

Analisis Kepadatan Tanah Menggunakan Metode Pengujian Sand Cone Pada Timbunan Maindam Bendungan Cijurey

Pirmansyah¹, Sukadi², Parmono³

^{1,2,3} Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia
e-mail: pirmansyah9704@upi.edu

Abstrak

Bendungan Cijurey merupakan bendungan urugan tanah yang berfungsi untuk pengendalian banjir, irigasi, dan penyediaan air baku, sehingga mutu dan kepadatan timbunan maindam menjadi faktor penting untuk mencegah kegagalan akibat penurunan berlebih, rembesan, maupun eksentrisitas beban pada tubuh bendungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis kepadatan tanah timbunan maindam Bendungan Cijurey Paket 1 menggunakan metode uji sand cone sebagai bagian dari pengendalian mutu lapangan. Pendekatan yang digunakan adalah studi kasus kuantitatif dengan membandingkan kepadatan kering hasil uji sand cone di berbagai titik dan elevasi timbunan terhadap kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum hasil uji Proctor di laboratorium. Data lapangan dikumpulkan melalui serangkaian pengujian sand cone pada setiap lapisan timbunan, kemudian dihitung derajat kepadatan dan dievaluasi terhadap spesifikasi teknis yang umumnya mensyaratkan minimal 95% kepadatan Proctor. Hasil menunjukkan bahwa derajat kepadatan pada lintasan uji berada di atas batas minimum yang ditetapkan, sehingga risiko penurunan diferensial, peningkatan rembesan, dan ketidakstabilan akibat eksentrisitas dapat ditekan dalam batas yang dapat diterima. Temuan ini menegaskan pentingnya penerapan uji sand cone secara konsisten sebagai alat verifikasi mutu pemadatan untuk menjamin kinerja dan keamanan jangka panjang bendungan urugan tanah.

Kata kunci: Kepadatan tanah; Sand cone; Timbunan

Abstract

The Cijurey Dam is an earthfill dam that functions for flood control, irrigation, and raw water supply, so that the quality and density of the main dam embankment are important factors in preventing failure due to excessive settlement, seepage, or eccentricity of the load on the dam body. This study aims to analyse the density of the Cijurey Dam Package 1 main dam embankment using the sand cone test method as part of field quality control. The approach used is a quantitative case study comparing the dry density of the sand cone test results at various points and elevations of the embankment with the maximum dry density and optimum moisture content of the Proctor test results in the laboratory. Field data were collected through a series of sand cone tests on each layer of the embankment, then the degree of density was calculated and evaluated against technical specifications that generally require a minimum of 95% Proctor density. The results showed that the degree of density on the test track was above the specified minimum limit, so that the risk of differential settlement, increased seepage, and instability due to eccentricity could be suppressed within acceptable limits. These findings confirm the importance of consistently applying sand cone tests as a means of verifying compaction quality to ensure the long-term performance and safety of earthfill dams.

Keywords: Soil density; Sand cone; Deposits

I. PENDAHULUAN

Bendungan Cijurey merupakan salah satu proyek strategis nasional yang dibangun di Sungai Cihoe dalam wilayah DAS Citarum untuk mendukung pengendalian banjir, penyediaan irigasi, dan suplai air baku serta

energi. Bendungan ini menggunakan tipe urugan tanah bertipe zonal dengan inti tegak sehingga kinerja dan keamanannya sangat dipengaruhi oleh mutu dan derajat kepadatan timbunan pada zona maindam. Kepadatan tanah yang tidak memenuhi spesifikasi dapat menimbulkan penurunan berlebih, peningkatan

rembesan, bahkan penurunan faktor keamanan lereng yang berpotensi mengarah pada kegagalan struktur dalam jangka panjang.

Dalam rekayasa geoteknik, pemadatan tanah dikendalikan terutama oleh jenis tanah, kadar air, dan energi pemadatan, sedangkan kualitas pemadatan dinilai dari hubungan antara kadar air dan kepadatan kering yang diperoleh melalui uji Proctor standar maupun modifikasi. Pada bendungan urugan tanah, derajat kepadatan lapangan umumnya disyaratkan berada pada kisaran 90–95% dari kepadatan maksimum Proctor untuk meminimalkan deformasi, mengendalikan rembesan, dan menjamin stabilitas jangka panjang tubuh bendungan. Untuk memastikan persyaratan tersebut tercapai di lapangan, pengendalian mutu pemadatan biasanya dilakukan melalui uji kepadatan lapangan dengan metode sand cone yang mampu menentukan berat isi basah, kadar air, dan berat isi kering tanah secara langsung di lokasi pekerjaan.

Pada konstruksi timbunan maindam, variabel seperti karakteristik material tanah, kadar air, jumlah lintasan alat pemadat, dan ketebalan lapisan hamparan berpengaruh langsung terhadap derajat kepadatan yang dicapai. Variasi prosedur pemadatan dan pengendalian kadar air di lapangan dapat menyebabkan perbedaan nilai kepadatan antartitik uji, sehingga diperlukan evaluasi sistematis menggunakan sand cone untuk menjamin keseragaman mutu timbunan di seluruh penampang maindam Bendungan Cijurey.

Secara teoritis, pemadatan tanah didefinisikan sebagai proses peningkatan berat isi kering melalui pengurangan volume udara dalam pori tanah dengan pemberian energi mekanis. Pemadatan yang efektif akan menghasilkan massa tanah yang lebih padat dan homogen, meningkatkan kuat geser, mengurangi deformasi, serta menurunkan potensi aliran rembesan melalui tubuh timbunan. Proses ini dikendalikan oleh tiga faktor utama, yaitu jenis tanah (berbutir halus atau kasar), kadar air, dan energi pemadatan, di mana tanah lempung umumnya memiliki kadar air optimum lebih tinggi dan lebih sensitif terhadap perubahan kadar air dibanding tanah berbutir kasar.

Uji Proctor standar maupun modifikasi digunakan untuk menggambarkan hubungan kadar air–kepadatan kering dalam bentuk kurva pemadatan, dari mana diperoleh parameter kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum. Kedua parameter ini dijadikan acuan dalam penetapan spesifikasi derajat kepadatan lapangan pada berbagai pekerjaan timbunan, termasuk

bendungan urugan tanah. Dalam konteks maindam, derajat kepadatan tinggi dibutuhkan untuk mengurangi penurunan (settlement) berlebih, mencegah pembentukan jalur rembesan yang dapat memicu piping, serta mempertahankan faktor keamanan lereng.

Metode uji sand cone merupakan salah satu metode uji kepadatan lapangan yang banyak digunakan pada pekerjaan timbunan karena peralatannya sederhana, biaya relatif rendah, dan tidak memerlukan izin terkait radiasi seperti pada nuclear density gauge. Metode ini mengacu pada standar seperti ASTM D1556 atau SNI 2828, di mana volume lubang galian diisi dengan pasir standar sehingga berat isi dan kepadatan kering tanah di tempat dapat dihitung dan kemudian dibandingkan dengan hasil uji Proctor. Dalam pengendalian mutu bendungan urugan tanah, sand cone sering dijadikan metode rujukan (reference method) maupun alat verifikasi bagi metode uji lain yang lebih cepat.

Berbagai studi geoteknik pada timbunan jalan dan bendungan menunjukkan bahwa metode sand cone efektif dalam mengevaluasi kesesuaian hasil pemadatan lapangan terhadap nilai kepadatan maksimum dan kadar air optimum yang diperoleh dari uji laboratorium. Penelitian-penelitian trial embankment di beberapa proyek bendungan di Indonesia melaporkan bahwa variasi jumlah lintasan alat pemadat, tebal lapisan hamparan, dan pengaturan kadar air menghasilkan variasi derajat kepadatan yang signifikan, sehingga kombinasi uji Proctor dan sand cone diperlukan untuk merancang skema pemadatan yang paling efisien dan memenuhi spesifikasi derajat kepadatan, umumnya $\geq 95\%$ Proctor.

Studi deformasi vertikal pada timbunan bendungan urugan, seperti yang dilaporkan pada kasus Bendungan Sepaku Semoi, menegaskan bahwa kualitas pemadatan maindam mempunyai korelasi kuat dengan besarnya penurunan vertikal dan kestabilan jangka panjang tubuh bendungan. Penelitian mengenai material embankment pada zona inti dan zona timbunan juga menggarisbawahi pentingnya kombinasi uji laboratorium (termasuk Proctor) dan uji lapangan (sand cone) untuk memastikan bahwa parameter material dan prosedur pemadatan benar-benar memenuhi spesifikasi teknis bendungan.

Sejumlah kajian komparatif antara sand cone dan nuclear density gauge menunjukkan bahwa alat nuklir cenderung memberikan pembacaan kepadatan yang lebih tinggi sebelum dilakukan koreksi, sehingga sand cone kerap digunakan sebagai dasar kalibrasi dan

verifikasi. Panduan desain dan laporan teknis bendungan urugan di tingkat internasional maupun nasional umumnya merekomendasikan penggunaan sand cone sebagai bagian utama dari sistem pengendalian mutu untuk memastikan keterulangan dan konsistensi derajat kepadatan lapangan pada timbunan maindam. Dalam konteks ini, penelitian pada timbunan maindam Bendungan Cijurey diharapkan dapat mengisi kekosongan data spesifik terkait performa pemadatan di proyek tersebut dan memberikan kontribusi bagi pengembangan praktik pengendalian mutu timbunan bendungan di Indonesia.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dan mengaplikasikan peralatan uji sand cone secara baik dan benar sehingga pelaksanaan pengujian di lapangan menghasilkan data yang sesuai dengan standar yang ditetapkan. Melalui serangkaian pengujian sand cone pada sejumlah titik dan elevasi yang mewakili kondisi timbunan, penelitian ini bertujuan menentukan nilai kepadatan kering, kadar air, dan derajat kepadatan lapangan timbunan maindam Bendungan Cijurey Paket 1. Selain itu, penelitian ini juga bermaksud membandingkan hasil kepadatan lapangan tersebut dengan nilai kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum hasil uji pemadatan laboratorium (Proctor) untuk menilai sejauh mana derajat kepadatan timbunan maindam telah memenuhi spesifikasi teknis yang dipersyaratkan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain studi kasus lapangan pada timbunan maindam Bendungan Cijurey Paket 1. Fokus utama adalah menganalisis derajat kepadatan lapangan berdasarkan hasil uji sand cone dan membandingkannya dengan parameter pemadatan dari uji Proctor di laboratorium untuk menilai tingkat pemenuhan spesifikasi teknis. Variabel bebas meliputi zona timbunan, elevasi/lapisan, jumlah lintasan pemadatan, dan kadar air, sedangkan variabel terikat adalah kepadatan kering dan derajat kepadatan (% terhadap kepadatan maksimum Proctor).

Lokasi penelitian berada pada timbunan maindam Bendungan Cijurey Paket 1 yang meliputi zona inti dan zona timbunan di sekitarnya. Data dasar yang digunakan mencakup gambar desain bendungan, spesifikasi teknis pemadatan (derajat kepadatan minimum, tebal lapisan, jenis material), serta hasil uji Proctor standar atau

modifikasi dari laboratorium untuk material timbunan yang digunakan.

Instrumen utama penelitian ini meliputi:

1. Peralatan uji sand cone sesuai ASTM D1556 atau SNI 2828 (alat kerucut pasir, pelat dasar, botol, pasir standar, timbangan, oven, dan perlengkapan pendukung).
2. Data hasil uji Proctor (mold, alat pemadat, timbangan, oven, dan kurva hubungan kadar air–kepadatan kering) sebagai acuan kepadatan maksimum dan kadar air optimum.
3. Formulir pencatatan lapangan untuk merekam lokasi titik uji, elevasi, ketebalan lapisan, volume lubang, berat tanah, kadar air, dan hasil perhitungan kepadatan serta derajat kepadatan.

Prosedur Pengumpulan Data dalam penelitian ini meliputi:

1. Penentuan titik uji
 - Menentukan segmen maindam yang sedang atau telah dipadatkan dan menyusun grid titik uji yang mewakili tiap zona dan elevasi timbunan.
2. Pelaksanaan uji sand cone
 - Menyiapkan dan meratakan permukaan lapisan timbunan pada titik uji, kemudian memasang pelat dasar.
 - Menggali lubang melalui lubang pelat, mengumpulkan tanah galian ke dalam kaleng lapangan, dan menimbang berat tanah basah.
 - Meletakkan alat sand cone berisi pasir standar di atas pelat, membuka keran hingga pasir mengisi lubang sepenuhnya, lalu menimbang kembali alat beserta sisa pasir untuk menentukan volume lubang berdasarkan berat pasir yang keluar dan berat jenis pasir hasil kalibrasi.
3. Pengujian kadar air
 - Mengambil sebagian tanah galian sebagai sampel, kemudian mengeringkannya dalam oven untuk menentukan kadar air tanah.
4. Data laboratorium
 - Mengumpulkan hasil uji Proctor (kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum) untuk jenis material timbunan yang sama, atau melakukan uji Proctor tambahan bila data belum tersedia.

Metode Analisis data dilakukan secara kuantitatif melalui beberapa tahap:

1. Perhitungan parameter kepadatan
 - Menghitung berat isi basah dan berat isi kering tanah di lapangan menggunakan data berat tanah dan volume lubang dari uji sand cone serta kadar air hasil uji oven.
 - Menentukan kepadatan kering lapangan untuk setiap titik uji.
2. Penentuan derajat kepadatan
 - Menghitung derajat kepadatan (%) dengan membandingkan kepadatan kering lapangan terhadap kepadatan kering maksimum hasil uji Proctor ($\gamma_d, \text{lapangan} / \gamma_{d, \text{maks Proctor}} \times 100\%$).
 - Mengevaluasi apakah nilai derajat kepadatan memenuhi spesifikasi teknis, misalnya $\geq 95\%$ dari kepadatan maksimum Proctor, serta memeriksa apakah kadar air lapangan berada pada rentang yang diizinkan terhadap kadar air optimum.
3. Analisis keseragaman dan pola kepadatan
 - Menyusun tabel dan, bila diperlukan, grafik hubungan derajat kepadatan dengan variabel lain seperti zona timbunan, elevasi, jumlah lintasan pemadatan, ketebalan lapisan, dan kadar air.
 - Menggunakan statistik deskriptif (rata-rata, minimum, maksimum, deviasi standar) untuk menilai keseragaman kepadatan dan mengidentifikasi area yang tidak memenuhi spesifikasi atau berpotensi menjadi titik lemah.
4. Interpretasi terhadap kinerja maindam
 - Mengkaitkan hasil derajat kepadatan dan kadar air dengan persyaratan desain dan kriteria kinerja geoteknik maindam, terutama terhadap potensi penurunan, rembesan, dan stabilitas lereng.
 - Menyusun rekomendasi teknis, misalnya perlunya pemadatan ulang (rework) pada lapisan dengan derajat kepadatan di bawah spesifikasi atau penyesuaian jumlah lintasan dan pengendalian kadar air pada tahap konstruksi berikutnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sand cone pada timbunan maindam Bendungan Cijurey Paket 1 menunjukkan bahwa nilai derajat kepadatan pada lintasan dan titik uji yang diamati berada di atas persyaratan minimal yang

ditetapkan spesifikasi teknis, yaitu sekitar $\geq 95\%$ dari kepadatan kering maksimum hasil uji Proctor. Dari rangkaian trial embankment yang dilakukan, diperoleh derajat kepadatan rata-rata sekitar 95,93% pada lintasan pertama, 98,91% pada lintasan kedua, dan 101,98% pada lintasan ketiga, sehingga seluruh lapisan yang diuji dinyatakan memenuhi bahkan melampaui batas minimum yang disyaratkan. Secara umum, kadar air lapangan berada dalam rentang yang masih dapat diterima terhadap kadar air optimum laboratorium, sehingga tidak dijumpai lapisan dengan derajat kepadatan rendah yang mengharuskan pemadatan ulang.



Gambar 1. Pekerjaan Timbunan Main Dam

Temuan utama penelitian ini adalah bahwa kombinasi prosedur pemadatan yang diterapkan di lapangan (pengaturan tebal lapisan, jumlah lintasan alat pematik, dan pengendalian kadar air) mampu menghasilkan derajat kepadatan lapangan yang tidak hanya memenuhi tetapi pada beberapa titik melampaui 100% kepadatan maksimum Proctor. Secara saintifik, nilai derajat kepadatan yang tinggi ini mengindikasikan bahwa kondisi pemadatan di lapangan sangat mendekati atau bahkan sedikit mengungguli kondisi ideal di laboratorium, yang dapat terjadi bila distribusi energi pemadatan di lapangan lebih seragam atau terdapat perbedaan kecil dalam kondisi sampel yang diuji di laboratorium. Hal ini berimplikasi langsung pada penurunan risiko penurunan diferensial, pembentukan jalur rembesan, dan penurunan stabilitas lereng, karena volume pori udara dalam massa tanah relatif kecil dan struktur tanah cenderung lebih rapat serta homogen.

Kecenderungan meningkatnya derajat kepadatan dari lintasan pertama hingga lintasan ketiga menunjukkan bahwa penambahan jumlah lintasan pematik memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kepadatan kering hingga mendekati batas maksimum yang mungkin dicapai oleh material tersebut. Tren ini sejalan dengan konsep teoritis bahwa energi pemadatan yang lebih besar pada kadar air mendekati optimum

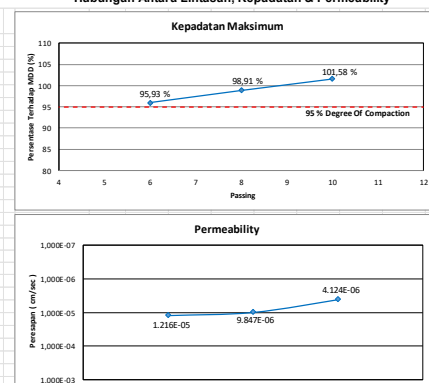
akan mendorong partikel-partikel tanah untuk tersusun lebih rapat, sehingga berat isi kering meningkat sampai mencapai nilai puncak tertentu. Namun, pencapaian derajat kepadatan di atas 100% juga perlu dipahami secara hati-hati sebagai indikasi bahwa terdapat variasi kecil dalam kondisi material atau metode pengujian antara laboratorium dan lapangan, sehingga nilai tersebut lebih tepat diinterpretasikan sebagai bukti bahwa program pemadatan yang diterapkan telah berada pada taraf aman terhadap spesifikasi, bukan sebagai justifikasi untuk terus menambah energi pemadatan tanpa pertimbangan ekonomi dan potensi kerusakan butir tanah.

Dari sudut pandang kinerja jangka panjang maindam, hasil ini penting karena menunjukkan bahwa timbunan inti dan zona sekitarnya memiliki derajat kepadatan yang memadai untuk menahan gaya-gaya internal maupun eksternal yang bekerja selama operasi bendungan. Kepadatan tinggi yang dicapai melalui kontrol sand cone memperkecil kemungkinan terjadinya penurunan berlebih yang dapat menimbulkan retak dan eksentrisitas beban, sekaligus memperpanjang jalur dan menurunkan kecepatan rembesan dalam tubuh bendungan, sehingga faktor keamanan terhadap piping dan erosi internal meningkat. Dengan demikian, secara ilmiah penelitian ini menegaskan bahwa penerapan uji sand cone secara sistematis pada setiap lapisan timbunan merupakan elemen kunci dalam menjamin bahwa asumsi-asumsi pemadatan yang digunakan pada tahap desain benar-benar terwujud di lapangan dan mampu mendukung keandalan struktur bendungan urugan tanah dalam jangka panjang.

Tabel 1. Hasil Trial Embankment

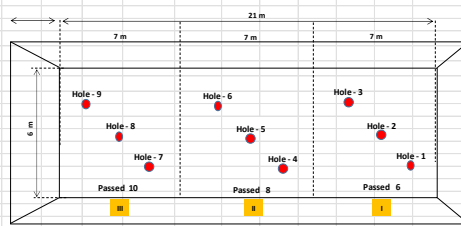
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI CITARUM SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS CITARUM										
HASIL TRIAL EMBANKMENT										
Proyek	Bendungan Cijurey Paket 1								Tanggal Tes	14 September 2025
Lokasi	Trial Embankment Timbunan Random Tanah (Zona 4)								Di Test oleh	Lab. Paket 1
Material	Maindam D/S									
Alat	Vibro Roller Kapasitas 11 Ton									
DESKRIPSI	6 LINTASAN			8 LINTASAN			10 LINTASAN			
Maksimum Kepadatan Kering	gr/cm ³	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	
Laboratorium (MDD)	%	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	29,00	
Optimum Kadar Air (OMC)	%	30,24	30,62	31,23	30,51	30,62	30,56	30,38	30,19	
Kepadatan Basah Lap.	gr/cm ³	1,807	1,821	1,820	1,877	1,875	1,865	1,821	1,907	
Kadar Air	%	30,24	30,62	31,23	30,51	30,62	30,56	30,38	30,19	
Kepadatan Kering Lap.	gr/cm ³	1,387	1,436	1,387	1,439	1,436	1,428	1,473	1,465	
Persentase Terhadap MDD	%	95,69	96,47	95,65	99,21	99,00	98,52	101,59	101,04	
Rata-rata Persentase	%	95,93			98,91			101,58		
Permeability	cm/Sec	1,216E-05			9,847E-06			4,124E-06		

Hubungan Antara Lintasan, Kepadatan & Permeability



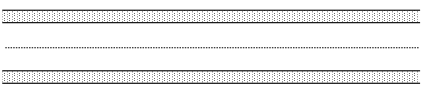
Tabel 2. Zona Survei Trial Embankment

KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR BALAI BESAR WILAYAH SUNGAI CITARUM SNVT PEMBANGUNAN BENDUNGAN BBWS CITARUM										
Survey Result of Regular Trial Embankment										
Location	Maindam D/S									
Material	Trial Embankment Timbunan Random Tanah (Zona 4)									
Testing date	14 September 2025									
Layer 1 st (Leveling)										
ZONE	PASSES	Survey Results (EL. m)				Average	Average layer thickness (cm)	Settle (cm)		
Zone I	10	Location	Elevasi							
		Ground	218,208	218,208	218,215	218,210				
		Top of 1 st Layer before compaction	218,541	218,572	218,597	218,570	38,03	3,90		
Zone II	10	Location	Elevasi							
		Ground	218,183	218,167	218,158	218,169				
		Top of 1 st Layer before compaction	218,597	218,598	218,574	218,574	41,93	3,63		
Zone III	10	Location	Elevasi							
		Ground	218,112	218,119	218,133	218,121				
		Top of 1 st Layer before compaction	218,588	218,554	218,579	218,574	45,23	3,70		

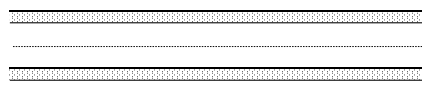


Survey Result of Regular Trial Embankment										
Layer 2 nd										
ZONE	PASSES	Survey Results (EL. m)				Average	Average layer thickness (cm)	Settle (cm)		
Zone I	6	Location	Elevasi							
		Ground	218,505	218,538	218,562	218,535				
		Top of 2 nd Layer before compaction	218,909	218,943	218,969	218,940	40,53	2,87		
Zone II	8	Location	Elevasi							
		Ground	218,562	218,531	218,537	218,543				
		Top of 2 nd Layer before compaction	218,996	218,981	218,944	218,947	40,37	3,87		
Zone III	10	Location	Elevasi							
		Ground	218,551	218,516	218,543	218,537				
		Top of 2 nd Layer before compaction	218,956	218,917	218,943	218,939	40,20	3,73		

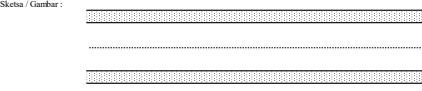
Tabel 3. Tes Kepadatan Tanah Lapangan titik 1,2 dan 3

TEST KEPADATAN TANAH LAPANGAN (ASTM.D - 1556)															
<p>Sketsa / Gambar :</p> 															
Proyek : Bendungan Cijurey Paket 1 Kegiatan : Trial Embankment Timbunan Random Tanah (Zona 4) Lokasi : Maindam DS Sumber Material : Stockpile 1 Passing : 6 Lintasan (Pakai getar) Alat : Vibro Roller Kapasitas 11 Ton Sta : 0+175 - 0+200			Tanggal Uji : 14 September 2025 Di Uji Oleh : Laborat Paket 1												
<table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr><th colspan="3">Berat pasir Dalam Corong</th></tr> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr> <tr><td>1708</td><td>1707</td><td>1693</td></tr> </table>							Berat pasir Dalam Corong			A	B	C	1708	1707	1693
Berat pasir Dalam Corong															
A	B	C													
1708	1707	1693													
Koordinat X : 730249,361 730250,79 730253,057 Y : 9275352,29 9275354,249 9275354,967 Z : 218,882 218,918 218,941															
Titik Pengambilan															
No	Parameter	Rumus	Satuan	1	2	3									
1	Berat pasir + Botol + Corong Sebelum Dipakai	W1	gr	7714	7261	8020									
2	Berat pasir + Botol + Corong Sesudah Dipakai	W2	gr	3042	2987	3418									
3	Berat Pasir di dalam Corong + Labang	W3-W1-W2	gr	4672	4274	4602									
4	Berat Pasir di dalam Corong	W4	gr	1708	1693	1708									
5	Berat pasir di dalam Labang	W5 - W3 - W4	gr	2964	2581	2894									
6	Berat Volume Pasir V_{pcorr}	W6	gr/cm ³	1,457	1,457	1,457									
7	Volume Labang	W7 - W5 / W6	cm ³	2034	1771	1986									
8	Berat Tanah basah	W8	gr	3676	3225	3615									
9	Kepadatan Basah (γ_t)	W9 - W8 / W7	gr/cm ³	1,807	1,821	1,820									
Tes Kadar Air															
10	Berat Tanah basah + cawan	W10	gr	274,99	237,24	259,70									
11	Berat Tanah kering + cawan	W11	gr	218,34	189,81	206,73									
12	Berat cawan	W12	gr	30,99	32,51	37,11									
13	Berat Air	W13 - W10-W11	gr	56,65	47,43	52,97									
14	Berat Tanah kering	W14 - W11-W12	gr	187,35	157,30	169,62									
15	Kandungan Air	W15 = (W13/W14) x 100%	%	30,24	30,15	31,23									
16	Kepadatan Kering Lapangan (γ_d)	W16 = (W9 X 100) / (100-W15)	gr/cm ³	1,387	1,399	1,387									
17	Kepadatan kering Maksimum (γ_{dmax})	W-17	gr/cm ³	1,450	1,450	1,450									
18	Kadar Air Optimum (OMC %)	W-18	%	29,00	29,00	29,00									
19	Derajat Kepadatan	W19-W16/17*100	%	95,69	96,47	95,65									
Rata Rata				95,93											

Tabel 4. Tes Kepadatan Tanah Lapangan titik 4,5 dan 6

TEST KEPADATAN TANAH LAPANGAN (ASTM.D - 1556)															
<p>Sketsa / Gambar :</p> 															
Proyek : Bendungan Cijurey Paket 1 Kegiatan : Trial Embankment Timbunan Random Tanah (Zona 4) Lokasi : Maindam DS Sumber Material : Stockpile 1 Passing : 8 Lintasan (Pakai getar) Alat : Vibro Roller Kapasitas 11 Ton Sta : 0+175 - 0+200			Tanggal Uji : 14 September 2025 Di Uji Oleh : Laborat Paket 1												
<table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr><th colspan="3">Berat pasir Dalam Corong</th></tr> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr> <tr><td>1708</td><td>1707</td><td>1693</td></tr> </table>							Berat pasir Dalam Corong			A	B	C	1708	1707	1693
Berat pasir Dalam Corong															
A	B	C													
1708	1707	1693													
Koordinat X : 730242,092 730244,971 730246,973 Y : 9275355,035 9275355,836 9275356,539 Z : 218,928 218,907 218,909															
Titik Pengambilan															
No	Parameter	Rumus	Satuan	4	5	6									
1	Berat pasir + Botol + Corong Sebelum Dipakai	W1	gr	7771	7887	7998									
2	Berat pasir + Botol + Corong Sesudah Dipakai	W2	gr	3246	3413	3109									
3	Berat Pasir di dalam Corong + Labang	W3-W1-W2	gr	4525	4474	4889									
4	Berat Pasir di dalam Corong	W4	gr	1708	1693	1693									
5	Berat pasir di dalam Labang	W5 - W3 - W4	gr	2817	2781	3196									
6	Berat Volume Pasir V_{pcorr}	W6	gr/cm ³	1,457	1,457	1,457									
7	Volume Labang	W7 - W5 / W6	cm ³	1933	1909	2194									
8	Berat Tanah basah	W8	gr	3630	3579	4091									
9	Kepadatan Basah (γ_t)	W9 - W8 / W7	gr/cm ³	1,877	1,875	1,865									
Tes Kadar Air															
10	Berat Tanah basah + cawan	W10	gr	222,21	265,34	247,55									
11	Berat Tanah kering + cawan	W11	gr	178,04	211,42	197,39									
12	Berat cawan	W12	gr	33,27	35,33	33,27									
13	Berat Air	W13 - W10-W11	gr	44,17	53,92	50,16									
14	Berat Tanah kering	W14 - W11-W12	gr	144,77	176,09	164,12									
15	Kandungan Air	W15 = (W13/W14) x 100%	%	30,51	30,62	30,56									
16	Kepadatan Kering Lapangan (γ_d)	W16 = (W9 X 100) / (100-W15)	gr/cm ³	1,439	1,436	1,428									
17	Kepadatan kering Maksimum (γ_{dmax})	W-17	gr/cm ³	1,450	1,450	1,450									
18	Kadar Air Optimum (OMC %)	W-18	%	29,00	29,00	29,00									
19	Derajat Kepadatan	W19-W16/17*100	%	99,21	99,80	98,52									
Rata Rata				98,91											

Tabel 5. Tes Kepadatan Tanah Lapangan titik 7,8 dan 9

TEST KEPADATAN TANAH LAPANGAN (ASTM.D - 1556)															
<p>Sketsa / Gambar :</p> 															
Proyek : Bendungan Cijurey Paket 1 Kegiatan : Trial Embankment Timbunan Random Tanah (Zona 4) Lokasi : Maindam DS Sumber Material : Stockpile 1 Passing : 10 Lintasan (Pakai getar) Alat : Vibro Roller Kapasitas 11 Ton Sta : 0+175 - 0+200			Tanggal Uji : 14 September 2025 Di Uji Oleh : Laborat Paket 1												
<table border="1" style="width:100%; text-align:center;"> <tr><th colspan="3">Berat pasir Dalam Corong</th></tr> <tr><th>A</th><th>B</th><th>C</th></tr> <tr><td>1708</td><td>1707</td><td>1693</td></tr> </table>							Berat pasir Dalam Corong			A	B	C	1708	1707	1693
Berat pasir Dalam Corong															
A	B	C													
1708	1707	1693													
Koordinat X : 730236,182 730238,969 730240,839 Y : 9275356,961 9275357,849 9275358,528 Z : 218,917 218,881 218,906															
Titik Pengambilan															
No	Parameter	Rumus	Satuan	7	8	9									
1	Berat pasir + Botol + Corong Sebelum Dipakai	W1	gr	7602	7192	7315									
2	Berat pasir + Botol + Corong Sesudah Dipakai	W2	gr	3270	2731	2626									
3	Berat Pasir di dalam Corong + Labang	W3-W1-W2	gr	4332	4461	4689									
4	Berat Pasir di dalam Corong	W4	gr	1708	1708	1693									
5	Berat pasir di dalam Labang	W5 - W3 - W4	gr	2624	2753	2996									
6	Berat Volume Pasir V_{pcorr}	W6	gr/cm ³	1,457	1,457	1,457									
7	Volume Labang	W7 - W5 / W6	cm ³	1801	1889	2056									
8	Berat Tanah basah	W8	gr	3459	3604	3977									
9	Kepadatan Basah (γ_t)	W9 - W8 / W7	gr/cm ³	1,921	1,907	1,934									
Tes Kadar Air															
10	Berat Tanah basah + cawan	W10	gr	298,79	263,94	277,00									
11	Berat Tanah kering + cawan	W11	gr	236,92	211,34	219,67									
12	Berat cawan	W12	gr	33,27	37,11	32,51									
13	Berat Air	W13 - W10-W11	gr	61,87	52,60	57,33									
14	Berat Tanah kering	W14 - W11-W12	gr	203,65	174,23	187,16									
15	Kandungan Air	W15 = (W13/W14) x 100%	%	30,38	30,19	30,63									
16	Kepadatan Kering Lapangan (γ_d)	W16 = (W9 X 100) / (100-W15)	gr/cm ³	1,473	1,465	1,481									
17	Kepadatan kering Maksimum (γ_{dmax})	W-17	gr/cm ³	1,450	1,450	1,450									
18	Kadar Air Optimum (OMC %)	W-18	%	29,00	29,00	29,00									
19	Derajat Kepadatan	W19-W16/17*100	%	101,59	101,04	102,11									
Rata Rata				101,58											

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari Penelitian ini menunjukkan bahwa pemadatan timbunan maindam Bendungan Cijurey Paket 1 dengan uji sand cone menghasilkan derajat kepadatan yang umumnya memenuhi bahkan melampaui syarat minimal sekitar 95% dari kepadatan maksimum Proctor. Hal ini menandakan bahwa pengaturan tebal lapisan, jumlah lintasan pemadat, dan kadar air sudah cukup efektif untuk membentuk timbunan yang rapat dan relatif homogen, sehingga risiko penurunan berlebihan, rembesan, dan penurunan stabilitas dapat ditekan.

Metode sand cone terbukti berfungsi sebagai alat kontrol mutu yang andal karena memungkinkan identifikasi dini lapisan yang kurang padat sekaligus verifikasi bahwa target pemadatan desain benar-benar tercapai di lapangan. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengoperasikan peralatan sand cone secara benar, menentukan parameter kepadatan dan kadar air lapangan, serta menilai pemenuhan spesifikasi derajat kepadatan terhadap hasil uji Proctor dinyatakan tercapai, dan pendekatan ini berpotensi diterapkan

maupun dikembangkan pada proyek bendungan urugan tanah lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing dan dosen pengampu yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan artikel ini. Penghargaan juga disampaikan kepada pihak pengelola proyek dan tim lapangan Bendungan Cijurey atas dukungan data dan fasilitas yang memungkinkan kegiatan pengujian sand cone dan pengumpulan data lainnya terlaksana dengan baik. Penulis berterima kasih kepada keluarga, rekan-rekan, dan seluruh pihak maupun lembaga yang telah memberikan dukungan moral, teknis, maupun pendanaan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENSI

- Siregar, R. D., Sarifah, J., & Tanjung, D. (2021). Analisa Kepadatan Tanah Menggunakan Metode Sand Cone Pada Pembangunan Relokasi Jalan Bendungan Lau Simeme Paket II Kab. Deli Serdang Sumatera Utara. *Buletin Utama Teknik* Vol, 16(2).
- Ikkal, F. M., & Zhafirah, A. (2022). Evaluasi Kepadatan Tanah Timbunan dengan Sand Cone. *Jurnal Konstruksi*, 20(2), 228-233.

- Yadi, R. F., Pudyastuti, P. S., & Wicaksono, M. H. (2023). Analisa Pekerjaan Timbunan Coverdam Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah Kabupaten Karanganyar. *Jurnal Education and Development*, 11(2), 395-401.
- Wijaya, M. F., Lau, D., Ridwan, A., Zikri, N. F., & Khairunas, K. (2025, October). Analisis kepadatan tanah timbunan untuk jalan akses proyek (studi kasus: Kabupaten Siak). In *Jurnal Forum Teknik Sipil (J-ForTekS)* (Vol. 5, No. 2, pp. 58-65).
- Sukmawati, E., Solin, D. P., & Farichah, H. (2024). Effects of gravel percentage to compaction density and stability of embankment. *INERSIA Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, 20(1), 97-105.
- Pratama, S. E., & Sukamta, S. Evaluasi Deformasi Vertikal Timbunan Tubuh Bendungan Sepaku Semoi Berdasarkan Data Pembacaan Multilayer Settlement Menggunakan Metode Prediksi Deformasi Saat Konstruksi. *TEKNIK*, 45(1), 30-40.
- Ali, M., Noerhayati, E., & Bakhtiar, A. (2025). ANALISIS JUMLAH LINTASAN PEMADATAN TERHADAP TINGKAT KEPADATAN MATERIAL TIMBUNAN ZONA 3 PADA BENDUNGAN JRAGUNG KABUPATEN SEMARANG JAWA TENGAH. *Jurnal Rekayasa Sipil (e-journal)*, 15(1), 99-106.