potensi liquifaksi yang tidak terduga dan kapan liquifaksi



Gambar 4. Penampang nilai daya tahan terhadap liquifaksi, berdasarkan metode "Simplified procedure"

Tabel 1.Koreksi nilai N-SPT dan korelasi dengan sifat fisik tanah

NO LUBANG BOR	KEDALAMAN(m)	JENIS SEDIMEN	N - SPT	N60	Kgff/cm ²	Cn	(N1)60	RELATIF DENSITAS	KONSISTENSI	PEMERIAN
BH-1	2,35	Pasirhalus	14	10,5	0,118	0,773	8,118	0,2-0,4	-	Urai
	6	Pasirhalus	9	6,75	0,593	1,353	9,130	0,2-0,4	-	Urai
	9	pasirlanauan	22	16,5	1,487	0,812	13,397	0,4-0,6	-	Agak padat
	12	Pasirlanauan	22	16,5	1,687	0,745	12,299	0,4-0,6		Agak padat
	15	Lempungpasiran	7	5,25	1,948	0,673	3,535		0,25-0,50	Lunak
	17,5	Lempungpasiran	9	6,75	2,351	0,586	3,955		0,25-0,50	Lunak
	20	Lempungpasiran	14	10,5	2,697	0,527	5,534		0,50-1	Agak kenyal
	22	Lempungpasiran	43	10,5	2,902	0,497	16,046		2-4	Sangat kenyal
BH-2	1,5	Pasirhalus	18	13,5	0,304	0,773	10,437	0,4-0,6		Agakpadat
	4	Pasirhalus	39	29,25	0,985	1,047	30,624	0,6-0,8		Padat
	6	Pasirhalus	42	31,5	0,985	1,047	32,979	0,6-0,8		Padat
	9,5	Lempungpasiran	19	14,25	1,306	0,884	12,593		1-2	Kenyal
	11,3	Lempungpasiran	67	50,25	1,403	0,844	42,411		4-8	Keras
	13	Lempungpasiran	80	60	1,756	0,725	43,509		4-8	Keras
	14,4	Lempungpasiran	29	21,75	1,756	0,725	15,772		2-4	Sangatkenyal
	16	Lempungpasiran	52	39	2,141	0,628	24,508		2-4	Sangatkenyal
BH-3	0,25	Pasirhalus	11	8,25	0,322	0,773	6,378	0,2-0,4		Urai
	2,3	Pasirhalus	61	45,75	0,322	0,773	35,372	0,6-0,8		Padat
	4,5	Pasirhalus	42	31,5	0,899	1,101	34,688	0,6-0,8		Padat
	6,3	Pasirhalus	32	24	0,899	1,101	26,429	0,4-0,6		Agakpadat
	8,4	Pasirhalus	36	27	0,899	1,101	29,732	0,4-0,6		Agakpadat
	10,4	Pasirhalus	71	53,25	0,899	1,101	58,639	0,8-1		Sangatpadat
	12,3	Pasirhalus	7	5,25	0,899	1,101	5,781	0,2-0,4		Urai
	14,3	Lempungpasiran	20	15	1,985	0,664	9,964		1-2	Kenyal
	15,6	Lempungpasiran	22	16,5	2,062	0,646	10,663		1-2	Kenyal
	18,5	Lanaupasiran	83	62,25	4,796	0,328	20,396		2-4	Sangatkenyal

akan terjadi. Perhitungan dapat dilakukan dengan mengasumsikan kondisi tanah seperti dalam keadaan semula, dan untuk memprediksi kapan likuifaksi akan terjadi maka percepatan maksimum di tanah permukaan harus diketahui.

Berdasarkan perhitungan secara kualitatif dan kuantitatif, kemungkinan lokasi daerah penelitian akan mengalami likuifaksi pada percepatan maksimum 400 – 900 mgal dengan kekuatan gempa 7,6 – 8,0 skala Richter.

SIMPULAN

Likuifaksi adalah fenomena geologi yang merusak yang diakibatkan oleh getaran gempa. Likuifaksi sering terjadi di daerah dataran rendah termasuk kawasan pantai, yang pada umumnya ditempati oleh sedimen lempung dan pasir yang bersifat lepas dan jenuh air.

Berdasarkan peta geologi teknik dan pemboran inti, kawasan pesisir Pangandaran dan sekitarnya dicirikan oleh sedimen lempung dan pasir, bersifat lepas dan jenuh air. Catatan gempa regional menyatakan bahwa daerah ini terletak pada zona gempa dengan kekuatan 5 – 6 skala Richter dengan percepatan permukaan 150 – 200 Mgal. Kondisi seperti ini memungkinkan terjadinya likuifaksi.

Berdasarkan evaluasi potensi likuifaksi secara kuantitatif tidak semua lokasi penelitian akan mengalami likuifaksi pada percepatan 150 – 200 mgal. Namun berdasarkan korelasi nilai N-SPT dan sifat fisik serta mekanik tanah, terdapat lapisan sedimen yang cukup terpengaruh dan rentan terhadap likuifaksi, yaitu pada kedalaman 0 – 8 m.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Ir. Subaktian Lubis MSc selaku Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan yang telah memberikan kesempatan dalam penulisan makalah ini. Terimakasih pula kepada teman-teman yang telah memberikan masukan dan koreksinya sehingga selesainya tulisan ini.

ACUAN

Anonim., 2001, Seismisitas Indonesia. BMG. Jakarta

Anonymous., 2001, *Engineering Geological Maps*. The Unesco Press. Paris

Chung, Sam, Jr dan Wong, I.H, 1982, Liquefaction Potential of Soil with Plastic Fines. Dalam: Soil Dynamic & Earthquake Engineering. A.S Cakmak/A.M Abdel-Ghaffar dan C.A. Brebia (Editor), *Proceeding of The conference On Soil Dynamic and Earthquake Engineering, Southampton*, 887 – 895 h.

Iwasaki, Toshio, Arakawa, Tadashi dan Tokida, Ken-Ichi, 1982. Simplified Procedures for Assessing Soil Liquefaction during Earthquake, Dalam: Soil Dynamic & Earthquake Engineering, A.S Cakmak/A.M Abdel-Ghaffar dan C.A. Brebia (Editor), *Proceeding of The conference On Soil Dynamic and Earthquake Engineering, Southampton*, 925 – 939 h.

Purnomo, R., 2001, Penyelidikan Geologi dan Geofisika Perairan Pangandaran dan sekitarnya, *Pusat Pengembangan Geologi Kelautan*, Bandung

Simandjuntak dan Surono., 1992, Peta Geologi Kuarter Lembar Pangandaran, Jawa Barat. *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*. Bandung

Soetrisno, S., 1983. Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar Bandung, Jawa Barat skala 1:250.000, *Direktorat Geologi dan Tata Lingkungan*, Bandung

Supriatna., 1992. Peta Geologi Kuarter Lembar Karangnunggal, Jawa Barat skala 1:100.000 *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*, Bandung.

Tosun, H., Ulusay R., 1997, Engineering geological characterization and evaluation of liquefaction susceptibility of foundation soils at a dam site, southwest Turkey. *Environ. Eng. Geosci.* 3(3), 389–409

Terzaghi, L.D & Peck, R.B, 1967, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ED, John Wiley & Sons, Inc, New York