

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

1. PERHITUNGAN KADAR AIR :

Diketahui data uji laboratorium :

1	No. Pengujian		1	2
2	Berat Countainer (W1)	(gr)	13,15	12,73
3	Berat Countainer + Tanah Basah (W2)	(gr)	24,69	29,12
4	Berat Countainer + Tanah Kering (W3)	(gr)	21,1	24,15

Perhitungan :

a. Sampel I

$$w = \frac{w2 - w3}{w3 - w1}$$

$$w = \frac{24,69 - 21,1}{21,1 - 13,15} \times 100 = 45,16 \%$$

b. Sampel II

$$w = \frac{w2 - w3}{w3 - w1}$$

$$w = \frac{29,12 - 24,15}{24,15 - 12,73} \times 100 = 43,52 \%$$

c. Perhitungan kadar air rata-rata

$$w \text{ rata rata} = \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2}$$

$$w \text{ rata rata} = \frac{45,16\% + 43,52}{2}$$

$$= 44,34 \%$$

2. PERHITUNGAN BERAT JENIS :

Diketahui data uji laboratorium :

1	No. Pengujian		1	2
2	Berat Pikhnometer (W1)	gr	38,84	39,37
3	Berat Pikhnometer + Tanah (W2)	gr	70,96	70,55
4	Berat Pikhnometer + Tanah + Air (W3)	gr	158,05	158,19
5	Berat Pikhnometer + Air (W4)	gr	138,23	139,02
6	Temperatur	°C	27,5	27,5

Perhitungan :

1. Berat tanah kering (W_s) = $W_2 - W_1$

$$W_{s1} = 70,96 - 38,84 = 32,12 \text{ gr}$$

$$W_{s2} = 70,55 - 39,37 = 31,18 \text{ gr}$$

2. $A = W_s + W_4$

$$A_1 = 32,12 + 138,23 = 170,35 \text{ gr}$$

$$A_2 = 31,18 + 139,02 = 170,20 \text{ gr}$$

3. $I = A - W_3$

$$I_1 = 170,35 - 158,05 = 12,30 \text{ gr}$$

$$I_2 = 170,20 - 158,19 = 12,01 \text{ gr}$$

4. Berat jenis tanah pada suhu ($t^\circ\text{C}$), $G_s(t^\circ\text{C}) = \frac{W_s}{I}$

$$G_{s1}(26^\circ\text{C}) = \frac{32,12}{12,30} = 2,61$$

$$G_{s2}(26^\circ\text{C}) = \frac{31,18}{12,01} = 2,60$$

5. Berat jenis tanah pada suhu ($27,5^\circ\text{C}$), $G_s(27,5^\circ\text{C}) = G_s(t^\circ\text{C}) \times \frac{\gamma_w(t^\circ\text{C})}{\gamma_w(27,5^\circ)}$

$$G_{s1}(26^\circ\text{C}) = 2,61 \frac{0,9968}{0,9964} = 2,61$$

$$G_{s2}(26^\circ\text{C}) = 2,60 \frac{0,9968}{0,9964} = 2,60$$

6. Berat jenis rata rata $G_{srt}(27,5^\circ\text{C}) = \frac{2,60+2,61}{2} = 2,60$

3. PERHITUNGAN BERAT VOLUME TANAH :

Diketahui data uji laboratorium :

1	No. Pengujian		1	2
2	Diameter Ring (d)	cm	5,11	5,06
3	Tinggi Ring (t)	cm	2,33	1,83
4	Berat Ring (w_1)	gr	38,91	34,88
5	Berat ring + tanah basah (w_2)	gr	127,46	104,85

Perhitungan :

a. Sampel I

$$\begin{aligned}\text{Volume ring} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 5,11^2 \times 2,33 \\ &= 47,78 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat tanah basah (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 127,46 - 38,91 \\ &= 88,55 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat volume tanah } (\gamma_{\text{Unsat}}) &= \frac{W3}{v} \\ &= \frac{88,55}{47,78} \\ &= 1,85 \text{ gr/cm}^3\end{aligned}$$

b. Sampel II

$$\begin{aligned}\text{Volumen ring} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 5,06^2 \times 1,83 \\ &= 36,80 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat tanah basah (W3)} &= W2 - W1 \\ &= 104,85 - 34,88 \\ &= 69,97 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat volume tanah } (\gamma_{\text{Unsat}}) &= \frac{W3}{v} \\ &= \frac{69,97}{36,80} \\ &= 1,90 \text{ gr/cm}^3\end{aligned}$$

c. Berat volume rata rata

$$\begin{aligned}&= \frac{1,85 + 1,90}{2} \\ &= 1,88 \text{ gr/cm}^3\end{aligned}$$

4. PERHITUNGAN PENGUJIAN BATAS SUSUT

Diketahui data pengujian laboratorium :

No.	No.Pengujian		1	2	
1	Diameter Ring	cm	4,18	4,16	
2	Tinggi Ring	cm	1,24	1,24	
1	Berat Cawan Susut	W1	cm	42,27	45,22
2	Berat Cawan Susut + Tanah Basah	W2	cm	69,91	71,59
3	Berat Cawan Susut + Tanah Kering	W3	cm ³	59,55	61,79
No.	No.Pengujian		1	2	
1	Berat Air Raksa yang Terdesak Tanah Kering + Gelas Ukur	W4	gr	181,47	169,45
2	Berat Gelas Ukur	W5	gr	39,69	39,69
3	Berat Air Raksa (W6 = W4 - W5)	W6	gr	141,78	129,76
4	Berat Tanah Kering	W ₀	gr	17,28	16,57
5	Volume Tanah Kering	V ₀	cm ³	10,43	9,54

Perhitungan :

1. Berat Tanah Kering

$$\begin{aligned} \text{Berat Tanah Kering 1} &= \text{Berat cawan susut tanah kering} - \text{berat cawan susut} \\ &= 59,55 - 42,27 \\ &= 17,28 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Tanah Kering 2} &= \text{Berat cawan susut tanah kering} - \text{berat cawan susut} \\ &= 61,79 - 45,22 \\ &= 16,57 \text{ gr} \end{aligned}$$

2. Kadar Air

$$\begin{aligned} \text{Kadar Air 1} &= \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \\ &= 59,95 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar Air 2} &= \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \\ &= 59,14 \% \end{aligned}$$

3. Volume Ring (V) = 0,25 x pi x d² x t

$$\text{Volume Ring 1} = 17,02 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume Ring 2} = 16,85 \text{ cm}^3$$

4. Batas Susut Tanah

$$\text{Diketahui } G_s = 2,6$$

$$\begin{aligned} \text{Batas Susut Tanah 1} &= \frac{V_o}{W_o} - \frac{1}{G_s} \times 100 \\ &= 21,868 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas Susut Tanah 2} &= \frac{V_o}{W_o} - \frac{1}{G_s} \times 100 \\ &= 19,119 \% \end{aligned}$$

5. Angka Susut

$$\begin{aligned} \text{Angka susut 1} &= \frac{W_o}{V_o} \\ &= 1,66 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Angka susut 2} &= \frac{W_o}{V_o} \\ &= 1,74 \end{aligned}$$

6. Susut Volumetrik (Vs)

$$\begin{aligned} \text{Susut Volumetrik 1} &= \frac{V - V_o}{V_o} \times 100 \\ &= 0,63 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Susut Volumetrik 2} &= \frac{V - V_o}{V_o} \times 100 \\ &= 0,70 \end{aligned}$$

7. Susut Linear

$$\begin{aligned} \text{Susut Linear 1} &= 100 \times \left(1 - \sqrt[3]{\frac{100}{V_s + 100}}\right) \times 100 \\ &= 20,99 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Susut Linear 2} &= 100 \times \left(1 - \sqrt[3]{\frac{100}{V_s + 100}}\right) \times 100 \\ &= 20,99 \end{aligned}$$

5. PERHITUNGAN PENGUJIAN BATAS CAIR

Diketahui data pengujian laboratorium :

No	Pengujian	I		II		III		IV	
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	No Cawan								
2	Berat Cawan	12,81	12,66	12,63	12,78	13,00	12,88	12,77	12,98
3	Berat Cawan + Tanah Basah	26,91	27,04	26,04	27,04	29,93	26,47	21,81	24,17
4	Berat Cawan + Tanah Kering	20,65	20,67	20,22	20,79	22,74	20,69	18,00	19,44
5	Jumlah Pukulan, N	16		22		29		44	

Perhitungan :

8. Berat Air

$$\begin{aligned}\text{Berat Air 1} &= \text{Berat cawan tanah basah} - \text{berat cawan tanah kering} \\ &= 26,91 - 20,65 \\ &= 6,26 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Air 2} &= \text{Berat cawan tanah basah} - \text{berat cawan tanah kering} \\ &= 27,04 - 20,67 \\ &= 6,37 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Air 3} &= \text{Berat cawan tanah basah} - \text{berat cawan tanah kering} \\ &= 26,04 - 20,22 \\ &= 5,82 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Air 4} &= \text{Berat cawan tanah basah} - \text{berat cawan tanah kering} \\ &= 27,04 - 20,79 \\ &= 6,25 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Air 5} &= \text{Berat cawan tanah basah} - \text{berat cawan tanah kering} \\ &= 29,93 - 22,74 \\ &= 7,19 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Air 6} &= \text{Berat cawan tanah basah} - \text{berat cawan tanah kering} \\ &= 26,47 - 20,69 \\ &= 5,78 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Air 7} &= \text{Berat cawan tanah basah} - \text{berat cawan tanah kering} \\ &= 21,81 - 18,00 \\ &= 3,81 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Berat Air 8} &= \text{Berat cawan tanah basah} - \text{berat cawan tanah kering} \\
&= 24,17 - 19,44 \\
&= 4,73 \text{ gr}
\end{aligned}$$

9. Berat Tanah Kering

$$\begin{aligned}
\text{Berat tanah kering 1} &= \text{berat cawan tanah kering} - \text{berat cawan} \\
&= 20,65 - 12,82 \\
&= 7,84 \text{ gr}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Berat tanah kering 2} &= \text{berat cawan tanah kering} - \text{berat cawan} \\
&= 20,67 - 12,66 \\
&= 8,01 \text{ gr}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Berat tanah kering 3} &= \text{berat cawan tanah kering} - \text{berat cawan} \\
&= 20,22 - 12,63 \\
&= 7,59 \text{ gr}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Berat tanah kering 4} &= \text{berat cawan tanah kering} - \text{berat cawan} \\
&= 20,79 - 12,78 \\
&= 8,01 \text{ gr}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Berat tanah kering 5} &= \text{berat cawan tanah kering} - \text{berat cawan} \\
&= 22,74 - 13,00 \\
&= 9,74 \text{ gr}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Berat tanah kering 6} &= \text{berat cawan tanah kering} - \text{berat cawan} \\
&= 20,69 - 12,88 \\
&= 7,81 \text{ gr}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Berat tanah kering 7} &= \text{berat cawan tanah kering} - \text{berat cawan} \\
&= 18,00 - 12,77 \\
&= 5,23 \text{ gr}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Berat tanah kering 8} &= \text{berat cawan tanah kering} - \text{berat cawan} \\
&= 19,44 - 12,98 \\
&= 6,46 \text{ gr}
\end{aligned}$$

10. Kadar Air

$$\begin{aligned}
\text{Kadar Air 1} &= \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \\
&= \frac{6,26}{7,84} \times 100 \% \\
&= 79,85 \%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Air 2} &= \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% & &= 73,82 \% \\
 &= \frac{6,37}{8,01} \times 100 \% \\
 &= 79,53 \% \\
 \text{Kadar Air 3} &= \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% & &= 74,01 \% \\
 &= \frac{5,82}{7,59} \times 100 \% \\
 &= 76,78 \% \\
 \text{Kadar Air 4} &= \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% & &= 72,85 \% \\
 &= \frac{6,25}{8,01} \times 100 \% \\
 &= 78,03 \% \\
 \text{Kadar Air 5} &= \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% & &= 73,22 \% \\
 &= \frac{7,19}{9,74} \times 100 \% \\
 \text{Kadar Air 6} &= \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \\
 &= \frac{5,78}{7,81} \times 100 \% \\
 \text{Kadar Air 7} &= \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \\
 &= \frac{3,81}{5,23} \times 100 \% \\
 \text{Kadar Air 8} &= \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \\
 &= \frac{4,73}{6,46} \times 100 \%
 \end{aligned}$$

11. Kadar Air Rata Rata

$$\begin{aligned}
 \text{KadarAir Rata Rata 1} &= \frac{w_1+w_2}{2} \\
 &= \frac{79,85+79,53}{2} \\
 &= 79,69 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{KadarAir Rata Rata 2} &= \frac{w_1+w_2}{2} \\
 &= \frac{76,68+78,03}{2} \\
 &= 77,35 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{KadarAir Rata Rata 3} &= \frac{w_1+w_2}{2} \\
 &= \frac{73,82+74,01}{2} \\
 &= 73,91 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{KadarAir Rata Rata 4} &= \frac{w_1+w_2}{2} \\
 &= \frac{72,85+73,22}{2} \\
 &= 73,03 \%
 \end{aligned}$$

6. PENGUJIAN BATAS PLASTIS

Diketahui data uji laboratorium :

No	Pengujian	Batas Plastis	
		1	2
1	No Cawan		
2	Berat Cawan	13,27	12,76
3	Berat Cawan + Tanah Basah	13,99	13,47
4	Berat Cawan + Tanah Kering	13,89	13,29

Perhitungan :

1. Berat Air

$$\begin{aligned}\text{Berat Air 1} &= \text{Berat cawan tanah basah} - \text{berat cawan tanah kering} \\ &= 13,99 - 13,89 \\ &= 0,10 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Air 2} &= \text{Berat cawan tanah basah} - \text{berat cawan tanah kering} \\ &= 13,47 - 13,29 \\ &= 0,18 \text{ gr}\end{aligned}$$

2. Berat tanah kering

$$\begin{aligned}\text{Berat tanah kering 1} &= \text{berat cawan tanah kering} - \text{berat cawan} \\ &= 13,89 - 13,27 \\ &= 0,62 \text{ gr}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat tanah kering 2} &= \text{berat cawan tanah kering} - \text{berat cawan} \\ &= 13,29 - 12,76 \\ &= 0,53 \text{ gr}\end{aligned}$$

3. Kadar Air

$$\begin{aligned}\text{Kadar air 1} &= \frac{0,10}{0,62} \times 100\% \\ &= 16,13 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kadar air 2} &= \frac{0,18}{0,53} \times 100\% \\ &= 33,96 \%\end{aligned}$$

4. Kadar air rata rata

$$\begin{aligned} \text{Kadar air rata rata} &= \frac{w1+w2}{2} \\ &= \frac{16,13+33,96}{2} \\ &= 25,05 \% \end{aligned}$$

7. PENGUJIAN PEMADATAN TANAH

a. Sampel 1

Diketahui data uji laboratorium :

Data Penambahan Air

Penambahan Air									
1	Berat sampel tanah	gr	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
2	Kadar air mula-mula	%	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02
3	Penambahan air	%	5	10	15	20	25	27	30
4	Penambahan air	ml	100	200	300	400	500	550	600

Hasil Pengujian Berat Volume Tanah

Berat Volume Tanah, (γ)									
1	No. Sampel		1	2	3	4	5	6	7
2	Berat cetakan + tanah basah	gr	3219	3525	3290	3395	3465	3491	3500
3	Berat tanah basah	gr	1378	1411	1449	1554	1624	1650	1659
4	Berat volume tanah basah	gr/cm ³	1,48	1,52	1,56	1,67	1,75	1,77	1,78

Hasil Pengujian Pemadatan Tanah

Kadar Air Tanah															
1	No. Pengujian	1		2		3		4		5		6		7	
2	No Cawan	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
3	Berat cawan	9,02	9,09	9,06	8,82	8,93	8,89	8,97	8,92	9,15	8,97	9,20	8,81	9,11	9,24
4	Berat cawan + tanah basah	16,95	17,14	20,46	19,39	17,29	17,24	18,59	20,66	21,65	18,27	24,68	23,96	21,86	20,98
5	Berat cawan + tanah kering	16,25	16,42	19,02	18,04	16,02	15,95	16,86	18,45	18,80	16,17	20,56	20,14	18,49	17,94
6	Berat air	0,70	0,72	1,44	1,35	1,27	1,29	1,74	2,22	2,85	2,10	4,12	3,82	3,38	73,04
7	Berat tanah kering	7,23	7,33	9,96	9,23	7,09	7,06	7,89	9,53	9,65	7,21	11,37	11,34	9,38	8,71
8	Kadar air	9,66	9,79	14,38	14,63	17,92	18,10	22,00	23,26	29,50	29,21	36,20	33,66	35,89	34,86
9	Kadar air rata-rata	9,73		14,51		18,01		22,26		29,36		34,93		35,37	
10	Berat volume tanah kering,	1,35		1,32		1,32		1,36		1,35		1,31		1,32	

Perhitungan :

1. Perhitungan Pengujian 1

a. Kadar Air (w) = $\left[\frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \right]$

Container a (w1) = $\left[\frac{0,70}{7,23} \times 100 \% \right] = 9,66 \%$

Container b (w2) = $\left[\frac{0,72}{7,33} \times 100 \% \right] = 9,79 \%$

b. Kadar air rata rata = $\left[\frac{w1+w2}{2} \right]$
= $\frac{9,66+9,79}{2}$
= 9,73 %

c. Berat volume tanah basah (γ) = $\frac{\text{Berat tanah basah}}{\text{Volume mold (V)}}$
= $\frac{3219}{930,07}$
= 1,48 gr/cm³

d. Berat volume tanah kering (γ_d) = $\frac{\gamma}{1+w}$
= $\frac{1,48}{1+0,0973}$
= 1,35 gr/cm³

2. Perhitungan Pengujian 2

1. Kadar Air (w) = $\left[\frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \right]$

Container a (w1) = $\left[\frac{1,44}{9,96} \times 100 \% \right] = 14,38 \%$

Container b (w2) = $\left[\frac{1,35}{9,23} \times 100 \% \right] = 14,63 \%$

2. Kadar air rata rata = $\left[\frac{w1+w2}{2} \right]$
= $\frac{14,38+14,63}{2}$
= 14,51 %

3. Berat volume tanah basah (γ) = $\frac{\text{Berat tanah basah}}{\text{Volume mold (V)}}$
= $\frac{3252}{930,07}$
= 1,52 gr/cm³

$$\begin{aligned}
4. \text{ Berat volume tanah kering } (\gamma_d) &= \frac{\gamma}{1+w} \\
&= \frac{1,52}{1+0,1451} \\
&= 1,32 \text{ gr/cm}^3
\end{aligned}$$

3. Perhitungan Pengujian 3

$$\begin{aligned}
a. \text{ Kadar Air (w)} &= \left[\frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \right] \\
\text{Container a (w1)} &= \left[\frac{1,27}{7,09} \times 100 \% \right] = 17,92 \% \\
\text{Container b (w2)} &= \left[\frac{1,29}{7,06} \times 100 \% \right] = 18,10 \% \\
b. \text{ Kadar air rata rata} &= \left[\frac{w_1+w_2}{2} \right] \\
&= \frac{17,92+18,10}{2} \\
&= 18,01 \% \\
c. \text{ Berat volume tanah basah } (\gamma) &= \frac{\text{Berat tanah basah}}{\text{Volume mold (V)}} \\
&= \frac{3290}{930,07} \\
&= 1,56 \text{ gr/cm}^3 \\
d. \text{ Berat volume tanah kering } (\gamma_d) &= \frac{\gamma}{1+w} \\
&= \frac{1,56}{1+0,1801} \\
&= 1,32 \text{ gr/cm}^3
\end{aligned}$$

4. Perhitungan Pengujian 4

$$\begin{aligned}
a. \text{ Kadar Air (w)} &= \left[\frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \right] \\
\text{Container a (w1)} &= \left[\frac{1,74}{7,89} \times 100 \% \right] = 22,0 \% \\
\text{Container b (w2)} &= \left[\frac{2,22}{9,53} \times 100 \% \right] = 23,26 \% \\
b. \text{ Kadar air rata rata} &= \left[\frac{w_1+w_2}{2} \right] \\
&= \frac{22,00+23,26}{2} \\
&= 22,63 \%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{c. Berat volume tanah basah } (\gamma) &= \frac{\text{Berat tanah basah}}{\text{Volume mold } (V)} \\
&= \frac{3395}{930,07} \\
&= 1,67 \text{ gr/cm}^3 \\
\text{d. Berat volume tanah kering } (\gamma_d) &= \frac{\gamma}{1+w} \\
&= \frac{1,67}{1+0,2263} \\
&= 1,36 \text{ gr/cm}^3
\end{aligned}$$

5. Perhitungan Pengujian 5

$$\begin{aligned}
\text{a. Kadar Air } (w) &= \left[\frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \right] \\
\text{Container a } (w_1) &= \left[\frac{2,85}{9,65} \times 100 \% \right] = 29,50 \% \\
\text{Container b } (w_2) &= \left[\frac{2,10}{7,21} \times 100 \% \right] = 29,21 \% \\
\text{b. Kadar air rata rata} &= \left[\frac{w_1+w_2}{2} \right] \\
&= \frac{29,50+29,21}{2} \\
&= 29,36 \%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{c. Berat volume tanah basah } (\gamma) &= \frac{\text{Berat tanah basah}}{\text{Volume mold } (V)} \\
&= \frac{3465}{930,07} \\
&= 1,75 \text{ gr/cm}^3 \\
\text{d. Berat volume tanah kering } (\gamma_d) &= \frac{\gamma}{1+w} \\
&= \frac{1,75}{1+0,2936} \\
&= 1,75 \text{ gr/cm}^3
\end{aligned}$$

6. Perhitungan Pengujian 6

$$\begin{aligned}
\text{a. Kadar Air } (w) &= \left[\frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \right] \\
\text{Container a } (w_1) &= \left[\frac{4,12}{11,37} \times 100 \% \right] = 36,20 \% \\
\text{Container b } (w_2) &= \left[\frac{3,82}{11,34} \times 100 \% \right] = 33,66 \%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. Kadar air rata rata} &= \left[\frac{w_1+w_2}{2} \right] \\
 &= \frac{36,20+33,66}{2} \\
 &= 34,93 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Berat volume tanah basah } (\gamma) &= \frac{\text{Berat tanah basah}}{\text{Volume mold (V)}} \\
 &= \frac{3491}{930,07} \\
 &= 1,77 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d. Berat volume tanah kering } (\gamma_d) &= \frac{\gamma}{1+w} \\
 &= \frac{1,77}{1+0,3493} \\
 &= 1,31 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

7. Perhitungan Pengujian7

$$\begin{aligned}
 \text{a. Kadar Air (w)} &= \left[\frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \right] \\
 \text{Container a (w1)} &= \left[\frac{3,38}{9,38} \times 100 \% \right] = 35,89 \% \\
 \text{Container b (w2)} &= \left[\frac{3,04}{8,71} \times 100 \% \right] = 34,86 \% \\
 \text{b. Kadar air rata rata} &= \left[\frac{w_1+w_2}{2} \right] \\
 &= \frac{35,89+34,86}{2} \\
 &= 32,37 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Berat volume tanah basah } (\gamma) &= \frac{\text{Berat tanah basah}}{\text{Volume mold (V)}} \\
 &= \frac{3500}{930,07} \\
 &= 1,78 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d. Berat volume tanah kering } (\gamma_d) &= \frac{\gamma}{1+w} \\
 &= \frac{1,78}{1+0,3237} \\
 &= 1,32 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

b. Sampel 2

Data Penambahan Air

Penambahan Air								
1	Berat sampel tanah	gr	2000	2000	2000	2000	2000	2000
2	Kadar air mula-mula	%	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02
3	Penambahan air	%	5	10	15	20	25	30
4	Penambahan air	ml	100	200	300	400	500	600

Hasil Pengujian Berat Volume Tanah

Berat Volume Tanah, (γ)								
1	No. Sampel		1	2	3	4	5	6
2	Berat cetakan + tanah basah	gr	3092	3187	3490	3535	3520	3485
3	Berat tanah basah	gr	1251	1346	1649	1694	1679	1644
4	Berat volume tanah basah	gr/cm ³	1,35	1,45	1,77	1,82	1,81	1,77

Adapun cara perhitungan pada sampel 2 sama dengan cara perhitungan pada sampel 1.

Hasil Pengujian Pematatan Tanah

Kadar Air Tanah													
1	No. Pengujian	1		2		3		4		5		6	
2	No Cawan	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
3	Berat cawan	10,88	10,93	10,98	8,98	9,26	9,08	8,89	10,79	9,16	8,97	10,77	8,96
4	Berat cawan + tanah basah	25,56	26,04	24,32	19,21	17,60	19,39	22,49	26,19	21,84	18,37	29,26	24,53
5	Berat cawan + tanah kering	24,65	24,85	23,06	18,06	16,06	17,63	20,11	22,57	18,89	16,21	24,51	20,42
6	Berat air	0,91	1,19	1,27	1,15	1,54	1,76	2,39	3,62	2,95	2,16	4,75	4,12
7	Berat tanah kering	13,77	13,92	12,08	9,08	6,80	8,55	11,22	11,79	9,74	7,25	13,74	11,46
8	Kadar air	6,46	8,57	10,40	12,54	22,49	20,70	23,05	30,69	30,44	29,92	34,52	35,90
9	Kadar air rata-rata	7,51		11,47		21,60		26,87		30,18		35,21	
10	Berat volume tanah kering,	1,25		1,30		1,46		1,44		1,39		1,31	

8. PERENCANAAN PERKERASAN LENTUR BERDASARKAN MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN NOMOR 02/M/BM2013.

Diketahui data-data penunjang perencanaan lentur sebagai berikut :

1. Data tanah dasar dengan nilai CBR 31,28%.
2. Data Lalu Lintas Proyek Segmen Jalan Tol Solo-Ngawi Seksi Solo – Ngawi -2B ruas Gemarang, Klitik, Ngawi Tabel 5.25 berikut.

Tabel 5.25 Data Lalu Lintas

Jenis kendaraan	Konfigurasi beban sumbu (ton)				Jumlah kendaraan (buah/hari)
	RD	RB	RGD	RGB	
Mobil Penumpang	1	1			1650
Bus	3	5			410
Truk Ringan 2as	2	4			680
Truk Sedang 2as	5	8			720
Truk 3as	6	14			350
Truk Gandeng	6	14	5	5	60

Sumber : Dinas Perhubungan Kabupaten Sragen (2016)

RD = roda depan, RB = roda belakang, RGD = roda gandeng depan, RGB = roda gandeng belakang

3. Klasifikasi jalan 4 lajur 2 arah
4. Status Fungsi Jalan Tol (Arteri dan Perkotaan)
5. Umur rencana 20 tahun

Langkah-langkah perencanaan tebal perkerasan menurut Bina Marga 2013 adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan nilai CESA

$$ESA = (\sum \text{jenis kendaraan LHRT} \times \text{VDF})$$

$$CESA = ESA \times 365 \times R$$

Dimana :

ESA : Lintas sumbu standar ekivalen untuk 1 hari

LHRT : Lintas harian rata-rata tahunan jenis kendaraan

VDF : Faktor perusak (*vehicle damage factors*)

CESA : Kumulatif beban sumbu standar ekivalen umur rencana

R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas

- b. Menentukan nilai VDF komposisi kendaraan berdasarkan Tabel yang disajikan Manual Desain Perkerasan Jalan No. 02/M/BM/2013 dapat dilihat pada Tabel 5.26 sebagai berikut.

Klasifikasi Kendaraan dan VDF Standart

Jenis Kendaraan		Uraian	Konfigurasi Sumbu	Muatan yang diangkut	Kelompok Sumbu	Distribusi tipikal (%)		Faktor Ekuivalen Beban (VDF) (ESA/kendaraan)	
Klasifikasi Lama	Alternatif					Semua Kendaraan Bermotor	Semua Kendaraan bermotor kecuali sepeda motor	VDF Pangkat (4)	VDF pangkat (5)
1	1	Sepeda Motor	1.1		2	30,4			
2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan / Angkot / Pickup / Station Wagon	1.1		2	51,7	74,3		
5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,20	1,0	1,0
6a.1	6.1	Truk 2 sumbu-cargo ringan	1.1	muatan umum	2	4,6	6,60	0,3	0,2
6a.2	6.2	Truk 2 sumbu-ringan	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			0,8	0,8
6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu-cargo sedang	1.2	muatan umum	2	-	-	0,7	0,7
6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu-sedang	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			1,6	1,7
6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu-berat	1.2	muatan umum	2	3,8	5,50	0,9	0,8
6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu-berat	1.2	tanah, pasir, besi, semen	2			7,3	11,2
7a1	9.1	Truk 3 sumbu-ringan	1.22	muatan umum	3	3,9	5,60	7,6	11,2
7a2	9.2	Truk 3 sumbu-sedang	1.22	tanah, pasir, besi, semen	3			28,1	64,4
7a3	9.3	Truk 3 sumbu-berat	1.1.2		3	0,1	0,10	28,9	62,2
7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,70	36,9	90,4
7c1	11	Truk 4 sumbu-trailer	1.2-22		4	0,3	0,50	13,6	24,0
7c2.1	12	Truk 5 sumbu-trailer	1.22-22		5	0,7	1,00	19,0	33,2
7c2.2	13	Truk 5 sumbu-trailer	1.2-222		5			30,3	69,7
7c3	14	Truk 6 sumbu-trailer	1.22-222		6	0,3	0,50	41,6	93,7

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga (2013)

Nilai VDF Standart berdasarkan Tabel tersebut dapat diringkas sesuai dengan kondisi jalan Asinan Bawen dapat disajikan dalam Tabel dibawah ini.

Nilai VDF Standart

Kendaraan	VDF ₄	VDF ₅
Mobil Penumpang	-	-
Bus	0.3	0.2
Truck Ringan (U)	0.3	0.2
Truck Ringan (K)	0.8	0.8
Truck Berat (U)	0.9	0.8
Truck Berat (K)	7.3	11.2
Trailer (U)	7.6	11.2
Trailer (K)	28.1	64.4

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga (2013)

c. Menentukan faktor pengali pertumbuhan lalulintas

$$R = \frac{(1 + 0.01i)^{UR} - 1}{0.01i}$$

Dimana :

R = Faktor Pengali Pertumbuhan Lalulintas

i = Tingkat pertumbuhan lalulintas tahunan = 5%

Berdasarkan tabel yang disajikan Binamarga 2013 dipresentasikan pada Tabel berikut ini.

Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

KELAS JALAN	FAKTOR PERTUMBUHAN LALU LINTAS (%)	
	2011-2020	>2021-2030
Arteri Perkotaan	5	4
Kolektor rural	3.5	2.5
Jalan desa	1	1

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga (2013)

UR = Umur Rencana = 20 tahun

Maka :

$$R = \frac{[1 + 0,01(5)]^{20} - 1}{0,01(5)} = 33,066$$

- d. Menentukan faktor distribusi lajur berdasarkan tabel diatas yang disajikan Bina Marga 2013, dan desain dibuat 4 lajur 2 arah sehingga diperoleh faktor distribusi arah sebesar 80%

Faktor Distribusi Lalu Lintas

JUMLAH LAJU per ARAH	FAKTOR DISTRIBUSI LALU LINTAS (%)
1	100
2	80
3	60
4	50

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga (2013)

Data Perhitungan Lalu Lintas

Jenis kendaraan	Jumlah kendaraan	VDF ₄	R
Mobil Penumpang	1650	0	33,066
Bus	410	0,3	33,066
Truk Ringan 2as	680	0,3	33,066
Truk Sedang 2as	720	0,8	33,066
Truk 3as	350	7,6	33,066
Truk Gandeng	60	28,1	33,066

Perhitungan Mobil Penumpang :

$$\begin{aligned} \text{ESA} &= (\sum \text{jenis kendaraan LHRT} \times \text{VDF}) \\ &= 1650 \times 0 \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CESA}_4 &= \text{ESA} \times 365 \times \text{R} \\ &= 0 \times 365 \times 33,066 \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CESA}_5 &= \text{CESA}_4 \times 2 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Perhitungan BUS :

$$\begin{aligned} \text{ESA} &= (\sum \text{jenis kendaraan LHRT} \times \text{VDF}) \\ &= 410 \times 0,3 \\ &= 123 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CESA}_4 &= \text{ESA} \times 365 \times \text{R} \\ &= 123 \times 365 \times 33,066 \\ &= 1.484.498,07 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CESA}_5 &= \text{CESA}_4 \times 2 \\ &= 1.484.498,07 \end{aligned}$$

Adapun perhitungan jenis kendaraan lainnya dapat dilihat pada Tabel berikut ini.

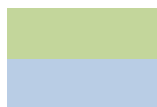
Rekapitulasi Hasil Perhitungan ESA dan CESA₄

Jenis kendaraan	Jumlah kendaraan	VDF4	ESA	R	CESA4	CESA5
Mobil Penumpang	1650	0	0	33,066	0	0
Bus	410	0,3	123	33,066	1.484.498,07	2.968.996,14
Truk Ringan 2as	680	0,3	204	33,066	2.462.094,36	4.924.188,72
Truk Sedang 2as	720	0,8	576	33,066	6.951.795,84	13.903.591,68
Truk 3as	350	7,6	2660	33,066	32.103.779,4	64.207.558,8
Truk Gandeng	60	28,1	1686	33,066	20.348.485,74	40.696.971,48
			JUMLAH		63.350.653,41	126.701.306,8

CESA₄ digunakan untuk menentukan pemilihan jenis perkerasan dan CESA₅ digunakan untuk menentukan tebal perkerasan lentur berdasarkan bagan desain yang disediakan BM 2013. Pemilihan perkerasan akan bervariasi sesuai dengan estimasi lalu lintas, umur rencana dan kondisi pondasi jalan. Manual Desain Perkerasan No.02/M/BM/2013 menyajikan solusi alternatif menggunakan Tabel berikut.

Pemilihan Jenis Perkerasan

Struktur Perkerasan	Desain	ESA20 tahun (juta) (pangkat 4 kecuali disebutkan lain)				
		0 - 0.5	0.1 - 4	4 - 10	10 -30	>30
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat	4			2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (desa dan daerah perkotaan)	4A		1.2			
AC WC modifikasi atau SMA modifikasi dengan CTB (pangkat 5)	3				2	
AC dengan CTB (pangkat 5)	3			2		
AC tebal \geq 100 mm dengan lapis pondasi berbutir (pangkat 5)	3A			1.2		
AC atau HRS tipis diatas lapis pondasi berbutir	3		1.2			
Burda atau Burtu dengan LPA kelas A atau batuan asli	Gambar 6	3	3			
Lapis pondasi Soil Cement	6	1	1			
Perkerasan tanpa penutup	Gambar 6	1				



Solusi yang lebih diutamakan (lebih murah)

II Alternatif – lihat catatan

2. Kontraktor besar dengan sumber daya yang memadai

3. Membutuhkan keahlian dan tenaga ahli khusus –dibutuhkan kontraktor spesialis Burda.

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga (2013)

Sehingga dari hasil tersebut didapatkan total $CESA_4$ adalah 63.350.653,41 sehingga dari hasil tersebut didapatkan hasil jenis perkerasan adalah Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat

e. Menentukan Desain Pondasi

Dalam Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga 2013 sangat ditekankan dalam hal perbaikan tanah dasar, dengan melihat kondisi CBR tanah dasar dan $CESA_5$ yang akan diterima oleh perkerasan. Karena CBR tanah dasar sudah mengalami perbaikan yaitu dengan distabilisasi dengan PC dengan nilai sebesar 7,265 % maka layak dijadikan sebagai lapis perkerasan.

f. Menentukan Desain Tebal Perkerasan

Tebal yang akan dihasilkan oleh Manual Desain Perkerasan 2013 didapat melalui Tabel berikut yang telah disediakan berdasarkan $CESA_5$ yang telah didapat.

Desain Perkerasan Lentur Opsi Biaya Minimum

STRUKTUR PERKERASAN								
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	
Lihat desain 5 & 6				Lihat bagan desain 4 untuk alternatif lebih murah ³				
Pengulangan beban sumbu desain 20 tahun terkoreksi di lajur desain (pangkat 5) (10^6 CESA ₅)	< 0,5	0,5 - 2,0	2,0 - 4,0	4,0 - 30	30 – 50	50 - 100	100 - 200	200 - 500
Jenis permukaan berpegang	HRS, SS, atau Penmac	HRS (6)		AC _c , atau WC _f	Acc			
Jenis lapis berpondasi dengan lapis pondasi bawah	Lapis Pondasi Berbutir A			Cement Treated Base (CTB) (= cement treated base A)				
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)								
HRS WC	30	30	30					
HRS Base	35	35	35					
AC WC				40	40	40	50	50
Lapisan beraspal	AC BC ⁵			135	155	185	220	280
CTB atau LPA kelas A	CTB ⁴			150	150	150	150	150
	LPA kelas A ²			150	250	250	150	150
LPA kelas A, LPA kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR >10%	150	125	125					

Catatan 3 :

1. Ketentuan-ketentuan struktur pondasi bagan desain 2 juga berlaku.
2. Ukuran gradasi LPA nominal maksimum harus 20 mm untuk tebal lapisan 100 – 150 mm atau 25 mm untuk tebal lapisan 125-150mm.
3. Pilih bagan 4 untuk solusi perkerasan kaku untuk *life cycle coast* yang rendah.
4. Hanya kontraktor yang cukup berkualitas dan memiliki akses terhadap peralatan yang sesuai dan keahlian yang diijinkan melaksanakan pekerjaan CTB. LMC dapat digunakan sebagai pengganti CTB unyuk pekerjaan diarea sempit atau jika disebabkan oleh ketersediaan alat.
5. AC BC harus dihampar dengan tebal padat minimum 50 mm dan maksimum 80 mm

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga (2013)

Tabel dibawah ini merupakan pemilihan alternatif desain perkerasan lentur aspal dengan pondasi berbutir.

Alternatif Desain Perkerasan Lentur Aspal dengan Pondasi Berbutir

STRUKTUR PERKERASAN										
	FF1	FF2	FF3	FF4	FF5	FF6	FF7	FF8	FF9	
Solusi yang dipilih					Lihat cacatan 3		Lihat cacatan 3			
Pengulangan beban sumbu desain 20 tahun di lajur rencana (pangkat 5)	1 - 2	2 - 4	4 - 7	7 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 50	50 - 100	100 - 200	
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN										
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
AC binder	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245	
LPA	400	300	300	300	300	300	300	300	300	
Catatan	1	1	2	2	3	3	3	3	3	

Catatan Bagan Desain 3A :

1. FF1 atau FF2 harus lebih diutamakan daripada solusi F1 dan F2 atau dalam situasi jika HRS berpotensi *rutting*.
2. FF3 akan lebih efektif biaya relatif terhadap solusi F4 pada kondisi tertentu.
3. CTB dan pilihan perkerasan kaku (bagan desain 3) dapat lebih efektif biaya tapi dapat menjadi tidak praktis jika sumber daya yang dibutuhkan tidak tersedia. Solusi dari FF5-FF9 dapat lebih praktis daripada solusi bagan desain 3 atau 4 untuk situasi konstruksi tertentu. Contoh jika perkerasan kaku atau CTB bisa menjadi tidak praktis : pelebaran perkerasan lentur eksisting atau diatas tanah yang berpotensi konsolidasi atau pergerakan tidak seragam (pada perkerasan kaku) atau jika sumber daya kontraktor tidak tersedia
4. Faktor reliabilitas 80% digunakan untu solusi ini.
5. Bagan Desain 3A digunakan jika HRS atau CTB sulit untuk diimplementasikan. Untuk desain perkerasan lentur, lebih diutamakan menggunakan Bagan Desain 3.

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan Bina Marga