

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah bertujuan untuk menentukan jenis suatu tanah berdasarkan parameter-parameter tertentu yang telah disepakati. Klasifikasi tanah dapat dilakukan dengan menganalisis ukuran butiran tanah serta uji konsistensi dan plastisitas tanah. Ukuran butiran tanah ditentukan melalui analisis saringan dan analisis hidrometer. Konsistensi dan plastisitas tanah dapat diketahui dengan uji batas-batas *Atterberg*.

4.1.1 Analisis Saringan (*Mechanical Grain Size*) dan Hidrometer

Analisis saringan bertujuan untuk menentukan distribusi butiran kasar dan halus yang tertahan pada saringan nomor 200 (0,075 mm). Data hasil analisis saringan tanah di Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro ditunjukkan pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Analisis Saringan

No.	Saringan	Tertahan saringan (gram)	Jumlah Tertahan (gram)	Prosentase Tertahan (%)	Prosentase Lolos (%)
	Diameter (mm)				
4	4,75	0	0	0	100
10	2	0	0	0	100
20	0,85	0	0	0	100
40	0,425	0	0	0	100
50	0,3	0	0	0	100
80	0,18	0	0	0	100
100	0,15	5,4	5,4	1,0887	98,911
200	0,075	17,9	23,3	4,6976	95,302
Pan	-	472,7	496	100	0
Total		496			

(Sumber: Benny Tobing, dkk, 2014)

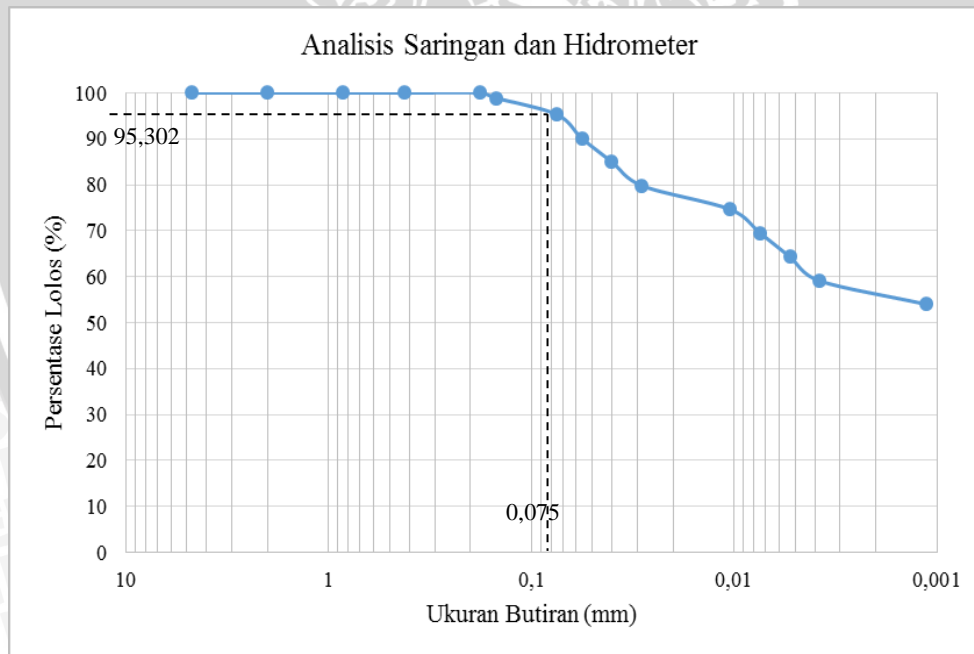
Analisis hidrometer bertujuan untuk menentukan distribusi butiran tanah yang lolos saringan nomor 200. Data uji hidrometer ditunjukkan pada Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Data Hasil Uji Hidrometer

t	C	Rh	Cr	Rc	a	Finer	Prosentase Finer	R	L	L/t	K	D	% semua sampel (grainsize + hydrometer)
(minute)	(°C)			(Rh+Ct)		(%)	(%)		(cm)			(mm)	(%)
0.5	26	1.0290	1.65	2.6790	1.01	5.4212	94.5788	30.00	9.569	19.1380	0.0129	0.0564	90.1359
1	26	1.0285	1.65	2.6785	1.01	5.4202	89.1586	29.50	9.6678	9.6678	0.0129	0.0401	84.9703
2	26	1.0280	1.65	2.6780	1.01	5.4192	83.7395	29.00	9.7666	4.8833	0.0129	0.0285	79.8058
15	26	1.0275	1.65	2.6775	1.01	5.4181	78.3213	28.50	9.8654	0.6577	0.0129	0.0105	74.6421
30	26	1.0270	1.65	2.6770	1.01	5.4171	72.9042	28.00	9.9642	0.3321	0.0129	0.0074	69.4795
60	26	1.0260	1.65	2.6760	1.01	5.4151	67.4891	27.00	10.1618	0.1694	0.0129	0.0053	64.3187
120	26	1.0240	1.65	2.6740	1.01	5.4111	62.0780	25.00	10.557	0.0880	0.0129	0.0038	59.1619
1440	26	1.0210	1.65	2.6710	1.01	5.4050	56.6730	22.00	11.1498	0.0077	0.0129	0.0011	54.0108

(Sumber: Benny Tobing, dkk, 2014)

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, didapatkan ukuran butiran tanah di Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro dengan prosentase distribusi lolos saringan nomor 200 sebesar 95,302%. Grafik gabungan hasil analisis saringan dan hidrometer ditunjukkan pada gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 4.1 Grafik Gabungan Analisa Saringan dan Hidrometer (Sumber: Benny Tobing, dkk, 2014)

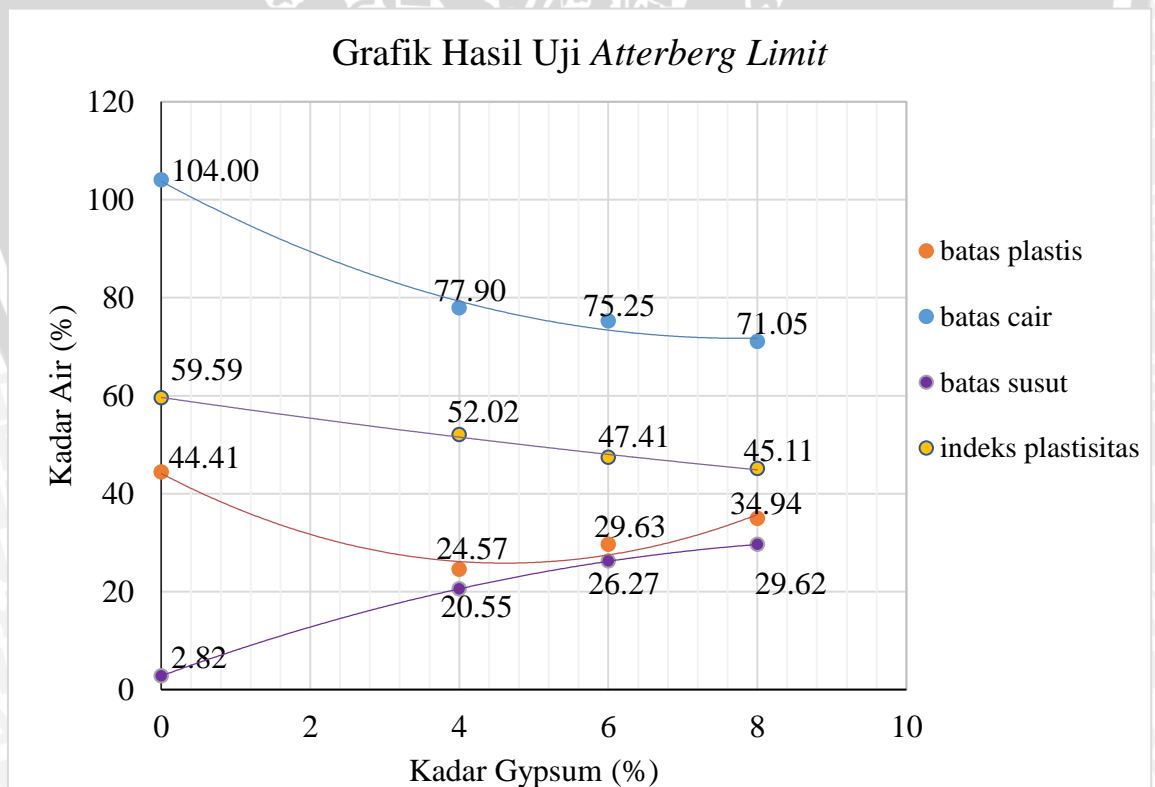
4.1.2 Pengujian Batas Atterberg (Atterberg Limit)

Pengujian batas *Atterberg* dilakukan untuk mengetahui nilai plastisitas suatu tanah yang meliputi uji batas plastis (*plastic limit*), batas cair (*liquid limit*), batas

susut (*shrinkage limit*), serta indeks plastisitas (*index of plasticity*). Pada penelitian ini menggunakan tanah lempung ekspansif dan tanah lempung ekspansif yang dicampur dengan bahan stabilisator yang bervariasi berupa: 8% abu ampas tebu + 4% gypsum, 8% abu ampas tebu + 6% gypsum, 8% abu ampas tebu + 8% gypsum. Data hasil pengujian batas-batas *Atterberg* ditunjukkan dalam Tabel 4.3 dan Gambar 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Batas-Batas *Atterberg*

Komposisi Tanah	Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	Batas Susut (%)	Indeks Plastisitas (%)
Tanah Lempung Ekspansif	104,00	44,41	2,82	59,59
Tanah Lempung Ekspansif + 8% AAT + 4% Gypsum	77,90	24,57	20,5	52,02
Tanah Lempung Ekspansif + 8% AAT + 6 % Gypsum	75,25	29,63	26,27	47,41
Tanah Lempung Ekspansif + 8% AAT + 8% Gypsum	71,05	34,94	29,62	45,11



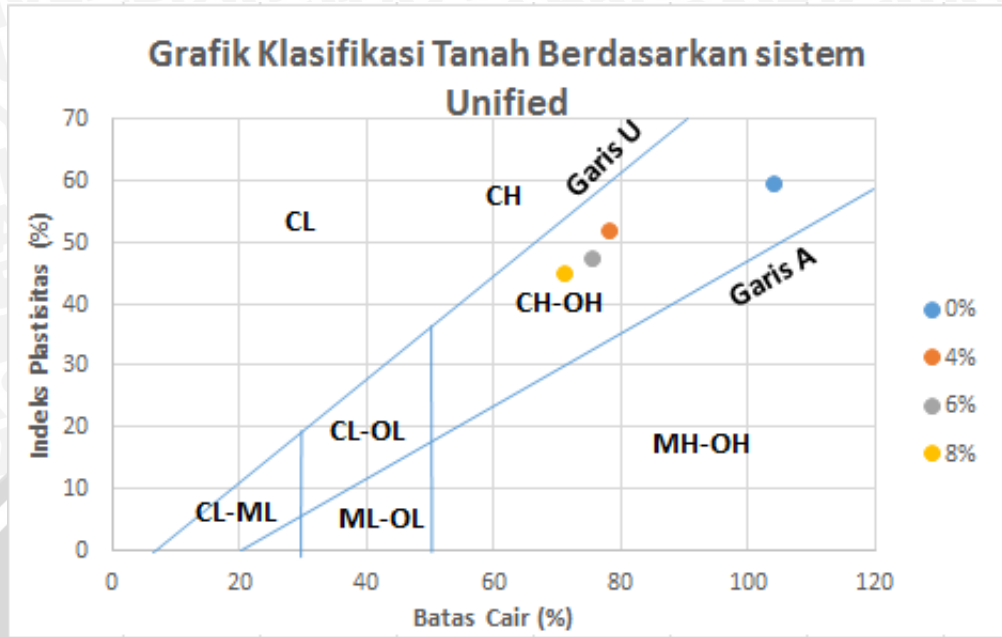
Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian Batas-Batas *Atterberg*

Berdasarkan gambar 4.2, diketahui bahwa batas plastis tanah lempung ekspansif menurun ketika ditambah dengan 8% abu ampas tebu dan 4% gypsum yaitu dari 44,41% menjadi 24,57%. Namun setiap penambahan gypsum, tanah lempung ekspansif cenderung mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena ketika kadar gypsum ditambahkan variasinya, maka kadar air optimum yang dibutuhkan tanah lempung ekspansif untuk mencapai kondisi plastis juga meningkat. Kemudian untuk batas cair tanah lempung ekspansif menurun ketika ditambah 4% gypsum yaitu dari 104% menjadi 77,90% begitu juga pada penambahan 6% dan 8% gypsum. Hal tersebut terjadi karena kadar air minimum yang dibutuhkan tanah lempung ekspansif untuk mencapai kondisi cair berkurang ketika kadar gypsum ditingkatkan.

Indeks plastisitas tanah lempung ekspansif dapat diketahui melalui selisih antara batas cair dengan batas plastis. Berdasarkan data pada tabel di atas, diketahui bahwa indeks plastisitas tanah lempung ekspansif pada penambahan gypsum 4 % mengalami penurunan dari 59,59% menjadi 52,02% begitu juga pada penambahan gypsum 6% dan 8%. Sementara itu, batas susut tanah lempung ekspansif ketika ditambah dengan 4% gypsum meningkat dari 2,82% menjadi 20,55%. Hal tersebut terjadi karena semakin besar kadar gypsum yang ditambahkan maka kadar air minimum yang dibutuhkan tanah lempung ekspansif untuk mengalami perubahan volume semakin besar pula sehingga semakin besar nilai susutnya maka tanah akan semakin sulit untuk mengalami perubahan volume.

4.1.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem *Unified* (USCS) dan AASHTO

Berdasarkan pengujian analisis saringan, hidrometer, dan batas-batas *Atterberg* di atas, didapatkan bahwa tanah lempung ekspansif di Bojonegoro memiliki karakteristik antara lain prosentase lolos saringan nomor 200 sebesar 95,302%, nilai *Liquid Limit* sebesar 104,00%, *Plastic Limit* sebesar 44,41% dan indeks plastisitas sebesar 59,59%. Untuk klasifikasi tanah berdasarkan sistem *Unified* dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem *Unified*



Gambar 4.4 Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem AASHTO

Menurut sistem *Unified* (USCS), tanah di daerah Kecamatan Ngasem, Kabupaten Bojonegoro ini dapat diklasifikasikan sebagai tanah lempung dengan plastisitas tinggi (CH) atau tanah lempung organik (OH). Menurut sistem AASHTO

tanah tersebut termasuk dalam tipe A-7-5, yaitu tanah berlempung dengan batas cair tinggi.

4.1.4 Sifat Ekspansivitas Tanah Lempung Bojonegoro

Melalui hasil pengujian batas-batas *Atterberg*, dapat ditentukan tingkat ekspansivitas tanah lempung di Bojonegoro. Berdasarkan batas susutnya, tanah lempung tersebut memiliki batas susut sebesar 2,82% (<10) sehingga derajat ekspansivitasnya tergolong dalam kondisi kritis. Berdasarkan nilai indeks plastisitasnya, tanah lempung Bojonegoro memiliki indeks plastisitas sebesar 59,59% (>35) sehingga termasuk tanah lempung ekspansif yang berpotensi memiliki sifat pengembangan sangat tinggi (Herman, 2013).

Potensi pengembangan juga dapat ditentukan dengan menggunakan grafik nilai aktivitas. Nilai aktivitas didapatkan melalui persamaan 2.1 sebagai berikut:

Untuk tanah asli :

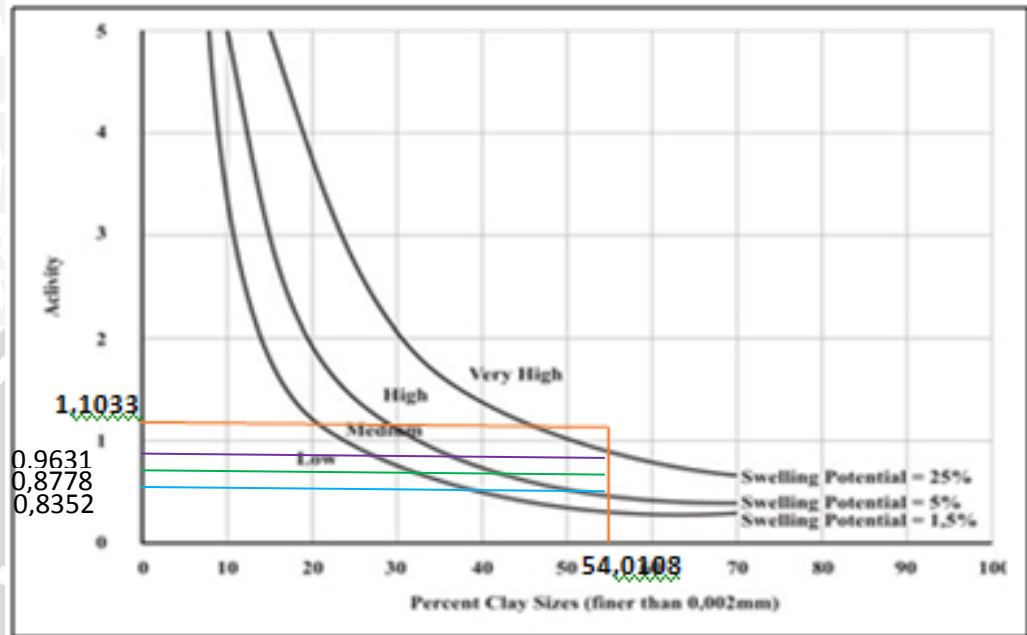
$$Activity = \frac{59,59}{54,0108} = 1,1033$$

Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Nilai Aktivitas Tanah Lempung Ekspansif dan Tanah Campuran

KOMPOSISI TANAH	Activity
Tanah Asli	1,1033
Tanah Asli + 8% AAT + 4% Gypsum	0,9631
Tanah Asli + 8% AAT + 6% Gypsum	0,8778
Tanah Asli + 8% AAT + 8% Gypsum	0,8352

Dari perhitungan dengan menggunakan persamaan diatas didapatkan plot data sehingga mendapatkan hasil *very high* pada *swelling potensial* sesuai pada Gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5 Klasifikasi *swelling potensial*

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan nilai aktivitas sebesar 1,1033 yaitu sangat tinggi. Dengan memasukkan nilai aktivitas tersebut pada grafik hubungan nilai aktivitas dengan prosentase butiran lempung, maka tanah lempung Bojonegoro dapat diklasifikasikan sebagai tanah lempung dengan potensi pengembangan sangat tinggi.

4.1.5 Pendekatan Empiris untuk Indeks Pemampatan (C_c)

Persamaan empiris indeks pemampatan (C_c) digunakan untuk memperkirakan penurunan pondasi secara kasar sebelum pengujian laboratorium dilakukan. Persamaan yang digunakan adalah persamaan 2.10 yaitu untuk tanah lempung terganggu yang dibentuk kembali (*remolded*).

Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai C_c seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 sebagai berikut:

Tabel 4.5 Indeks Pemampatan (Cc)

Komposisi Tanah	Cc
Tanah Lempung Ekspansif	0,658
Tanah Lempung Ekspansif + 8% AAT + 4% Gypsum	0,475
Tanah Lempung Ekspansif + 8% AAT + 6% Gypsum	0,456
Tanah Lempung Ekspansif + 8% AAT + 8% Gypsum	0,427

Berdasarkan Tabel 4.3, didapatkan nilai Cc semakin menurun dari 0,658 menjadi 0,427 pada penambahan gypsum sebesar 8%. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kadar gypsum yang ditambahkan, kemampuan tanah lempung ekspansif untuk mengalami penurunan (*settlement*) akan semakin kecil.

4.2 Pengujian *Specific Gravity*

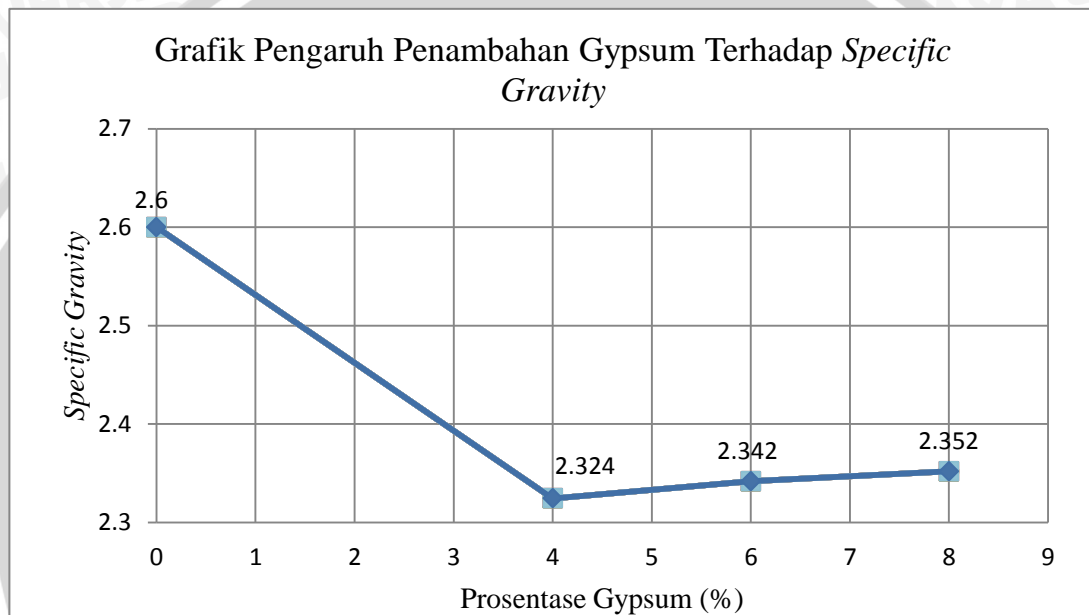
Pengujian *specific gravity* bertujuan untuk mengetahui nilai perbandingan berat tanah dengan berat air pada suhu tertentu. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain tanah lempung ekspansif, abu ampas tebu, gypsum, campuran tanah lempung ekspansif + 8% abu ampas tebu, campuran tanah lempung ekspansif + 8% abu ampas tebu + 4% gypsum, campuran tanah lempung ekspansif + 8% abu ampas tebu + 6% gypsum, dan campuran tanah lempung ekspansif + 8% abu ampas tebu + 8% gypsum. Hasil pengujian *specific gravity* ditunjukkan pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Hasil pengujian *Specific Gravity*

Komposisi Bahan	<i>Specific Gravity</i>
Tanah Lempung Ekspansif	2,600
Abu Ampas Tebu (AAT)	2,071
Gypsum	2,730
Tanah Lempung Ekspansif + 8% AAT	2,469
Tanah Lempung Ekspansif + 8% AAT + 4% Gypsum	2,324
Tanah Lempung Ekspansif + 8% AAT + 6% Gypsum	2,342
Tanah Lempung Ekspansif + 8% AAT + 8% Gypsum	2,352

Berdasarkan hasil pengujian *specific gravity*, tanah lempung ekspansif memiliki nilai *specific gravity* sebesar 2,6 dan abu ampas tebu memiliki nilai *specific gravity* sebesar 2,071. Dengan adanya penambahan 8% gypsum pada tanah lempung ekspansif, nilai

specific gravity tanah lempung ekspansif menurun dari 2,6 menjadi 2,352. Hal ini disebabkan serbuk *gypsum* tersebut memiliki *Specific Gravity* yang lebih besar dari tanah asli, sehingga apabila bahan tersebut dicampur dengan tanah asli akan memiliki nilai *specific gravity* yang lebih besar seiring dengan penambahan campuran tersebut. Pengaruh penambahan abu ampas tebu terhadap tanah lempung ekspansif dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6 Pengaruh Penambahan Gypsum terhadap *Specific Gravity* Tanah Lempung Ekspansif

4.3 Pengujian Pematatan Standar

Pengujian pematatan standar bertujuan untuk menentukan nilai kadar air optimum (OMC) dan berat isi kering maksimum tanah yang digunakan dalam pengujian. Uji pematatan standar laboratorium dilakukan dengan menggunakan daya *impact* dari alat penekan (*proctor*). Bahan-bahan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain tanah lempung ekspansif dan campuran tanah lempung ekspansif dengan abu ampas tebu 8% dan tambahan variasi gypsum 4%, 6%, 8% dari berat total campuran.

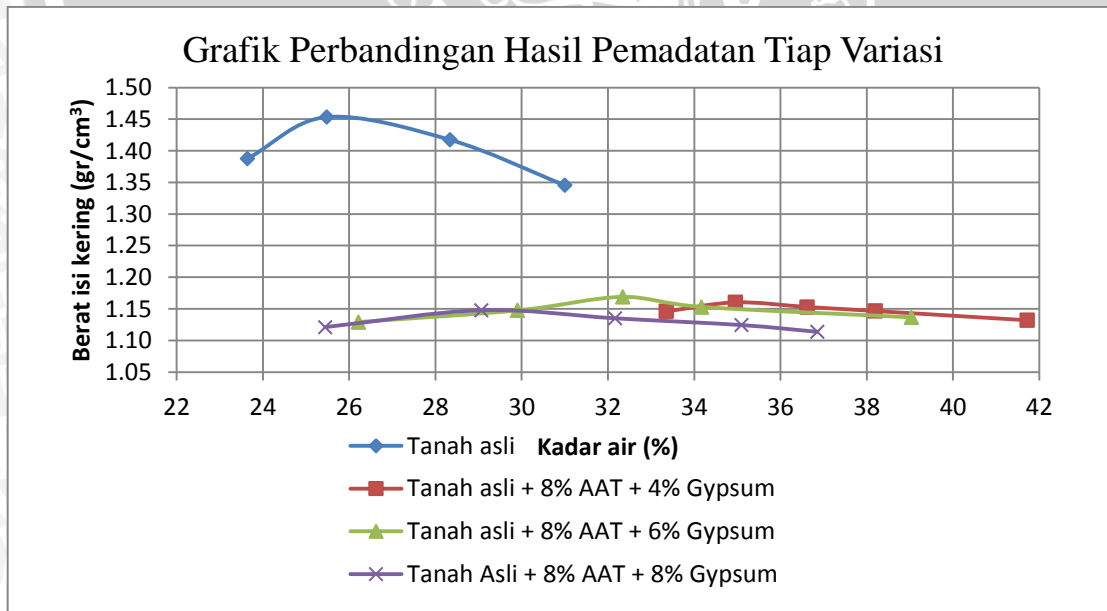
Pengujian pematatan standar yang dilakukan menggunakan metode B ASTM D-698 dengan spesifikasi sebagai berikut.

- Tinggi cetakan : 116,34 mm
- Diameter cetakan : 152,4 mm
- Volume cetakan : 2124,3 cm³
- Berat penumbuk : 2,5 kg
- Tinggi jatuh penumbuk : 30,5 cm
- Jumlah lapisan tanah : 3
- Jumlah tumbukan tiap lapisan : 56
- Fraksi lolos yang diuji : Lolos ayakan nomor 4 (4,75 mm)

Hasil pengujian pemadatan standar ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.7

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Pemadatan Standar

Komposisi Bahan	Kadar Air Optimum (%)	Berat Isi Kering (gr/cm ³)
Tanah lempung ekspansif	26,89	1,401
Tanah lempung ekspansif + 8% AAT + 4% gypsum	34,79	1,106
Tanah lempung ekspansif + 8% AAT + 6% gypsum	31,29	1,120
Tanah lempung ekspansif + 8% AAT + 8% gypsum	28,88	1,128



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Berat Isi Kering terhadap Kadar Air tiap Variasi Penambahan Abu Ampas Tebu

Dari tabel 4.5 didapatkan berat isi kering tanah lempung ekspansif menurun dari $1,401 \text{ gr/cm}^3$ menjadi $1,106 \text{ gr/cm}^3$ dengan adanya penambahan abu ampas tebu sebesar 8% dan kadar gypsum 4%, tetapi pada penambahan kadar gypsum 6% dan 8% berat isi kering mengalami peningkatan menjadi $1,120 \text{ gr/cm}^3$ dan $1,128 \text{ gr/cm}^3$. Untuk kadar air optimum mengalami peningkatan dari 26,89% menjadi 34,79% pada penambahan gypsum 4%, akan tetapi pada campuran abu ampas tebu 8% dan gypsum variasi 6% dan 8% nilai kadar air optimum mengalami penurunan menjadi 31,29% dan 28,88%. Bahan stabilisasi berupa gypsum memiliki sifat *pozzolanic* yaitu sifat yang dapat mengeras sendiri apabila dicampur dengan air dan juga gypsum memiliki kandungan CaO sebagai salah satu ikatan kimia yang mendukung reaksi *pozzolanic*. Oleh karena itu, pada pengujian pemadatan standar, tanah yang telah dicampur dengan gypsum akan menjadi keras dan kaku dikarenakan reaksi *pozzolanic*. Hal tersebut mengakibatkan kadar air optimum tanah menjadi turun dan sebaliknya berat isi kering tanah menjadi naik seiring penambahan kadar gypsum dalam tanah.

4.4 Pengujian CBR

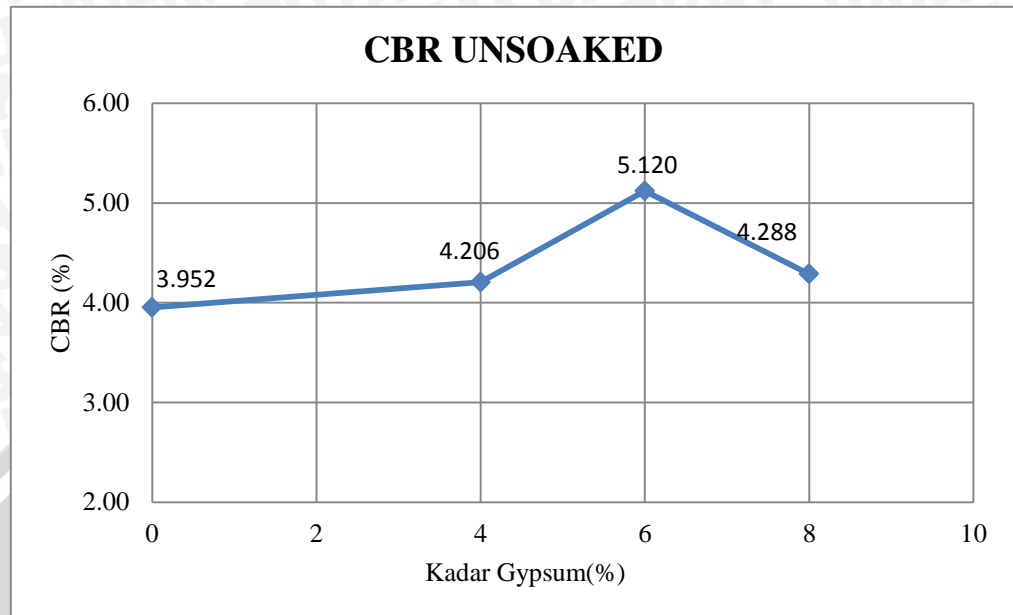
Pengujian CBR yang dilakukan terdiri atas dua jenis percobaan, yaitu CBR tak terendam (*unsoaked*) dan CBR terendam (*soaked*). Pada umumnya CBR *soaked* nilainya lebih rendah dibandingkan dengan CBR *unsoaked*. Pengujian CBR tersebut dilakukan pada tanah asli dan tanah asli yang sudah diberi bahan campuran dengan kadar air optimum yang sudah didapatkan dari hasil uji pemadatan.

4.4.1 Pengujian CBR Tak Terendam (*Unsoaked CBR Test*)

Pengujian CBR tak terendam (*unsoaked*) dilakukan tanpa melalui proses rendaman terlebih dahulu terhadap benda uji melainkan langsung dengan pengujian menggunakan alat uji CBR. Tujuan pengujian CBR *Unsoaked* adalah untuk mengetahui nilai CBR tanah setelah dipadatkan. Hasil dari CBR tak terendam (*unsoaked*) ditunjukkan dalam tabel 4.8 dan gambar 4.8 berikut:

Tabel 4.8 Hasil Pengujian CBR Tak Terendam (*Unsoaked*)

Komposisi Bahan	CBR <i>Unsoaked</i> (%)
Tanah lempung ekspansif	3,952
Tanah lempung ekspansif + 8% AAT + 4% Gypsum	4,206
Tanah lempung ekspansif + 8% AAT + 6% Gypsum	5,120
Tanah lempung ekspansif + 8% AAT + 8% Gypsum	4,288



Gambar 4.8 Grafik Hasil Pengujian CBR Tak Terendam (*Unsoaked*)

Dari Gambar 4.7 dapat diketahui bahwa nilai CBR *Unsoaked* meningkat dari 3,952% menjadi 4,206%, dengan penambahan bahan campuran berupa serbuk *gypsum* sebagai bahan stabilisasi dapat meningkatkan nilai CBR *unsoaked*. Peningkatan nilai CBR dari tanah asli ke tanah yang ditambahkan *gypsum* disebabkan karena adanya proses sementasi antar partikel tanah, *gypsum* dan air. Semakin rapat partikel tanah akibat ikatan dari bahan campuran, sehingga butiran-butiran tanah semakin padat dan keras. Meningkatnya butiran-butiran tanah yang semakin padat menyebabkan butiran tidak mudah hancur atau berubah bentuk.

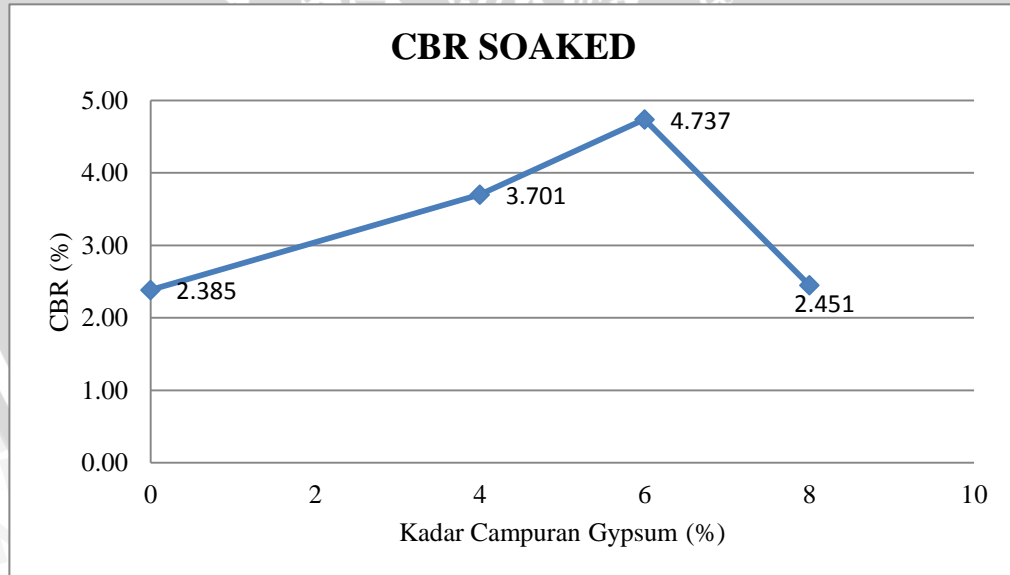
Sedangkan peningkatan terbesar CBR *Unsoaked* berada pada campuran penambahan 6% *gypsum* yaitu 5,120%. Namun ada waktunya nilai CBR mengalami penurunan. Dalam penelitian ini mulai terjadi penurunan nilai CBR menjadi 4,288% pada penambahan bahan campuran 8% *gypsum*. Hal ini kemungkinan disebabkan karena bahan campuran hanya berfungsi mengisi ruang pori partikel tanah dan sudah tidak berfungsi lagi mengikat partikel tanah sehingga tidak terjadi proses sementasi senyawa kimiawi secara penuh.

4.4.2 Pengujian CBR Terendam (*Soaked CBR Test*)

Pengujian CBR *Soaked* ini dilakukan melalui proses perendaman selama 48 jam atau 2 hari dimana tanah mengalami pengembangan yang maksimum. Selama perendaman sebelum dilakukan uji CBR *soaked*, benda uji dilakukan pengujian *swelling* untuk mengetahui nilai pengembangan di dalam keadaan jenuh akan air dan tujuan dilakukan uji CBR *soaked* adalah untuk mengetahui nilai CBR tanah pada kondisi jenuh. Kadar air yang digunakan untuk masing-masing variasi campuran bahan stabilisasi tanah adalah kadar air optimum dari masing-masing variasi campuran tersebut. Hasil dari CBR terendam (*soaked*) ditunjukkan dalam tabel 4.9 dan gambar 4.9 sebagai berikut:

Tabel 4.9 Hasil Pengujian CBR Terendam (*Soaked*)

Komposisi Bahan	CBR <i>Soaked</i> (%)
Tanah lempung ekspansif	2,385
Tanah lempung ekspansif + 8% AAT + 4% Gypsum	3,701
Tanah lempung ekspansif + 8% AAT + 6% Gypsum	4,737
Tanah lempung ekspansif + 8% AAT + 8% Gypsum	2,451



Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengujian CBR Terendam (*Soaked*)

Hasil pengujian CBR terendam menunjukkan bahwa nilai CBR tanah lempung ekspansif meningkat dari 2,385% menjadi 4,737% dengan adanya penambahan serbuk gypsum sebesar 6% dari berat total campuran. Pada

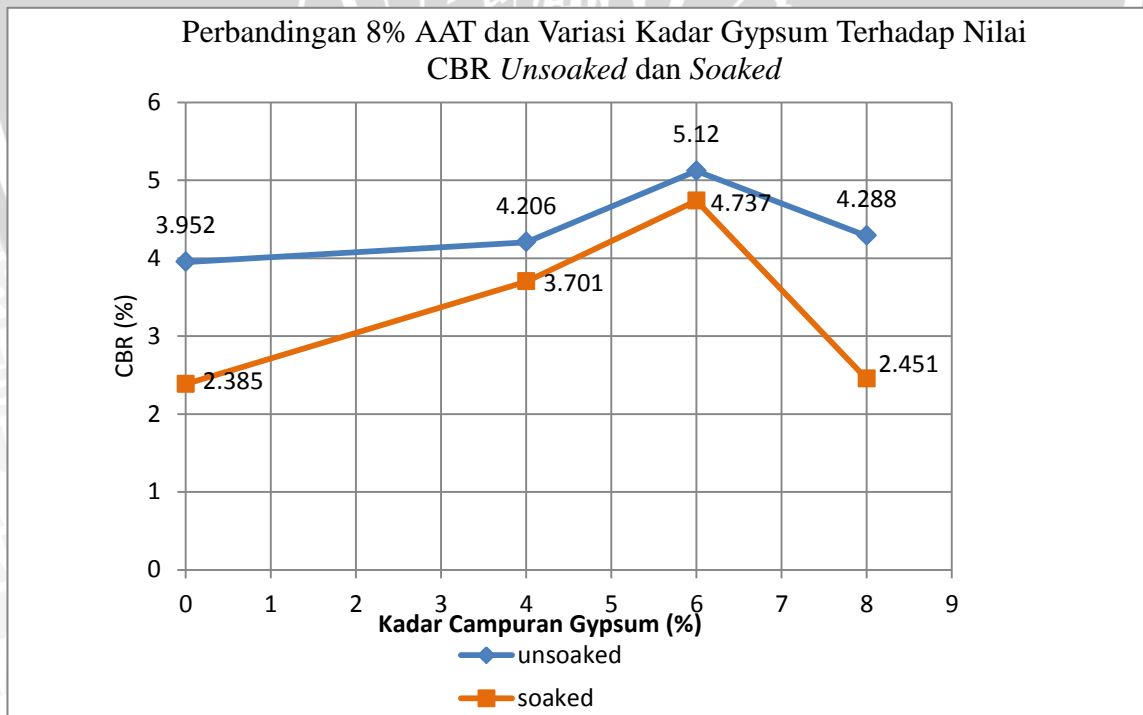
penambahan 8% abu ampas tebu nilai CBR menurun menjadi 2,451%. Hal ini mungkin dikarenakan pengikatan antar butiran tanah dengan gypsum belum sempurna. Pada saat uji *swelling* ikatan antar butiran tanah yang belum sempurna tersebut kembali lepas yang menyebabkan nilai CBR *soaked* mengalami penurunan.

4.4.3 Perbandingan Nilai CBR Tak Terendam (*Unsoaked*) dan Terendam (*Soaked*)

Perbandingan nilai CBR dalam keadaan tak terendam dan terendam dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.10 berikut:

Tabel 4.10 Perbandingan Nilai CBR Tak Terendam (*Unsoaked*) dan Terendam (*Soaked*)

Komposisi Tanah	CBR (%)	
	<i>Unsoaked</i>	<i>Soaked</i>
Tanah Lempung Ekspansif	3,952	2,385
Tanah Lempung Ekspansif + 8% AAT + 4% Gypsum	4,206	3,701
Tanah Lempung Ekspansif + 8% AAT + 6% Gypsum	5,120	4,737
Tanah Lempung Ekspansif + 8% AAT + 8% Gypsum	4,288	2,451



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Nilai CBR Tak Terendam (*Unsoaked*) dan Terendam (*Soaked*)

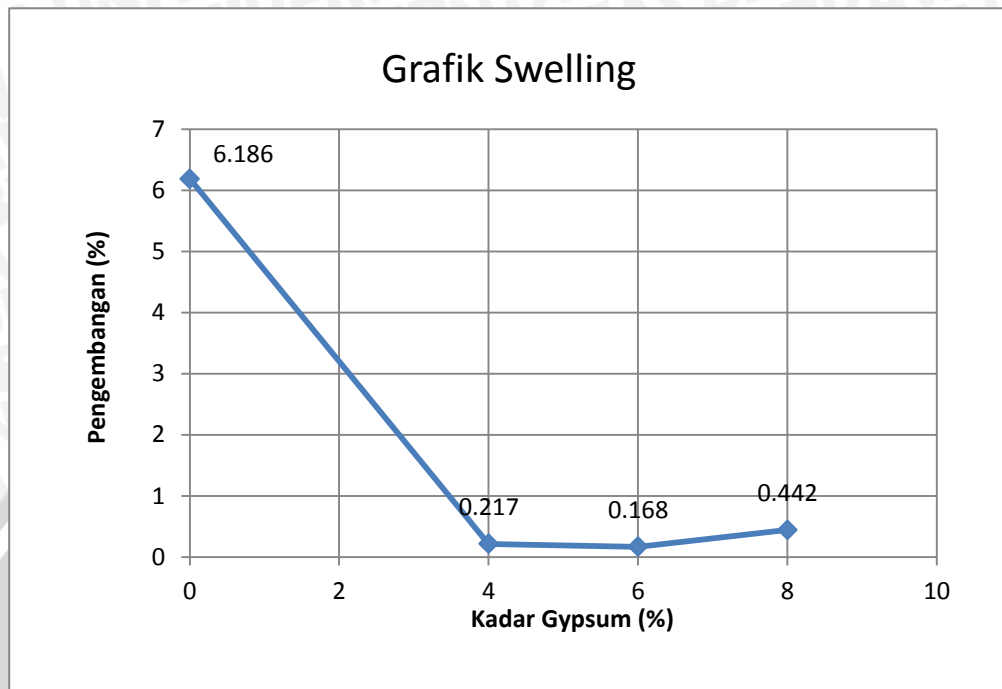
Hasil yang ditampilkan pada tabel dan grafik di atas menunjukkan bahwa nilai CBR pada kondisi terendam ini lebih kecil dibandingkan dengan nilai CBR Tak Terendam dikarenakan perendaman atau penambahan air menyebabkan menurunnya kekuatan tanah. Namun demikian, CBR *soaked* tersebut adalah kondisi yang sering dialami di lapangan, sehingga di dalam perhitungan konstruksi bangunan, harga CBR *soaked* yang dipergunakan sebagai dasar perhitungan karena dalam kenyataannya air selalu mempengaruhi dan menjadi pertimbangan pada konstruksi bangunan.

4.5 Pengujian Pengembangan (*Swelling*)

Swelling adalah pembesaran volume tanah ekspansif akibat bertambahnya kadar air yang dinyatakan dalam prosentase (%). Potensi pembesaran volume ini tergantung pada komposisi mineral, peningkatan kadar air, indeks plastisitas, kadar lempung dan tekanan tanah penutup. Untuk pengujian *swelling* tanah dilakukan selama 52 jam hingga mendapatkan hasil pengembangan yang konstan. Dalam pengujian ini dilakukan pada tanah asli, tanah asli + 8% abu ampas tebu dan gypsum dengan kadar variasi 4%, 6%, 8% gypsum kemudian dicampur dengan kadar air yang sudah didapatkan dari uji pemadatan. Pemilihan benda uji untuk *swelling* ini didasarkan pada hasil uji CBR *unsoaked*. Hasil pengujian *swelling* dapat dilihat dari Tabel 4.11 dan Gambar 4.11 berikut:

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Pengembangan (*Swelling*)

Komposisi Bahan	Swell (%)
Tanah lempung ekspansif	6,186
Tanah lempung ekspansif + 8% AAT + 4% gypsum	0,217
Tanah lempung ekspansif + 8% AAT + 6% gypsum	0,168
Tanah lempung ekspansif + 8% AAT + 8% gypsum	0,442



Gambar 4.11 Grafik Pengaruh Kadar Abu Ampas Tebu 8% dan Variasi Kadar Gypsum terhadap Nilai Pembengangan

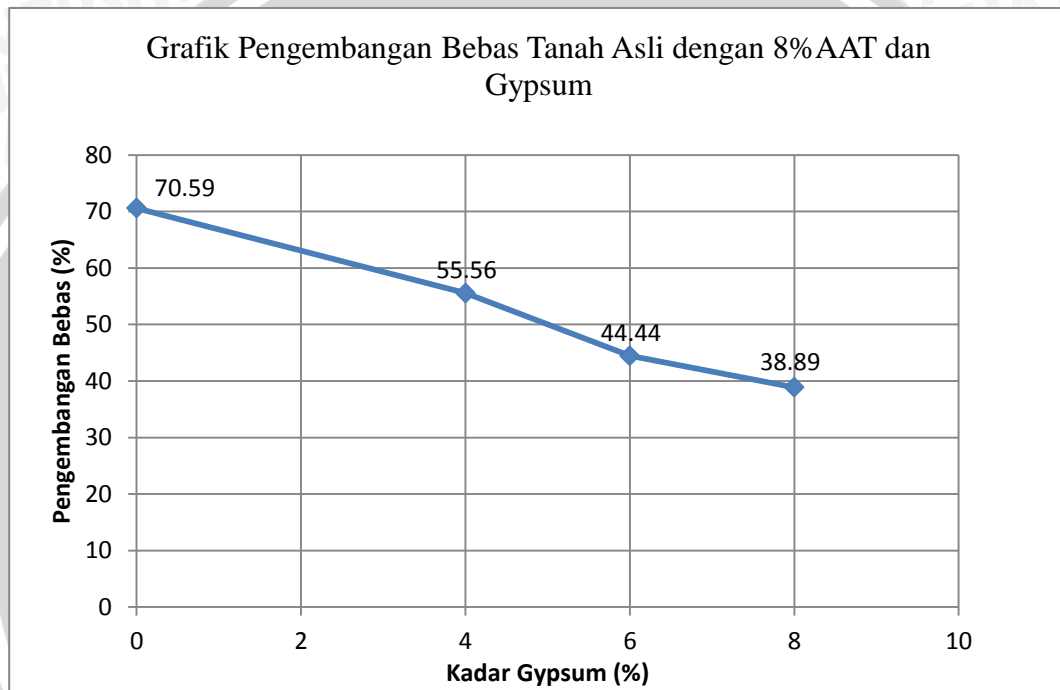
Pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.11, nilai pembengangan tanah lempung ekspansif menurun dari 6,186% menjadi 0,442% dengan adanya penambahan abu ampas tebu sebesar 8% dan kadar gypsum 8% dari berat total campuran. Hal ini disebabkan penambahan campuran tersebut mengakibatkan rongga yang ada pada butiran tanah akan tertutup oleh bahan-bahan tersebut, sehingga rongga-rongga butiran menjadi lebih padat dan rapat. Abu ampas tebu dengan kandungan silika yang tinggi dan gypsum dengan kandungan kalsium yang tinggi dapat mengurangi potensi *swelling*.

4.5.1 Pengujian Pembengangan Bebas (*Free Swell*)

Swelling bebas dilakukan pada tanah asli dan tanah asli yang diberi campuran abu ampas tebu dengan penambahan kadar variasi 4%, 6%, 8% gypsum. Untuk pengujian *swelling* bebas tanah dilakukan selama 24 jam hingga mendapatkan hasil pembengangan yang konstan. Hasil *swelling* bebas dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.12 berikut:

Tabel 4.12 Hasil pengujian *swelling* bebas

Komposisi tanah	Volume Awal (ml)	Volume Akhir (ml)	Free Swell (%)
Tanah Asli	42.5	72.5	70.59
Tanah Asli + 8% AAT	45	69	57.50
Tanah Asli + 8% AAT + 4% Gypsum	45	70	55.56
Tanah Asli + 8% AAT + 6% Gypsum	45	65	44.44
Tanah Asli + 8% AAT + 8% Gypsum	45	62.5	38.89



Gambar 4.12 Grafik Pengaruh Kadar Abu Ampas Tebu 8% dan Variasi Kadar Gypsum terhadap Nilai Pengembangan Bebas

Nilai pengembangan bebas tanah lempung ekspansif untuk tanah asli sebesar 70,59% sedangkan untuk nilai *swelling* bebas menurun seiring dengan penambahan kadar gypsum. Pada penambahan 4% gypsum nilai *swelling* bebas sebesar 55,56%, penambahan 6% gypsum sebesar 44,44% dan pada penambahan 8% gypsum nilai *swelling* bebas turun lagi menjadi 38,89%. Hal ini disebabkan pori – pori tanah terisi oleh campuran sehingga butiran tanah menjadi lebih padat, selain itu pada sampel tanah tersebut terjadi reaksi sementasi yang mengakibatkan tanah menjadi lebih kedap air.