

SISTEM PERBAIKAN TANAH DEEP CEMENT MIXING DI LOKASI STOCK YARD STASIUN KERETA API GARONGKONG KABUPATEN BARRU, SULAWESI SELATAN

Suwarno^{1*}, Luthfi Amri Wicaksono²

¹Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Jawa Timur

²Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jember, Jember, Jawa Timur

*Email: suwarno.surabaya@gmail.com

Abstrak

Emplasemen dan Stockyard di stasiun Garongkong, Kabupaten Barru, Sulawesi Selatan merupakan infrastruktur perkeretaapian dan merupakan bagian dari proyek pembangunan jalan kereta api Trans Sulawesi yang akan menghubungkan seluruh pulau Sulawesi, khususnya jalan kereta api Makassar – Parepare. Emplasemen adalah tempat terbuka atau tanah lapang di dekat stasiun yang disediakan untuk keperluan jawatan kereta api, sedangkan stockyard adalah tempat terbuka atau tertutup untuk menyimpan suatu produk. Stockyard digunakan untuk menyimpan peti kemas dan material curah berupa batu bara. Permasalahan yang ada di lapangan adalah kondisi tanah dasar area ini berupa tanah pasir halus yang lunak; oleh sebab itu diperlukan perbaikan tanah dasar agar kuat menerima beban timbunan dan beban hidup diatas timbunan sebesar 14,00 ton/m². Metoda perbaikan tanah yang dipakai adalah Deep Cement Mixing (DCM), yaitu metode perbaikan tanah dengan cara melakukan pengeboran tanah dan kemudian dicampurkan semen yang secara langsung dalam bentuk slurry di lubang bor tanpa membuang tanah hasil pengeboran. Bentuk lubang bor berupa 2 buah berdiameter 120 cm yang overlap (interseksi) sejauh 30 cm. Dimensi tersebut setara dengan 1 (satu) lubang bor ekuivalen diameter 1.60 meter. Kedalaman pengeboran = 12.00 meter. Kadar semen yang dipakai adalah 15 % berat tanah kering. Jarak antar lubang bor searah sumbu X adalah 2,30 meter dan jarak searah sumbu Y adalah 1.70 m (as-as); yang dipasang di seluruh area stock yard. Hasil analisa menunjukkan bahwa daya dukung tiang bor DCM adalah sebesar 222,41 ton, dimana cukup kuat menahan beban timbunan dan beban hidup diatasnya sebesar 14.00 ton/m².

Kata kunci: deep cement mixing, Garongkong, pondasi bor, stock yard, tanah lunak

PENDAHULUAN

Sistem pondasi Deep Cement Mixing (DCM) merupakan perbaikan tanah dengan menggunakan bor dan mencampurkan tanah dengan semen didalam tanah secara langsung berbentuk slurry yang diinjeksikan kedalam lubang bor yang berisi tanah tersebut.

Keuntungan metode DCM (FHWA, 2013), diantaranya adalah sebagai berikut :

- 1) Biaya relatif rendah per unit volume hingga kedalaman 40 meter,
- 2) Kekuatan tanah yang diperbaiki bisa mencapai 0.50 Mpa hingga 4,0 Mpa,
- 3) Tata letak dapat bervariasi berdasarkan diameter dan jarak kolom atau ketebalan dan jarak panel,
- 4) Metoda pencampuran kering menghasilkan volume rusak sangat rendah,
- 5) Kerusakan pada metoda pencampuran basah dapat digunakan untuk material pengisi sangat baik,
- 6) Sedikit getaran dan kebisingan sedang-rendah (peralatan konstruksi dapat diredam),
- 7) Eksekusi relatif konstan dan mudah,
- 8) Performa insitu yang dapat diverifikasi dengan cepat,
- 9) Data teoritis, laboratorium, dan lapangan yang sangat baik untuk melengkapi teori desain lanjutan,
- 10) Kapasitas produksi tinggi dalam kondisi tertentu,
- 11) Kekuatan desain tipikal sekitar 1 MPa untuk proyek perbaikan tanah,
- 12) Ekonomis untuk proyek besar di tanah yang sangat lunak dan dapat dimampatkan.

Kerugian :

- 1) Hanya dapat mencapai kedalaman 40 m untuk pertimbangan praktikal,
- 2) Membutuhkan ruang kerja yang besar untuk peralatan bertenaga besar dan tidak ada batasan overhead,
- 3) Tidak berlaku di tanah yang sangat padat, sangat kaku, atau yang memiliki bongkahan batu,

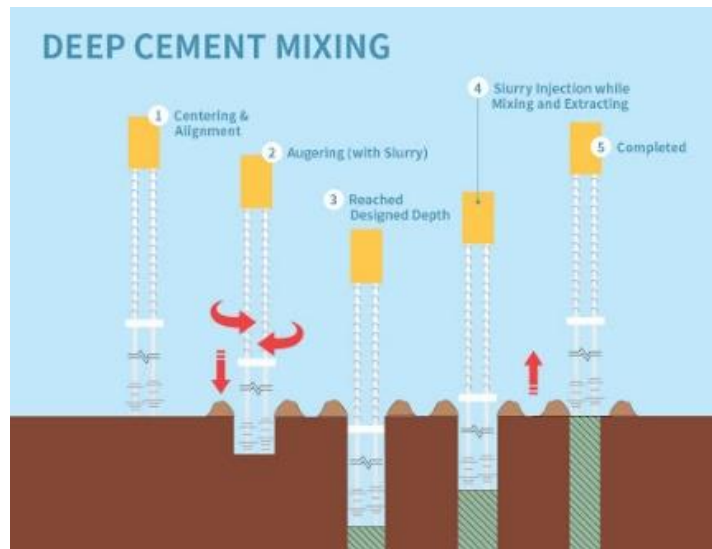
- 4) Hanya bisa dipasang vertikal,
- 5) Kemampuan terbatas untuk menangani strata yang terisolasi di kedalaman tertentu,
- 6) Tidak dapat dipasang di dekat struktur yang ada,
- 7) Biaya mobilisasi yang tinggi,
- 8) Fleksibilitas geometrik terbatas untuk pengeboran dan perawatan,
- 9) Berat peralatan konstruksi mungkin akan bermasalah untuk tanah yang sangat lunak.

Tujuan dari pekerjaan ini adalah merancang dan mengoptimasi alternatif desain sistem perbaikan tanah *Stock yard stasiun kereta api* Garungkong, di Barru, Sulawesi Selatan, kemudian memberikan rekomendasi desain yang memenuhi kriteria desain dan sesuai dengan pertimbangan dalam aspek ekonomi, pelaksanaan, serta kualitas yang dihasilkan.

METODOLOGI

Metoda DCM adalah sebagai berikut :

Prosesnya dimulai dengan menggunakan bor untuk mengebor lubang sampai ke tanah keras. Setelah mesin mencapai kedalaman yang diinginkan, bahan pengikat, biasanya semen, disuntikkan untuk mengisi ruang dan bercampur dengan lumpur lunak. Setelah semen mengeras, membentuk kolom yang tertanam. Metoda DCM secara singkat disajikan dalam Gambar 1.

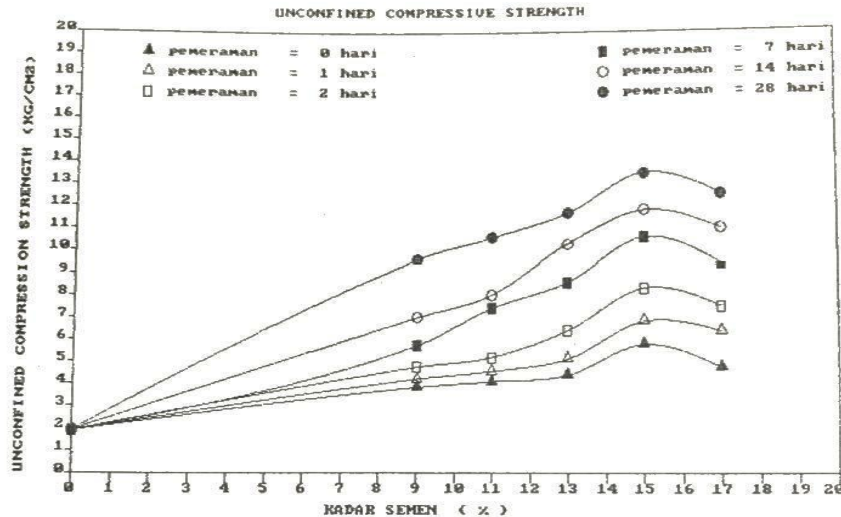


Gambar 1. Konsep Deep Cement Mixing (DCM)

Properti Tanah Untuk Metode *Deep Cement Mixing*.

a. *Strength Envelope*, ϕ dan C_u

Praktik di Jepang adalah menggunakan sudut gesekan total (*friction angle*) $\phi = 0$ dan kohesi $c = \frac{1}{2} q_u$ untuk *deep mixing* (FHWA, 2013). Menurut FHWA (2013), direkomendasikan untuk desain menggunakan tegangan total dari kekuatan *deep mixing* dengan sudut gesekan total (*friction angle*) $\phi = 0$ dan tanpa mempertimbangkan kekuatan tarik. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Suwarno (1991), dengan kadar semen 15% dan waktu pemeraman 28 hari, nilai q_u adalah sebesar 13 kg/cm^2 sehingga c_u adalah sebesar $6,50 \text{ kg/cm}^2$. Adapun grafik hubungan antara kadar semen dan *unconfined compressive strength* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Unconfined compression strength lempung yang distabilisasi dengan semen

b. Modulus Young, E

Menurut FHWA (2013), direkomendasikan untuk desain menggunakan E_{50} sebagai 150 kali q_u untuk *dry mixing* dan E_{50} sebagai 300 kali q_u untuk *wet mixing*.

c. Poisson's Ratio, ν

Rasio Poisson tidak diperlukan untuk prosedur desain. Namun, rasio Poisson mungkin diperlukan jika analisis numerik dilakukan, dan sumber dalam literatur dapat memberikan beberapa panduan. Menurut CDIT (2002) dan Terashi (2003), rasio Poisson berkisar dari 0,25 sampai 0,50 terlepas dari *unconfined compressive strength*.

Untuk gambut yang distabilkan dengan semen kering, Hebib dan Farrell (2003) mengukur rasio Poisson 0,1 untuk strain yang kurang dari 1 persen. McGinn dan O'Rourke (2003) menggunakan rasio Poisson 0,25 dalam analisis numerik mereka. Porbaha dkk. (2005) menggunakan metode seismik untuk menentukan nilai rasio Poisson 0,3 sampai 0,4 untuk perilaku regangan kecil dari *deep mixing* yang dibuat menggunakan metode *wet mixing*.

d. Berat Jenis

Menurut CDIT (2002), tanah yang diperbaiki dengan metode *dry mixing* berat jenisnya akan meningkat 3 hingga 15 persen. Untuk tanah jenuh awal yang diolah dengan *dry mixing*, berat total unit campuran jenuh, γ_{mix} , dihitung dengan persamaan 1.

$$\gamma_{mix} = \frac{\gamma_{binder}(\gamma_{soil} + \alpha)}{\gamma_{binder} + \alpha} ; \alpha = \frac{W_{binder}}{V_{soil}} \tag{1}$$

Untuk tanah jenuh awal yang diolah dengan *wet mixing*, berat total unit campuran jenuh, γ_{mix} , dihitung dengan persamaan 2.

$$\gamma_{mix} = \frac{\gamma_{soil} + VR \cdot \gamma_{slurry}}{1 + VR} ; VR = \frac{V_{slurry}}{V_{soil}} \tag{2}$$

Data tanah lempung yang distabilisasi dengan semen :

Kadar semen = 15 %

Unconfined compression strength = 13 kg/cm².

Kohesi, $C_u = \frac{1}{2} \cdot Q_u = 6,5 \text{ kg/cm}^2$.

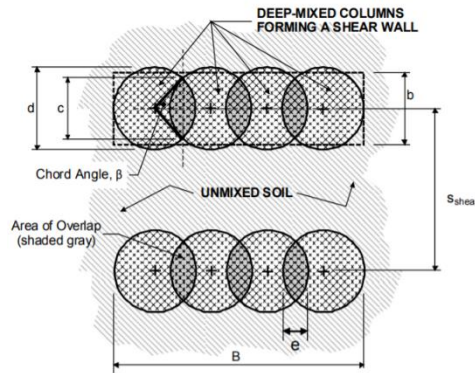
Sudut geser, $\phi = 0^\circ$

Modulus elastisitas, E = 382,45 Mpa dimana $E=300 \cdot q_u$.

Kedalaman Deep Cement Mixing, $H_{dm} = 12,00 \text{ meter}$.

- Geometri Deep Cement Mixing.

Ilustrasi geometri DCM overlap satu sama lain secara menerus seperti ditunjukkan dalam Gambar 3 ataupun dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan.



Gambar 3. Ilustrasi Geometri Deep Cement Mixing (Sumber: FHWA, 2013)

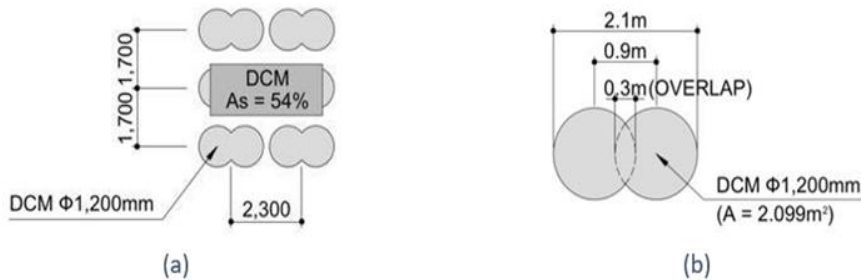
Area replacement ratio, $a_{s\ shear}$ dapat dihitung mempergunakan persamaan 3.

$$a_{s\ shear} = \frac{b}{S_{shear}} = \frac{\pi d(1 - a_e)}{4 \cdot S_{shear} \left(1 - \frac{e}{d}\right)} ; a_e = \frac{\alpha - \sin \alpha}{\pi} \tag{3}$$

$$c = d \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

Dengan : a_e = rasio area overlap

Geometri pemodelan DCM, dapat berupa 2 (dua) lubang bor yang interseksi ini diidealisasikan menjadi sebuah lingkaran bor dengan diameter ekuivalen sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Pemodelan diameter ekuivalen

- Diameter Ekuivalen = 1,60 meter
- Beban merata = 14,00 t/m².
- Beban gempa = sesuai data gempa, metoda response spectrum.
- Jarak arah sumbu X = 2,30 meter (as-as)
- Jarak arah sumbu Y = 1,70 meter (as-as)

Beban untuk pemodelan stockyard : 14,00 ton/m²

Beban Gempa (Kab. Barru, Sulawesi Selatan)

- Koordinat lokasi (4° 22" 48,92" S - 119° 36" 59,59" E)
- $S_s = 0,067g$
- $S_1 = 0,247g$
- Kelas Situs: SE
- Metode: Response Spectrum

Perkiraan daya dukung DCM untuk kadar semen 15 % berat tanah kering diberikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Daya dukung DCM untuk kadar semen 15 % berat kering tanah.

Deep Cement Mixing	Kedalaman	Daya Dukung	Reaksi Tiang (ton)
--------------------	-----------	-------------	--------------------

	Tiang (meter)	SF = 3	SF = 2	1,2 D + 1,6 L
Kadar semen = 15 %	10	153,69	230,54	247,63
Diameter ekivalen = 160 cm	11	173,88	260,83	255,24
	12	222,41	333,61	264,99
	13	268,63	402,94	273,70

• **Faktor Keamanan Untuk Metode Deep Mixing**

Dengan cara iteratif, nilai kekuatan geser dan geometri dari material *Deep Cement Mixing* harus dipilih sedemikian rupa sehingga faktor keamanan yang dihitung sama atau melebihi nilai desain seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Faktor keamanan untuk Deep Mixing (FHWA, 2013)

Simbol	Deskripsi	SF
F _{cc}	Faktor keamanan terhadap kehancuran kolom <i>deep mixing</i> yang terisolasi di tengah.	1,30
F _s	Faktor keamanan terhadap stabilitas lereng, termasuk stabilitas global dan geser melalui zona <i>deep mixing</i> .	1,50
F _o	Faktor keamanan terhadap <i>overturning capacity</i> dan <i>bearing capacity</i> gabungan dari dinding geser <i>deep mixing</i>	1,30
F _c	Faktor keamanan terhadap kehancuran di ujung zona <i>deep mixing</i> .	1,30
F _v	Faktor keamanan terhadap geser pada bidang vertikal melalui zona <i>deep mixing</i> .	1,30
F _e	Faktor keamanan terhadap ekstrusi tanah melalui dinding geser <i>deep mixing</i> .	1,30

• **Kekuatan Geser pada Metode Deep Mixing**

Menurut FHWA (2013), nilai desain kekuatan geser pada metode *Deep Mixing* bisa didapatkan melalui persamaan 4.

$$S_{dm} = \frac{1}{2} \cdot f_r \cdot f_c \cdot q_{dm}; \quad f_r = 0.80; \quad f_c = 0,187 \ln(t) + 0.375. \quad (4)$$

dimana :

S_{dm} = kekuatan geser tanah metode *deep mixing*

f_r = perbedaan antara puncak *unconfined* dan regangan besar *confined*

f_c = *curing factor*

t = waktu *curing* (hari)

q_{dm} = *unconfined compressive strength*.

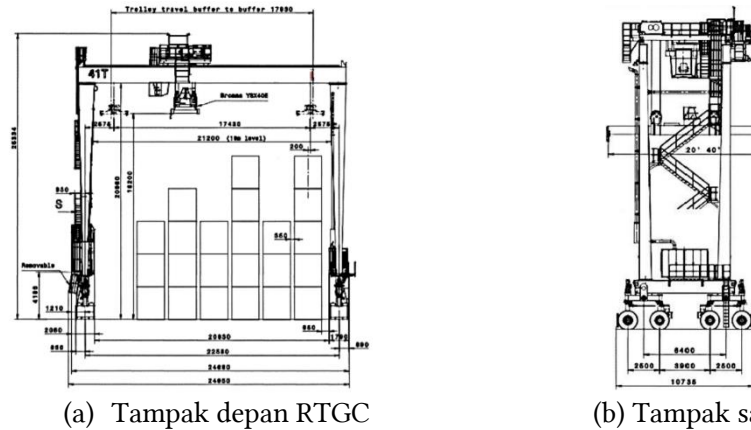
• **Penurunan tanah ijin**

- Pada area emplasemen penurunan struktur yang diijinkan adalah < 2,5 cm
- Pada area *stockyard* penurunan struktur yang diijinkan adalah:
 - o *Container yard* → kemiringan kontainer tidak boleh lebih dari 3°
 - o *Coal stockpile* → bergantung tipe *material handling*.

Data Gempa

Dengan website http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/, didapatkan data gempa pada lokasi emplasemen dan *stockyard* Garongkong untuk tanah sedang disajikan dalam Gambar 5, dan diringkas sebagai berikut :

- Koordinat lokasi (4° 22" 48,92" S - 119° 36" 59,59" E)
- PGA = 0,260 g S_s = 0,667 g S₁ = 0,247 g
- C_{RS} = 1,121 C_{R1} = 1,071 F_{PGA} = 1,280
- F_A = 1,266 F_V = 1,907 P_{SA} = 0,333 g
- S_{MS} = 0,845 g S_{M1} = 0,470 g S_{DS} = 0,563 g S_{D1} = 0,313 g
- T₀ = 0,111 detik T_S = 0,556 detik



Gambar 7. RTGC (Sumber: kriteria desain)

c. Beban Material Curah

Material curah di *stockyard* adalah tumpukan batubara setinggi 10.00 meter, berat jenis batubara = 1.300 kg/m³ sehingga beban merata akibat tumpukan batubara = 13.000 kg/m².

d. Beban Kontainer

Berdasarkan data teknis kontainer yang diberikan pada kriteria desain, besarnya beban kontainer ukuran 20' dan ukuran 40' diberikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Data teknis kontainer ukuran 20' dan 40'

Item	Kontainer 20'		Kontainer 40'	
Panjang	6.058	mm	12.192	mm
Lebar	2.438	mm	2.438	mm
Luas alas	14,77	m ²	29,72	m ²
Berat	245	kN	305	kN
Tinggi susun	5	tingkat	5	tingkat
Berat total	1.225	kN	1.525	kN
Total Beban	82,94	kN/m ²	51,30	kN/m ²

Jadi, beban yang terjadi di atas tanah dasar akibat kontainer adalah sebesar:

- Beban merata : 82,94 kN/m² (5 tingkat kontainer)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis perbaikan tanah dengan metode DCM area stock yard adalah :

- Kadar semen = 15 %
- Diameter ekuivalen DCM = 1,60 meter,
- Jarak arah sumbu X = 2,30 meter dan jarak arah sumbu Y = 1.70 m (as-as).
- Kedalaman bored pile DCM = 12.00 meter dengan diameter ekuivalen 1.60 meter.
- Daya dukung DCM dengan diameter ekuivalen 1.60 meter dan kedalaman -12.00 meter dari muka tanah setempat = 222,41 ton (safety factor = 3).

Hasil perhitungan daya dukung bored pile metoda DCM untuk variasi diameter ekuivalen 140.00 cm, 160.00 cm dan 180.00 cm berdasarkan nilai N-SPT bor DH-2 diberikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Daya dukung bored pile metode DCM berdasarkan data N-SPT bor DH-2

N _{SPT}	Jenis Tanah	γ (t/m ³)	Q _{ult}	D 140		D 160			D 180		
				SF = 3	SF = 2	Q _{ult}	SF = 3	SF = 2	Q _{ult}	SF = 3	SF = 2
4	SM	1,80	102.26	34.09	51.13	133.56	44.52	66.78	181.31	60.44	90.66
4	SM	1,80	115.84	38.61	57.92	150.29	50.10	75.15	219.97	73.32	109.99
4	SM	1,80	140.60	46.87	70.30	181.63	60.54	90.82	252.49	84.16	126.25
3	SM	1,80	161.63	53.88	80.81	208.10	69.37	104.05	284.00	94.67	142.00
3	SM	1,80	182.07	60.69	91.03	233.78	77.93	116.89	311.58	103.86	155.79
3	SM	1,80	200.12	66.71	100.06	256.35	85.45	128.18	336.14	112.05	168.07
5	SM	1,60	218.60	72.87	109.30	279.12	93.04	139.56	361.22	120.41	180.61
5	SM	1,60	243.10	81.03	121.55	309.73	103.24	154.87	395.73	131.91	197.87
5	SM	1,73	279.39	93.13	139.69	355.09	118.36	177.55	445.88	148.63	222.94
5	SM	1,73	315.82	105.27	157.91	400.61	133.54	200.31	511.48	170.49	255.74
10	SM	1,75	363.81	121.27	181.90	461.08	153.69	230.54	578.25	192.75	289.13
10	SM	1,75	411.89	137.30	205.94	521.65	173.88	260.83	738.26	246.09	369.13
10	SM	1,75	525.05	175.02	262.52	667.22	222.41	333.61	898.37	299.46	449.19
10	SM	1,75	632.93	210.98	316.46	805.88	268.63	402.94	1058.54	352.85	529.27
10	SM	1,90	744.47	248.16	372.23	948.73	316.24	474.37	1215.79	405.26	607.90
10	SM	1,90	847.20	282.40	423.60	1080.05	360.02	540.03	1373.11	457.70	686.56
11	SM	1,90	954.95	318.32	477.47	1217.11	405.70	608.56	1524.18	508.06	762.09
11	SM	1,90	1061.01	353.67	530.50	1351.95	450.65	675.98	1675.35	558.45	837.68
11	SM	1,90	1432.47	477.49	716.23	1841.11	613.70	920.56	2273.03	757.68	1136.52
11	SM	1,90	1553.94	517.98	776.97	1998.11	666.04	999.06	2384.40	794.80	1192.20
10	SM	1,90	1644.16	548.05	822.08	2114.28	704.76	1057.14	2510.89	836.96	1255.45
10	SM	1,90	1736.61	578.87	868.30	2233.37	744.46	1116.69	2656.28	885.43	1328.14
12	SM	1,90	1845.52	615.17	922.76	2373.96	791.32	1186.98	2805.37	935.12	1402.69
12	SM	1,90	1955.84	651.95	977.92	2516.40	838.80	1258.20	2981.67	993.89	1490.84
12	SM	1,90	1091.21	363.74	545.60	2691.55	897.18	1345.78	3160.32	1053.44	1580.16
12	SM	1,90	2101.38	700.46	1050.69	2703.17	901.06	1351.59	3380.35	1126.78	1690.18

KESIMPULAN

- 1) Deep cement mixing (DCM) sebagai metode perbaikan tanah yang diaplikasikan di area stockyard memakai campuran semen 15 % dan ukuran diameter ekuivalen 1.60 meter dengan kedalaman bor sedalam 12.00 meter memenuhi syarat.
- 2) Jarak antar lubang bor searah sumbu X adalah 2,30 meter dan jarak searah sumbu Y adalah 1.70 m (as-as) dengan daya dukung = 222,41 ton.

DAFTAR PUSTAKA

- Coastal Development Institute of Technology. (2002). *The Deep Mixing Method: Principle, Design, and Construction*, Balkema, Lisse, Netherlands.
- FHWA, 2013-11, Federal Highway Administration Design Manual : Deep Mixing for Embankment and Foundation, *Support Publication No. FHWA-HRT-13-046*.
- McGinn, A.J. and O'Rourke, T.D. (2003). *Performance of Deep Mixing Methods at Fort Point Channel*, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Porbaha, A., Weatherby, D., Macnab, A., Lambrechts, J., Burke, G., Yang, D., and Puppala, A.J., 2005, Regional Report : North American Practice of Deep Mixing Technology, *International Conference on Deep Mixing Best Practice and Recent Advances*, R47–R73, Swedish Deep Stabilization Research Centre, Stockhol, Sweden.
- PPM-ITB, 2011, Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Suwarno, 1991, Stabilisasi Tanah Dengan Semen di Lokasi Kali Lamong, *Laporan Penelitian Dana Pusat Penelitian*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Terashi, M., 2003, The State of Practice in Deep Mixing Methods, Grouting and Ground Treatment : *Proceedings of the Third International Conference, Geotechnical Special Publication 120*, 25–49, American Society of Civil Engineers, Reston, VA.