

## PERBAIKAN GRADASI TANAH PASIR SERAGAM UNTUK MENINGKATKAN NILAI N-SPT DAN KETAHANAN TERHADAP LIQUEFACTION

John Tri Hatmoko<sup>1</sup> dan Hendra Suryadharma<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta Jln. Babarsari No.44 Yogyakarta  
Email : john@mail.uajy.ac.id

Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta Jln. Babarsari No.44 Yogyakarta  
Email : surya@mail.uajy.ac.id

### ABSTRAK

Studi eksplorasi berupa uji bor dalam dan SPT dilakukan di 4(empat) lokasi yang berbeda di Kabupaten Bantul DIY. Bor dalam dilakukan sampai kedalaman 30,00 meter dengan uji SPT, dengan hasil muka air tanah pada -5,00 s.d -7,00 m, nilai NSPT rendah sampai sedang,  $15 < N < 30$ . Pengujian laboratorium menunjukkan bahwa tanah pasir bergradasi buruk dengan  $C_u < 3$ , dan  $C_c < 2$ , sudut gesek dalam relative rendah  $24 < \phi < 29$ . Evaluasi potensi terjadinya *liquefaction* dilakukan di 4 lokasi tersebut, dengan hasil bahwa pada gempa besar ( $a_{maks}/g = 0,20$ ), di lokasi 1 dan 2 terjadi zona *liquefaction* dari kedalaman 9,00 sampai dengan 30,00 meter. Sedangkan di lokasi 3 zona *liquefaction* dari -22,00 sampai -28,00 (6 meter). Di lokasi 4 terjadi zona *liquefaction* sekitar 23,00 meter. Penelitian ini memperbaiki gradasi tanah pasir di 4 lokasi tersebut dengan menambahkan lempung dari Godean dan Wates dengan tujuan meningkatkan nilai N- SPT dan ketahanan tanah terhadap *liquefaction*. Tanah lempung dari Godean dan Wates dicampur kemudian di tambahkan pada tanah pasir di 4 lokasi dengan proporsi 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah pasir yang semula merupakan pasir bergradasi buruk (SP) menjadi tanah pasir bergradasi baik (SW) walaupun ada beberapa yang masih SP. Nilai parameter geser tanah : kohesi ( $c$ ) naik secara signifikans 15 sampai 16 kali, sedangkan nilai sudut gesek dalam turun sekitar 1,5 sampai 2 kali. Oleh peningkatan nilai kohesi, nilai SPT terukur ( $N_m$ ) atau nilai SPT ternormalisasi ( $N_1$ )<sub>60</sub> naik sekitar 1,15 sampai 1,25 kali. Dengan meningkatnya nilai N-SPT nilai ketahanan tanah terhadap *liquefaction* (CRR). Di lokasi 1, peningkatan CRR berkisar dari 20% sampai dengan 60%, di lokasi 2 antara 17% sampai dengan 40%. Dengan meningkatnya CRR zona-zona *liquefaction* akan mengalami perpendekan.

Kata kunci : pasir, *liquefaction*, CRR, gradasi, N- SPT, parameter geser

### 1. PENDAHULUAN

Deposit tanah pasir, yang pada umumnya berkohesi rendah dan sudut gesek internal tinggi, tersebar luas di propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Pada keadaan jenuh, tanah pasir berpotensi mengalami likuifaksi. Beberapa studi terdahulu (Hatmoko, 2002; Hatmoko & Lulie, 2005) menunjukkan bahwa deposit tanah pasir di Yogyakarta adalah seragam ( $C_u < 3$ , and  $C_c < 2$ ). Sampai kedalaman 60 meter, nilai N-SPT rendah sampai sedang ( $15 < N < 30$ ). Muka air tanah relative tinggi sekitar -4,00 meter pada saat musim hujan dan turun sampai -10,00 meter pada musim hujan. Temuan yang relative lama melaporkan bahwa *liquefaction* terjadi pada tanah pasir jenuh, seragam (diameter anrata 2,00 sampai 4,00 mm), kepadatan relative rendah, dan nilai N-SPT rendah, kurang dari 15 (Seed & Idriss, 1971). Dengan demikian, propinsi DIY sangat mungkin terjadi *liquefaction* pada suatu lokasi dan pada zona-zona tertentu. Hatmoko & Suryadharma (2014) melakukan penelitian di 4(empat) lokasi di Kabupaten Bantul, DIY dengan hasil bahwa di lokasi studi tersebut terjadi zona-zona *liquefaction* pada saat terjadi gempa. Studi evaluasi potensi *liquefaction* sampai saat ini masih banyak dilakukan. Model-model empiric untuk memprediksi pergerakan horizontal diturunkan oleh (Ashuer, Moammed and Norris, Gary, 1999; Bartlett, F.S., and Youd, L.T. 1995). Cetin, O.K. (2004) menggunakan konsep energy untuk mendefinisikan *liquefaction* dengan percobaan laboratorium pada tanah pasir. Pendekatan yang lebih umum untuk mengevaluasi hubungan tegangan-regangan dari percobaan triaksial tak terdrainase diformulasikan oleh (Fear, E.C., & McEoberts, C.E., 1995). Pendekatan empirik-probabilistik yang relative baru untuk evaluasi ketahanan tanah terhadap *liquefaction* berdasarkan pada data SPT diusulkan oleh (Cetin, O.K., 2004; Juang Hein, C., 2001). Namun demikian metode yang sering digunakan untuk evaluasi *liquefaction* adalah metode yang dikembangkan oleh workshop NCEER, 1998 (Youd, T.L., 1995, 2004). Metode ini pada dasarnya merupakan pengembangan dari metode sederhana yang dilakukan oleh (Seed, H.B., & Idriss, I.M., 1971).

Walaupun metode evaluasi potensi *liquefaction* selalu berkembang, metode perbaikan tanah untuk meningkatkan ketahanan tanah terhadap *liquefaction* belum banyak dilakukan. Miller, A. & Roycroft, A. (2004) melakukan grouting dengan tujuan meningkatkan ketahanan tanah terutama terhadap penyebaran lateral. Pengujian ini dilakukan untuk validasi terhadap hasil perencanaan. Pada tahap pertama, program pengujian grouting dibuat jarak lubang grouting sebesar 2,5 meter dan 1,8 meter. Tahap kedua, jarak lubang diperpendek menjadi 1,5 meter dan 1,2 meter. Sebelum tahapan-tahapan tersebut dilakukan pengujian sondir dan SPT untuk keperluan evaluasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil perbaikan tanah berbanding terbalik dengan jarak lubang. Semakin dekat jarak lubang grouting semakin baik hasil perbaikan tanah. Hsieh, S., et.al. (2003) mempraktekan *jet-grouting* untuk mengurangi gerakan horisontal dinding diaphragma pada penggalian basemen setinggi 6 tingkat. Berdasarkan pengalaman di lapangan, bangunan yang berdekatan dengan galian basemen mengalami setelmen yang masih pada interval toleransi, namun displasemen cukup besar sehingga pada lokasi-lokasi tertentu di terapkan *jet-grouting* untuk meningkatkan tekanan efektif sehingga pergerakan tanah dapat dikurangi. Dano, C. Et.al. (2004) meneliti mengenai sifat-sifat teknis pasir yang *digroutting*. Mereka mempresentasikan perilaku tanah pasir tak tersementasi dengan tanah pasir yang *digroutting*. Empat jenis tanah pasir *digroutting* dengan bahan semen. Pengujian geser digunakan alat tekan bebas. Hasil menunjukkan bahwa pasir yang *digroutting* dapat direproduksi dengan menerapkan model linier elastik, dan model plastis sempurna dengan menggunakan kriteria keluluan Mohr-Coulomb yang parameter gesernya dengan mudah dapat ditentukan. Evans and Zhou (2005) mencoba untuk melihat pengaruh kandungan kerikil didalam pasir dalam meningkatkan tahanan terhadap *liquefaction* pada campuran pasir-kerikil. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian triaksial siklik pada campuran pasir-kerikil, dengan kandungan kerikil: 0%, 20%, 40%, 60% dan 100%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan kerikil tahanan terhadap *liquefaction* meningkat. Peningkatan ini diamati pada kondisi kepadatan relatif yang sama. Pada kadar kerikil 40% dengan kepadatan relatif 40% terlihat bahwa perilakunya mirip dengan pasir dengan kepadatan relatif 65%. Penelitian ini melakukan perbaikan gradasi tanah pasir seragam yang dilakukan pada studi terdahulu (Hatmoko, J.T. & Suryadharma, H.Y., 2014) dan ditambah data profil tanah dari 2 buah pengeboran, dengan tujuan untuk meningkatkan parameter dan kuat geser, meningkatkan nilai N-SPT, dan meningkatkan ketahanan tanah terhadap *liquefaction*.

## METODE PENELITIAN

### Pengujian lapangan

Pengujian lapangan dilakukan di 4(empat) lokasi terpilih di Kabupaten Bantul DIY ( Hatmoko, J.T., & Suryadharma, H.Y., 2014). Lokasi obyek penelitian tersebut adalah : Lokasi 1 Gedung layanan Teknologi Informasi ( wilayah Barat), lokasi 2 kampus ISI (bagian Utara), lokasi 3 kampus Universitas Mercubuana( bagian Tengah), dan lokasi 4 area rumah dinas Bupati Bantul ( bagian Selatan). Pengujian lapangan adalah pengeboran dan SPT sampai kedalaman 30,00 meter untuk setiap lokasi. Mesin bor yang digunakan adalah *Rotary Spindle Type : Skid Mounted* dengan diameter mata bor 7.295 cm. Alat ini mampu untuk pengeboran sampai dengan kedalaman 60,00 meter. Untuk perbaikan gradasi tanah pasir diambil tanah berbutir halus dari Wates dan Godean.

### Pengujian laboratorium

Tanah pasir yang diperoleh dari uji bor dicampur dengan tanah berbutir halus dari Wates dan Godean dengan prosentase 10, 20, 30,40, dan 50% kemudian diuji di laboratorium. Penamaan sampel tanah adalah : A<sub>1</sub>H<sub>y</sub> artinya tanah pasir di lokasi 1 dengan tanah berbutir halus y%. Pengujian sifat-sifat fisika dan mekanika tanah dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah FT.UAJY. Untuk menentukan sifat-sifat fisika tanah dilakukan pengujian kadar air (ASTM 2216-92, atau SNI 1965 2008), Analisis saringan ( ASTM D 422 atau SNI 3423 : 2008), berat jenis ( ASTM D 854 atau SNI 1964 : 2008). Untuk menentukan parameter-parameter geser tanah dilakukan pengujian geser langsung sesuai dengan standar ( ASTM D 3080 or SNI 2813 : 2008).

### Model dan prosedur analisis

Model analisis yang digunakan di dalam penelitian ini adalah metode yang diusulkan oleh (Youd, T.L., (2004) yang dikembangkan oleh workshop yang diselenggarakan 3(tiga) kali di tahun t 1996, 1998 and 2003 oleh NCEER. CRR dikaji secara khusus dan komprehensif dan kajian ini dipandu oleh Youd & Idriss. Ketiga workshop tersebut pada dasarnya bertujuan mengembangkan metode terdahulu yang diusulkan oleh ( Seed & Idriss, 1971). Hasil dari workshop tersebut di publikasikan oleh ( Youd, T.L., 2004). Prosedur analisis adalah sebagai berikut. Setelah hasil uji lapangan ( profil tanah, dan nilai N-SPT), dan hasil uji laboratorium diperoleh, CRR dapat dihitung.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil pengujian lapangan

Gambar 1 adalah hasil pengeboran di lokasi 2, sebagai contoh hasil uji lapangan. Profil tanah di lokasi 2 ini merupakan

HASIL PENGOLAHAN DATA : PENGEBORAN DI LOKASI 2										
SOIL MECHANIC LABORATORY CIVIL ENGINEERING PROGRAM FACULTY OF ENGINEERING, UIY 44 BABARSARI STREET, YOGYAKARTA 55281 Tel: +62-274-487711 ext. 1055 Fax: +62-274-487748								Boring Number:		
								BH-2		
BOR LOG										
CLIENT: John Tri Hatmoko				PROJECT TITLE			Hibah Fundamental			
PROJECT CONTRACT NUMBER:				PROJECT LOCATION			UNWAMA/Um.Cebuana, Sedayu, Bantul			
DATE STARTED: March 17 2014				GROUND ELEVATION			-0,70 m from road level			
DATE COMPLETED: March 19 2014				HOLE SIZE			7.295cm			
DRILLING CONTRACTOR: SOIL MECH. LAB. UIY				GROUND WATER LEVEL			-5,00 m			
DRILLING METHOD: ROTARY SPINEL, SKD MOUNTED TYPE				WEATHER CONDITION			FINE/RAINY			
LOGGED BY: Mubandh, CS				ESTIMATED SEASONAL HIGH:						
CHECKED BY: John Tri Hatmoko										
Depth (m)	Graph Log	Material Description	Contact Depth (m)	Sample Number	Blow Counts (N Value)				Water Level Elevation (m)	SPT Value
					N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>v</sub>		
1										
2		Pasir halus	2	I	12	15	16	31		
3										
4		Pasir Kasar	2		11	15	13	28		
5										
6		Pasir sedang	3		8	13	20	27	-5,00	
7										
8		Pasir kasar	2		8	11	12	29		
9										
10										
11		Pasir halus	1,5	II	6	9	9	18		
12										
13			2,5		27	25	27	34		
14										
15		Pasir kasar	3		15	15	12	27		
16										
17										
18										
19		Pasir halus	5		7	9	10	19		
20										
21				III	17	30	30	40		
22										
23					17	30	27	37		
24		Pasir sedang	4		12	12	23	35		
25										
26					10	11	12	23		
27		Pasir halus	3		7	11	13	24		
28										
29		Pasir sedang	2		12	15	13	26		
30										

Gambar 1. Hasil Pengeboran di lokasi 2

tanah pasir halus sampai kasar di semua kedalaman, sama sekali tidak ada lapisan tanah berbutir halus (lempung atau lanau) pada deposit tanah tersebut. Nilai  $N-SPT$  rendah sampai sedang pada kisaran 18 sampai 40. Ada kejanggalan dari hasil ini dimana pada kedalaman 2,00 meter terdapat nilai  $N-SPT$  cukup tinggi (32). Hasil di lokasi lain (1), (3) dan (4) menunjukkan kemiripan dengan di lokasi 1 dimana deposit tanah di dominasi oleh pasir halus sampai sedang. Namun di lokasi 3 dan 4 dijumpai lapisan tipis pasir kelanauan.

#### Hasil Laboratorium

Sampel tanah diambil diatas dan dibawah muka air tanah. Hasil analisis saringan dapat dilihat pada table 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Saringan Tanah pasir

Lokasi	Kedalaman (m)	$D_{10}$ (mm)	$D_{30}$ (mm)	$D_{60}$ (mm)	$C_u$	$C_c$	Keterangan
1	2.00	0.55	1.0	1.50	2.73	1.21	SP
	20.00	0.85	1.20	1.50	1.76	1.13	SP
	2.00	0.60	1.10	1.60	2.67	1.26	SP
2	20.00	0.65	0.80	1.50	2.31	0.66	SP
	9.50	0.85	1.50	2.40	2.82	1.11	SP
3	20.50	0.475	0.60	0.85	1.79	0.89	SP
	2.00	0.95	1.50	2.70	2.93	1.37	SP
4	20.00	0.85	1.20	1.50	1.77	1.13	SP

Kebanyakan harga koefisien kelengkungan ( $C_c$ ) diantara 0.66 to 1.89, walaupun beberapa ada diantara 1 and 3. Koefisien keseragaman ( $C_u$ ) di 4(empat) lokasi lebih kecil 3 ( $1.77 < C_u < 2.93$ ). Dengan demikian di semua kedalaman, tanah merupakan tanah pasir bergradasi buruk (SP) yang berpotensi terjadi *liquefaction* pada saat gempa. Untuk meningkatkan ketahanan terhadap *liquefaction* dilakukan perbaikan gradasi tanah pasir tersebut

dengan jalan menambahkan fraksi halus. Hasil analisis saringan pada tanah pasir dengan fraksi halus terlihat pada table 2.

Tabel 2. Perbaikan gradasi tanah pasir

Tanah	$D_{10}$	$D_{30}$	$D_{60}$	$C_c$	$C_u$	Keterangan
$A_1H_{10}$	0.43	1.20	1.45	3.37	2.31	SP
$A_1H_{20}$	0.06	0.90	1.42	23.67	9.51	SW
$A_1H_{30}$	0.05	0.43	1.35	27	2.74	SP
$A_1H_{40}$	0.03	0.70	1.10	36.67	14.85	SW
$A_1H_{50}$	0.02	0.60	0.7	3.5	25.71	SW
$A_2H_{10}$	0.21	0.90	1.48	7.05	2.61	SP
$A_2H_{20}$	0.07	0.88	1.43	20.43	7.74	SW
$A_2H_{30}$	0.05	0.40	1.25	25	2.56	SP
$A_2H_{40}$	0.03	0.071	1.06	35.33	15.85	SW
$A_2H_{50}$	0.02	0.061	1.00	50	18.61	SW
$A_3H_{10}$	0.08	1.43	2.20	27.5	11.62	SW
$A_3H_{20}$	0.06	0.43	2	33.33	1.54	SP
$A_3H_{30}$	0.05	0.2	1.95	39	0.41	SP
$A_3H_{40}$	0.03	0.07	1.58	52.67	10.34	SW
$A_3H_{50}$	0.02	0.056	1.59	79.5	9.86	SW
$A_4H_{10}$	0.22	1.20	1.48	6.73	4.42	SW
$A_4H_{20}$	0.07	0.90	1.43	20.43	8.09	SW
$A_4H_{30}$	0.06	0.42	1.40	23.33	2.1	SP
$A_4H_{40}$	0.05	0.07	1.35	27	7.26	SW
$A_4H_{50}$	0.03	0.05	1.30	43.33	6.41	SW

Proses perbaikan tanah dengan menambahkan fraksi halus pada tanah pasir menunjukkan perbaikan pada sebagian besar komposisi tanah. Ada beberapa komposisi seperti :  $A_1H_{10}$ ,  $A_1H_{30}$ ,  $A_2H_{10}$ ,  $A_2H_{30}$ ,  $A_3H_{20}$ ,  $A_3H_{30}$ , dan  $A_4H_{30}$  yang masih bergradasi buruk walaupun sudah ada perbaikan. Nilai  $C_c$  pada umumnya memenuhi syarat hanya saja nilai  $C_u$  belum memenuhi syarat tanah pasir bergradasi baik walaupun mendekati 3.

Hasil pengujian geser langsung diringkas pada table 3, untuk tanah pasir, dan table 4 untuk tanah pasir yang gradasinya diperbaiki. Pada tanah pasir, nilai kohesi sangat rendah mendekati nol ( $0.038 < c < 0.083$ )  $\text{kg/cm}^2$ , sedangkan nilai sudut gesek dalam berkisar antara  $25.73$  to  $29.22^\circ$  untuk ukuran tanah pasir, harga sudut gesek dalam tersebut relative rendah.

Table 3. Ringkasan hasil uji geser langsung

Location	Elevation (m)	Cohesion, $c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Internal friction angle, $\Phi$ ( $^\circ$ )
1	-2,00	0,083	25,73
	-10,00	0,075	26,07
	-20,00	0,068	26,89
2	-1,50	0,067	25,98
	-9,50	0,059	26,83
	-20,50	0,065	26,23
3	-2,00	0,043	27,76
	-20,00	0,038	29,22
4	-2,00	0,054	27,08
	-10,00	0,048	27,56
	-20,00	0,045	28,05

Hasil tersebut sesuai dengan jenis tanah ( SP) yang pada umumnya gesekan antar butirannya cukup rendah. Tanah pasir Bantul yang sudah diperbaiki gradasinya terlihat pada table 2. Sebagian besar tanah pasir yang semula SP berubah menjadi SW oleh penambahan tanah berbutir halus, walaupun masih ada beberapa yang masih dikategorikan sebagai SP seperti :  $A_1H_{10}$ ,  $A_1H_{30}$ ,  $A_2H_{10}$ ,  $A_2H_{30}$ ,  $A_3H_{20}$ ,  $A_3H_{30}$ , dan  $A_4H_{30}$  . Namun demikian tanah tanah tersebut memiliki koefisien keseragaman yang memenuhi syarat sebagai SW hanya koefisien gradasinya belum memenuhi syarat. Semua komposisi tanah  $A_1H_{10}$  sampai dengan  $A_4H_{50}$  diuji didalam geser langsung namun demikian gambar gambar tidak ditampilkan pada laporan ini karena tipikal. Hasil pengujian (nilai kohesi dan sudut gesek dalam) ditampilkan pada table 4.

Tabel 4. Hasil pengujian geser langsung tanah Pasir yang diperbaiki

Komposisi tanah	A <sub>1</sub> H <sub>0</sub>	A <sub>1</sub> H <sub>10</sub>	A <sub>1</sub> H <sub>20</sub>	A <sub>1</sub> H <sub>30</sub>	A <sub>1</sub> H <sub>40</sub>	A <sub>1</sub> H <sub>50</sub>
Kohesi,c(kg/cm <sup>2</sup> )	0.0753	0.308	0.540	0.773	0.998	1.238
Sdt Gsk dalam, Φ(°)	26.23 <sup>0</sup>	23.607	20.984	18.361	15.738	13.85
Komposisi tanah	A <sub>2</sub> H <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> H <sub>10</sub>	A <sub>2</sub> H <sub>20</sub>	A <sub>2</sub> H <sub>30</sub>	A <sub>2</sub> H <sub>40</sub>	A <sub>2</sub> H <sub>50</sub>
Kohesi,c(kg/cm <sup>2</sup> )	0.064	0.298	0.531	0.765	0.998	1.232
Sdt Gsk dalam, Φ(°)	26.35 <sup>0</sup>	23.715	21.08	18.445	15.81	13.93
Komposisi tanah	A <sub>3</sub> H <sub>0</sub>	A <sub>3</sub> H <sub>10</sub>	A <sub>3</sub> H <sub>20</sub>	A <sub>3</sub> H <sub>30</sub>	A <sub>3</sub> H <sub>40</sub>	A <sub>3</sub> H <sub>50</sub>
Kohesi,c(kg/cm <sup>2</sup> )	0.041	0.278	0.512	0.745	0.985	1.221
Sdt Gsk dalam, Φ(°)	28.49 <sup>0</sup>	25.641	22.792	19.943	17.094	14.87
Komposisi tanah	A <sub>4</sub> H <sub>0</sub>	A <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	A <sub>4</sub> H <sub>20</sub>	A <sub>4</sub> H <sub>30</sub>	A <sub>4</sub> H <sub>40</sub>	A <sub>4</sub> H <sub>50</sub>
Kohesi,c(kg/cm <sup>2</sup> )	0.049	0.284	0.519	0.754	0.989	1.225
Sdt Gsk dalam, Φ(°)	27.56 <sup>0</sup>	24.804	22.048	19.292	16.536	14.32

Dengan membandingkan table 3 dan 4, terlihat bahwa penurunan nilai sudut gesek dalam dari 26,23<sup>0</sup> (A<sub>1</sub>H<sub>0</sub>) menjadi 13,85<sup>0</sup> (A<sub>1</sub>H<sub>50</sub>) sebesar 47,2%; untuk tanah A<sub>2</sub> dari 26,35<sup>0</sup> menjadi 13,93<sup>0</sup> (47,1%); dari 28,49<sup>0</sup> menjadi 14,87<sup>0</sup> (47,8%) untuk tanah A<sub>3</sub>, dan untuk tanah A<sub>4</sub> dari 27,56<sup>0</sup> menjadi 14,32<sup>0</sup> (48%). Jika diambil reratanya kurang lebih mengalami penurunan sudut gesek dalam kurang lebih 50%. Dari ke dua table tersebut terlihat bahwa peningkatan nilai kohesi rerata kurang lebih 15 sampai dengan 16 kali dari kohesi semula. Dari peningkatan nilai kohesi yang cukup signifikan dibandingkan dengan penurunan nilai sudut gesek dalam, diharapkan ada peningkatan nilai N SPT tanah pasir (A<sub>1</sub> sampai dengan A<sub>4</sub>).

Tanah di semua lokasi, A<sub>1</sub> sampai dengan A<sub>4</sub>, awalnya merupakan tanah pasir bergradasi buruk (SP) setelah dicampur dengan tanah lempung Godean dan lempung Wates yang keduanya adalah tanah lempung berplastisitas tinggi (CH), sebagian menjadi tanah pasir bergradasi baik (SW). Secara langsung, korelasi antara kuat geser tanah (τ) tidak dijumpai di dalam literature. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh bahwa tegangan geser tanah sangat tergantung pada tegangan efektif yang bekerja pada deposit tanah tersebut. Oleh sebab itu, pada studi ini dilakukan korelasi parsial antara sudut gesek dalam pada tanah pasir (φ) dengan nilai N SPT dan nilai kohesi (c) dengan nilai N SPT kemudian diambil reratanya. Korelasi antara sudut gesek dalam dengan SPT menggunakan grafik Hatanaka, M, and Uchida, A., (1996), sedangkan korelasi antara kohesi dengan sudut gesek dalam dengan nilai N SPT menggunakan grafik dalam buku Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1967). Hasil penurunan sudut gesek dalam untuk berbagai komposisi tanah diplot langsung kedalam grafik Hatanaka dan Uchida untuk dikorelasikan dengan nilai N SPT yang dinormalisir (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub>, kemudian jika diperlukan dapat dikonversi balik ke nilai N SPT terukur (N<sub>m</sub>). Hasil korelasi menunjukkan bahwa penurunan nilai N SPT akibat penurunan sudut gesek dalam (φ) tidak cukup signifikan menurut Hatanaka dan Uchida tidak cukup signifikan (antara 6 sampai dengan 22%). Penurunan nilai N SPT tersebut tidak linier terhadap penurunan sudut gesek dalam. Korelasi antara kohesi dengan N-SPT menggunakan grafik Terzaghi dan Peck (1967).

Dengan menggunakan Koreksi nilai SPT (Skempton 1986) disempurnakan oleh Robertson dan Wride (1998) ditentukan factor-faktor koreksi N<sub>m</sub>, C<sub>N</sub>, C<sub>E</sub>, C<sub>B</sub>, C<sub>R</sub>, C<sub>S</sub> yang kemudian dimasukkan kedalam persamaan :

$$(N_1)_{60} = N_m \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S \dots\dots\dots(1)$$

Dimana

- N<sub>m</sub> : faktor nilai SPT terukur
- C<sub>N</sub> : faktor untuk menormalisasi N<sub>m</sub>
- C<sub>E</sub> : faktor koreksi energy hammer (ER)
- C<sub>B</sub> : faktor koreksi lubang bor
- C<sub>R</sub> : faktor koreksi panjang batang
- C<sub>S</sub> : faktor koreksi sampler

Jika perkalian faktor faktor reduksi maupun amplifikasi diatas diperkirakan 0,85 maka nilai N SPT terukur (N<sub>m</sub>) menjadi : (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub>/0,85. Di lokasi satu pada elevasi 5 meter dari muka tanah nilai N SPT terukur (N<sub>m</sub> = 31), setelah diperbaiki pada kadar lempung 50% nilai N<sub>m</sub> naik menjadi 37,6 kenaikan sekitar 21,9% . Lokasi 2 naik dari 32 menjadi 37,6 (17,5%). Lokasi 3 naik dari 31 menjadi 36,5 (17,7%). Dan lokasi 4 dari 22 menjadi 36,6 (66%). Dari keempat lokasi, lokasi 4 mengalami kenaikan sangat besar, sedangkan di lokasi 1 sampai dengan 3 kenaikannya kurang lebih sama antara 17,5% sampai 21,9%. Oleh sebab itu untuk evaluasi liquefaction diambil kenaikan 20% untuk semua lokasi dan diasumsikan linier terhadap kedalaman.

Analisis *Cyclic Resistance Ratio (CRR)* menggunakan data SPT. Nilai N-SPT tersebut dinormalisir dengan beberapa factor yaitu :energy pemukul ( $C_E$ ), lobang-bor ( $C_B$ ), panjang lengan ( $C_R$ ), and metode sampling ( $C_S$ ). Kemudian dengan menggunakan metode yang dikembangkan oleh workshop NCEER , *CRR* dapat dihitung. Tabel 5 adalah contoh hitungan *CRR* untuk lokasi 1.

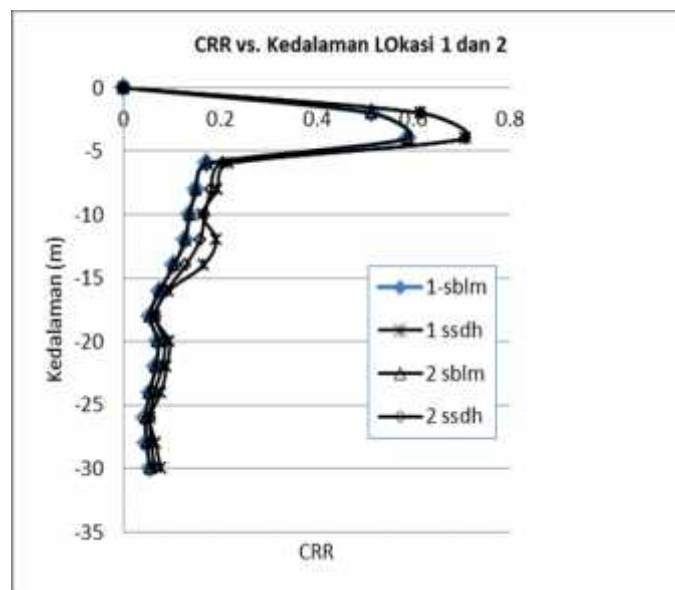
Tabel 5. Hitungan *CRR* untuk Lokasi 1

z(m)	N <sub>SPT</sub>		' (kN/m <sup>2</sup> )	C <sub>N</sub> = (100/ ')	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	CRR <sub>7,5</sub>	K	CRR Lokasi 1		
	Sblm	Sesd						Sblm	Ssdh	Naik(%)
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2	30	36	39.44	2.535	68.65	0.475	1	0.513	0.616	20
4	27	32	78.88	1.267	30.89	0.546	1	0.589	0.707	20
6	22	26	118.32	0.845	16.78	0.177	0.9	0.172	0.215	25
8	24	29	138.18	0.724	15.67	0.166	0.84	0.150	0.195	30
10	26	31	158.04	0.632	14.84	0.157	0.8	0.136	0.163	20.7
12	28	34	177.9	0.562	14.21	0.151	0.78	0.127	0.191	50.4
14	26	31	197.76	0.505	11.87	0.128	0.75	0.104	0.165	60.2
16	20	24	217.62	0.459	8.29	0.095	0.72	0.074	0.093	25.7
18	15	18	237.48	0.421	5.70	0.073	0.69	0.054	0.065	20.4
20	25	30	257.29	0.388	8.77	0.099	0.66	0.071	0.094	32.4
22	26	31	277.05	0.361	8.47	0.097	0.63	0.066	0.089	34.9
24	22	26	296.81	0.336	6.69	0.081	0.61	0.054	0.077	45.3
26	16	19	316.57	0.315	5.42	0.070	0.6	0.045	0.054	20
28	18	22	336.33	0.297	5.90	0.074	0.59	0.047	0.066	40.4
30	24	29	356.09	0.281	7.35	0.087	0.58	0.055	0.076	40.7

Untuk lokasi lain dapat dihitung dengan cara yang sama, table 6 menyajikan peningkatan *CRR* untuk lokasi 2.

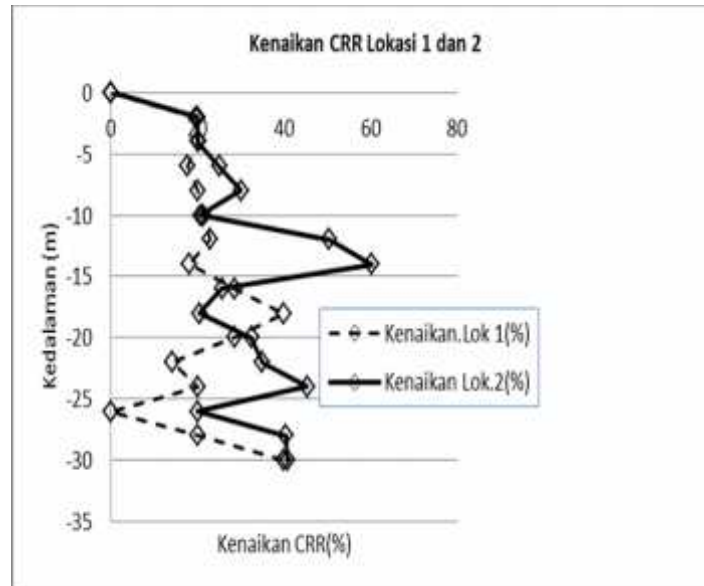
Tabel 2. Peningkatan *CRR* untuk lokasi 2

Kedalaman(m)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
CRR	Sblm	0	0.51	0.59	0.17	0.15	0.14	0.13	0.11	0.07	0.05	0.07	0.07	0.05	0.05	0.05
	Sesudah	0	0.61	0.71	0.20	0.18	0.17	0.16	0.13	0.09	0.07	0.09	0.08	0.06	0.05	0.06
	Naik(%)	0	19.6	20.3	17.6	20	21.4	23	18.2	28.6	40	28.6	14.2	20	0	20



Gambar 1. *CRR* vs. Kedalaman untuk Lokasi 1 dan 2

Nilai ketahanan tanah terhadap *liquefaction* (*CRR*) naik untuk setiap kedalaman disebabkan oleh peningkatan nilai *N-SPT*. Namun demikian kenaikan tidak sama untuk setiap kedalaman dan juga tidak linier. Kisaran kenaikan antara 20% sampai dengan 60% pada lokasi 1 dan 17,6 sampai 40% pada lokasi 2. Tidak meratanya kenaikan *CRR* untuk setiap kedalaman disebabkan nilai factor normalisasi ( $C_N$ ) yang tidak sama atau linier terhadap kedalamannya. Kenaikan nilai *CRR* vs. kedalaman disajikan pada gambar 2.



## KESIMPULAN

- Kondisi awal tanah di empat lokasi penelitian di berbagai kedalaman yang ditinjau merupakan tanah pasir seragam bergradasi buruk (SP). Setelah diperbaiki dengan jalan menambahkan tanah lempung Godean dan lempung Wates, sebagian besar tanah berubah menjadi tanah pasir bergradasi baik (SW).
- Dengan perbaikan tanah/perbaikan gradasi, nilai kohesi meningkat cukup signifikan sampai 16 kali lipat, sementara penurunan sudut gesek dalam pada kisaran 1,5 sampai dengan 2 kali lipat dari harga semula.
- Nilai *N-SPT* ataupun  $(N_1)_{60}$  naik kurang lebih 1,25 kali nilai sebelum diperbaiki. Kenaikan nilai *N-SPT* disebabkan oleh kenaikan harga kohesi, sedangkan penurunan nilai sudut gesek dalam ( $\phi$ ) tidak secara signifikan menurunkan nilai *N-SPT*.
- Peningkatan nilai *N-SPT* untuk semua kedalaman meningkatkan ketahanan tanah terhadap *liquefaction* (*CRR*) yang bervariasi menurut kedalamannya. Peningkatan *CRR* berkisar antara 20 sampai dengan 40%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional atas pemberian dananya untuk penelitian ini melalui program penelitian Hibah Fundamental DIPA Nomor : 023.04.1.67453/2015.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ashuer, Moammed and Norris, Gary: "Liquefaction and Undrained Response Evaluation of Sands from Drained Formulation" *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 125, No.8, August 1999, pp.649-648
- Bartlett, F.S., and Youd, L.T., (1995): "Empirical Prediction of Liquefaction – Induced Lateral Spread", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 121, No.4, April, 1995, pp 316-329.

- Cetin, O.K., et al. (2004): "Standard Penetration Test-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of Seismic Soil Liquefaction Potential" *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.130, No. 12, December, 2004, pp. 1314-1340.
- Cetin, O.K., (2004): "Liquefaction-Induced Lateral Spreading at clay During the Kocaeli(Izmit)-Turkey Earthquake" *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.130, No. 12, December, 2004, pp. 1300-1313.
- Dano, C. et al. (2004): "Engineering Properties of Grouted Sands" *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.130, No.3, March 2004.
- Evans, D.M., and Zhou, (2005): "Liquefaction Behavior of Sand-Gravel Composites", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 121, No.3, March, 1995, pp 287-298
- Fear, E.C., and McEberts, C.E., (1995): "Reconsideration of Initiation of Liquefaction in Sandy Soils", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 121, No.3, March, 1995, pp 249-261
- Hatmoko, John T (2002): "Probabilitas terjadinya peristiwa liquefaction pada tanah pasir lepas" *Jurnal Teknik Sipil*, Volume 2, Nomor 2, April 2002 pp. 93 – 101.
- Hatmoko, John T & Lulie, Y (2005): "Evaluasi potensi pencairan tanah ( *liquefaction* ) akibat gempa : Studi Kasus di bagian timur kota Yogyakarta" Laporan Studi, Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat ( LPPM) Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Hatmoko, J.T. & Suryadharma, H.Y. (2014) . "Perdiksi Potensi Pencairan Tanah akibat Gempa : Studi di Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta", Laporan penelitian Hibah Fundamental
- Hsieh, S., et al. (2008) : " Use of Jet Grouting to Limit Diaphragm Wall Displacement of a Deep Excavation", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.129, No.1, January 2008.
- Juang Hein, C, Chen, J. C., and Jiang Tao (2001): "Probabilistic Framework for Liquefaction Potential by Shear Velocity," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 127, No.8, August 2001, pp.670-678.
- Miller, A. and Roycroft, A. : " Compaction Grouting Test Program for Liquefaction Control" *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.130, No.4, April 2004
- Robertson, P.K., and Wride, C.E. (1998). "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test" *Canadian Geotechnical Journal* , Ottawa 35(3), pp. 442 - 459
- Skempton, A.K., (1986). "Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging, and overconsolidation". *Geotechnique*, London, 36(3), 425 -447
- Vidayanti, D., (2013) : " Korelasi nilai N SPT dengan Parameter Kuat Geser Tanah Untuk wilayah Jakarta dan sekitarnya" Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil ke 7 ( KoNTekS7), Universitas Sebelas Maret Surakarta : 24 s.d. 26 Oktober 2013, hal. G 99 s.d. G 107.
- Seed, H.B., and Idriss, I.M. (1971): " Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", *Journal of Geotechnical and Foundation Engineering*, ASCE, 97(9), pp.1249-1273.
- Youd, L.T., and Garris, C.T. (1995): "Liquefaction-Induced Ground Surface Disruption", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 121, No.11, November, 1995, pp 805-813.
- Youd, T.L. (2004): "Liquefaction Resistance of soils: Summary Report from The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 127, No.8, August 2001, pp.817-833.