



ANALISIS PENGARUH JUMLAH LINTASAN MENGGUNAKAN *ROLLER* TERHADAP TINGKAT KEPADATAN TANAH PERCOBAAN ZONA KEDAP AIR BENDUNGAN

Rizki Hukma Sabiya*, Dwi Sat Agus Yuwana, Arrizka Yanuar Adipradana

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar,
Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Magelang, Jawa Tengah 56116
Korespondensi Penulis: rizkihukma.rh@gmail.com

Abstrak. Pada proyek pembangunan bendungan, proses pemadatan tanahnya masih dilakukan dengan cara manual yang memerlukan waktu relatif lama dan biaya yang besar dalam menentukan jumlah lintasan yang optimum. Jumlah lintasan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat kepadatan tanah. Namun, terdapat batasan di mana peningkatan jumlah lintasan di atas batas tertentu tidak memberikan peningkatan signifikan dalam tingkat kepadatan tanah. Oleh karena itu, dalam menentukan jumlah lintasan yang optimum terhadap tingkat kepadatan tanah dilakukan dengan metode analisa statistik. Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan berdasarkan standar ASTM D 698-00a untuk pengujian *proctor* dan ASTM D 1556-00 untuk pengujian *sand cone*. Pemadatan dilakukan dengan *sheep foot roller* seberat 13 ton yang variasi jumlah lintasannya 6, 8, dan 10 lintasan serta harus memenuhi MDD > 95%. Metode dalam penelitian ini menggunakan persamaan regresi dengan korelasi *pearson* untuk mengetahui variabel yang berpengaruh. Berdasarkan analisis regresi multilinear dengan syarat kepadatan MDD > 95% diperoleh $Y = -0,27183 + AX_1 - 0,00545X_2$ dengan Y merupakan persentase MDD, X1 merupakan MDD lapangan (gr/cm^3), dan X2 merupakan jumlah lintasan alat pemadat dengan nilai $A = 45,576 - 92,930$ (X1 rata-rata 1,053-2,139 gr/cm^3). Persamaan prediktif yang digunakan dalam penelitian ini dapat digunakan dalam memprediksi jumlah lintasan untuk mencapai standar MDD ketika jenis tanah dan *roller* yang sama digunakan dalam konstruksi.

Kata Kunci : Jumlah lintasan, Kepadatan Tanah, Regresi Multilinear, Tanah Lempung

Abstract. In dam construction projects, the soil compaction process is still carried out manually which requires a relatively long time and large costs in determining the optimal number of passes. The number of passes has a significant influence on the level of soil density. However, there are limitations where an increase in the number of passes above a certain limit does not provide a significant increase in the level of soil density. Therefore, in determining the optimal number of passes to the level of soil density is carried out by statistical analysis methods. In this study, tests were carried out based on ASTM D 698-00a standards for *proctor* testing and ASTM D 1556-00 for *sand cone* testing. Compaction is carried out with a *sheep foot roller* weighing 13 tons which varies in the number of passes 6, 8, and 10 passes and must meet MDD > 95%. The method in this study uses regression equations with *pearson* correlation to find out influential variables. Based on multilinear regression analysis with the condition that the density of MDD > 95% obtained $Y = -0.27183 + AX_1 - 0.00545X_2$ where Y is the percentage of MDD, X1 is the field MDD (gr/cm^3), and X2 is the number of passes of the compactor with a value of $A = 45.576 - 92.930$ (X1 average 1.053-2,139 gr/cm^3). The predictive equation used in this study can be used in predicting the number of passes to reach MDD standards when the same soil and roller types are used in construction.

Keywords: Number of Passes, Soil Density, Multilinear Regression, Clay

PENDAHULUAN

Pemerintah melalui Kementerian PUPR berkomitmen menyelesaikan pembangunan 61 bendungan pada periode 2014-2024. Sesuai dengan fungsinya, bendungan merupakan tempat penampungan air. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemadatan tanah pada tubuh bendungan agar mengurangi rembesan air yang terjadi. Pemadatan tanah diatur oleh dua faktor yaitu kerapatan kering maksimum (MDD) dan kadar air optimal (OMC) (Nipadhar, 2016). Parameter pemadatan hanya dapat didefinisikan secara eksperimental menggunakan uji *proctor* (Günaydin, 2009).

Pada proyek pembangunan bendungan di Indonesia, proses pemadatan tanah masih dilakukan dengan cara manual yang relatif memerlukan waktu yang lama karena perlu diadakan *trial embankment*. Timbunan pada zona inti bendungan diperlukan percobaan penimbunan agar mengetahui jumlah lintasan yang optimum untuk memperoleh derajat kepadatan yang optimum (Dewi, 2021). Analisis material untuk *embankment* zona kedap air dilakukan dengan pengujian laboratorium, metode *trial embankment*, dan pengujian lapangan (Nafisah, 2018). Kepadatan tanah pada timbunan dilakukan dengan metode pengujian *proctor* dan *sand cone* yang bertujuan untuk mengetahui nilai kepadatan dari tanah dengan membandingkan berat kering tanah hasil pengujian di



lapangan dengan metode *sand cone* dan berat kering tanah hasil pengujian di laboratorium dengan metode *proctor* (Yudistira dkk., 2015).

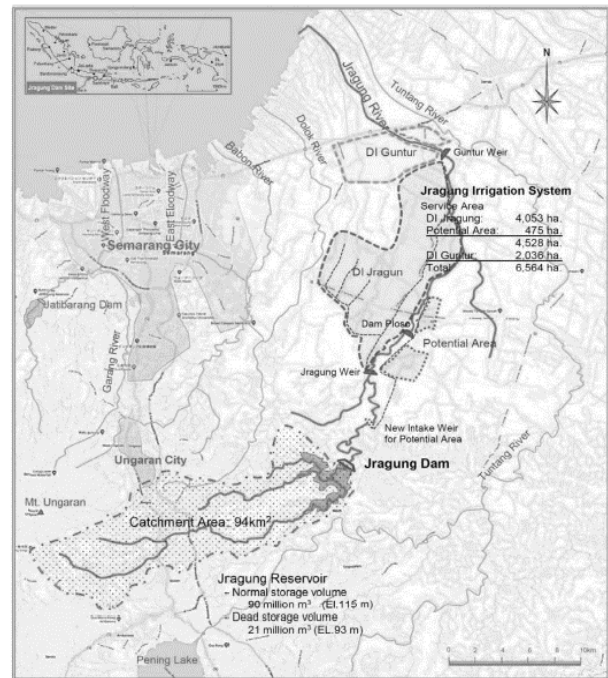
Ikbal & Zhafirah (2022) menyatakan kepadatan tanah harus memenuhi derajat nilai kepadatan lebih dari 95%, jika tidak memenuhi persyaratan maka akan terjadi kerusakan pada timbunan tanah dan dalam jangka waktu yang panjang dapat merusak lapisan struktur perkerasan di atas tanah. Hasil percobaan pemadatan di lapangan menghasilkan bahwa semakin besar jumlah lintasan alat pemadat maka makin besar pula presentase kepadatan yang dihasilkan (Lubis dkk., 2022).

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan jumlah lintasan yang digunakan agar memperoleh kepadatan yang optimum pada zona kedap air dengan membuat estimasi menggunakan persamaan regresi. Pengalaman uji laboratorium selama bertahun-tahun memperkuat keyakinan akan adanya prediksi persamaan yang mengatur karakteristik pemadatan dari tanah. Model matematika lanjutan dikembangkan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kepastian persamaan yang mengatur. Melalui pemodelan menggunakan *Multiple Linear Regression* (MLR) (Omar dkk., 2018). Pemodelan dengan MLR lebih berguna untuk mengestimasi hasil prediksi dengan cepat (Karimpour-Fard dkk., 2019). Yousif dan Muhammed (2022) menyatakan bahwa perangkat lunak *microsoft office excel* digunakan sebagai perangkat untuk menganalisis regresi parameter pemadatan.

Persamaan regresi yang dihasilkan digunakan untuk memperoleh MDD (*Maximum Dry Density*) dengan mencoba berbagai varian jumlah lintasan dan hasil dari persamaannya dapat dibandingkan dengan hasil asli pemadatan di lapangan serta dapat diuji kevalidannya dengan data pemadatan proyek pembangunan bendungan lainnya di Indonesia. Dengan adanya persamaan pemadatan menggunakan analisis regresi multilinear diharapkan dapat mempersingkat waktu pemadatan dan biaya yang dibutuhkan di lapangan karena tidak memerlukan uji coba pemadatan di lapangan dengan berbagai variasi jumlah lintasan untuk menentukan jumlah lintasan yang optimal.

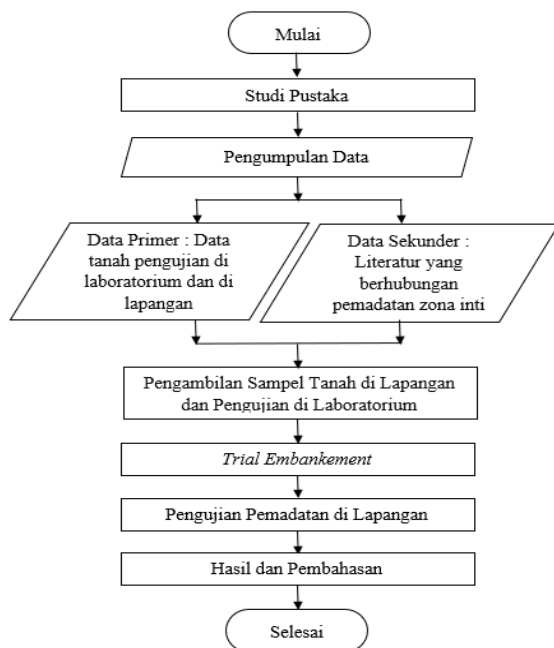
METODOLOGI PENELITIAN

Peneitian ini menggunakan data primer yang diambil langsung dari lokasi penelitian di Proyek Pembangunan Bendungan Jragung Paket II di Kabupaten Semarang dengan lokasi terlampir pada Gambar 1.



Gambar 1 Peta Lokasi Proyek Pembangunan Bendungan Jragung (Dokumen Proyek, 2021)

Data primer yang diambil meliputi data hasil pengujian tanah di laboratorium dan hasil pengujian kepadatan di lapangan. Sedangkan data sekunder yang digunakan berasal dari literatur-literatur yang terkait dengan topik penelitian yaitu mengenai pemadatan tanah. Metode yang digunakan pada penelitian ini dijelaskan dengan diagram alir (*flowchart*) yang terletak pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Teknik analisis data pada penelitian ini menggunakan analisis data kuantitatif dengan metode analisis inferensial. Tujuannya untuk membuat prediksi kemungkinan hasil dari data yang dianalisis dan menemukan adanya hubungan antara beberapa variabel yang berpengaruh dengan korelasi *pearson*. Metode inferensial yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menganalisis jumlah lintasan yang optimum dari hasil pemadatan tanah serta membuat persamaan regresi mengenai hubungan OMC, MDD, dan jumlah lintasan pada pengujian kepadatan tanah yang dilakukan di lokasi penelitian menggunakan *Microsoft Excell*. Persamaan yang telah ditemukan kemudian hasilnya dibandingkan dengan data asli dari uji lapangan yang telah dilakukan. Setelah itu, dilakukan uji validitas data menggunakan persamaan yang telah ditemukan untuk menentukan tingkat kepadatan tanah di proyek pembangunan bendungan lainnya di Indonesia dan dari hasil penelitian sebelumnya

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian di laboratorium Proyek Pembangunan Bendungan Jragung Paket II Kabupaten Semarang yang ditunjukkan pada Tabel 1 menunjukkan kriteria material tanah yang dipakai untuk *trial embankment* zona kedap air bendungan dengan kode tanah adalah BA 2A yang

menunjukkan bahwa material tanah tersebut memenuhi spesifikasi teknis proyek dan dapat digunakan dalam *trial embankment*. Sedangkan hasil pengujian kepadatan di lapangan dengan uji *sand cone* menggunakan alat berat *sheep foot roller* seberat 13 ton dengan variasi jumlah 6 lintasan pemadatan ditunjukkan pada Tabel 2, 8 lintasan pemadatan ditunjukkan pada Tabel 3, dan 10 lintasan pemadatan ditunjukkan ada Tabel 4.

Tabel 1 Material Tanah Zona Kedap Air Bendungan Jragung

			Sat	Parameter Design	TP-BA 2a		
				Spektek			
INDEX GENERAL PROPERTIES	Properties	Natural Water Content	ω	%		29,65	
		Specific Gravity of Soil	Gs	-		2,667	
		Wet Density	γ_b	g/cm ³		1,845	
		Dry Density	γ_d	g/cm ³		1,474	
		Porosity	n	%		46,16	
		Degree of Saturation	Sr	%		61,65	
	Grain Size Analysis	Proportion (JIS 1204)	Gravel Part	2 mm - 75 mm	%	20 - 60	0,00
			Sand Part	75 μ m - 2 mm	%	20 - 25	34,35
			Silt Part	5 μ m - 75 μ m	%	12,5 - 30	55,41
			Clay Part	<5 μ m	%	7,5 - 25	9,89
		Max. Diameter		mm	150	12,50	
		60% Passing Particle Size	D ₆₀	mm	1	9,89	
		10% Passing Particle Size	D ₁₀	mm	0,025	11,180	
		Passing No.200		%	27,5 - 80	65,30	
		Sub grade category SNI 7754 : 2012				2	
		Consistency	Liquid Limit	LL	%	-	52,62
	Plastic Limit		PL	%	-	27,01	
	Plasticity Index		PI	%	>15	25,61	
	Linear Shrinkage Limit		LS	%		10,80	
	Shrinkage Limit		SL	%	-	26,18	
	USCS Soil System			-	GC	CL	
	(Description)			Clayey Gravel w/ Sand	Silt Loam		
	Compaction	Moisture Content 95% γ_d dry side		%			
		95% γ_d dry side		g/cm ³		-	
		Optimum Moisture Content	ω_{omc}	%		25,17	
		Max Dry Density	γ_{dmax}	g/cm ³		1,474	
		Moisture Content 95% γ_d wet side		%		-	
		95% γ_d wet side		g/cm ³		-	
		Permeability MDD	K	cm/sec	max. 1x10 ⁻⁵	1,384x10 ⁻⁷	
Dispersive by Pinhole Test			Grade		-		
Dispersive by Double Hydrometer			%		190,38		
Passing 5 μ m with sodium			%		7,31		
Passing 5 μ m with distilled water		%		13,91			
Montmorillonite by XRD				-			

Tabel 2 Hasil *Trial Embankment* 6 Lintasan

REKAP HASIL TRIAL EMBANKMENT ZONA 1 (CLAY) BA.2				
DISKRIPSI	Sat	6 LINTASAN (Tanpa Getar)		
Maksimum Kepadatan kering Lab (MDD)	gr/cm ³	1,474	1,474	1,474
Optimum kadar Air (OMC)	%	25,17	25,17	25,17
Ypasir	gr/cm ³	1,620	1,620	1,620
Kepadatan Basah Lapangan	gr/cm ³	1,718	1,753	1,824
Kadar Air	%	28,52	25,67	28,50
Kepadatan Kering Lapangan	gr/cm ³	1,337	1,395	1,419
Persentase Terhadap MDD	%	90,70	94,62	96,29
Rata - rata Persentasi	%	93,87		
Peresapan (Permeabilitas Lapangan)		7,80E-07		

Tabel 3 Hasil *Trial Embankment* 8 Lintasan

REKAP HASIL TRIAL EMBANKMENT ZONA 1 (CLAY) BA.2				
DISKRIPSI	Sat	8 LINTASAN (Tanpa Getar)		
Maksimum Kepadatan kering Lab (MDD)	gr/cm ³	1,474	1,474	1,474
Optimum kadar Air (OMC)	%	25,17	25,17	25,17
Ypasir	gr/cm ³	1,620	1,620	1,620
Kepadatan Basah Lapangan	gr/cm ³	1,746	1,906	1,813
Kadar Air	%	25,07	30,01	25,70
Kepadatan Kering Lapangan	gr/cm ³	1,396	1,466	1,442
Persentase Terhadap MDD	%	94,73	99,48	97,86
Rata - rata Persentasi	%	97,36		
Peresapan (Permeabilitas Lapangan)		2,43E-07		

Tabel 4 Hasil *Trial Embankment* 10 Lintasan

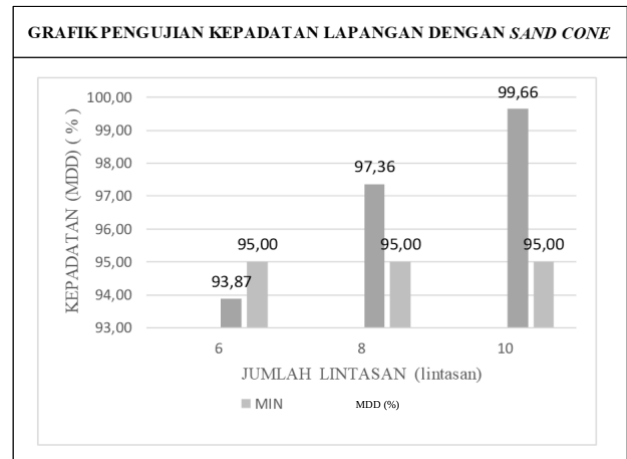
REKAP HASIL TRIAL EMBANKMENT ZONA 1 (CLAY) BA.2				
DISKRIPSI	Sat	10 LINTASAN (Tanpa Getar)		
Maksimum Kepadatan kering Lab (MDD)	gr/cm ³	1,474	1,474	1,474
Optimum kadar Air (OMC)	%	25,17	25,17	25,17
Ypasir	gr/cm ³	1,620	1,620	1,620
Kepadatan Basah Lapangan	gr/cm ³	1,869	1,885	1,835
Kadar Air	%	27,25	28,20	25,01
Kepadatan Kering Lapangan	gr/cm ³	1,469	1,470	1,468
Persentase Terhadap MDD	%	99,64	99,76	99,57
Rata - rata Persentasi	%	99,66		
Peresapan (Permeabilitas Lapangan)		2,13E-07		

Dari hasil pengujian di laboratprium dan di lapangan maka dapat dianalisis sebagai berikut:

1. Analisis Hasil MDD Lapangan

Dari hasil pemadatan di lapangan dengan *sand cone* maka didapat pengaruh jumlah lintasan terhadap kepadatan lapangannya (MDD) yang dapat dilihat pada grafik pengujian kepadatan dengan *sand cone test*. Grafik

hubungan jumlah lintasan dengan MDD ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik Hubungan Jumlah Lintasan dengan MDD

Berdasarkan Gambar 3 di atas, pemadatan yang dilakukan dengan alat berat *sheep foot roller* dengan variasi jumlah lintasan 6, 8, dan 10 lintasan dapat ditetapkan bahwa jumlah lintasan memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat kepadatan tanah pada tanah lempung. Semakin banyak jumlah lintasan yang diberikan, tingkat kepadatan tanah cenderung meningkat. Namun, terdapat batasan di mana peningkatan jumlah lintasan di atas batas tertentu tidak memberikan peningkatan signifikan dalam tingkat kepadatan tanah. Hal tersebut dikarenakan lalu lintas kendaraan berat yang berulang-ulang dapat menyebabkan kompaksi tanah. Tekanan fisik yang terus-menerus ini dapat membuat partikel tanah saling rapat, mengurangi porositas, dan kepadatan tanah.

2. Analisis Regresi Multilinear

Persamaan yang digunakan untuk menganalisis setiap variabel sesuai dengan hasil pemadatan baik di laboratorium maupun di lapangan adalah:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + e$$

Keterangan:

Y : Persentase MDD (*Maximum Dry Density*) (%)

α : *Intercept* (konstanta)

β_1 : Koefisien regresi untuk X_1

β_2 : Koefisien regresi untuk X_2



β_3 : Koefisien regresi untuk X3

β_4 : Koefisien regresi untuk X4

X1 : OMC (*Optimum Moisture Content*) (%)

X2 : MDD laboratorium (gr/cm^3)

X3 : MDD lapangan (gr/cm^3)

X4 : Jumlah lintasan (lintasan)

Hasil variabel yang digunakan untuk membuat analisis regresi multilinear ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Analisa Regresi

Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
90,70	25,17	1,474	1,337	6
94,62	25,17	1,474	1,395	6
96,29	25,20	1,474	1,419	6
94,73	25,17	1,474	1,396	8
99,48	25,00	1,470	1,466	8
97,86	25,17	1,474	1,442	8
99,64	25,17	1,500	1,469	10
99,76	25,17	1,474	1,470	10
99,57	25,17	1,474	1,468	10

Sebelum dicari variabel yang digunakan untuk analisa regresinya maka harus dicari korelasi antar variabelnya terlebih dahulu seperti pada Tabel 6 dengan menggunakan korelasi *pearson*. Tujuan dari mencari korelasi antar variabel adalah untuk mengetahui variabel mana yang paling berpengaruh untuk dijadikan persamaan regresi.

Tabel 6 Korelasi Antar Variabel

	Y	X1	X2	X3	X4
Y	1	-0,300	0,265	1,000	0,797
X1	-0,300	1	0,243	-0,302	-0,074
X2	0,320	0,125	1	0,269	0,420
X3	1,000	-0,299	0,323	1	0,798
X4	0,797	0,000	0,433	0,798	1

Berdasarkan hasil korelasi pada Tabel 6 di atas maka variabel yang paling memengaruhi adalah variabel X3 (kepadatan lapangan (MDD lapangan)) yang kemudian menjadi X1 dan X4 (jumlah lintasan) karena memiliki nilai korelasi $> 0,5$ yang kemudian menjadi X2 maka hubungan antar variabel dengan nilai Y nya memiliki pengaruh yang sangat kuat. Variabel yang paling berpengaruh dari hasil korelasi *pearson* kemudian dianalisis menggunakan persamaan regresi dengan matriks dan didapatkan persamaan regresi multilinear yaitu:

$$Y = -0,27183 + 68,06785X_1 - 0,00545X_2$$

Keterangan:

Y : MDD (%)

α : *Intercept* (konstanta)

β_1 : Koefisien regresi untuk X1

β_2 : Koefisien regresi untuk X2

X₁ : MDD lapangan (gr/cm^3)

X₂ : Jumlah lintasan (lintasan)

3. Uji Validitas Data

Untuk mengetahui kevalidan persamaan regresi, maka harus dicari *range* nilai antar variabelnya. Nilai rentang (*range*) antar variabel dari persamaan regresi yang didapatkan dapat dicari dengan menggunakan menu analisis *goal seek* di *microsoft excel*. Rentang nilai untuk variabel X1 dimulai dengan mengetahui nilai minimumnya dari nilai MDD lapangan. Diketahui syarat nilai persentase MDD (X1) minimum dalam kepadatan tanah adalah 95 dan nilai maksimum untuk variabel X1 dalam memperoleh kepadatan adalah 100 %. Untuk memvalidkan persamaan regresi tersebut, maka dicoba *trial and error* untuk mencari nilai β_1 baru yang disimbolkan dengan A untuk tiap nilai kepadatan tanah di lapangan dengan data dari Bendungan Jragung, Bendungan Tugu, Bendungan Serbaguna Karian, dan dari penelitian sebelumnya yang persamaannya menjadi $Y = -0,27183 + AX_1 - 0,00545X_2$ maka didapatkan nilai A dan nilai rentang untuk variabel X1 yang ditunjukkan pada Tabel 7.



Tabel 7 Nilai Koefisien Variabel X1 (A) dan Range X1

α	A	X1 MIN	X1 MAX	β_2	X2	Y MIN (%)	Y MAX (%)	Asal Data
0,27183	68,068	1,400	1,474	0,00545	6	95,00	100,00	Bendungan Jragung
		1,400	1,474		6	95,00	100,00	
		1,400	1,474		6	95,00	100,00	
		1,400	1,474		8	95,00	100,00	
		1,400	1,474		8	95,00	100,00	
		1,400	1,474		8	95,00	100,00	
		1,400	1,474		10	95,00	100,00	
		1,400	1,474		10	95,00	100,00	
	82,878	1,150	1,210		6	95,00	100,00	Bendungan Tugu
		1,150	1,210		6	95,00	100,00	
		1,150	1,210		8	95,00	100,00	
		1,150	1,210		8	95,00	100,00	
		1,150	1,211		10	95,00	100,00	
		1,150	1,211		10	95,00	100,00	
	92,930	1,026	1,080		10	95,00	100,00	Bendungan Serbaguna Karian
		1,026	1,080		10	95,00	100,00	
		1,026	1,080		12	95,00	100,00	
		1,026	1,080		12	95,00	100,00	
		1,026	1,080		14	95,00	100,00	
		1,026	1,080		14	95,00	100,00	
	45,756	2,084	2,193		12	95,00	100,00	Niphadkar (2016)
		2,084	2,193		12	95,00	100,00	

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Jumlah lintasan yang optimum untuk zona 1 pada Proyek Pembangunan Bendungan Jragung Paket 2 Kabupaten Semarang adalah 10 lintasan karena memiliki MDD 99,66 % mendekati tingkat kepadatan sempurna yaitu 100%.
2. Dari hasil *trial embankment* untuk mendapatkan kepadatan 95% diperoleh persamaan regresinya adalah $Y = -0,27183 + AX1 - 0,00545X2$ dengan Y merupakan persentase MDD, X1 merupakan MDD lapangan (gr/cm^3), dan X2 merupakan jumlah lintasan. Nilai A yang didapatkan bervariasi bergantung pada nilai kepadatan tanahnya. Untuk A = 45,576 (X1 diantara 2,084 gr/cm^3 – 2,193 gr/cm^3); A = 68,06785 (X1 diantara 1,400 gr/cm^3 – 1,474 gr/cm^3); A 82,878 (X1 diantara 1,150 gr/cm^3 – 1,210 gr/cm^3); dan A = 92,930 (X1 diantara 1,026 gr/cm^3 – 1,080 gr/cm^3).
3. Persamaan regresi yang dihasilkan valid. Hal ini dikarenakan hasil dari persamaan regresi mencapai syarat minimum MDD > 95 % untuk berbagai varian jumlah lintasan yang digunakan dengan syarat X1 berada pada rentang nilai yang sudah ditentukan. Persamaan prediktif yang digunakan dalam penelitian ini dapat digunakan untuk memprediksi jumlah lintasan yang diperlukan untuk mencapai kepadatan kering yang diinginkan ketika jenis tanah yang sama digunakan untuk konstruksi zona kedap air bendungan



UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Proyek Pembangunan Bendungan Jragung Paket 2 PT WIKA – BRP KSO yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Analisis Material Embankment pada Timbunan Zona Satu dan Metode Pelaksanaan Pekerjaan Main Dam Proyek Pembangunan Bendungan Serbaguna Karian, Lebak-Banten ARUB KAUTSAR NUR N, Ir. Sindu Nuranto, MS.* (2018).
- Analisis Material Embankment pada Timbunan Zona.pdf.* (n.d.).
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik. Penerbit Erlangga, 1–300.
- Designacion_D_6572_00_Metodos_de_prueba.* (n.d.).
- Dewi, N R. (2021). Pengaruh jumlah lintasan pemadatan terhadap tingkat kepadatan tubuh bendungan tugu, kabupaten trenggalek, jawa timur.
- Günaydin, O. (2009). Estimation of soil compaction parameters by using statistical analyses and artificial neural networks. *Environmental Geology*, 57(1), 203–215. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1300-6>
- Ikbal, F. M., & Zhaifirah, A. (1992). *Evaluasi Kepadatan Tanah Timbunan dengan Sand Cone Test. 1*, 228–233.
- Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2002). *Tata cara desain tubuh bendungan tipe urugan.*
- Karimpour-Fard, M., Machado, S. L., Falamaki, A., Carvalho, M. F., & Tizpa, P. (2019). Prediction of Compaction Characteristics of Soils from Index Test's Results. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, 43(s1), 231–248. <https://doi.org/10.1007/s40996-018-0161-9>
- Mulyono, T. (2005). *Mekanika Tanah 1.*
- Niphadkar, N. (2016). Relationship Between Number of Passes of Compactor and Compaction Characteristics of Soil. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 728–732. www.irjet.net
- Omar, M., Shanableh, A., Arab, M., Hamad, K., & Tahmaz, A. (2018). Advanced Mathematical Models to Predict the Compaction Properties of Coarse-Grained Soils from Various Physical Properties. *Geotechnical and Geological Engineering*, 36(6), 3467–3483. <https://doi.org/10.1007/s10706-018-0547-2>
- Yousif, A. A. A., & Mohamed, I. A. (2022). Prediction of Compaction Parameters from Soil Index Properties Case Study: Dam Complex of Upper Atbara Project. *American Journal of Pure and Applied Biosciences*, 4(1), 01–09. <https://doi.org/10.34104/ajpab.022.01009>
- Yudistira, Y., Permana, S., & Farida, I. (2016). Analisa Kepadatan Tanah Pada Timbunan Di Saluran Irigasi Dengan Metode Pengujian Proctor Dan Sand Cone. *Jurnal Konstruksi*, 13(1), 1–18. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.13-1.260>