

Efektivitas Pemadatan Pada Konstruksi *Tailing Storage Facility* Proyek Tambang Emas Martabe

Hylcia Alexandra Kimberly Wenas*, Agung Nugroho, Sri Sumiyati

Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*)Corresponding author: hylciawenas@gmail.com

(Received: August 24, 2023; Accepted: October 3, 2023)

Abstract

Effectiveness of Compaction in Tailings Storage Facility Construction for the Martabe Gold Mine Project. Tailings management technique used by the Martabe mine is to build a waste dam, namely the Tailings Storage Facility (TSF). The material used for placement in the TSF must be compacted to the specified density and moisture content. The variables from each test were divided into 4 which were distinguished based on the thickness of the placement of the material (per 0.5 m and 1 m) and the number of passes (4 and 6 passes) during compaction. The results of the PSD test on the material used showed that the placed material was well graded, there were particles between coarse and fine grains. From the DCP test, it was found that the average number of blows in all placement methods was more than 2 blows but only the material placement area per 0.5 m with 4 passes compaction was in accordance with TSF specifications because each density per layer had exceeded the requirements. From the sandcone test, it was found that the placement method per 0.5 m with 6x passing compaction, the degree of density in this method was obtained at 94.95% so that it almost reached the required density of 95%. Based on the results of data processing and analysis, it was found that the thickness of the material placement per 0.5 m indicates a better density level than per 1 meter. The factor that affects the density of the soil is the water content and not the number of passes during compaction.

Keywords: tailing storage facility, density, moisture content, DCP test, PSD test, sandcone

Abstrak

Teknik pengelolaan *tailing* yang digunakan tambang Martabe adalah dengan membangun bendungan limbah yaitu *Tailing Storage Facility* (TSF). Material yang digunakan untuk penempatan di TSF harus dipadatkan dengan kepadatan dan kadar air yang ditentukan. Variabel dari setiap pengujian dibagi menjadi 4 yang dibedakan berdasarkan ketebalan penempatan material (per 0,5 m dan 1 m) dan jumlah *passing* (4 dan 6 *passing*) pada saat pemadatan. Hasil pengujian PSD pada material yang digunakan didapatkan bahwa material yang ditempatkan tergradasi dengan baik yaitu terdapat partikel antara butir kasar dan halus. Dari pengujian DCP didapatkan bahwa jumlah pukulan pada semua metode penempatan rata-rata sudah lebih dari 2 blow tetapi hanya area penempatan material per 0,5 m dengan pemadatan 4 *passing* yang sesuai dengan spesifikasi TSF dikarenakan tiap kepadatan per lapisannya sudah melebihi syarat. Dari pengujian *sandcone* didapatkan pada metode penempatan per 0,5 m dengan pemadatan 6x *passing*, derajat kepadatan pada metode ini didapatkan sebesar 94,95% sehingga hampir mencapai kepadatan yang dibutuhkan yaitu 95%. Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisa didapatkan bahwa ketebalan penempatan material per 0,5 m menunjukkan tingkat kepadatan yang lebih baik dibandingkan per 1 meter. Faktor yang mempengaruhi kepadatan tanah adalah kadar air dan bukan jumlah *passing* saat pemadatan.

Kata kunci: *tailing storage facility, kepadatan, kadar air, pengujian PSD, pengujian DCP, sandcone*

How to Cite This Article: Wenas, H. A. K., Nugroho, A., Sumiyati, S. (2023). Efektivitas Pemadatan Pada Konstruksi *Tailing Storage Facility* Proyek Tambang Emas Martabe. *JPII*, 1(7), 258-264. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2023.23854>

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi bahan tambang yang melimpah seperti emas, tembaga, nikel dan sebagainya. Menurut OEC.World 19, pada tahun 2020 Indonesia mengeksplor Emas senilai \$6,31 miliar sehingga menjadikannya pengeksplor Emas terbesar ke-20 di dunia. Ada beberapa lokasi area tambang yang telah dijadikan sebagai tempat untuk mendapatkan emas di Indonesia dan salah satunya adalah tambang emas Martabe yang ada di Tapanuli Selatan, Sumatera Utara.



Tailing adalah kombinasi dari butiran halus (biasanya berukuran endapan dalam kisaran 0,001-0,6 mm) bahan padat yang tersisa setelah logam mulia dan mineral telah diekstraksi dari bijih yang ditambang, bersama-sama dengan air yang digunakan dalam proses pemulihan. Teknik pengelolaan *tailing* yang digunakan tambang Martabe adalah dengan membangun bendungan limbah yaitu *Tailing Storage Facility* (TSF). Dari hal-hal yang menjadi fokus pada masa konstruksi TSF terdapat salah satunya adalah kepadatan bendungan. Untuk memenuhi spesifikasi yang ada maka harus ditemukan cara yang efektif untuk mendapatkan kepadatan yang maksimum. Berdasarkan kondisi tersebut, perlu adanya penelitian yang lebih mendalam untuk menganalisa pemadatan yang efektif untuk memperoleh hasil kepadatan yang optimum pada konstruksi *Tailing Storage Facility* Proyek Tambang Emas Martabe.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan adalah material kelas 2 dari pit Ramba Joring dari 2 macam *loading point* yang berbeda. Kelas 2 digunakan pada studi kasus ini dikarenakan material ini yang paling banyak digunakan di area *outer slope* seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis material yang digunakan

Lokasi Material	Tipe Material	Foto Material
Ramba Joring RL607.5	Kelas 2	
Ramba Joring RL617.5	Kelas 2	

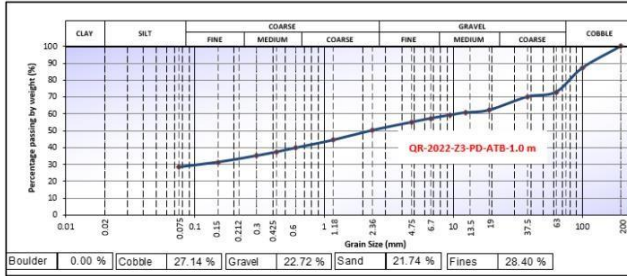
Secara umum metode penelitian diartikan sebagai cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu. Metode pelaksanaan pada studi kasus ini adalah:

1. Studi Kepustakaan
Studi ini dilakukan untuk mengumpulkan informasi dan data dengan bantuan berbagai macam material yang ada di perpustakaan seperti dokumen, buku, majalah, kisah-kisah sejarah, dan sebagainya (Mardalis,1999). Studi kepustakaan ialah suatu kegiatan yang tidak dapat dipisahkan dari sebuah penelitian. Teori-teori yang mendasari masalah dan bidang yang akan diteliti dapat ditemukan dengan melakukan studi kepustakaan.
2. Pengumpulan data teknis
Pengumpulan data teknis dilakukan untuk mendapatkan data awal di area Thickening Barani untuk dijadikan acuan dalam pelaksanaan dan dijadikan dasar area penempatan
3. Penempatan material
Penempatan material dilakukan dengan pengupasan material (*scrapped*), pembuangan (*dumping*), penyebaran material (*spreading*), pemadatan (*compaction*), pemotongan lereng (*sloping*). Pada proses penempatan maka akan dibedakan menjadi 4 variabel yang dibedakan berdasarkan ketebalan lapisan dan jumlah *passing* saat pemadatan.
4. Pelaksanaan uji kepadatan
Uji kepadatan dilakukan melalui tes *particle size distribution* (PSD), *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) dan *sandcone* pada *slope area* penempatan ketika sudah mencapai ketebalan 2 m.
5. Pengumpulan data hasil tes
Pengumpulan data hasil pelaksanaan tes dari pengujian PSD, DCP dan *sandcone* di area Thickening Barani TSF dilakukan untuk dijadikan acuan dalam analisis penentuan kepadatan bendungan TSF.
6. Analisa dan Pembahasan
Hasil pengolahan data dianalisa untuk mendapatkan manfaat berupa informasi, permasalahan hingga perbaikan.
7. Kesimpulan dan saran
Penarikan kesimpulan dari hasil analisa dan penyampaian saran untuk perbaikan proses maupun perbaikan penelitian ke depannya.

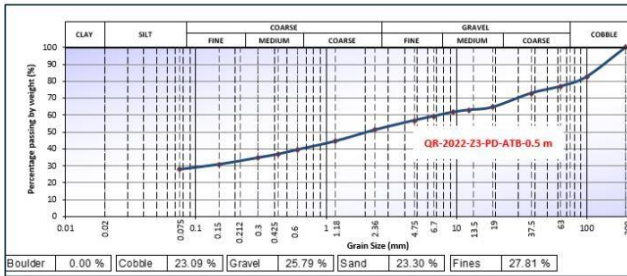
HASIL DAN PEMBAHASAN

Material yang digunakan dalam studi kasus adalah material kelas 2 yang berasal dari pit Ramba Joring dengan 2 area *loading point* yang berbeda. Sampel material dari setiap *loading point* diambil dan dilakukan

pengujian PSD untuk memilah berdasarkan ukuran partikel kemudian menghitung jumlah partikel dari setiap interval dari ukuran partikel tersebut. Hasil pengujian PSD pada penempatan material per 1 m ditunjukkan pada Gambar 1 dan penempatan per 0,5 m ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Hasil pengujian PSD pada penempatan material per 1 m



Gambar 2. Hasil pengujian PSD pada penempatan material per 0.5 m

Dari kedua hasil pengujian PSD pada Gambar 1 dan Gambar 2 didapatkan bahwa material yang ditempatkan tergradasi dengan baik yaitu terdapat partikel antara butir kasar dan halus dengan kurang dari 30% adalah *cobble* dan lebih dari 25% adalah material halus. Ukuran material maksimum adalah 200 mm dan minimum 0,075 mm. Agregat yang bergradasi baik yaitu yang mempunyai ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus di mana agregat ini akan mempunyai rongga antar butiran yang kecil dan kepadatan yang tinggi sehingga menjadikan agregat akan saling mengunci dan stabil serta mempunyai daya dukung yang memenuhi persyaratan spesifikasi.

Penempatan Per 0,5 m Dengan Pemadatan 4 Passing

Penempatan material kelas 2 di area *outer slope* dilakukan sepanjang 13 m. Penempatan dilakukan sebanyak 4 layer hingga mencapai 2 m. Setiap area diuji kepadatannya menggunakan metode *particle size distribution* (PSD) dan *sandcone*.

a. Pengujian DCP

Pengujian DCP dilakukan di 2 titik yang berbeda dan hasilnya terdapat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil uji DCP di titik 1 pada penempatan per 0,5 m dengan pemadatan 4 passing

Number of Blows	Cumulative Penetration (mm)	Penetration Between Readings (mm)	Penetration per Blow (mm)	Hammer Factor	DCP Index (mm/blow)	CBR (%)
0	0	-	-	-	-	-
3	100	100	34	1	34	6
6	200	100	17	1	17	12
6	300	100	17	1	17	12
5	400	100	200	1	20	10
6	500	100	17	1	17	12
8	570	70	9	1	9	25
Test Terminated due to exceeded 8 blows/100 mm						
Average CBR (%)					12.83	
Average blows per 100 mm					5.96	

Pengujian DCP pada titik 1 dilakukan hanya sampai kedalaman 570 mm dikarenakan pada kedalaman tersebut sudah melebihi 8 *blow*. Pada titik 1 menghasilkan rata-rata 6 *blow* per 100 mm dengan nilai CBR rata-rata 12,83% sehingga sudah memenuhi spesifikasi TSF.

Tabel 3. Hasil uji DCP di titik 2 pada penempatan per 0,5 m dengan pemadatan 4 passing

Number of Blows	Cumulative Penetration (mm)	Penetration Between Readings (mm)	Penetration per Blow (mm)	Hammer Factor	DCP Index (mm/blow)	CBR (%)
0	0	-	-	-	-	-
6	100	100	17	1	17	12
5	200	100	20	1	20	10
5	300	100	20	1	20	10
8	380	80	10	1	10	20
Test Terminated due to exceeded 8 blows/100 mm						
Average CBR (%)					13	
Average blows per 100 mm					6.32	

Pengujian DCP pada titik 2 dilakukan hanya sampai kedalaman 380 mm dikarenakan pada kedalaman tersebut sudah melebihi 8 *blow*. Pada titik 2 menghasilkan rata-rata 6 *blow* per 100 mm dengan nilai CBR rata-rata 13% sehingga sudah memenuhi spesifikasi TSF.

b. Pengujian *sandcone*

Tes pengujian untuk menentukan kepadatan lapisan tanah di lapangan dengan menggunakan pasir. Pengujian ini menggunakan sampel yang diambil di lapangan dan dilakukan pengujian, adapun nilai pemadatan tanah ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji *sandcone* di titik 3 pada penempatan per 0,5 m dengan pemadatan 4 passing

	300 mm	600 mm	900 mm
Unit Weight of dry soil (gr/cm ³)	1.678	1.671	1.628
Average moisture content (%)	16.06	16.01	15.95
Dry Density (%)	93.76	93.34	90.96

Dari hasil pengujian *sandcone* pada titik 3 didapatkan persentase kepadatan kering dari kedalaman 300mm, 600mm dan 900 mm tidak ada yang memenuhi spesifikasi TSF karena berada dibawah 95%.

Penempatan Per 0,5 m Dengan Pemadatan 6 Passing

Penempatan material kelas 2 di area *outer slope* dilakukan sepanjang 13 m. Penempatan dilakukan sebanyak 4 layer hingga mencapai 2 m. Setiap area diuji kepadatannya menggunakan metode *particle size distribution* (PSD) dan *sandcone*.

a. Pengujian DCP

Pengujian DCP dilakukan di 2 titik yang berbeda dan hasilnya terdapat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Hasil uji DCP di titik 4 pada penempatan per 0,5 m dengan pematatan 6 passing

Number of Blows	Cumulative Penetration (mm)	Penetration Between Readings (mm)	Penetration per Blow (mm)	Hammer Factor	DCP Index (mm/blow)	CBR (%)
0	0	-	-	-	-	-
2	100	100	50	1	50	3.7
2	200	100	50	1	50	3.7
2	300	100	50	1	50	3.7
3	400	100	34	1	34	6
5	500	100	20	1	20	10
8	570	70	9	1	9	25
Test Terminated due to exceeded 8 blows/100 mm						
Average CBR (%)		8.68				
Average blows per 100 mm		3.86				

Pengujian DCP pada titik 4 dilakukan hanya sampai kedalaman 570 mm dikarenakan pada kedalaman tersebut sudah melebihi 8 blow. Pada titik 4 menghasilkan rata-rata 4 blow per 100 mm dengan nilai CBR rata-rata 8,68% tetapi pada kedalaman 100-300 mm jumlah pukulan yang didapat <3 blow sehingga belum memenuhi spesifikasi TSF.

Tabel 6. Hasil uji DCP di titik 5 pada penempatan per 0,5 m dengan pematatan 6 passing

Number of Blows	Cumulative Penetration (mm)	Penetration Between Readings (mm)	Penetration per Blow (mm)	Hammer Factor	DCP Index (mm/blow)	CBR (%)
0	0	-	-	-	-	-
3	100	100	34	1	34	6
2	200	100	50	1	50	4
3	300	100	34	1	34	6
4	400	100	25	1	25	8
7	500	100	15	1	15	14
6	600	100	17	1	17	12
8	630	30	4	1	4	60
Test Terminated due to exceeded 8 blows/100 mm						
Average CBR (%)		15.67				
Average blows per 100 mm		5.24				

Pengujian DCP pada titik 5 dilakukan hanya sampai kedalaman 630 mm dikarenakan pada kedalaman tersebut sudah melebihi 8 blow. Pada titik 5 menghasilkan rata-rata 5 blow per 100 mm dengan nilai CBR rata-rata 15,67% tetapi pada kedalaman 200 mm jumlah pukulan yang didapat <3 blow sehingga belum memenuhi spesifikasi TSF.

b. Pengujian sandcone

Tes pengujian untuk menentukan kepadatan lapisan tanah di lapangan dengan menggunakan pasir. Pengujian ini menggunakan sampel yang diambil di lapangan dan dilakukan pengujian, adapun nilai pematatan tanah ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil uji sandcone di titik 6 pada penempatan

	300 mm	600 mm	900 mm
Unit Weight of dry soil (gr/cm ³)	1.664	1.665	1.7
Average moisture content (%)	15.73	16.03	16.04
Dry Density (%)	92.97	93.03	94.95

Dari hasil pengujian sandcone pada titik 6 didapatkan bahwa kadar air mempengaruhi nilai kepadatan dikarenakan semakin kecil kadar air maka

semakin kecil juga nilai kepadatan. Persentase kepadatan kering yang memenuhi spesifikasi TSF hanya di kedalaman 900 mm karena sudah mencapai 95% tetapi di kedalaman 300 dan 600 mm tidak memenuhi spesifikasi.

Penempatan Per 1 m Dengan Pematatan 4 Passing

Penempatan material kelas 2 di area *outer slope* dilakukan sepanjang 13 m. Penempatan dilakukan sebanyak 2 layer hingga mencapai 2 m. Setiap area diuji kepadatannya menggunakan metode *particle size distribution* (PSD) dan *sandcone*.

a. Pengujian DCP

Pengujian DCP dilakukan di 2 titik yang berbeda dan hasilnya terdapat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Hasil uji DCP di titik 7 pada penempatan per 1 m dengan pematatan 4 passing

Number of Blows	Cumulative Penetration (mm)	Penetration Between Readings (mm)	Penetration per Blow (mm)	Hammer Factor	DCP Index (mm/blow)	CBR (%)
0	0	-	-	-	-	-
5	100	100	20	1	20	10
2	200	100	50	1	50	3.7
3	300	100	34	1	34	6
2	400	100	50	1	50	3.7
3	500	100	34	1	34	6
3	600	100	34	1	34	6
3	700	100	34	1	34	6
3	800	100	34	1	34	6
4	900	100	25	1	25	8
3	1000	100	34	1	34	6
Average CBR (%)					6.14	
Average blows per 100 mm					3.10	

Pengujian DCP pada titik 7 menghasilkan rata-rata 3 blow per 100 mm dengan nilai CBR rata-rata 6% tetapi pada kedalaman 200 mm dan 400 mm jumlah pukulan yang didapat <3 blow sehingga belum memenuhi spesifikasi TSF.

Tabel 9. Hasil uji DCP di titik 8 pada penempatan per 1 m dengan pematatan 4 passing

Number of Blows	Cumulative Penetration (mm)	Penetration Between Readings (mm)	Penetration per Blow (mm)	Hammer Factor	DCP Index (mm/blow)	CBR (%)
0	0	-	-	-	-	-
3	100	100	34	1	34	6
4	200	100	25	1	25	8
5	300	100	20	1	20	10
4	400	100	25	1	25	8
4	500	100	25	1	25	8
5	600	100	20	1	20	10
5	700	100	20	1	20	10
8	740	40	5	1	5	50
Test Terminated due to exceeded 8 blows/100 mm						
Average CBR (%)					13.75	
Average blows per 100 mm					5.14	

Pengujian DCP pada titik 8 dilakukan hanya sampai kedalaman 800 mm dikarenakan pada kedalaman tersebut sudah melebihi 8 blow. Pada titik 8 menghasilkan rata-rata 5 blow per 100 mm sehingga sudah memenuhi spesifikasi TSF.

b. Pengujian sandcone

Tes pengujian untuk menentukan kepadatan lapisan tanah di lapangan dengan menggunakan pasir. Pengujian ini menggunakan sampel yang diambil di lapangan dan dilakukan pengujian, adapun nilai pematatan tanah ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil uji *sandcone* di titik 9 pada penempatan per 1 m dengan pemadatan 4 *passing*

	300 mm	600 mm	900 mm
Unit Weight of dry soil (gr/cm ³)	1.628	1.586	1.626
Average moisture content (%)	15.66	15.54	16.03
Dry Density (%)	90.18	87.87	90.07

Dari hasil pengujian *sandcone* pada titik 9 didapatkan bahwa persentase kepadatan kering dari kedalaman 300 mm, 600 mm dan 900 mm tidak ada yang memenuhi spesifikasi TSF karena berada di bawah 95%.

Penempatan Per 1 m Dengan Pemadatan 6 *Passing*

Penempatan material kelas 2 di area *outer slope* dilakukan sepanjang 13 m. Penempatan dilakukan sebanyak 2 *layer* hingga mencapai 2 m. Setiap area diuji kepadatannya menggunakan metode *particle size distribution* (PSD) dan *sandcone*.

a. Pengujian DCP

Pengujian DCP dilakukan di 2 titik yang berbeda dan hasilnya terdapat pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Hasil uji DCP di titik 10 pada penempatan per 1 m dengan pemadatan 6 *passing*

Number of Blows	Cumulative Penetration (mm)	Penetration Between Readings (mm)	Penetration per Blow (mm)	Hammer Factor	DCP Index (mm/blow)	CBR (%)
0	0	-	-	-	-	-
3	100	100	34	1	34	6
3	200	100	34	1	34	6
4	300	100	25	1	25	8
4	400	100	25	1	25	8
4	500	100	25	1	25	8
4	600	100	25	1	25	8
4	700	100	25	1	25	8
3	800	100	34	1	34	6
8	900	100	13	1	13	16
7	1000	100	15	1	15	14
Average CBR (%)			8.80			
Average blows per 100 mm			4.40			

Pengujian DCP pada titik 10 menghasilkan rata-rata 4 *blow* per 100 mm dengan nilai CBR rata-rata 8,8% sehingga sudah memenuhi spesifikasi TSF.

Tabel 12. Hasil uji DCP di titik 11 pada penempatan per 1 m dengan pemadatan 6 *passing*

Number of Blows	Cumulative Penetration (mm)	Penetration Between Readings (mm)	Penetration per Blow (mm)	Hammer Factor	DCP Index (mm/blow)	CBR (%)
0	0	-	-	-	-	-
3	100	100	34	1	34	6
4	200	100	25	1	25	8
5	300	100	20	1	20	10
4	400	100	25	1	25	8
3	500	100	34	1	34	6
2	600	100	50	1	50	4
2	700	100	50	1	50	3.7
2	800	100	50	1	50	3.7
3	900	100	34	1	34	6
3	1000	100	34	1	34	6
Average CBR (%)			13.75			
Average blows per 100 mm			5.14			

Pengujian DCP pada titik 11 menghasilkan rata-rata 3 *blow* per 100 mm dengan nilai CBR rata-rata 6% tetapi pada kedalaman 600-800 mm jumlah pukulan yang didapat <3 *blow* sehingga belum memenuhi spesifikasi TSF.

b. Pengujian *sandcone*

Tes pengujian untuk menentukan kepadatan lapisan tanah di lapangan dengan menggunakan pasir. Pengujian ini menggunakan sampel yang diambil di lapangan dan dilakukan pengujian, adapun nilai pemadatan tanah ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil uji *sandcone* di titik 12 pada penempatan per 1 m dengan pemadatan 6 *passing*

	300 mm	600 mm	900 mm
Unit Weight of dry soil (gr/cm ³)	1.635	1.648	1.692
Average moisture content (%)	15.9	15.95	15.91
Dry Density (%)	90.56	91.31	93.71

Dari hasil pengujian *sandcone* pada titik 12 didapatkan bahwa persentase kepadatan kering dari kedalaman 300 mm, 600 mm dan 900 mm tidak ada yang memenuhi spesifikasi TSF karena berada dibawah 95%.

Perbandingan Hasil DCP

Spesifikasi TSF mengisyaratkan bahwa dalam pengujian DCP setiap 100 mm maka diharuskan untuk melebihi 2 *blow* untuk dapat dikualifikasikan lulus pengujian. Perbandingan hasil DCP dari 4 variabel dalam studi kasus ditunjukkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Perbandingan hasil pengujian DCP

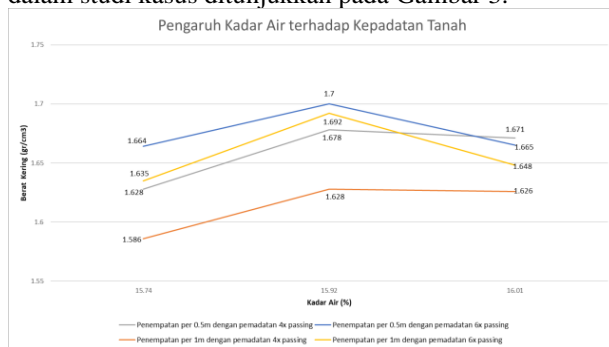
Penetrasi Kumulatif (mm)	Jumlah Pukulan							
	0,5 m; 4 <i>passing</i>		0,5 m; 6 <i>passing</i>		1 m; 4 <i>passing</i>		1 m; 6 <i>passing</i>	
	1	2	1	2	1	2	1	2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	3	6	2	3	5	3	3	3
200	6	5	2	2	2	4	3	4
300	6	5	2	3	3	5	4	5
400	5	8	3	4	2	4	4	4
500	6		5	7	3	4	4	3
600	8		8	6	3	5	4	2
700				8	3	5	4	2
800					3	8	3	2
900						4	8	3
1000						3	7	3
Rata-rata	5	5	3	4	3	4	4	3

Berdasarkan Tabel 14 dapat diketahui bahwa jumlah pukulan pada semua metode penempatan rata-rata sudah lebih dari 2 *blow* tetapi hanya area penempatan material per 0,5 m dengan pemadatan 4 *passing* yang sesuai dengan spesifikasi TSF. Pada metode penempatan material per 0,5 m dengan pemadatan 6 *passing* dan penempatan material per 1 m dengan pemadatan 4 *passing*, hasil pengujian menunjukkan bahwa dari kedalaman 100-400 mm tidak sesuai dengan spesifikasi TSF atau memiliki kepadatan yang rendah sedangkan penempatan material per 1 m dengan pemadatan 6 *passing* tidak memenuhi spesifikasi pada area yang lebih dalam yaitu 600-800 mm.

Walaupun nilai rata-rata pukulan dari setiap metode penempatan telah memenuhi standar namun kepadatan per lapisannya masih belum baik, maka deformasi akibat konsolidasi masih dapat terjadi dan penyebaran beban ke lapis tanah di bawahnya akan menjadi kurang baik, serta berpotensi terjadi konsentrasi tegangan pada bagian tertentu dalam lapisan tanah tersebut yang dapat mengakibatkan kegagalan lapis tanah secara keseluruhan.

Perbandingan Hasil *Sandcone*

Spesifikasi TSF mengisyaratkan bahwa dalam pengujian *sandcone* maka nilai kepadatan diharuskan untuk melebihi 95% untuk dapat dikualifikasikan lulus pengujian. Perbandingan hasil *sandcone* dari 4 variabel dalam studi kasus ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik pengaruh kadar air terhadap kepadatan tanah

Kadar air pada berat volume kering maksimum tanah dicapai disebut kadar air optimum. Terdapat suatu nilai pada kadar air optimum tertentu untuk mencapai nilai berat volume kering maksimumnya. Berdasarkan grafik pada Gambar 3, didapatkan bahwa nilai kadar air optimum pada hasil pengujian didapatkan 15,92% pada metode penempatan per 0,5 m dengan pemadatan 6x passing. Derajat kepadatan pada metode ini didapatkan sebesar 94,95% sehingga hampir mencapai kepadatan yang dibutuhkan yaitu 95%.

Bila kadar air suatu tanah rendah maka tanah maka tanah tersebut keras atau kaku dan sukar dipadatkan. Pada kadar air tanah dengan nilai agak rendah semakin besar usaha pemadatan semakin padat tanah tersebut. Akan tetapi bila kadar air tinggi, walaupun usaha pemadatan ditambah tidak berarti tanah menjadi lebih padat karena ruangan pori sudah penuh berisi air. Tanah yang dipadatkan dengan baik pada kadar air yang tepat mempunyai daya dukung memuaskan.

KESIMPULAN

Ketebalan penempatan material per 0,5 m menunjukkan tingkat kepadatan yang lebih baik dibandingkan per 1 meter. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa penempatan per 0,5 m dapat memenuhi spesifikasi TSF

dengan hasil pengujian *dcp* >2 *blows* dan persentase kepadatan hampir 95%.

Dengan menambah jumlah *passing* pada pemadatan tidak membuat tanah semakin padat. Ditunjukkan oleh hasil pengujian DCP bahwa walaupun pada ketebalan penempatan yang sama, pemadatan menggunakan 6 *passing* menunjukkan hasil pengujian yang tidak lebih baik dari pemadatan 4 *passing*. Tetapi jika dilihat dari pengujian *sandcone* maka menambah jumlah *passing* akan membuat kepadatan semakin tinggi jika kadar air mencapai kadar air optimum karena jika kadar air tinggi walaupun usaha pemadatan ditambah tidak berarti tanah menjadi lebih padat karena ruangan pori sudah penuh berisi air. Faktor yang mempengaruhi kepadatan tanah adalah kadar air. Untuk memperkecil pengaruh air terhadap kekuatan tanah maka tanah dipadatkan pada kadar air yang mendekati optimum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada PT. Macmahon Mining Services dan PT Agincourt Resources yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan kegiatan pengujian kepadatan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. (2015). Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications (ASTM D6951/D6951M-09).
- Australian Government. (2016). Pengelolaan *Tailing*.
- Australian Standard. (2004) Methods of Testing Soils for Engineering Purposes (AS 1289.5.3.1— 2004).
- Australian Standard. (2010). Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications.
- Badan Standarisasi Nasional. (1992). SNI 03-2828-1992 Tentang Metode Pengujian Kepadatan Lapangan Dengan Alat Konus Pasir.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 3423:2008 Tentang Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 1742:2008 Tentang Cara Uji Kepadatan Ringan Untuk Tanah.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2004). Pedoman Bendungan Limbah Tambang.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2004). Keputusan Menteri Nomor: 360/KPTS/M/2004 Tentang Uji Mutu Konstruksi Tubuh Bendungan Tipe Urugan.
- G resources. (2015). AMD Management Technical Manual.
- Giovanny H, Kaseke H.O., & Freddy J. (2015). Kajian Perbedaan Kinerja Campuran Beraspal Panas Antara Jenis Lapis Tipis Aspal Beton-Lapis Aus (Hrs-Wc) Bergradasi Senjang Dengan Yang

- Bergradasi Semi Senjang. *Jurnal Sipil Statik*, 3(4), 228-234.
- Kabupaten Tegal. (2017). Peraturan Bupati Nomor 22 tahun 2017 Tentang Kode Etik Kelompok Kerja Pengadaan Barang / Jasa.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 04/SE/M/2010 Tentang Pemberlakuan Pedoman Cara Uji California Bearing Ratio (CBR) dengan Dynamic Cone Penetrometer (DCP).
- Knight Piesold. (2021). Tailings Storage Facility RL360 Embankment.
- Knight Piesold. (2019). Tailings Storage Facility Technical Specification.
- Knight Piesold. (2017). Tailings Storage Facility Zone 3 Earthworks Construction Methodology.
- Lengkong, P.I.L., Monintja, S., Sompie, O.B.A., & Sumampouw, J.E.R. (2013) Hubungan Nilai CBR Laboratorium dan DCP Pada Tanah Yang Dipadatkan Pada Ruas Jalan Wori– Likupang Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Sipil Statik* 1 (5), 368-376.
- Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2015). Peraturan Menteri 27/PRT/M/2015 Tentang Bendungan.
- Observatory of Economic Complexity. (2022). Gold in Indonesia. Diperoleh dari: <https://oec.world/en/profile/bilateral-product/gold/reporter/idn>
- Office of Minnesota Road Research. (1996). User Guide to The Dynamic Cone Penetrometer. Minnesota: Minnesota Department of Transportation.
- Persatuan Insinyur Indonesia. (2021). Penetapan Hasil-Hasil Sidang Khusus Majelis Kehormatan Etik (MKE) Persatuan Insinyur Indonesia.
- Sumiati. (2011). Pengaruh Gradasi Agregat Terhadap Daya Dukung Base A. *PILAR Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), 31-38.
- Suyono S, Kensaku T. (2016). Bendungan Tipe Urugan. Jakarta: Balai Pustaka.
- Syafruddin. (2007). Hubungan Teoritis Antara Berat Isi Kering dan Kadar Air untuk Menentukan Kepadatan Relatif. *Info –Teknik*, 8(2), 142-150.