

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sifat Fisis Tanah Material Uji Pemodelan

1. Sifat fisis tanah

a. Kadar Air Awal

Tanah yang diambil dari Dusun Kalangan, Desa Bangunjiwo, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki kadar air awal (KA) dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 7. Perhitungan kadar air

Percobaan ke		KA1	KA2	KA3
Berat cawan kosong	W1 (gr)	7.8	7.8	7.7
Berat cawan + tanah basah	W2 (gr)	15.22	16.2	14.65
Berat cawan + tanah kering	W3 (gr)	12.8	13.5	12.5
Berat air	$A = W2 - W3$ (gr)	2.42	2.7	2.15
Berat tanah kering	$B = W3 - W1$ (gr)	5	5.7	4.8
Kadar air	$\omega = \frac{A}{B} \times 100$ (%)	48.4	47.36	44.7
Kadar air rata – rata	46.85%			

Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh kadar air awal tanah sebesar 46.85%

b. Berat Jenis (G)

Dari pengujian berat jenis tanah lempung Dusun Kalangan, Desa Bangunjiwo, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta didapatkan

Tabel 8. Perhitungan berat jenis tanah

Picnometer No.	1	2	
Berat picnometer kosong	W1(gr)	38.85	34.73
Berat picnometer + tanah kering	W2(gr)	50.85	45.54
Berat picnometer + tanah + air	W3(gr)	120.7	123.8
Berat picnometer + air	W4(gr)	113.9	117.7

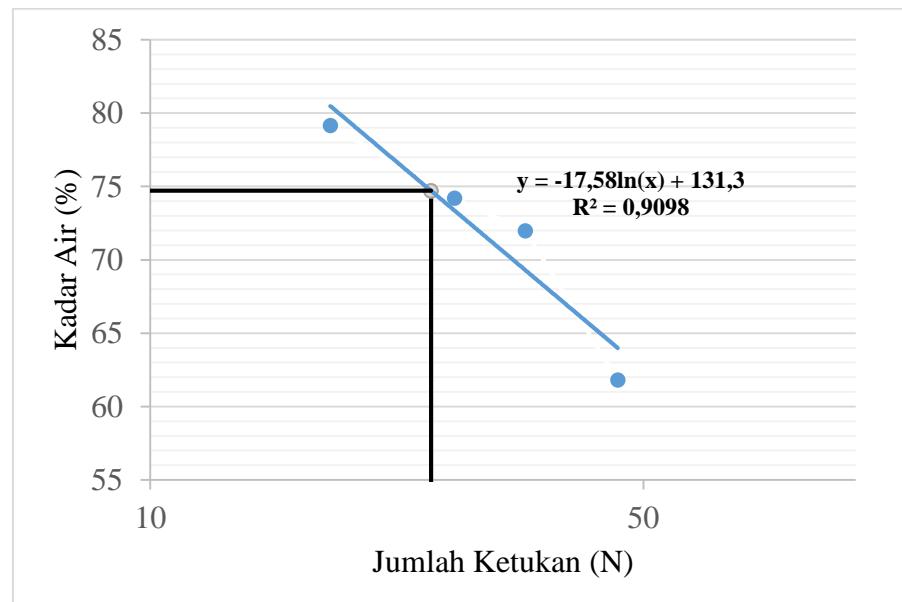
<i>Picnometer No.</i>	1	2
Temperatur (°C)	23	23
A=W2 –W1(gr)	11	10.81
B= W4 – W1(gr)	74.05	82.37
D= W3 – W2 (gr)	69.85	78.26
Berat Jenis G = $\frac{A}{B-D}$	2.619	2.630
G	2.624	
Untuk temperatur 27.5°C=G × $\frac{Bj\ air\ t^{\circ}C}{Bj\ air\ 27.5^{\circ}C}$	2.622	2.633
G untuk temperatur 27.5 °C	2.63	

Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh berat jenis tanah pada temperatur 27.5 °C adalah 2.63, mengacu pada Tabel 5, tanah tersebut tergolong lempung organik.

2. Batas-batas Atterberg

a. Batas Cair (LL)

Pengujian batas cair tanah lempung Dusun Kalangan, Desa Bangunjiwo, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta diperoleh nilai batas cair sebesar 74.71 %



Gambar 33. Grafik hubungan kadar air dengan jumlah ketukan

b. Batas plastis (PL)

Hasil pengujian batas plastis tanah lempung Dusun Kalangan, Desa Bangunjiwo, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta

Tabel 9. Perhitungan kadar air batas plastis

Percobaan ke		BP1	BP2	BP3	BP4
Berat cawan kosong	W1 (gr)	7.8	7.8	7.7	7.7
Berat cawan + tanah basah	W2 (gr)	13.9	15	14.9	13.1
Berat cawan + tanah kering	W3 (gr)	12.5	13.3	13.2	11.9
Berat air	$A' = W2 - W3$ (gr)	1.4	1.7	1.7	1.2
Berat tanah kering	$B = W3 - W1$ (gr)	4.8	5.7	5.4	4.2
Kadar air	$\omega = \frac{A'}{B} \times 100$ (%)	29.2	29.8	31.5	28.6
Kadar air rata-rata		29.76%			

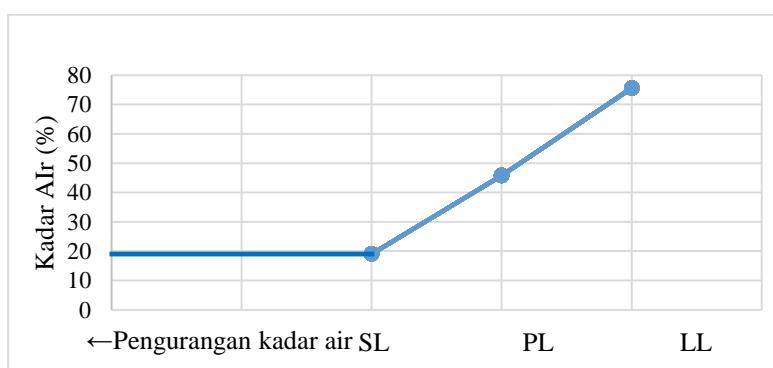
Dari hasil perhitungan pada Tabel 9, didapatkan kadar air Batas plastis sebesar 29.76%. Dari perhitungan LL dan PL, dapat dihitung Indeks Plastisnya (IP) yaitu dengan menggunakan rumus :

$$IP = LL - PL = 74.71 - 29.76 = 44.95\%$$

Dari hasil perhitungan IP memiliki nilai sebesar 44.95 %

c. Pengujian batas susut (SL)

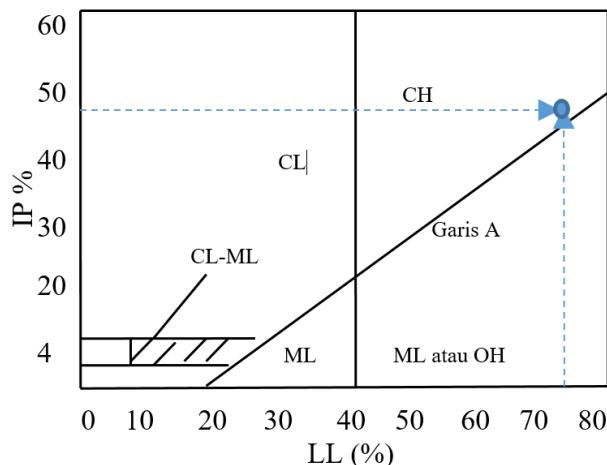
tanah lempung Dusun Kalangan, Desa Bangunjiwo, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta diperoleh nilai batas susut sebesar 19.06 % dengan metode berat jenis tanah sudah diuji.



Gambar 34. Hasil pengujian batas Atterberg

3. Klasifikasi tanah

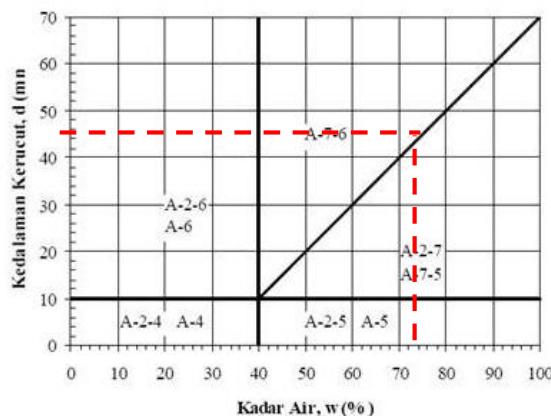
a. Klasifikasi Tanah Sistem *Unified Soil Classification System* (USCS)



Gambar 35. Grafik plastisitas identifikasi jenis tanah

Dari Gambar 35, tanah yang berada di Dusun Kalangan, Desa Bangunjiwo, Kecamatan Kasihan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki nilai LL 75.57% dan PI sebesar 45.81% diklasifikasikan dengan kode **CH** (Clay high plasticity) menurut USCS pada Gambar 35, Tanah ini merupakan Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, atau disebut lempung “gemuk” (fat clay) dalam klasifikasi USCS.

b. Sistem Klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Official* (AASHTO)



Gambar 36. Grafik Plastisitas untuk Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Klasifikasi Menurut AASHTO, dihitung terlebih dahulu nilai GI, dengan persamaan :

$$GI = (F - 35)(0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0.01(F - 15)(PI - 10)$$

$$GI = (80.2 - 35)(0.2 + 0.005(75.57 - 40)) + 0.01(F - 15)(45.81 - 10)$$

$$GI = 40.4269 \approx 40$$

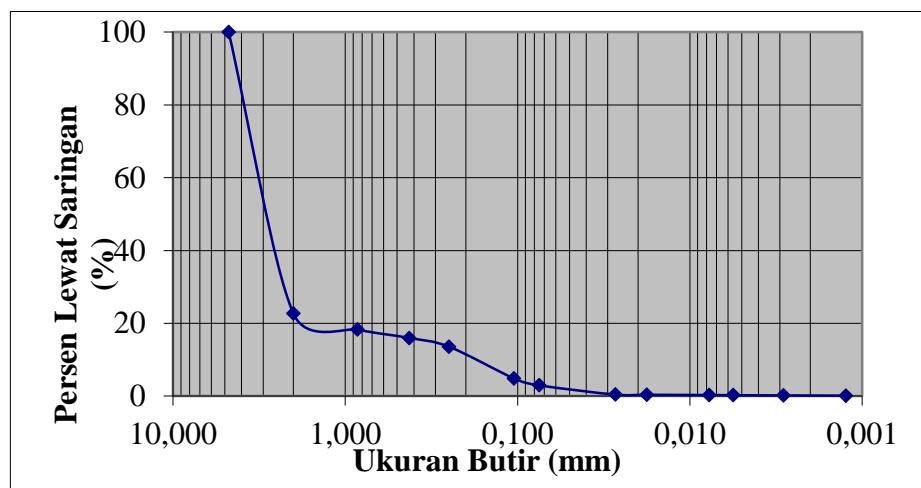
Dilihat pada Gambar 35, klasifikasi tanah menurut AASHTO dengan LL 75.57% dan PI 45.81% dan perhitungan nilai GI, maka tanah tersebut masuk kelompok A-7-6(40). Mengacu pada Tabel 1, tanah tersebut memiliki material tanah berlempung yang dominan dan jika dijadikan sebagai bahan dasar, tanah tersebut masuk ke dalam kriteria sedang sampai jelek.

4. Distribusi ukuran butir

- a. Pengujian distribusi ukuran butir dengan cara hidrometer (pengendapan) berikut data hasil perhitungan pengujian distribusi ukuran butir

Tabel 10. Hasil analisis distribusi ukuran butir

Saringan	Ukuran butir	Berat tertahan saringan	Berat lewat saringan	Persen lewat saringan
	mm	gram	gram	%
# 10	2,0	1,2	22,7	22,70
# 20	0,85	1,4	18,30	18,30
# 40	0,425	2,30	16	16,00
# 60	0,25	2,4	13,60	13,60
# 140	0,105	8,70	4,9	4,90
# 200	0,075	1,9	3	3,00
Analisis hidrometer	0,0275			0,444
	0,01804			0,404
	0,00787			0,323
	0,00565			0,283
	0,00285			0,222
	0,00127			0,152



Gambar 37. Grafik distribusi ukuran butir

Dari hasil pengujian distribusi saringan, grafik pada Gambar 37, menunjukkan tanah yang diuji memiliki gradasi buruk. Saat pengujian dari 100 gr sampel yang digunakan uji hidrometer, setelah dicuci hanya tertinggal 22,8gr, dikarenakan saat proses pelarutan dengan cairan *Natrium Hexametaphosphate*, tanah yang diuji larut, namun material yang lain tidak. Pada grafik gambar 36 didapatkan koefisien gradasi (cc) dan koefisien keseragaman (cu) dengan $D_{60}= 3.4 \text{ mm}$, $D_{30}=2.2\text{mm}$, $D_{10}=0.18\text{mm}$. sehingga nilai cc :

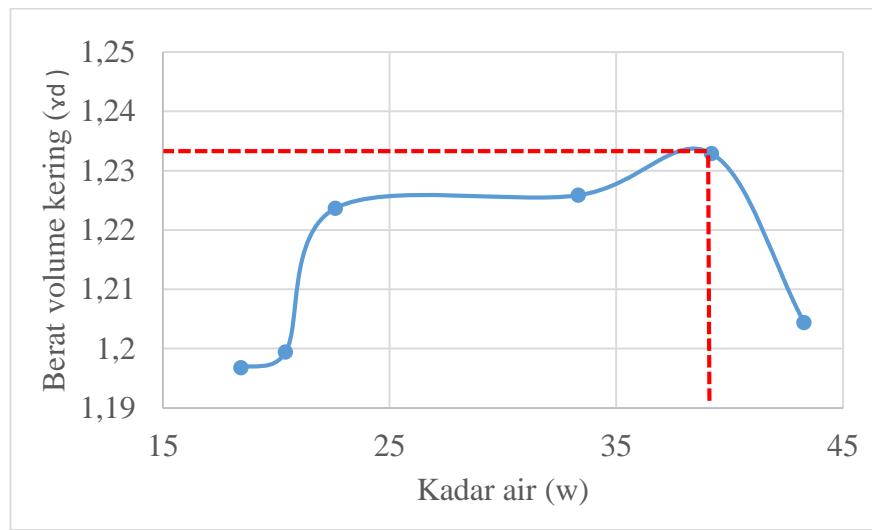
$$cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{2.2^2}{3.4 \times 0.18} = 7.9$$

$$cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{3.4}{0.18} = 18.89$$

Dari perhitungan di atas disimpulkan bahwa tanah yang diuji merupakan tanah dengan gradasi buruk dengan cc tidak masuk di antara nilai 1 – 3 menurut USCS.

5. Pemadatan tanah

Adapun pengujian pemadatan tanah untuk mengetahui kadar air optimum dengan pemadatan standar. Dapat dilihat pada Gambar 37 hasil dari pengujian pemadatan standar, kadar air optimum untuk mencapai kepadatan maksimal yaitu sebesar 39.2 %, dengan nilai γ_d (berat volume kering) sebesar 1.232 gr/cm^3 dan nilai γ_b (berat volume basah) sebesar 1.716 gr/cm^3 .

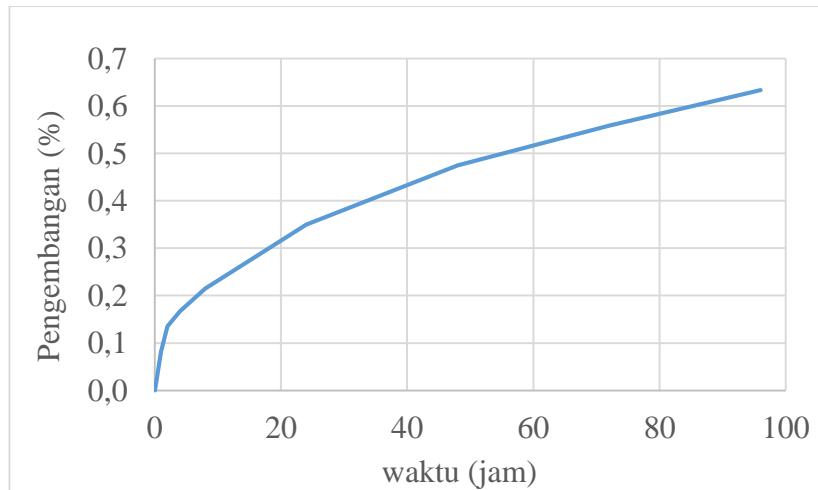


Gambar 38. Grafik hubungan kadar air (w) dengan berat volume kering (γ_d)

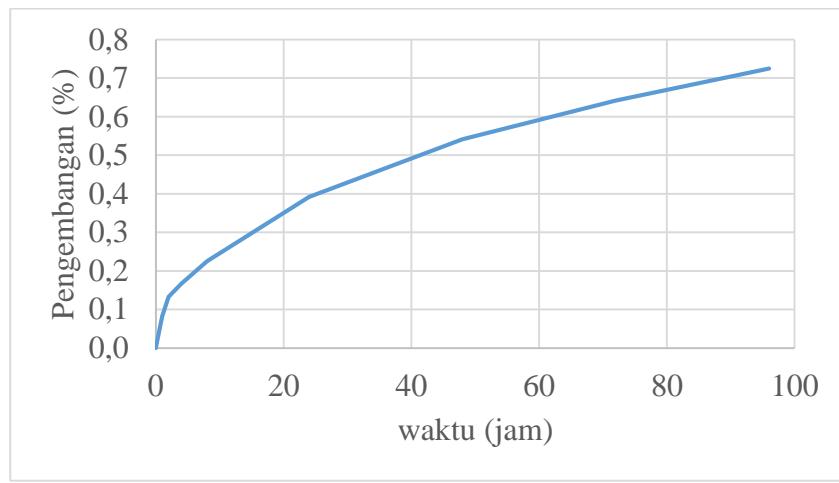
Menurut ASTM D-698, grafik pada Gambar 38, memiliki jenis lempung dengan nilai plastisitas tinggi.

6. Pengembangan atau *Swelling*

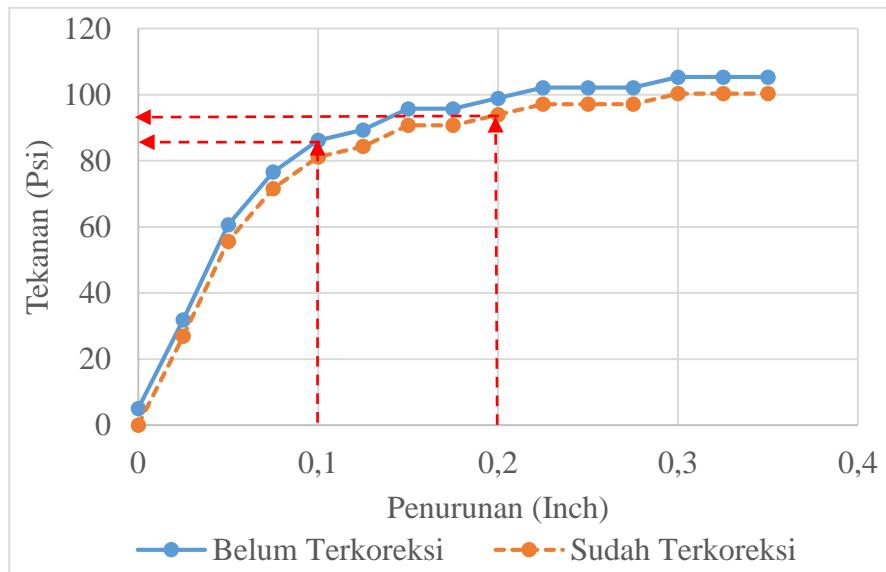
Uji pengembangan ini dilaksanakan dengan cara merendam benda uji CBR laboratorium selama 4 hari dengan 2 benda uji. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengembangan tanah secara maksimal sebelum dilakukan uji pembebanan. Data yang diperoleh tanah akan mengalami pengembangan maksimal sebesar 0.73% dengan waktu perendaman 96 jam atau 4 hari. Untuk pengujian



Gambar 39. Grafik hubungan pengembangan dan waktu CBR1



Gambar 40. Grafik hubungan pengembangan dan waktu benda uji CBR2



Gambar 41. Grafik hubungan tekanan terhadap penurunan

Dari hasil pengujian, nilai CBR tekanan penetrasi pada saat penurunan 0.1 inch terhadap tekanan penetrasi standar 1000 psi didapatkan hasil sebesar

$$CBR = \frac{86.157}{1000} \times 100 = 8.616\%$$

Sedangkan pada saat penetrasi penurunan 0.2 inch terhadap tekanan penetrasi standar 1500 psi didapatkan hasil sebesar

$$CBR = \frac{98.921}{1500} \times 100 = 6.594\%$$

Sehingga nilai CBR yang digunakan adalah saat terjadi penurunan 2 inch dengan nilai 6.594%.

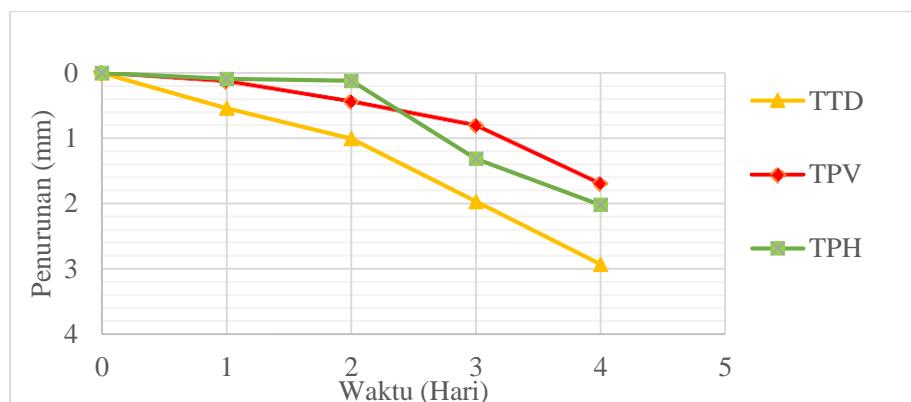
7. Uji Tekan bebas

Pada pengujian tekan bebas sampel tanah diambil langsung di lapangan menggunakan Uji CBR lapangan. Adaro pengujian yang dilakukan didapatkan nilai kuat tekan bebas (q_u) sebesar 1.459 kg/cm^2 , dengan nilai kohesi (C) 0.75 kg/cm^2 , dan sudut pecah 45° . Dengan nilai q_u sebesar 1.459 kg/cm^2 tanah yang diuji memiliki konsistensi kaku.

B. Hasil Pengujian Pembebanan

Setelah proses pengujian penurunan tanah selesai dilaksanakan, data penurunan tiap waktu kemudian diolah menggunakan *Microsoft Excel*, untuk menggambarkan grafik hasil penurunan yang terjadi pada tanah asli tanpa drainase (TTD), drainase kolom pasir vertikal (TPV) dan drainase *layer* pasir horizontal (TPH). Kemudian akan didapatkan kesimpulan pengaruh penggunaan pasir sebagai media drainase dalam proses penurunan tanah. Berikut ini adalah pengolahan data dari hasil pengujian

1. Penurunan akibat pembebangan



Gambar 42. Grafik penurunan masing-masing tanah setelah dibebani

a. Tanah asli tanpa drainase

Pada pengujian ini, tanah lempung tidak diberikan perlakuan drainase menggunakan pasir. Tanah dalam kondisi jenuh air pada hari pertama di bebani dengan tegangan 0.0125 kg/cm^2 . Setelah 24 jam tanah mengalami penurunan sebesar 0.54 mm . Setelah tegangan bertambah 2

kali lipat menjadi 0.025 kg/cm^2 , penurunan yang terjadi menjadi 1.005 mm. Pada hari ke-tiga, saat tegangan 0.05 kg/cm^2 , penurunan yang terjadi menjadi 1.97 mm. Dan pada saat diberi tegangan terbesar yaitu 0.1 kg/cm^2 , total penurunan yang terjadi 2.93 mm.

b. Tanah dengan drainase kolom pasir vertikal

Pada pengujian ini, tanah lempung di beri perlakuan drainase kolom pasir vertikal. Tanah dalam kondisi jenuh air pada hari pertama di bebani dengan tegangan 0.0125 kg/cm^2 . Setelah 24 jam tanah mengalami penurunan sebesar 0.13 mm atau selisih 75.9% dari TTD. Setelah tegangan bertambah 2 kali lipat menjadi 0.025 kg/cm^2 , penurunan yang terjadi menjadi 0.439 mm atau selisih 56.3% dari TTD. Pada hari ke-tiga, saat tegangan 0.05 kg/cm^2 , penurunan yang terjadi menjadi 0.799 mm atau selisih 59.4%. Dan pada saat diberi tegangan terbesar yaitu 0.1 kg/cm^2 , total penurunan yang terjadi 1.69 atau selisih 42.3% dari TTD

c. Tanah dengan drainase *layer* pasir

Pada pengujian ini, tanah lempung di beri perlakuan drainase *layer* pasir horizontal. Tanah dalam kondisi jenuh air pada hari pertama di bebani dengan tegangan 0.0125 kg/cm^2 . Setelah 24 jam tanah mengalami penurunan sebesar 0.091 mm atau selisih 83.1% dari TTD. Setelah tegangan bertambah 2 kali lipat menjadi 0.025 kg/cm^2 , penurunan yang terjadi menjadi 0.12 mm atau selisih 88.1% dari TTD. Pada hari ke-tiga, saat tegangan 0.05 kg/cm^2 , penurunan yang terjadi menjadi 1.315 mm atau selisih 33.2% dari TTD. Dan pada saat diberi tegangan terbesar yaitu 0.1 kg/cm^2 , total penurunan yang terjadi 2.02 atau selisih 31.1% dari TTD

Berdasarkan Gambar 42, grafik masing-masing penurunan tanah setelah dilakukan pembebanan, dapat dilihat pada hari ke empat TPH mengalami penurunan maksimum yaitu 2.02 mm. Sedangkan tanah dengan TPV lebih lambat penurunannya yaitu sebesar 1.69 mm atau memiliki selisih 16,3%. Hal tersebut dikarenakan pasir selain sebagai

material dalam proses drainase juga bisa sebagai perkuatan. Pasir tidak akan mengalami penyusutan akibat pembebahan dikarenakan sudah mencapai kepadatan maksimum saat boks uji tanah di beri air selama 24 jam. Sedangkan pada grafik TTD, tanah mengalami penurunan yang sangat signifikan dikarenakan tidak ada perkuatan dalam menahan beban di atasnya seperti halnya TPV dan TPH.

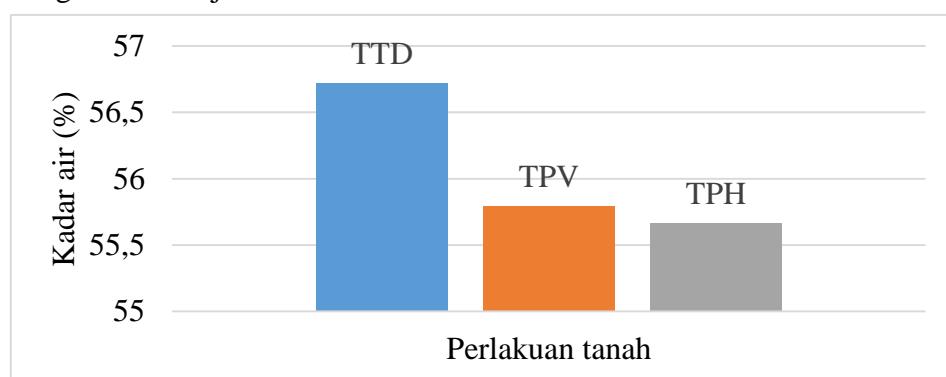
2. Kadar air

Setelah pengujian pembebahan selesai dilaksanakan, kadar air sampel tanah diambil pada elevasi -10 cm dan -20 cm. Berikut data kadar air masing-masing variasi drainase :

Tabel 11. Hasil pengujian kadar air tanah setelah pembebahan

No	Variasi	Kode	Kadar air (%)
1	TTD	KAL1	56.92
		KAL2	56.52
2	TPV	KAL1V	55.66
		KAL2V	55.93
3	TPH	KAL1H	53.3
		KAL2H	58.3

Pengambilan kadar air pada masing-masing lapis berfungsi untuk mengetahui pengurangan kadar air tanah setelah dilakukan pembebahan dengan kondisi jenuh air.



Gambar 43. Diagram kadar air setelah pembebahan

Dari hasil pengujian pada diagram Gambar 43, penggunaan TPH Lebih efektif dalam mengurangi kadar air dalam tanah lempung yaitu berkurang 3.6%, sedang penggunaan TPV kadar air berkurang sebanyak 1.4 % dari kondisi TTD.

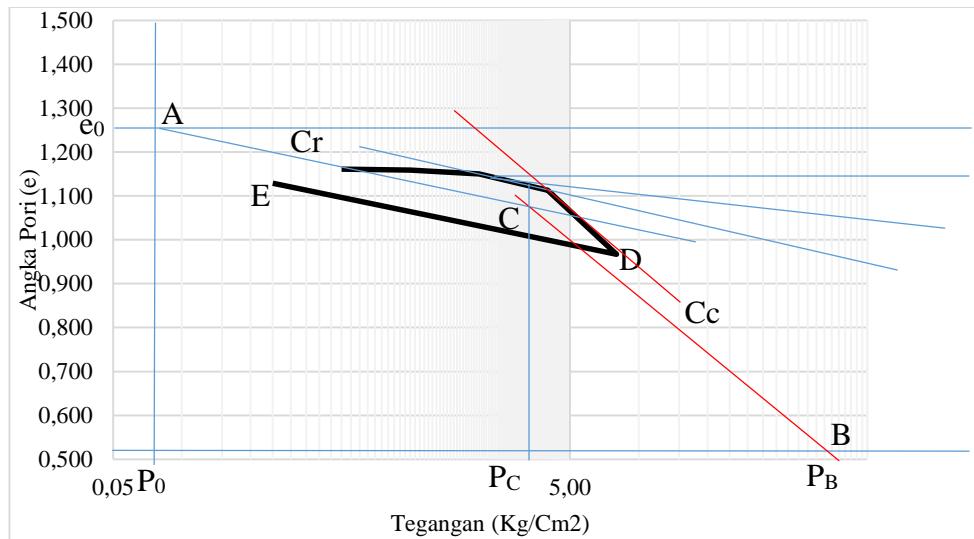
C. Pembahasan

1. Konsolidasi

Pengujian konsolidasi ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan penurunan atau *Settlement*. Dari pengujian konsolidasi di laboratorium didapatkan nilai Koefisien konsolidasi (C_v) sebagai berikut:

Tabel 12. hasil perhitungan koefisien konsolidasi laboratorium (C_v)

Tekanan (kg/cm ²)	Koefisien konsolidasi (cm ² /menit)
0.5	0.013
1	0.016
2	0.029
4	0.039



Gambar 44. Grafik $e \log p$

- a. Analisis data grafik tekanan (P) terhadap angka pori (e):

$$P_c = 3.8 \text{ kg/cm}^2 \text{ (dari grafik)}$$

$$A = (P_0; e_0)$$

$$P_0 = 50 \times \gamma d = 50 \times 1.121 = 56.06 \text{ gr/cm}^2 \approx 0.056 \text{ kg/cm}^2$$

$$e_0 = 1.222$$

dari hasil grafik 43, perpanjangan garis memotong e_0 dengan posisi sebelah kanan titik A, sehingga tanah tersebut termasuk *Overconsolidated* (OC). Pada tanah OC, menurut Hardiyatmo (2012), tanah sudah mengalami tekanan prakonsolidasi, kemudian di waktu

lampaui tanah di atasnya terbongkar dan beban berkurang sampai mencapai tekanan *overburden* (P_o).

$$B = (P_b; e_b)$$

$$e_b = 0.42 \times e_0$$

$$= 0.42 \times 1.222$$

$$= 0.5123$$

$$P_b = 60 \text{ kg/cm}^2 \text{ (perpotongan garis CB dan } e_b \text{)}$$

Maka nilai C_c diperoleh :

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta p} = \frac{(e_o - (0.42 \times e_o))}{\log\left(\frac{Pb}{Po}\right)} = \frac{(1.222 - (0.42 \times 1.222))}{\log\left(\frac{60}{0.056}\right)} = 0.234$$

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta p} = \frac{(eE - eD)}{\log\left(\frac{PD}{PE}\right)} = \frac{(1.129 - 0.967)}{\log\left(\frac{8}{0.25}\right)} = 0.108$$

b. Maka penurunan tanah yang terjadi pada TTP adalah :

$$\text{Tekanan } q = 0.1 \text{ kg/cm}^2$$

Penyebaran tekanan menggunakan persebaran 2V:1H

$$\Delta p = I \times q$$

$$I = \frac{B \times L}{(B + Z) \times (L + Z)} = \frac{20cm \times 20cm}{(20cm + 20cm)^2} = 0.025$$

$$\Delta p = 0.025 \times 0.1 = 0.0025 \text{ kg/cm}^2$$

penurunan akibat konsolidasi lempung :

$$P_1 = Po + \Delta P = 0.056 + 0.0025 = 0.0585 \text{ kg/cm}^2$$

Karena tanah mengalami OC maka persamaan yang digunakan untuk menghitung penurunan dengan $P_1 < P_{c`}$ adalah :

$$S_c = C_r \frac{H}{1+e_0} \log \frac{P_1}{P_0} = 0.108 \frac{20}{1+1.22} \log \frac{0.0585}{0.0561} = 0.018 \text{ cm}$$

Maka diperoleh penurunan konsolidasi total adalah 0.018 cm

c. Menghitung t90

Drainase 1 arah $d=H=20 \text{ cm}$

Untuk derajat konsolidasi =90% maka $T = 0.848$

$$t90 = \frac{d^2}{Cv} \times T = \frac{20^2}{0.013} \times 0.848 = 26092.308 \text{ menit} \approx \pm 18 \text{ hari}$$

d. Menghitung t90 dengan drainase

Drainase 2 arah d=0.5 × H=10 cm

Untuk derajat konsolidasi =90% maka T = 0.848

$$t90 = \frac{d^2}{Cv} \times T_v = \frac{10^2}{0.013} \times 0.848 = 6523,07699 \text{ menit} \approx \pm 4.5 \text{ hari}$$

Dari perhitungan tersebut, penurunan yang terjadi saat t90 pada penggunaan drainase 2 arah (tanah diapit oleh material yang permeabel), dapat memangkas waktu 13.5 hari atau 75% dari tanah tanpa perlakuan drainase.

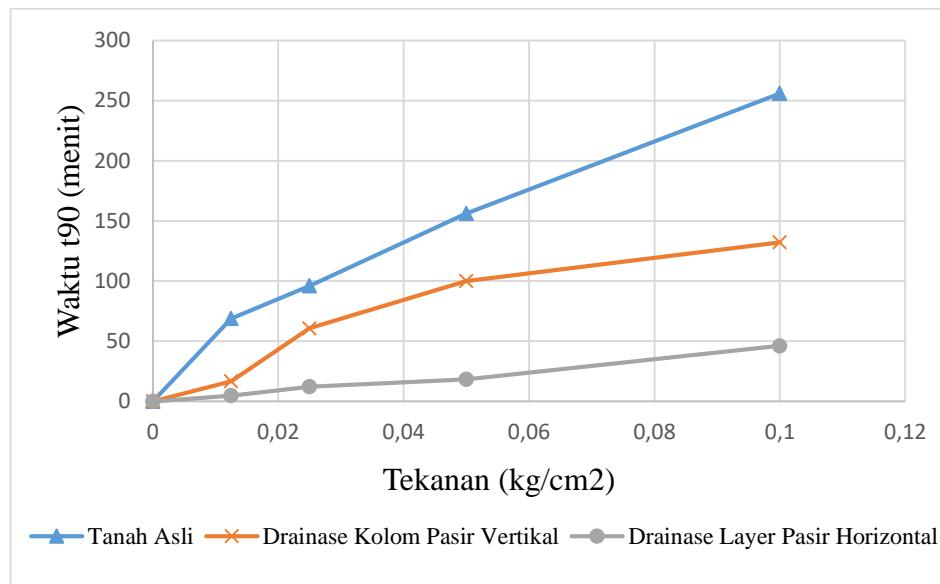
2. Analisis Akar waktu pembebanan

Dalam proses pengujian pembebanan, pengambilan data menggunakan konsep pengujian konsolidasi di mana data yang akan didapatkan berupa grafik akar waktu dan penurunan. Dari grafik akar waktu dan penurunan tersebut akan didapat t90 yang memiliki arti waktu untuk mencapai derajat konsolidasi 90%. Berikut data akar waktu t90 masing-masing pengujian

Tabel 13. Waktu konsolidasi saat t90 masing-masing tekanan

Jenis drainase	Tekanan (kg/cm ²)			
	0.0125	0.025	0.05	0.1
Tanah asli tanpa drainase	68.89'	96.04'	156.25'	256'
Drainase kolom pasir vertikal	16.81'	60.84'	100'	132.25'
Drainase <i>layer</i> pasir horizontal	4.84'	12.25'	18.4'	46.2'

Dari tabel 13, dapat dilihat TPH memiliki waktu tercepat dalam proses konsolidasi yaitu dalam 4 hari dengan tekanan 0.1 kg/cm² dalam 46.2 menit dapat mencapai konsolidasi 90%. Sedangkan TPV memiliki selisih waktu 86.05 menit dengan TPH, yaitu dengan total 132.25 menit untuk mencapai konsolidasi 90% dengan tekanan 0.1 kg/cm²



Gambar 45. Grafik waktu masing-masing tanah untuk mencapai t90

Dalam Gambar 45, penurunan tanah terhadap akar waktu menunjukkan TPH memiliki keefektifan proses konsolidasi dengan memangkas waktu t90 sebesar 209.8 menit atau 82 % setelah tanah diberi tekanan sebesar 0.0125 kg/cm^2 pada hari pertama, 0.025 kg/cm^2 pada hari kedua, 0.05 kg/cm^2 pada hari ketiga, dan 0.1 kg/cm^2 pada hari keempat. Sedangkan TPV dapat memangkas waktu 123.75 menit atau 48% pada hari keempat.

Dari hasil analisis perhitungan penurunan tanah dengan drainase 2 arah untuk mencapai derajat konsolidasi 90%, menghasilkan selisih waktu 75% dibandingkan dengan tanah tanpa perlakuan drainase, sedangkan dalam uji laboratorium, untuk mencapai derajat konsolidasi 90% menghasilkan selisih 82% antara tanah yang diberi perlakuan drainase 2 arah dengan tanah tanpa diberi perlakuan drainase.

Dari hasil penelitian yang dilakukan tersebut sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Terzaghi di mana perhitungan faktor waktu (T_v) dipengaruhi oleh kondisi drainase, 1 arah atau 2 arah. Kondisi drainase 1 arah yaitu untuk kolom pasir vertikal, sehingga dalam persamaan perhitungan T_v menurut Terzaghi $d=H$. Sedangkan untuk drainase *layer* pasir $d=0.5H$, dikarenakan dalam drainase *layer* pasir

horizontal, tanah diapit oleh pasir dan pasir (bersifat permeabel). Hal tersebut terjadi karena butiran pasir yang digunakan sebagai media atau bahan drainase memberikan ruang dan jalan kepada air pori yang lebih pendek ke arah vertikal atau horizontal dan kadar air dalam tanah lempung menjadi berkurang.