

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai hasil penelitian yang dilakukan di dalam laboratorium mekanika tanah, Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Dengan menggunakan tanah lempung yang diambil dari daerah Paron, Kabupaten Ngawi Jawa Timur, diperoleh hasil yang meliputi sifat fisik, lendutan dan tegangan tanah di bawah perkerasan kaku.

Sifat-sifat fisik yang diperoleh adalah untuk mengetahui karakteristik tanah ekspansif. Pengujiannya antara lain adalah *atteberg limit* atau pengujian batas-batas konsistensi, pengujian *free swell*, uji pemadatan standar, dan pengujian minerologi tanah. Sedangkan lendutan dan tegangan tanah didapatkan dari pengujian simulasi pembebanan di atas tanah ekspansif dengan menggunakan roda kendaraan. Pengujian dilakukan dengan kadar air tanah ekspansif yang telah ditentukan dan variasi pembebanan yaitu 3,75 kg, 5 kg, dan 6,125 kg. Hasil dari pengujian akan dipaparkan dalam bentuk tabel dan grafik, meliputi sifat fisik tanah dan besarnya tegangan dan lendutan tanah.

4.1. Karakteristik Tanah Ekspansif

Untuk mengetahui karakteristik tanah ekspansif di Paron-Ngawi maka dilakukan uji dasar karakteristik tanah yang meliputi pemeriksaan batas konsistensi (*Atterberg limit*), *free swell*, uji pemadatan standar dan uji minerologi tanah.

4.1.1 Pengujian batas-batas konsistensi

Pengujian batas-batas konsistensi atau biasa disebut *Atteberg Limit* terdiri dari tiga penelitian yaitu sebagai berikut :

4.1.1.1 Pengujian batas cair (*liquid limit*)

Pengujian batas cair memiliki tujuan untuk menentukan batas cair suatu tanah dan mengetahui jenis serta sifat-sifat tanah dengan ukuran butir lolos saringan no.40. Hasil dari pengujian yang telah didapatkan pada sampel 1 LL = 106,464 % dan pada sampel 2 LL = 101,311 %. Maka nilai batas cair untuk tanah dari daerah paron Kabupaten Ngawi adalah sebesar 103,887 %.

4.1.1.2 Pengujian batas plastis (*plastic limit*) dan indeks plastis

Pengujian batas plastis bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi plastis. Hasil dari pengujian yang didapatkan batas plastis (PL) rata-rata untuk tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini adalah sebesar 47,527 %, sehingga Indeks Plastis yang diperoleh adalah:

$$\begin{aligned} IP &= LL - PL \\ &= 103,887 - 47,527 \\ &= 56,360 \% \end{aligned}$$

4.1.1.3 Pengujian batas plastis susut (*shrinkage limit*)

Pengujian batas susut memiliki tujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat. Dari hasil pengujian di dapatkan hasil bahwa batas susut untuk tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi adalah sebesar 8,992 %.

4.1.2 Pengujian *free swell* (uji pengembangan)

Pada uji pengembangan bebas (*free swell test*), (Gibbs and Holtz, 1956) yang telah dilakukan di laboratorium mekanika tanah Universitas Brawijaya didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.1 Pengujian *Free Swell*

Waktu (menit)	Volume Sampel 1 (ml)	Volume Sampel 2 (ml)
0	10	10
5	27	30
10	27	30
20	27	30
30	27	30
Rata-rata	28,5	

$$\begin{aligned} \text{Pengembangan Bebas} &= \frac{\text{Volume Akhir} - \text{Volume Awal}}{\text{Volume Awal}} \times 100\% \\ &= \frac{28,5 - 10}{10} \times 100\% \\ &= 185 \% \end{aligned}$$

Pada pengujian pengembangan bebas yang telah dilakukan di laboratorium mekanika tanah universitas brawijaya ini, diperoleh hasil pengembangan yang terjadi adalah sebesar 185 %.

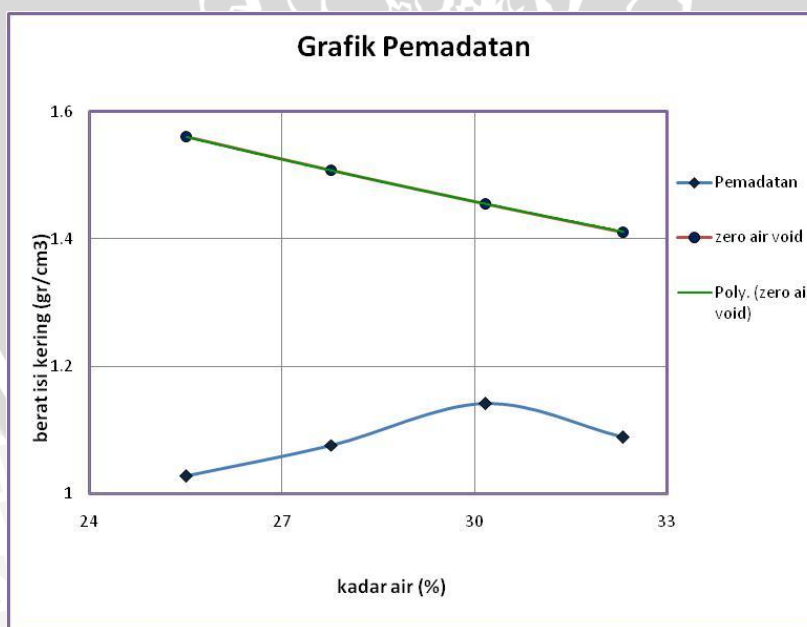
4.1.3 Uji pemadatan standar

Uji pemadatan standar memiliki tujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan dengan cara memadatkan suatu sampel tanah dalam silinder berukuran tertentu menggunakan cetakan, sampel tanah yang digunakan adalah tanah yang lolos saringan no. 4.

Selain itu uji proctor standar juga memiliki tujuan untuk mencari nilai kepadatan maksimum (*Maximum Dry Density*) dari suatu sampel tanah. Pada pengujian proctor standar didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Proctor Standar

Percobaan		1	2	3	4
Kadar Air	%	25,506	27,768	30,169	32,308
Berat Isi Kering (γ_d)	gr/cm ³	1,027	1,076	1,142	1,088
Berat volume pada saat <i>zero air void</i> (γ_{zav})	gr/cm ³	1,584	1,530	1,476	1,430

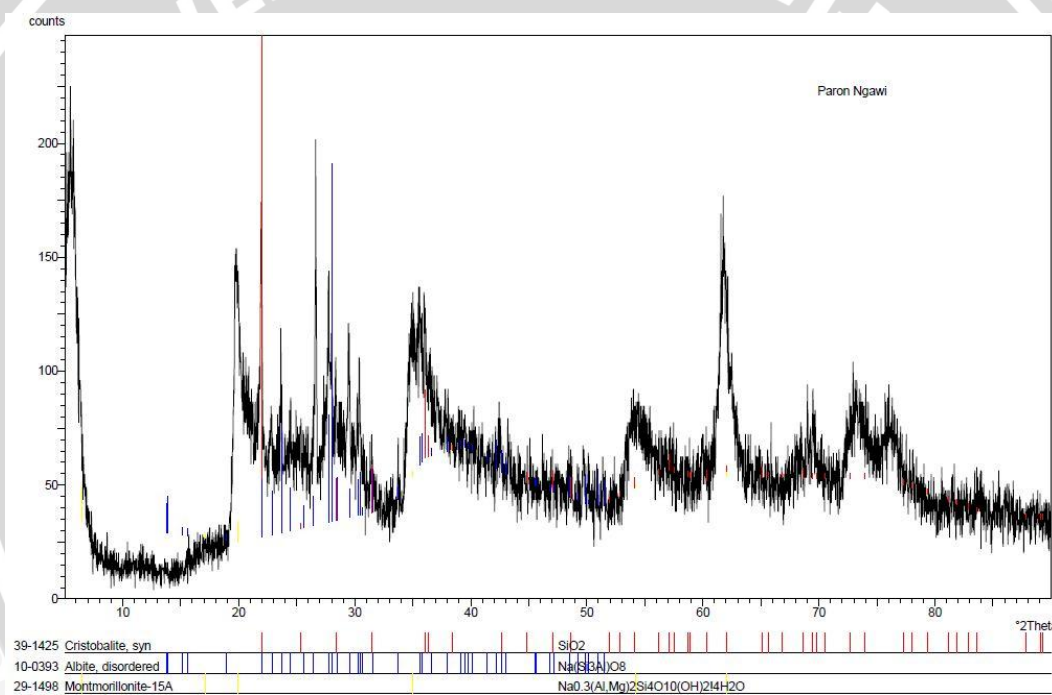


Gambar 4.1 Hubungan antara kadar air dengan berat volume tanah kering

Dari kurva yang didapatkan di atas, dapat diketahui bahwa tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini memiliki nilai kadar air optimum (OMC) sebesar 30,169 % dengan berat volume kering maksimum (γ_d maks) sebesar 1,142 gr/cm³.

4.1.4 Pengujian minerologi tanah

Pada pengujian kandungan minerologi tanah ini dilakukan dengan metode difraksi sinar X (*X-Ray Diffraction*) atau yang sering dikenal dengan XRD, adalah merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit. Pengujian berupa identifikasi kristalit (kualitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X. Pengujian ini dilakukan pada tanggal 22 Juni 2012 di laboratorium Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.



Gambar 4.2 Hasil analisis kualitatif dari difraksi sinar X

Dari gambar di atas didapatkan bahwa komposisi mineral adalah *Albite* SiO₂, *Christobalite* Na(Si₃Al)O₈, *Montmorillonite* Na_{0.3}(Al,Mg)₂Si₄O₁₀(OH)₂·4H₂O.

4.2. Tegangan dan Lendutan Pada Tanah Ekspansif

Setelah dilakukan uji pemadatan tanah dan *free swell* dapat diketahui bahwa kadar air optimum (OMC) tanah ekspansif Paron-Ngawi ini sebesar 30,169 % dan pengembangan terbesar terjadi antara penambahan air 15%-30%, maka pada pembahasan ini uji tegangan dan lendutan tanah ini dibatasi hanya menggunakan penambahan air 15%-30% dengan variasi beban yaitu 3,75 kg, 5 kg, dan 6,125 kg.

Berikut adalah perhitungan berat volume dan kadar air yang di ambil dari setiap penambah air yang telah ditentukan.

Tabel 4.3 Kondisi Tanah Awal (Kering Oven)

sampel	1	2	3
berat cawan (gram)	5,7	5,7	4,2
berat cawan + tanah basa (gram)	27,6	31,5	27,3
berat cawan + tanah kering (gram)	25	28,5	24,6
berat air (gram)	2,6	3	2,7
kadar air (%)	13,47	13,16	13,24
kadar air rata-rata (%)	13,29		

Tabel 4.4 Kondisi Tanah Setelah 24 Jam Penambahan Air 15%

sampel	1	2	3
volume ring (cm ³)	10,38		
berat ring (gram)	18,4	18,8	18,4
berat ring + tanah basa (gram)	34,7	36	35
berat ring + tanah kering (gram)	27,5	29,1	27,1
berat air (gram)	7,2	6,9	7,9
kadar air (%)	79,12	66,99	90,80
γ (gram/cm ³)	1,57	1,66	1,60
γ_d (gram/cm ³)	0,88	0,99	0,84
kadar air rata-rata (%)	78,97		
γ (gram/cm³)	1,61		
γ_d (gram/cm³)	0,90		

Tabel 4.5 Kondisi Tanah Setelah 24 Jam Penambahan Air 30%

sampel	1	2	3
volume ring (cm ³)	10,38		
berat ring (gram)	18,5	18,4	18,6
berat ring + tanah basa (gram)	34,1	34,7	34,8
berat ring + tanah kering (gram)	27,5	28	28
berat air (gram)	6,6	6,7	6,8
kadar air (%)	73,33	69,79	72,34
γ (gram/cm ³)	1,50	1,57	1,56
γ_d (gram/cm ³)	0,87	0,92	0,91
kadar air rata-rata (%)	71,82		
γ (gram/cm³)	1,54		
γ_d (gram/cm³)	0,90		

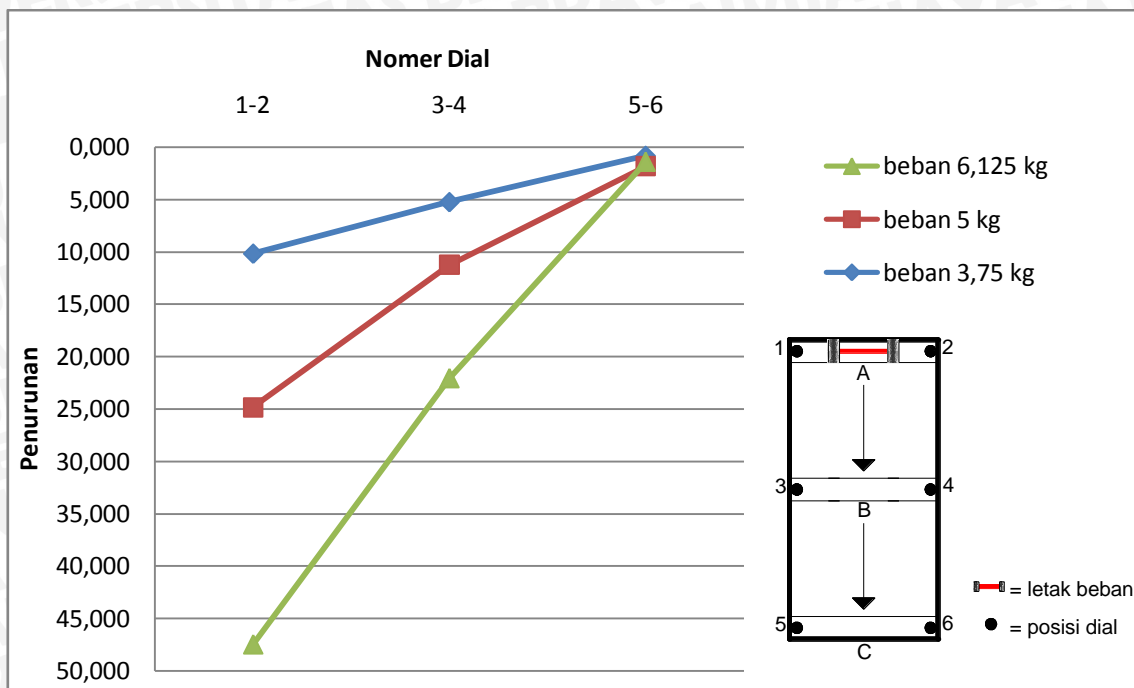
Berdasarkan tabel di atas, didapatkan kadar air pada kondisi kering oven sebesar 13,29% sedangkan pada kondisi 24 jam setelah diberi 15% air adalah 78,97%. Hal ini sangat berbeda jauh dari kadar air yang telah direncanakan, ini disebabkan pada saat mengambil sampel kadar air dan γ_d tanah, air belum sepenuhnya masuk sampai ke bawah permukaan box. Begitu juga hal yang sama terjadi pada penambahan air 30% yaitu sebesar 71,82 %.

4.2.1. Lendutan tanah

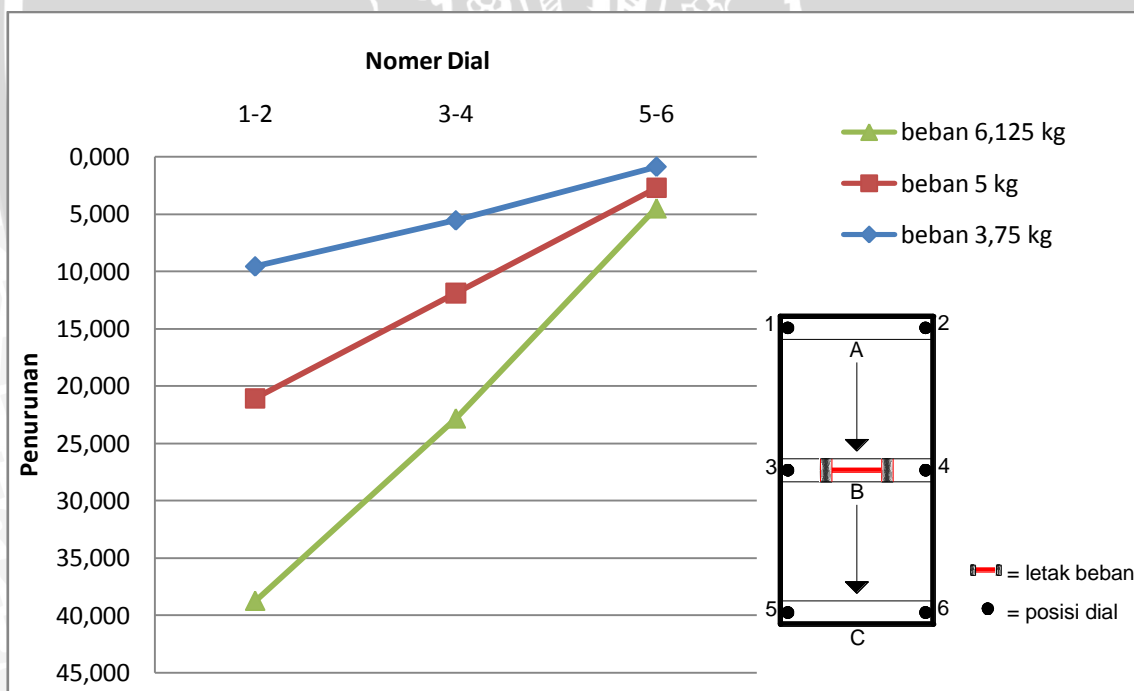
Pada pengujian ini, lendutan atau penurunan tanah didapatkan dari uji simulasi pembebanan dengan menggunakan roda kendaraan yang dijalankan di atas model perkerasan kaku. Pengujian dilakukan setelah 24 jam dengan penambahan air yang telah ditentukan pada tanah ekspansif sebagai subgrade yaitu 15% dan 30%. Beban yang diujikan terdiri dari tiga variasi yaitu 3,75 kg, 5 kg, dan 6,125 kg dengan melakukan tiga kali lintasan dan meninjau tiga titik dari setiap lintasannya. Penurunan tanah terhadap beban dapat dilihat dari grafik berikut ini:

Tabel 4.6 Lendutan Tanah Terhadap Variasi Beban Dengan Penambahan Air 15%

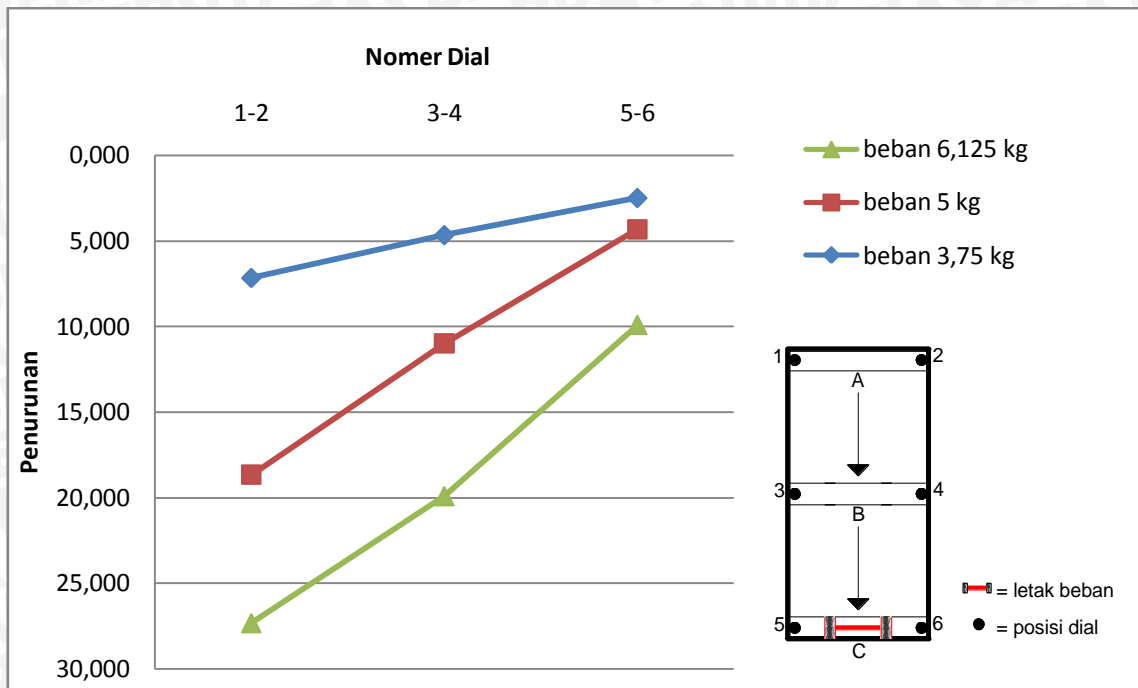
BEBAN (kg)	Titik	PENURUNAN TANAH (x 0,01 mm)		
		1-2	3-4	5-6
3,75	A	10,167	5,250	0,833
	B	9,583	5,583	0,917
	C	7,167	4,667	2,500
5	A	14,667	6,000	1,000
	B	11,500	6,333	1,833
	C	6,167	5,000	4,667
6,125	A	22,667	10,833	-0,417
	B	17,667	10,917	1,750
	C	8,667	8,917	5,583



Gambar 4.3 Lendutan tanah terhadap beban dengan 15% air dan beban diletakkan di titik A



Gambar 4.4 Lendutan tanah terhadap beban dengan 15% air dan beban diletakkan di titik B

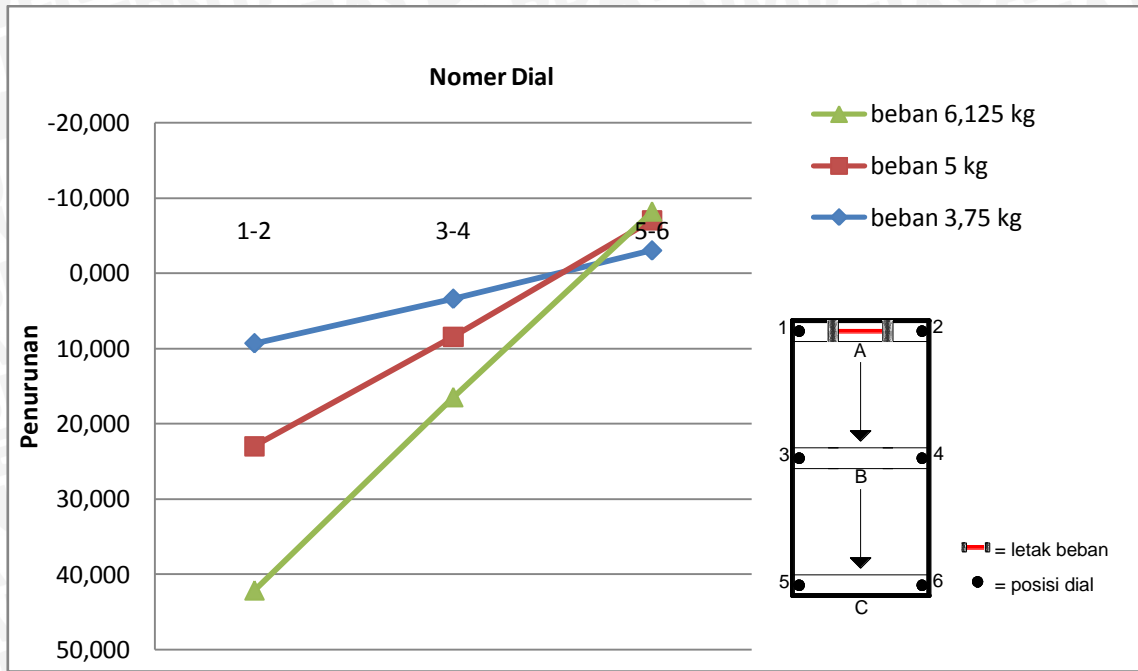


Gambar 4.5 Lendutan tanah terhadap beban dengan 15% air dan beban diletakkan di titik C

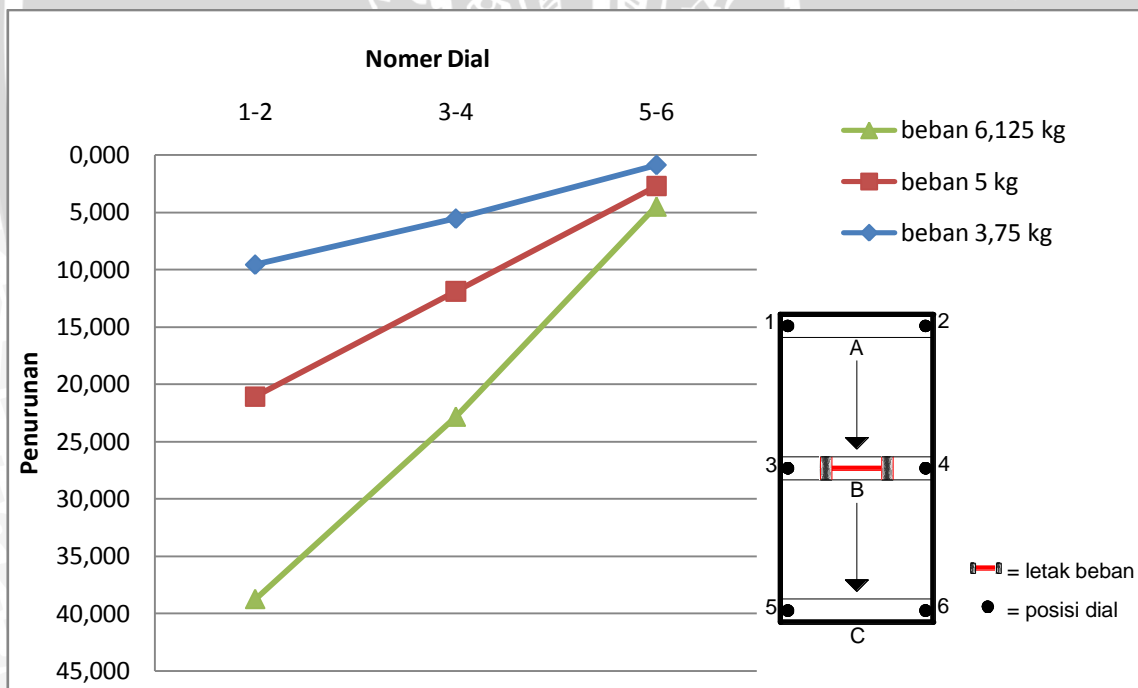
Dari grafik penurunan tanah terhadap beban dengan penambahan air 15% di atas dengan variasi beban yang berbeda-beda dapat diketahui bahwa semakin besar beban maka semakin besar penurunan tanah yang terjadi dan penurunan terbesar terjadi pada dial 1-2 yang disebabkan penyebaran air tidak merata.

Tabel 4.7 Lendutan Tanah Terhadap Variasi Beban Dengan Penambahan Air 30%

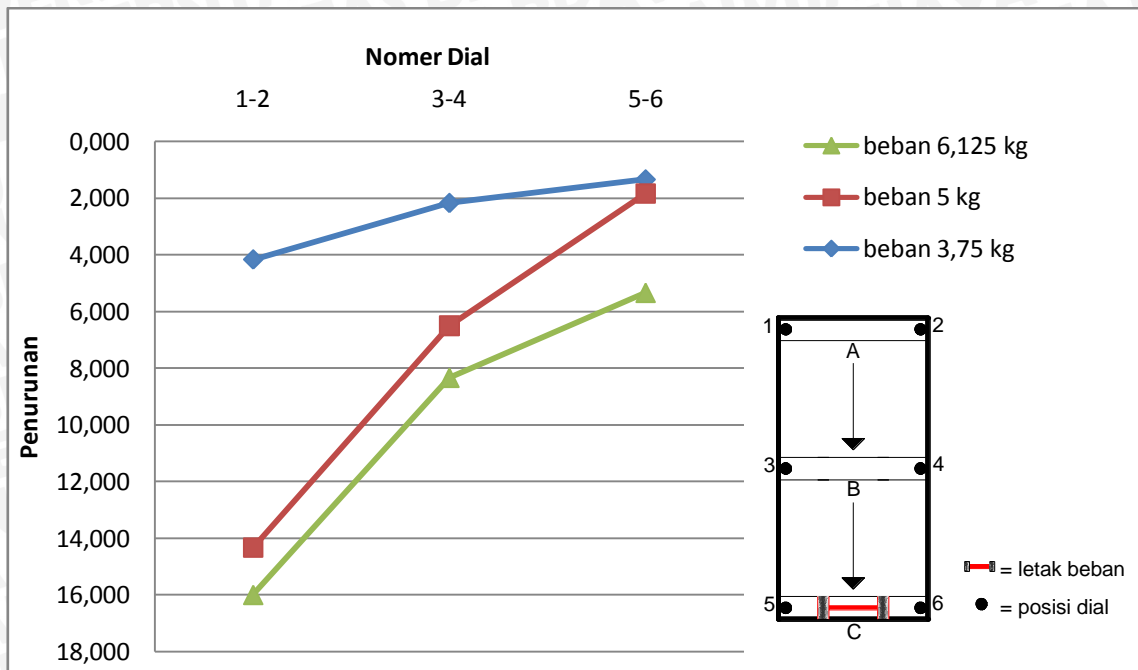
BEBAN (Kg)	Titik	PENURUNAN TANAH (x 0,01 mm)		
		1-2	3-4	5-6
3,75	A	9,333	3,417	-3,000
	B	8,333	3,417	-1,000
	C	4,167	2,167	1,333
5	A	13,667	5,083	-4,000
	B	10,167	4,333	0,500
	C	2,167	3,083	2,917
6,125	A	19,167	8,000	-1,167
	B	12,500	5,250	0,167
	C	1,667	1,833	3,500



Gambar 4.6 Lendutan tanah terhadap beban dengan 30% air dan beban diletakkan di titik A



Gambar 4.7 Lendutan tanah terhadap beban dengan 30% air dan beban diletakkan di titik B



Gambar 4.8 Lendutan tanah terhadap beban dengan 30% air dan beban diletakkan di titik C

Dari grafik lendutan tanah terhadap beban dengan penambahan air 30% di atas dengan variasi beban yang berbeda-beda dapat diketahui bahwa penurunan terbesar terletak pada dial 1-2. Ketika beban diletakkan di titik A maka dial 5-6 cenderung mengalami kenaikan, hal ini disebabkan oleh sifat ekspansif yang ada pada tanah tersebut sehingga menyebabkan penyebaran air yang tidak merata dan miringnya perkerasan.

4.2.2. Tegangan tanah

Pada penelitian ini besarnya nilai tegangan tanah yang ditampilkan akan disajikan dalam dua bentuk yaitu tegangan aktual dan tegangan teoritis. Tegangan aktual didapatkan dari hasil penelitian melalui alat pengukur tegangan yang diletakkan di dalam box model perkerasan (detail pada lampiran). Sedangkan tegangan teoritis adalah perhitungan tegangan tanah dengan menggunakan teori *Boussinesq*. Pada tegangan aktual, nilai tegangan diambil pada saat 24 jam setelah direndam dengan penambahan air 15% dan 30%.

4.2.2.1. Tegangan tanah aktual

Besarnya nilai tegangan tanah aktual ini adalah hasil pembacaan dari alat pengukur tegangan tanah yang diletakkan dalam *box* model perkerasan. Alat ini diletakkan dengan ketinggian 6 cm dari permukaan dasar *box*. Alat ini juga hanya dapat

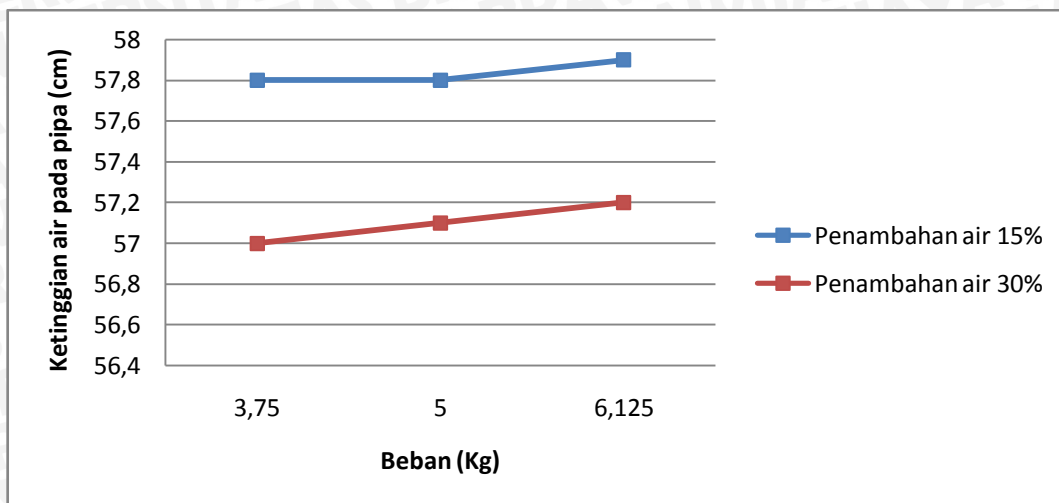
menunjukkan tegangan pada saat kondisi tersebut apakah lebih besar atau lebih kecil daripada keadaan sebelumnya, bukan mendapatkan nilai tegangan tanah yang sebenarnya. Sehingga hasil dari pengukuran tegangan ini hanya diketahui pola perubahan tegangan saja. Mekanisme kerja dari alat pengukur tegangan ini adalah air diisi ke dalam pipa dengan ketinggian tertentu, jika air pada pipa turun dari keadaan awal, maka tegangan tanah tersebut berarti mengecil, sebaliknya jika air dalam pipa naik, maka tegangan tanah tersebut berarti membesar. Berikut adalah hasil dari pembacaan tegangan tanah tersebut.

Tabel 4.8 Besar Perubahan Ketinggian Air Pada Pipa Dengan Variasi Beban Pada Penambahan Air 15%

No	Besarnya beban (kg)	Besar perubahan ketinggian air
1	3,75	57,8
2	5	57,8
3	6,125	57,9

Tabel 4.9 Besar Perubahan Ketinggian Air Pada Pipa Dengan Variasi Beban Pada Penambahan Air 30%

No	Besarnya beban (kg)	Besar perubahan ketinggian air
1	3,75	57
2	5	57,1
3	6,125	57,2



Gambar 4.9 Perubahan pola tegangan yang diakibatkan perubahan ketinggian air pada pipa dengan variasi beban

Dari grafik diatas dapat ditunjukkan bahwa semakin besar beban dengan penambahan air, maka semakin kecil tegangan yang terjadi pada tanah.

4.2.2.2. Tegangan tanah teoritis

Tegangan tanah teoritis pada penelitian ini dihitung dengan menggunakan teori *Bousinnesq* yakni menganggap bahwa kondisi tanah homogen (γ pada tiap lapisan sama nilainya). Hasil dari perhitungan ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.10 Tegangan Tanah yang Terjadi Akibat Variasi Beban dengan Penambahan Air 15%

No	Berat Beban	γ (gram/cm ³)	$\sigma 1$ (gram/cm ²)	$\sigma 2$ (gram/cm ²)	σ total(gram/cm ²)
1	3.75 kg	1,61	4,31376	0,097	4,410
2	5 kg	1,61	5,73876	0,097	5,835
3	6.125 kg	1,61	7,02126	0,097	7,118

Tabel 4.11 Tegangan Tanah yang Terjadi Akibat Variasi Beban dengan Penambahan Air 30%

No	Berat Beban	γ (gram/cm ³)	$\sigma 1$ (gram/cm ²)	$\sigma 2$ (gram/cm ²)	σ total(gram/cm ²)
1	3.75 kg	1,54	4,31376	0,092	4,406
2	5 kg	1,54	5,73876	0,092	5,831
3	6.125 kg	1,54	7,02126	0,092	7,114

Dengan :

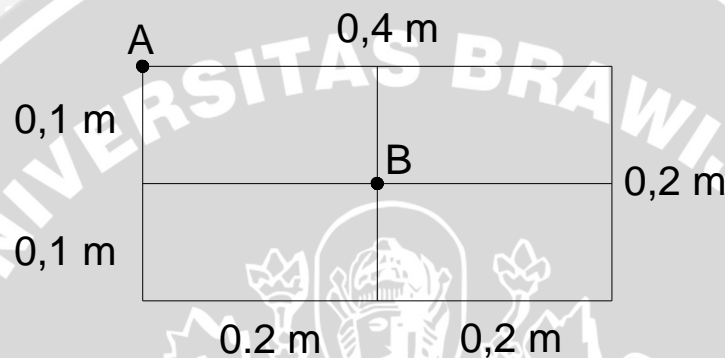
γ = berat volume tanah yang dianggap sama tiap lapisan tanah (gram/cm^3)

σ_1 = tegangan akibat berat tanah sendiri (gram/cm^2)

σ_2 = tegangan akibat perkerasan kaku (gram/cm^2)

σ_{total} = tegangan total yang terjadi akibat berat perkerasan dan tanah (gram/cm^2)

Contoh perhitungan :



Gambar 4.10 Tegangan akibat beban perkerasan terbagi rata berbentuk empat persegi panjang

q = $4,73 \text{ gram}/\text{cm}^2$ (berat sendiri perkerasan kaku)

B = 10 cm (panjang perkerasan kaku)

L = 20 cm (lebar perkerasan kaku)

Z = 6 cm

m = $B/Z = 1,667$

n = $L/Z = 3,333$

I = $0,228$ (*U.S. Navy, 1971*)

γ = $1,61 \text{ gram}/\text{cm}^3$

Kondisi penambahan air 15%

Tegangan akibat berat tanah sendiri (σ_1)

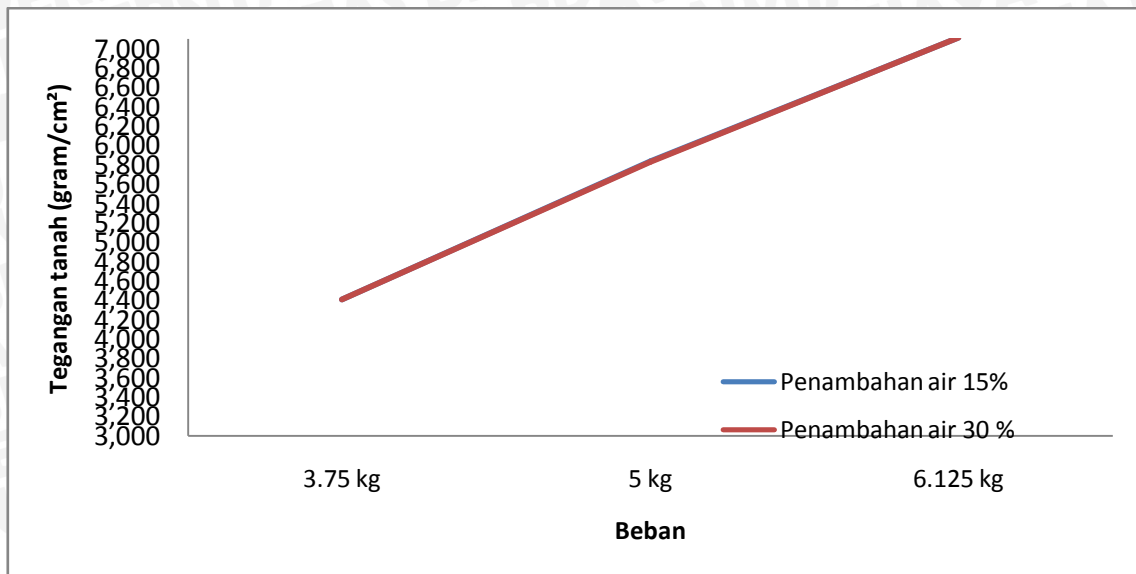
$\sigma_1 = z \times \gamma = 0,06 \times 1,61 = 0,097 \text{ gram}/\text{cm}^2$

Tegangan akibat perkerasan kaku (σ_2)

$\sigma_2 = 4 \times q \times I = 4 \times 4,73 \times 0,228 = 4,31376 \text{ gram}/\text{cm}^2$

Tegangan total yang terjadi akibat berat tanah dan perkerasan (σ) = $\sigma_1 + \sigma_2$

= $4,410 \text{ gram}/\text{cm}^2$



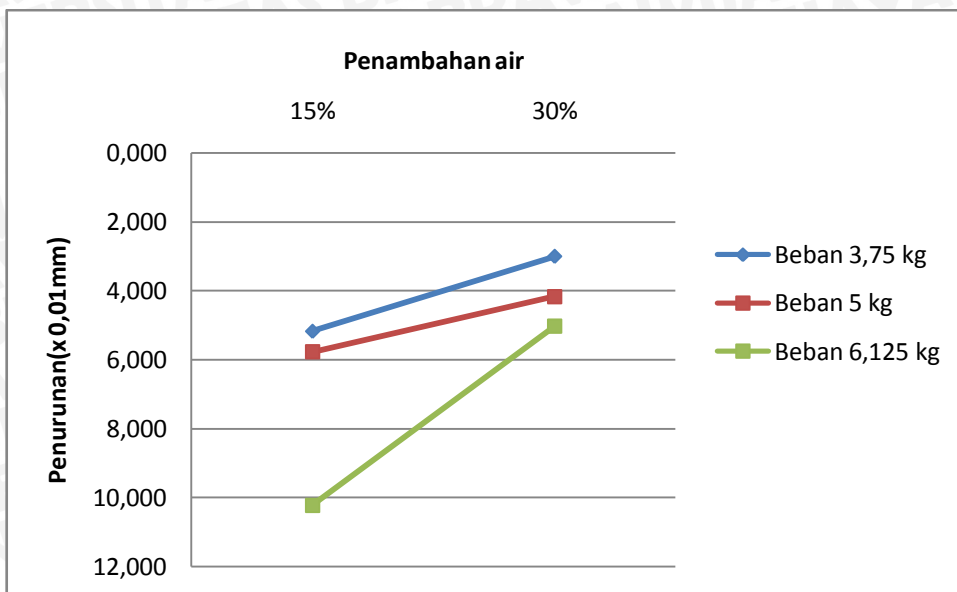
Gambar 4.11 Hubungan antara besar tegangan tanah terhadap variasi beban

4.2.3. Hubungan antara beban, penambahan air dengan lendutan dan tegangan

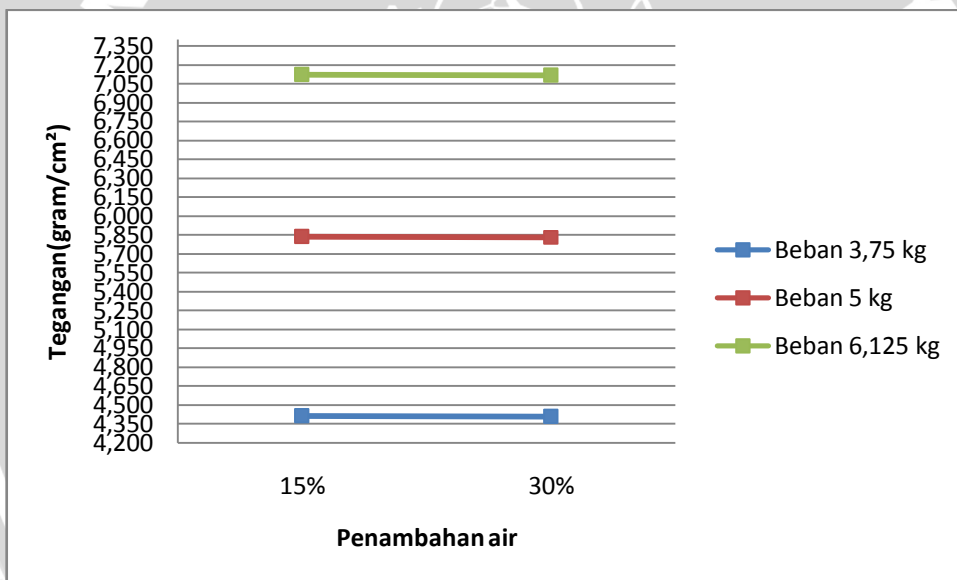
Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara beban dan penambahan air terhadap besarnya tegangan dan lendutan yang terjadi pada tanah. Penambahan air yang digunakan sebesar 15% dan 30% dengan variasi beban pada tiap-tiap penambahan air. Untuk menunjukkan besar nilai lendutan tanah pada penelitian ini dipakai nilai lendutan rata-rata dari tiap lintasan dan meninjau dial 3-4 yang berada di tengah model perkerasan. Sedangkan nilai tegangan diambil dari perhitungan tegangan secara teoritis sesuai dengan perhitungan di atas. Berikut adalah besar lendutan dan tegangan yang terjadi pada tanah dengan kadar air dan variasi beban yang telah ditetapkan.

Tabel 4.12 Hubungan Antara Beban dan Kadar Air Terhadap Tegangan dan Lendutan yang Terjadi Pada Tanah

No	Berat Beban (kg)	Kadar Air	Lendutan(x 0,01 mm)	Tegangan (gram/cm ²)
1	3,75	15%	5,167	4,410
		30%	3,000	4,406
2	5	15%	5,778	5,835
		30%	4,167	5,831
3	6,125	15%	10,222	7,118
		30%	5,028	7,114



Gambar 4.12 Hubungan antara beban dan penambahan air dengan lendutan yang terjadi pada tanah



Gambar 4.13 Hubungan antara beban dan penambahan air dengan tegangan yang terjadi pada tanah

4.3 Pembahasan

4.3.1 Karakteristik jenis tanah ekspansif Paron Ngawi

4.3.1.1. Berdasarkan batas-batas konsistensi (*Atterberg limit*)

Berdasarkan terhadap batas-batas *atterberg* terdapat beberapa parameter dalam penentuan jenis tanah, dengan data yang telah diperoleh yaitu :

LL = 103,887 %

PL = 47,527 %

IP = 56,360 %

SL = 8,992 %

Probable Swell = 185 %

Dari hasil penelitian yang diperoleh yaitu SL sebesar 8,992 % dengan Potensi mengembang (*Probable Swell*) sebesar 1,85. Berdasarkan **Tabel 2.1** maka tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong dalam tanah ekspansif tingkat kritis.

Sedangkan berdasarkan **Tabel 2.2**, tanah dengan nilai Indeks Plastis sebesar 56,360 % tergolong tanah ekspansif tingkat sangat tinggi (*very high*), namun menurut Raman tanah dengan SL 8,992% tergolong tanah ekspansif tingkat rendah, hal tersebut bertolak belakang dengan Altmeyer yang menyatakan kebalikannya.

Sama halnya dengan Raman, menurut Chen tanah dengan nilai Indeks Plastis sebesar 56,3605 % > 35 % tergolong dalam tanah ekspansif dengan potensi mengembang yang sangat tinggi, hal ini bisa dilihat pada **Tabel 2.3**.

4.3.1.2. Berdasarkan hasil tes dengan difraksi sinar X

Berdasarkan hasil pengujian mineralogi tanah dengan metode difraksi sinar X didapatkan bahwa komposisi susunan bentuk tanah ini adalah montmorillonite $\text{Na}_0.3(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. *Monmorillonite* merupakan kelompok lempung yang mudah *swelling*. Tanah yang mengandung *monmorillonite* sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air. Tekanan pengembangan yang dihasilkan dapat merusak struktur ringan dan perkerasan jalan raya.

4.3.2 Hubungan antara beban dan penambahan air dengan tegangan dan lendutan yang terjadi pada tanah

4.3.2.1. Hubungan antara beban dan penambahan air dengan lendutan yang terjadi pada tanah

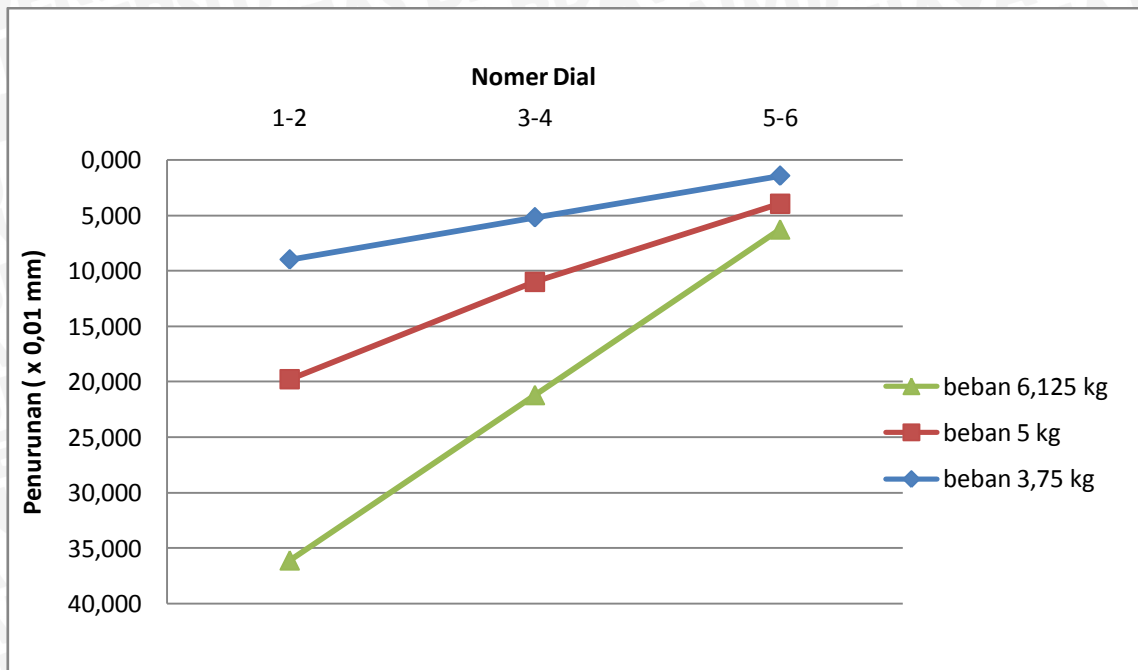
Hubungan antara variasi beban dengan penurunan pada tanah ekspansif dapat dilihat **Gambar 4.3-4.8**. Gambar tersebut menunjukkan pengaruh beban pada penurunan tanah pada rata-rata lintasan dan meninjau dari setiap dial yang diletakkan pada perkerasan kaku yang hasilnya ditunjukkan pada **Tabel 4.6-4.7**. Sedangkan kadar air yang terjadi pada permukaan tanah setelah penambahan air setelah 24 jam ditunjukkan pada **Tabel 4.3-4.5**. Berikut adalah penurunan tanah dengan meninjau rata-rata penurunan pada masing-masing dial:

Tabel 4.13 Penurunan Tanah Akibat Variasi Beban Pada Masing-Masing Dial dengan Penambahan Air 15%

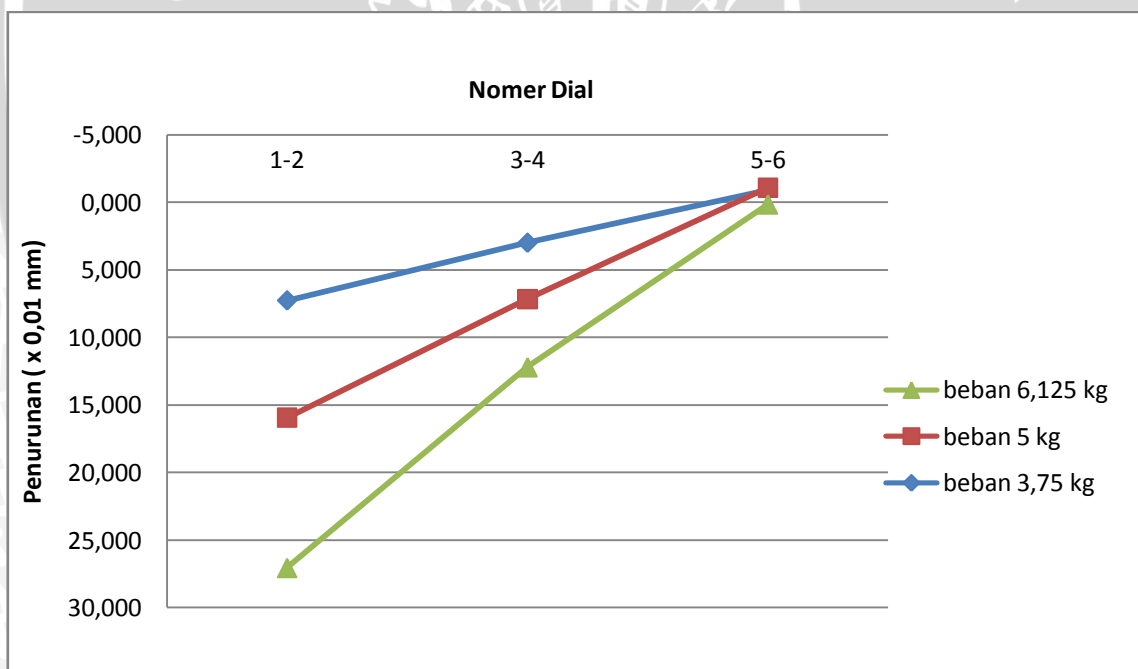
No	BEBAN (Kg)	Penurunan pada dial (x 0.01 mm)		
		1-2	3-4	5-6
1	3,75	8,972	5,167	1,417
2	5	10,778	5,778	2,500
3	6,125	16,333	10,222	2,306

Tabel 4.14 Penurunan Tanah Akibat Variasi Beban Pada Masing-Masing Dial dengan Penambahan Air 30%

No	BEBAN (Kg)	Penurunan pada dial (x 0.01 mm)		
		1-2	3-4	5-6
1	3,75	7,278	3,000	-0,889
2	5	8,667	4,167	-0,194
3	6,125	11,111	5,028	1,222



Gambar 4.14 Hubungan antara lendutan tanah terhadap beban pada masing-masing dial yang bekerja dari rata-rata lintasan dan titik dengan penambahan air 15%



Gambar 4.15 Hubungan antara lendutan tanah terhadap beban pada masing-masing dial yang bekerja dari rata-rata lintasan dan titik dengan penambahan air 30%

Dari **Tabel 4.13** diatas dapat diketahui bahwa pada perkerasan kaku dengan penambahan air 15% posisi dial 1-2 mengalami penurunan yang paling besar pada beban 6,125 kg yaitu sebesar 0,163 mm dan penurunan paling kecil pada beban 3,75 yaitu sebesar 0,0897 mm. Hal yang sama pun terjadi pada tanah dengan kondisi

penambahan air 30% yaitu pada dial 1-2 penurunan terbesar pada beban 6,125 kg yaitu 0,111 mm dan penurunan terkecil pada beban 3,75 kg yaitu 0,728 mm. Kemudian pada beban 5 kg dan 6,125 kg dengan posisi dial 1-2 penambahan air 15% penurunan cenderung membesar yakni 0,10778 mm dan 0,16333 mm. Tetapi pada kondisi tanah dengan penambahan air 30% penurunan cenderung mengecil yaitu 0,8667 mm dan 0,1111 mm. Hal yang sama pun terjadi pada posisi dial 3-4 dan 5-6. Jadi dapat disimpulkan bahwa penambahan air pada variasi beban mengakibatkan penurunan yang semakin kecil, hal ini disebabkan *swelling* pada penambahan air 15% lebih besar daripada *swelling* pada penambahan 30%.

Jika melihat dari posisi dial yaitu dial 1-2, 3-4 dan 5-6 terlihat bahwa penurunan tanah pada dial 1-2 sangat lah besar dibanding dengan dial 3-4 dan 5-6. Ini disebabkan perkerasan kaku tidak seimbang atau dalam keadaan miring yang disebabkan oleh tidak optimalnya air yang menyebar ke dalam lapisan tanah sehingga pengembangan yang terjadi pun tidak merata. Hal ini tentunya disebabkan oleh sifat ekspansif yang terkandung dalam tanah itu sendiri. Jika dibiarkan terus menerus keadaan ini lah yang dapat menyebabkan kerusakan pada perkerasan jalan, karena perkerasan tidak mampu menahan pengembangan yang besar yang terjadi pada tanah

4.3.2.2. Hubungan antara beban dan penambahan air dengan tegangan yang terjadi pada tanah

Dari hasil penelitian pada model perkerasan kaku yang diletakkan di atas tanah ekspansif telah di dapatkan besarnya nilai tegangan tanah secara aktual maupun teoritis dengan variasi beban yang telah diberikan yakni sebagai berikut:

Tabel 4.15 Nilai Tegangan Tanah Aktual dan Teoritis

No	Berat Beban (kg)	Kadar Air	Tegangan Teoritis (gram/cm ²)	Tegangan Aktual (x 0,01 mm)
1	3,75	15%	4,410	57,8
		30%	4,406	57
2	5	15%	5,835	57,8
		30%	5,831	57,1
3	6,125	15%	7,118	57,9
		30%	7,114	57,2

Besarnya nilai tegangan aktual pada tabel di atas bukanlah nilai tegangan yang sebenarnya, nilai tegangan aktual di atas hanya menunjukkan kenaikan atau penurunan pada tegangan tanah apabila diberi beban dan penambahan air tertentu pada saat uji pembebanan. Jadi besarnya nilai tegangan aktual di atas hanya menunjukkan pola tegangan tanah yang terjadi.

Dari hasil penelitian didapatkan pada beban 3,75 kg sampai 6,125 kg pola tegangan tanah cenderung naik. Sedangkan pada penambahan air 15% sampai 30% tegangan pada tanah cenderung menurun. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar beban, maka semakin besar tegangan yang terjadi pada tanah, tetapi semakin besar penambahan air maka semakin kecil tegangan. Hal ini disebabkan pada penambahan air 15% berat volume tanah lebih besar daripada berat volume tanah dengan kondisi 30%. Jika berat volume tanah semakin besar maka tegangan tanah juga semakin besar. Oleh karena itu tegangan pada kadar air 15% lebih besar daripada tegangan pada kadar air 30%. Selain itu adanya *vertical barrier* pada perkerasan jalan sepanjang 5 cm yang tertanam di dalam tanah ikut mempengaruhi kondisi tanah yang ada karena air yang seharusnya menyebar ke dalam tanah tidak dapat menyebar karena terhalang oleh *vertical barrier*, sehingga tanah yang berada di tanah kepadatannya tidak merata dan pada saat kadar air 15% hingga kadar 30% ada pertambahan waktu yang menyebabkan air pada tanah tersebut sudah dapat meresap secara merata yang akhirnya dapat memperkecil tegangan.

