

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Pengujian *Soil Properties*

Pengujian *soil properties* ini merupakan pengujian karakteristik sifat fisis dari tanah asli yang diambil dari Desa Gasing, Tanjung Api-Api, Kabupaten Banyuasin. Hasil pengujian *soil properties* dapat dilihat pada tabel 4.1. di bawah ini:

Tabel 4.1. Hasil pengujian *soil properties*

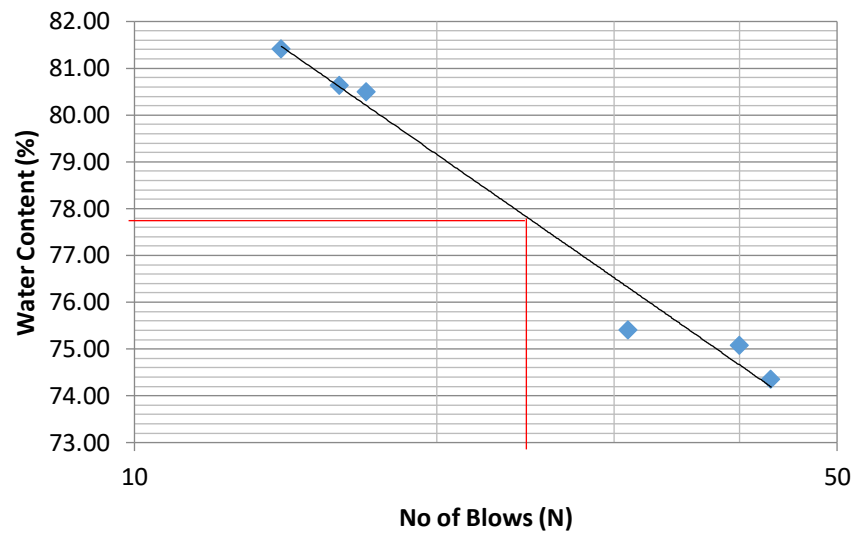
No.	Identifikasi Tanah	Hasil Pengujian
1	<i>Specific gravity</i> (Gs)	2,666
2	Batas cair (LL)	77,8 %
3	Batas plastis (PL)	37,1706 %
4	Indeks plastis (PI)	40,6294 %
5	Tanah lolos saringan No. 40 (< 0,425 mm)	91,74 %
6	Tanah lolos saringan No. 200 (< 0,075 mm)	84,7 %
7	Klasifikasi tanah menurut AASHTO	A-7-5
8	Klasifikasi tanah menurut USCS	CH
9	Kadar air optimum	25,4 %

1. Hasil Pengujian Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Pada pengujian ini di dapat nilai berat jenis (Gs) dari sampel tanah asli yaitu tanah lempung ekspansif sebesar 2,666. Hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran.

2. Hasil pengujian batas-batas atterberg

Hasil pengujian batas-batas atterberg di peroleh nilai batas cair (LL) sebesar 77,8% dengan nilai batas plastis (PL) sebesar 37,1706% dan nilai indeks plastis (PI) sebesar 40,6294%. Grafik batas cair dapat dilihat pada Gambar 4.1.

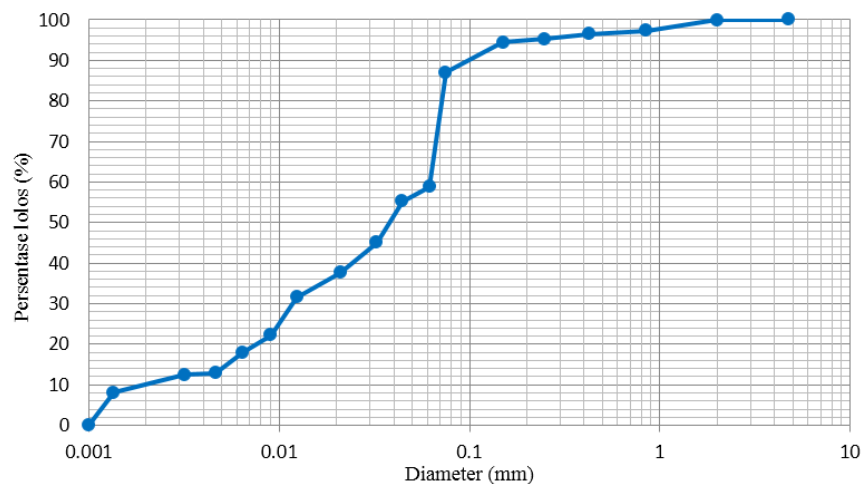


Gambar 4.1. Grafik batas cair

Dari grafik diatas terlihat bahwa nilai batas cair (LL) yang di dapat sebesar 77,8 % pada pukulan ke-25. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tanah sampel pengujian tersebut masuk ke dalam jenis tanah lempung ekspansif.

### 3. Hasil pengujian analisa saringan

Persentase tanah dari hasil pengujian analisa saringan menunjukkan bahwa hasil persentase tanah lolos saringan no.40 sebesar 91,74 % sedangkan pada tanah lolos saringan no. 200 sebesar 84,7 % (lampiran B). Hasil pengujian analisa saringan dapat dilihat pada Gambar 4.2.



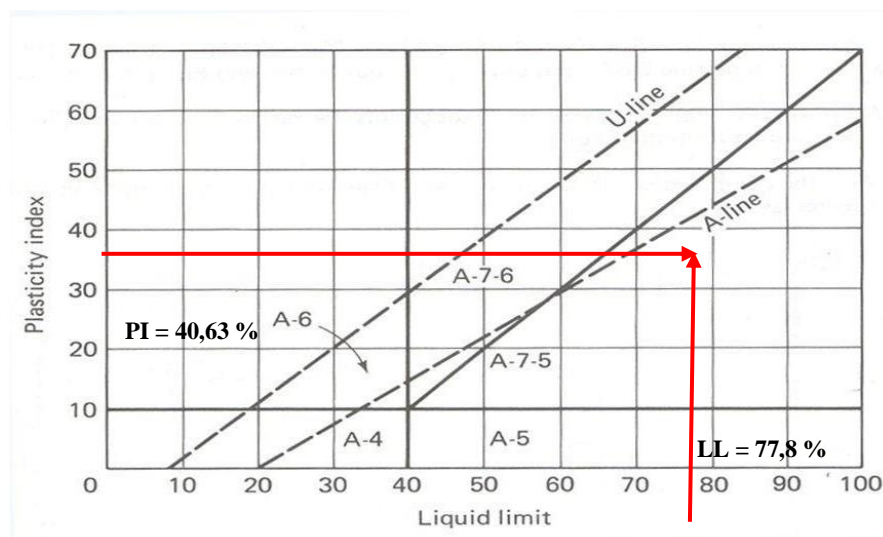
Gambar 4.2. Grafik analisa saringan

## 4.2. Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah berdasarkan pemakaian dibagi menjadi dua, yaitu sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO dan USCS.

### 4.2.1 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

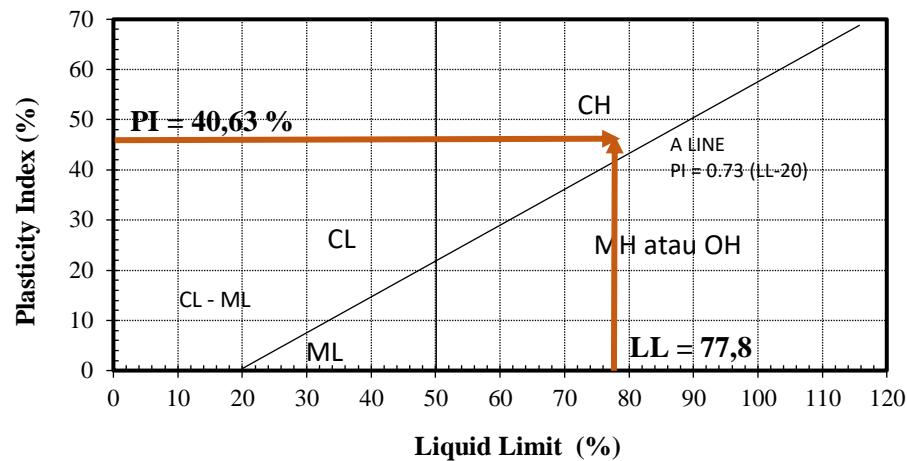
Klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO menggunakan nilai batas cair (LL) dan indeks plastis (PI) yang didapat dari hasil pengujian batas-batas atterberg. Nilai LL sebesar 77,8 % sedangkan nilai PI sebesar 40,6294 %. Dari plotting nilai LL dan PI tersebut didapatkan klasifikasi sampel tanah berdasarkan AASHTO yaitu tergolong dalam klasifikasi A-7-5 dapat dilihat pada Gambar 4.3. Berdasarkan klasifikasi tanah menurut AASHTO pada tabel 2.1. sampel tanah masuk ke dalam tanah berbutir halus > 35 % lolos saringan 200 dengan tingkat penggunaan sebagai subgrade cukup sampai buruk.



Gambar 4.3. klasifikasi tanah sistem AASHTO

### 4.2.2. Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

Sistem klasifikasi USCS ini menggunakan acuan berupa jumlah butiran yang lolos saringan no. 200 dan nilai batas cair. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa persentase butiran lolos saringan no.200 lebih dari 50% dan nilai batas cair lebih dari 50%. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa tanah sampel yang diuji termasuk ke dalam tanah berbutir halus. Maka untuk mengklasifikasinya lebih spesifik digunakan grafik plastisitas dapat dilihat pada Gambar 4.4.

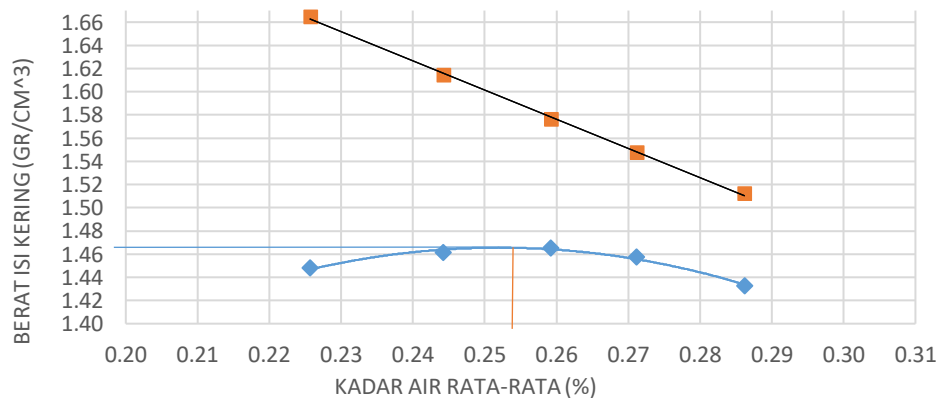


Gambar 4.4. Grafik plastisitas untuk klasifikasi tanah berdasarkan USCS

Dapat dilihat pada grafik diatas titik hasil plotting berada di atas garis A, sehingga dapat disimpulkan bahwa jenis tanah untuk sampel pengujian ini yaitu tanah lempung ekspansif (CH). Berdasarkan tabel 2.2 kelompok CH merupakan jenis tanah lempung anorganik dengan plastisitas tinggi.

### 4.3 Hasil Pengujian Pemadatan Tanah Standar

Pada pengujian pemadatan tanah standar pada tanah asli didapatkan nilai kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) sebesar 25,4 % dan nilai berat kering maksimum ( $\gamma_d$  maks) sebesar 1,465 gr/cm<sup>3</sup> (lampiran B). Hasil pengujian pemadatan tanah standar dapat dilihat pada gambar 4.5.



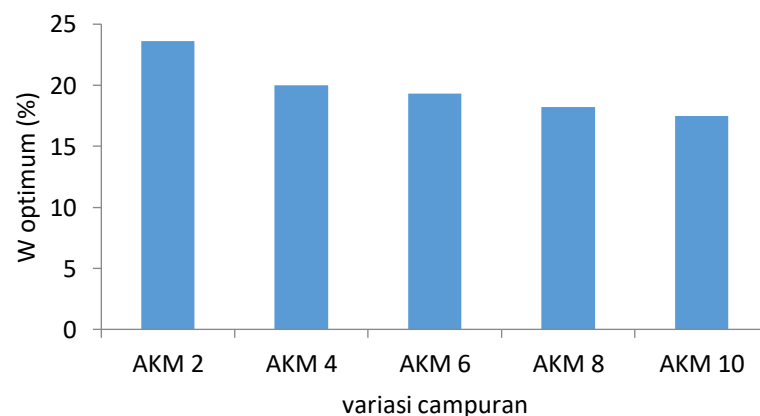
Gambar 4.5 pemadatan tanah standar pada tanah asli

Pengujian pemadatan tanah standar juga dilakukan pada tanah campuran tiap variasi campuran ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) dan nilai berat kering maksimum ( $\gamma_d$  maks) tiap variasi campuran yang akan digunakan pada pembuatan benda uji Pengujian kuat tekan bebas dan geser langsung (*direct shear*). Hasil pengujian pemadatan tanah standar pada tanah campuran (Tabel 4.2) sebagai berikut:

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Pemadatan Tanah Standar

variasi	$W_{optimum}$ (%)	$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )
tanah asli + AKM 2%	23,6	1,49
tanah asli + AKM 4%	20	1,55
tanah asli + AKM 6%	19,3	1,565
tanah asli + AKM 8%	18,2	1,58
tanah asli + AKM 10%	17,5	1,65

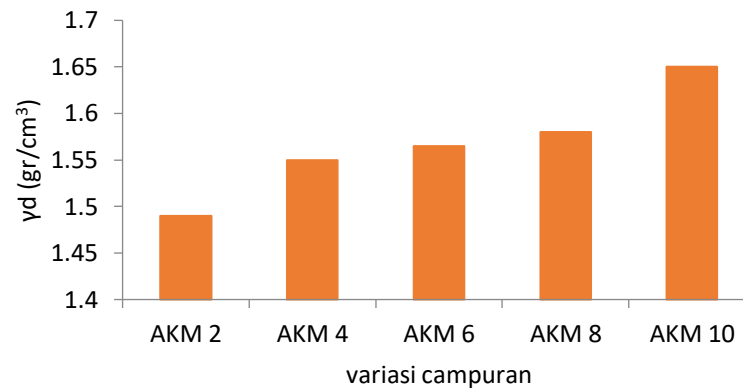
Pada pengujian ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar jumlah penambahan cacahan kaleng minuman maka nilai kadar air pada tanah campuran semakin kecil, namun berbanding terbalik pada nilai berat kering tanah ( $\gamma_d$  maks) yang mengalami kenaikan, ini terlihat pada grafik perbandingan nilai kadar air (Gambar 4.6) dan nilai berat kering tanah ( $\gamma_d$  maks) (Gambar 4.7)



Gambar 4.6. perbandingan nilai kadar air tanah campuran

Nilai kadar air pada tanah campuran mengalami penurunan ini dikarenakan semakin besar jumlah campuran limbah aluminium kaleng minuman yang

digunakan. Alumunium kaleng minuman bersifat kedap air makan dari itu nilai kadar air mengalami penurunan. Dan ini menyebabkan berat kering tanah ( $\gamma_d$  maks) meningkat.



Gambar 4.7. perbandingan nilai berat kering tanah pada tanah campuran

#### 4.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Bebas

Pada pengujian ini diperoleh nilai  $q_u$  dan  $C_u$  pada tanah asli dan tanah campuran limbah alumunium dari kaleng minuman. Nilai  $q_u$  didapat dari grafik hubungan antara tegangan dan regangan. Nilai  $q_u$  didapat dengan mengambil nilai optimum dari hasil grafik tersebut, kemudian ditarik garis lurus arah horizontal menuju sumbu y yaitu tegangan maka didapat nilai  $q_u$ . setelah didapat nilai  $q_u$  diperoleh nilai  $C_u$  dimana nilai  $C_u$  adalah setengah dari nilai  $q_u$ . nilai  $C_u$  digunakan untuk mengetahui nilai kohesi pada tanah. Untuk melihat hasil pengujian kuat tekan bebas dapat dilihat pada Tabel 4.3. dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3. Rekapitan nilai daya dukung ( $q_u$ ) tanah asli dan tanah campuran

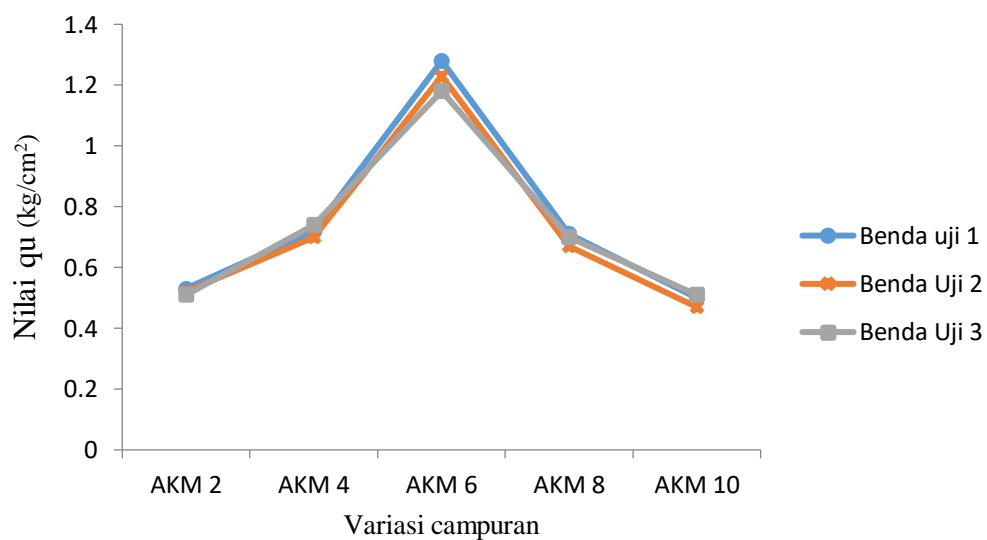
Variasi	Nilai $q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Benda uji 1	Benda uji 2	Benda uji 3
Tanah Asli	0.43	-	-
Tanah Asli + AKM 2%	0.53	0.52	0.51
Tanah Asli + AKM 4%	0.72	0.7	0.74
Tanah Asli + AKM 6%	1.28	1.23	1.18
Tanah Asli + AKM 8%	0.71	0.67	0.7
Tanah Asli + AKM 10%	0.5	0.47	0.51

Maka dari hasil data tabel  $q_u$  diatas didapat nilai  $C_u$  dengan menggunakan rumus ( $q_u/2$ ). Berikut tabel rekapan nilai  $C_u$  dari pengujian pada tanah asli dan tanah campuran.

Tabel 4.4. Rekapan nilai  $C_u$  tanah asli dan tanah campuran

Variasi	Nilai $C_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
	Benda uji 1	Benda uji 2	Benda uji 3
Tanah Asli	0.215	-	-
Tanah Asli + AKM 2%	0.265	0.26	0.255
Tanah Asli + AKM 4%	0.36	0.35	0.37
Tanah Asli + AKM 6%	0.64	0.615	0.59
Tanah Asli + AKM 8%	0.355	0.335	0.35
Tanah Asli + AKM 10%	0.25	0.235	0.255

Berikut grafik hubungan nilai  $q_u$  dengan semua variasi sampel tanah asli dan campuran aluminium kaleng minuman dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Grafik hubungan nilai  $q_u$  dengan semua variasi

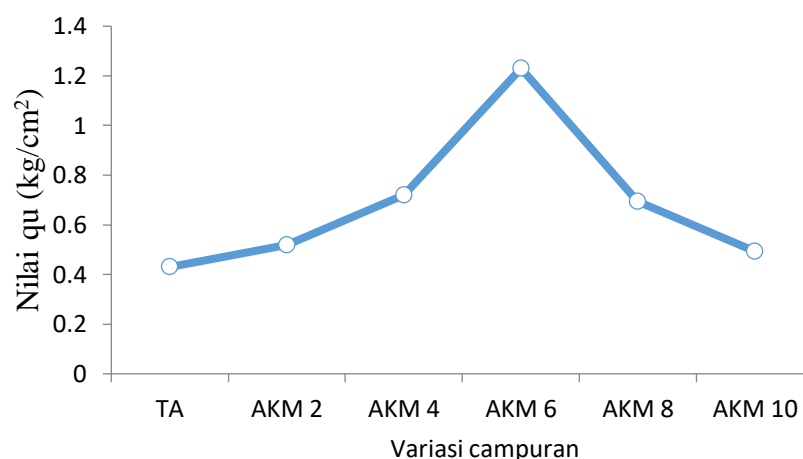
Hasil analisa dan perbandingan nilai  $q_u$  dari grafik di atas terlihat bahwa didapatkan nilai campuran optimum pada campuran AKM 6%. Dan pada variasi AKM 8% dan AKM 10% terlihat mengalami penurunan, karena pada proses

pemadatan tanah untuk mencetak tanah pada cetakan kuat tekan bebas mengalami retak dikarenakan tidak adanya reaksi antara bahan campuran dan tanah lempung ekspansif. Sehingga mengakibatkan adanya rongga pada bahan uji dan tidak mengikat satu dengan yang lainnya. Tabel 4.5. merupakan rekapan nilai rata-rata untuk nilai  $q_u$  dan  $C_u$  dari semua variasi campuran dan tanah asli.

Tabel 4.5. Rekapan nilai rata-rata untuk nilai  $q_u$  dan  $C_u$

Variasi	Nilai $q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Nilai $C_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Persentase Kenaikan Daya Dukung (%)
Tanah Asli	0.43	0.215	0
Tanah Asli + AKM 2%	0.52	0.26	20,93
Tanah Asli + AKM 4%	0.72	0.36	67,44
Tanah Asli + AKM 6%	1.23	0.615	186,04
Tanah Asli + AKM 8%	0.69	0.347	60,46
Tanah Asli + AKM 10%	0.49	0.247	13,95

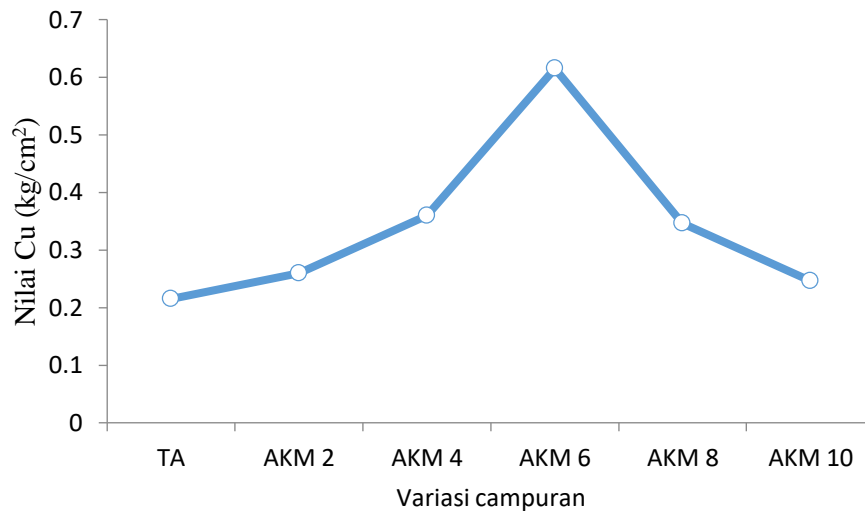
Dari tabel di atas nilai optimum  $q_u$  pada variasi AKM 6% sebesar 1,23 kg/cm<sup>2</sup> dan mengalami kenaikan sebesar 186,04% dari tanah asli dimana nilai  $q_u$  tanah asli yaitu 0,43 kg/cm<sup>2</sup>. grafik perbandingan nilai  $q_u$  rata-rata semua variasi dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Grafik perbandingan nilai  $q_u$  rata-rata



Nilai  $C_u$  hasil pengujian untuk nilai optimum juga pada campuran AKM 6% dengan nilai sebesar  $0,615 \text{ kg/cm}^2$ . Pada campuran AKM 8% dan AKM 10 % mengalami penurunan dengan nilai  $0,347 \text{ kg/cm}^2$  dan  $0,247 \text{ kg/cm}^2$ . Grafik perbandingan nilai  $C_u$  rata-rata semua variasi (Gambar 4.8).



Gambar 4.10. Grafik perbandingan nilai  $C_u$  rata-rata

#### 4.5. Hasil Pengujian Geser Langsung (*Direct Shear*)

Pada pengujian ini dilakukan pengujian dengan membandingkan tanah asli dan tanah campuran dengan persentase campuran optimum pada pengujian kuat tekan bebas. Nilai kuat geser pada pengujian geser langsung (*Direct Shear*) didapat dari hubungan nilai tegangan normal dan tegangan geser tanah. Dari hasil pengujian ini juga di dapatkan nilai kohesi dan sudut geser tanah. Tiap sampel diambil 3 kali pengujian dengan beban yang berbeda untuk mendapatkan nilai sudut geser yang teliti. Dial pembacaan dari hasil uji geser langsung di plot pada grafik hingga didapatkan tegangan geser maksimum. Kemudian tegangan geser maksimum dari pengujian tersebut di plot pada grafik tegangan normal dan tegangan geser dan ditarik garis linear hingga didapat nilai kohesi dan sudut gesernya. Setelah melakukan pengujian didapat hasil pengujian yang dirangkum Tabel 4.6 dan 4.7.

Tabel 4.6. Data pengujian geser langsung tanah asli

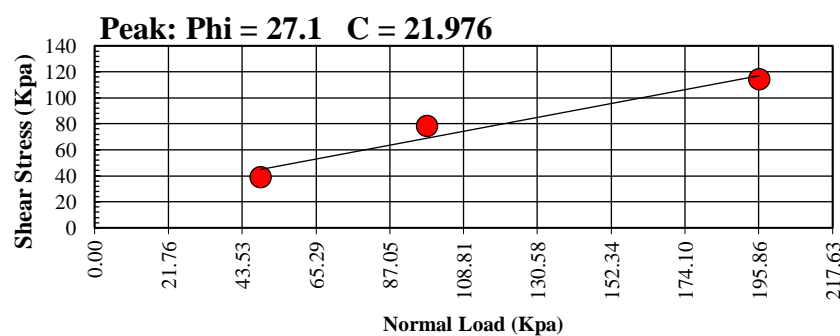
No pengujian	1	2	3
Beban (kg)	0.5	1	2
Tegangan normal (Kpa)	49	98	196
Tegangan geser maksimum (Kpa)	38,796	78,139	113,969

Tabel 4.7. Hasil pengujian geser langsung tanah campuran

No pengujian	1	2	3
Beban (kg)	0.5	1	2
Tegangan normal (Kpa)	49	98	196
Tegangan geser maksimum (Kpa)	71,319	87,231	113,858

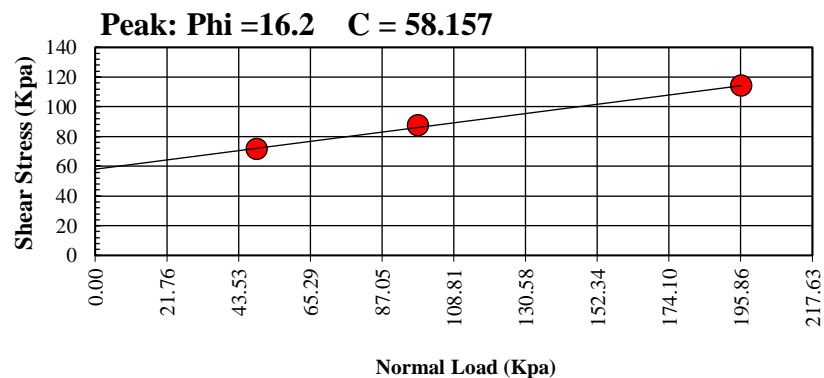
Dari tabel hasil pengujian di atas data pengujian di plot pada grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser maksimum untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam pada tanah asli dan tanah campuran dengan persentase campuran optimum.

Berikut grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser maksimum pada tanah asli dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser tanah asli

Pada grafik di atas di dapatkan nilai kohesi (c) untuk tanah asli sebesar 21,976 Kpa ( $0,224 \text{ kg/cm}^2$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) sebesar  $27,1^\circ$ . sedangkan, pada tanah campuran grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser (Gambar 4.12.)



Gambar 4.12. Grafik hubungan tegangan normal dan tegangan geser tanah campuran (AKM 6)

Pada gambar di atas didapatkan nilai kohesi ( $c$ ) sebesar 58,157 Kpa (0,593  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) dan sudut geser dalam sebesar  $16,2^\circ$ . terlihat bahwa pada tanah campuran nilai kohesi mengalami kenaikan namun pada nilai sudut geser dalam mengalami penurunan akibat meningkatnya nilai kohesi ( $C_u$ ) pada tanah campuran. Tabel 4.8. rekapan hasil pengujian geser langsung sebagai berikut:

Tabel 4.8. Rekapan nilai hasil pengujian geser langsung

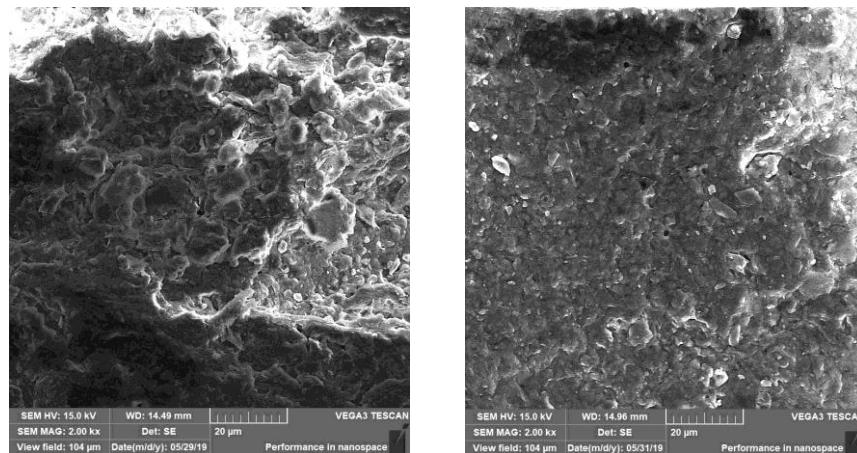
Variasi	kohesi ( $c$ , $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )	Sudut geser dalam ( $\phi$ , $^\circ$ )	Kuat geser tanah ( $\tau$ , $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )
Tanah asli	0,224	27,1	2,11
AKM 6	0,593	16,2	2,17

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa nilai kohesi ( $C$ ) pada tanah campuran mengalami kenaikan, sedangkan pada nilai sudut geser dalam ( $\phi$ ) mengalami penurunan dengan nilai  $16,2^\circ$  dari  $27,1^\circ$  pada tanah asli. Dari nilai kohesi ( $C$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) yang di dapatkan dari hasil pengujian maka didapatkan nilai kuat geser tanah ( $\tau$ ) dengan menggunakan rumus korelasi antara nilai kohesi ( $C$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ). Hasil pengujian tanah campuran nilai kuat geser tanah yaitu sebesar  $2,17 \text{ kg}/\text{cm}^2$  dan mengalami kenaikan sebesar 2,84% dari nilai kuat geser tanah asli.

#### 4.7. Hasil Pengujian SEM-EDS

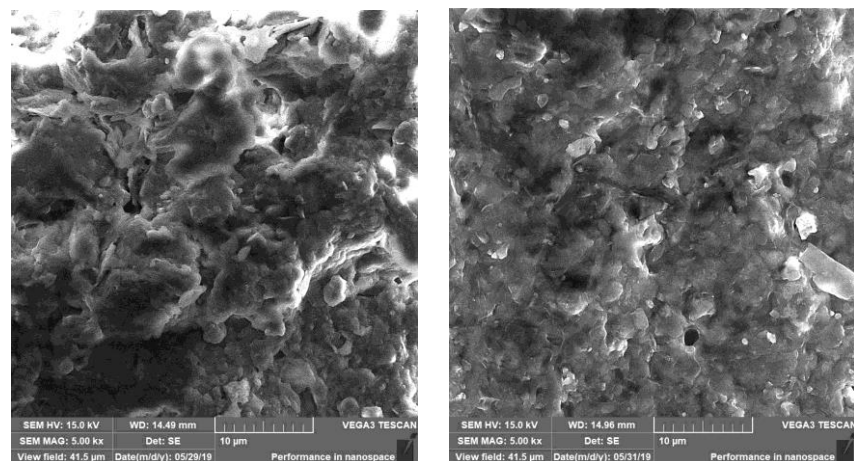
Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan EDS (*Energy Dispersive Spectrometer*) ini dilakukan di lab forensik Polda Sumatera Selatan. Adapun hasil dari pengujian tersebut sebagai berikut:

1. Hasil pengujian SEM pada tanah asli berupa tana lempung ekspansif dan tanah campuran (AKM 6) dengan perbesaran 2.000x dapat dilihat pada Gambar 4.13 di bawah ini:



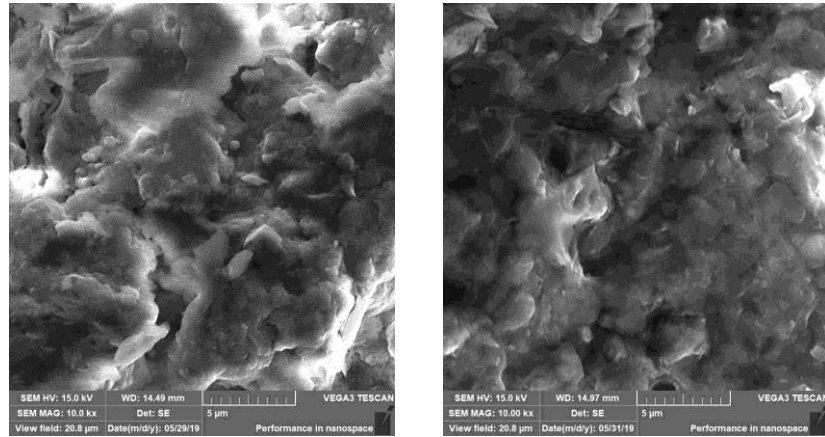
Gambar 4.13. Hasil pengujian SEM tanah asli dan tanah campuran (AKM 6) perbesaran 2.000x

2. Pengujian SEM pada tanah asli dan tanah campuran (AKM 6) dengan perbesaran 5.000x hasilnya terlihat pada Gambar 4.14. dibawah ini:



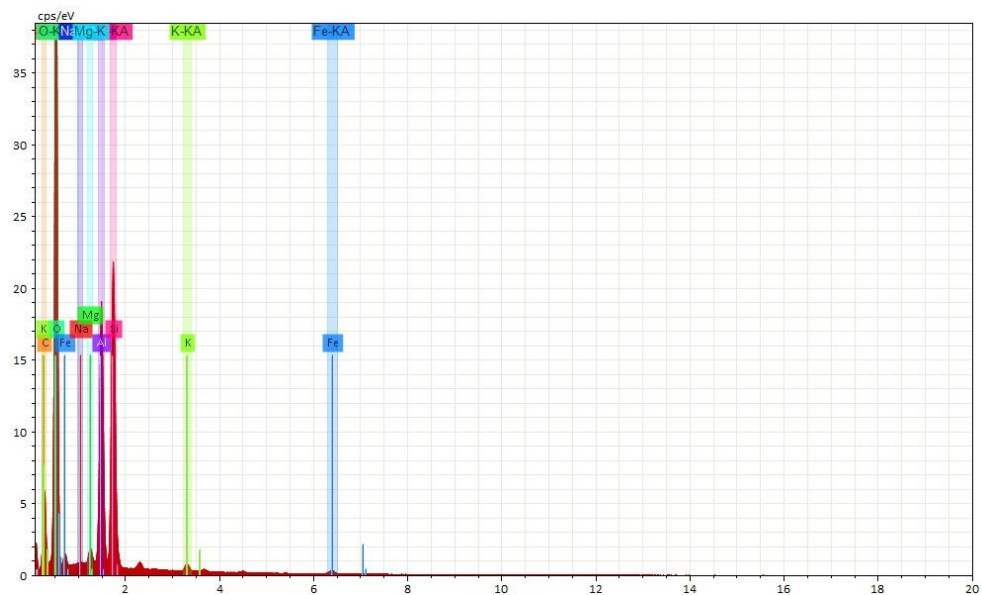
Gambar 4.14. Hasil pengujian SEM tanah asli dan tanah campuran (AKM 6) perbesaran 5.000x

3. Pengujian SEM tanah asli dan tanah campuran (AKM 6) dengan perbesaran 10.000x (Gambar 4.15) sebagai berikut:



Gambar 4.15. Hasil pengujian SEM tanah asli dan tanah campuran (AKM 6) perbesaran 10.000x

4. Hasil pengujian EDS pada tanah asli didapatkan senyawa yang terkandung di dalam tanah lempung ekspansif dapat dilihat pada Gambar 4.16. dan Tabel 4.9.

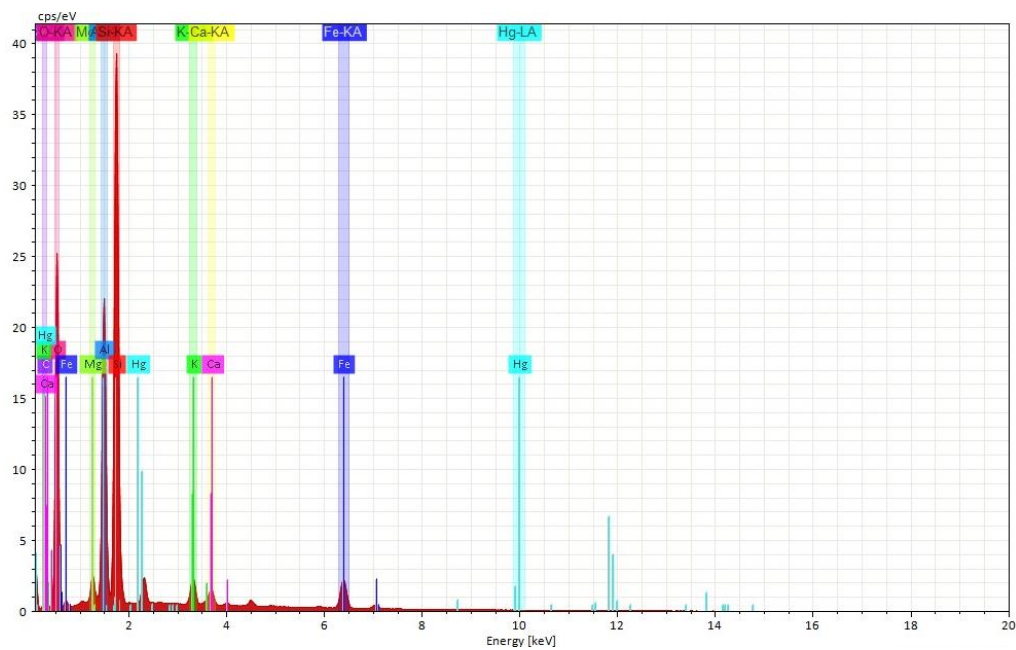


Gambar 4.16. Hasil pengujian EDS tanah asli

Tabel 4.9. Senyawa yang terkandung pada tanah asli

Unsur	Nama Unsur	Jumlah (%)
O	Oksigen	63,80
C	Karbon	19,37
Al	Aluminium	7,81
Si	Silika	6,73
Mg	Magnesium	0,92
Fe	Besi	0,33
Na	Sodium	0,78
K	Kalium	0,27

5. Hasil pengujian EDS pada tanah campuran aluminium kaleng minuman dengan penambahan sebesar 6% (AKM 6) di dapatkan senyawa yang terkandung didalamnya dapat dilihat pada Gambar 4.17. dan Tabel 4.10.

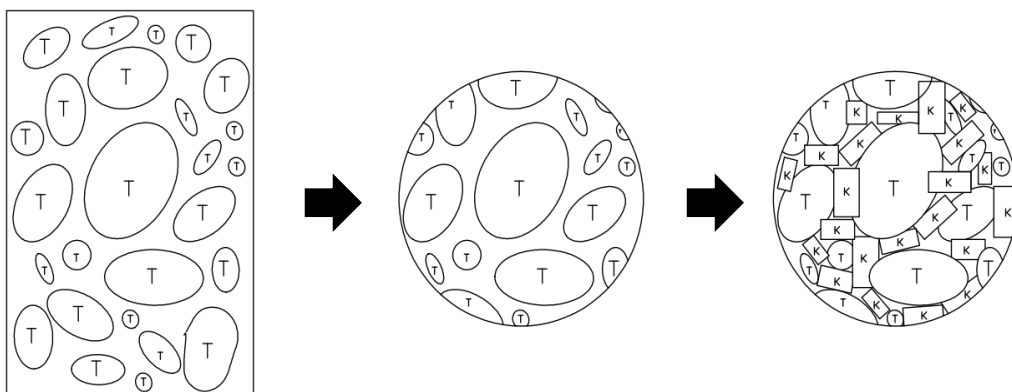


Gambar 4.17. Hasil Pengujian EDS tanah campuran (AKM 6)

Tabel 4.10. Senyawa yang terkandung pada tanah campuran (AKM 6)

Unsur	Nama Unsur	Jumlah (%)
O	Oksigen	53,58
C	Karbon	7,22
Al	Aluminium	12,39
Si	Silika	15,58
Mg	Magnesium	1,34
Fe	Besi	3,97
Ca	Kalsium	0,94
K	Kalium	1,44

Hasil pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) terlihat pada tanah campuran memiliki kepadatan yang lebih dibandingkan pada tanah asli. Pada tanah campuran rongga-rongga pori tanah hanya sedikit ini dikarenakan adanya campuran cacahan kaleng minuman yang mengisi rongga-rongga pori tersebut. Hasil pengujian EDS (*Energy Dispersive Spectrometer*) ini menunjukkan bahwa kadar senyawa oksigen pada tanah campuran mengalami penurunan dari tanah asli. Ini menyebabkan pada tanah campuran (AKM 6) memiliki kepadatan yang lebih dibandingkan tanah asli. Rongga pori yang ada pada tanah di isi oleh cacahan kaleng minuman. Namun, jika penambahan cacahan kaleng minuman terlalu banyak ini bisa membuat tanah akan mengalami keropos saat di lakukannya pencetakan benda uji, berikut mekanisme stabilisasi pada tanah lempung ekspansif menggunakan campuran limbah kaleng minuman.



Gambar 4.18. Sketsa Mekanisme Stabilisasi

#### 4.7. Pembahasan

Hasil pengujian kuat geser yang dilakukan menunjukkan bahwa campuran limbah alumunium kaleng minuman berpengaruh pada nilai kuat tarik yang di dapatkan. Peningkatan nilai kuat tarik ini di pengaruhi oleh jumlah campuran yang ditambahkan pada tanah asli. Peningkatan ini dikarenakan bahan campuran mengisi rongga-rongga kosong pada tanah yang menyebabkan tanah menjadi lebih padat. Ini dapat dilihat dari hasil pengujian SEM-EDS pada tanah asli dan tanah campuran. Pada hasil pengujian SEM tanah asli terlihat tanah terlihat banyak rongga-rongga kosong yang menyebabkan tanah terlihat tidak padat. Sedangkan dari hasil pengujian SEM tanah campuran menunjukkan bahwa rongga-rongga pori pada tanah dan ikatan antar butiran yang berkurang terlihat lebih padat. Rongga-rongga pori ini ini disebabkan adanya senyawa oksigen dalam tanah. Dari hasil pengujian EDS pada tanah campuran kandungan senyawa oksigen yang terkandung lebih kecil daripada tanah asli, ini mengakibatkan rongga-rongga pori pada tanah campuran semakin rapat.

Dari pengujian pemadatan tanah standar disimpulkan bahwa pada tanah campuran kadar air ( $W$  optimum, %) dalam tanah mengalami penurunan dikarenakan jumlah campuran alumunium kaleng minuman semakin banyak mengingat aluunium kaleng minuman bersifat kedap air maka kadar air dalam tanah mengalami penurunan. Sedangkan pada nilai berat kering tanah ( $\gamma_d$ ,  $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) mengalami kenaikan dikarenakan alumunium kaleng minuman bersifat padat sehingga mengisi rongga-rongga pori dalam tanah ini dapat dilihat dari hasil pengujian SEM dimana tanah campuran lebih padat. Namun, jika jumlah campuran alumunium kaleng minuman terlalu banyak dapat menyebabkan tanah retak dan memiliki daya dukung dan kuat tarik yang rendah.

Berdasarkan pengujian kuat tekan bebas, dapat dilihat bahwa variasi campuran limbah alumunium kaleng minuman terhadap tanah lempung ekspansif mengalami peningkatan pada nilai daya dukung tanah ( $q_u$ ). Nilai  $q_u$  mengalami kenaikan optimum pada variasi AKM 6 yaitu variasi dengan campuran alumunium kelang minuman sebesar 6% dengan nilai  $q_u$  sebesar  $1,23 \text{ kg}/\text{cm}^2$  dan nilai  $C_u$  sebesar  $0,615 \text{ kg}/\text{cm}^2$  dan mengalami kenaikan sebesar 186.04% dari tanah asli, namun menurun pada variasi campuran AKM 8 dan AKM 10.



Berdasarkan tabel 2.6 pada tanah lempung ekspansif memiliki konsistensi jenis tanah yaitu *soft* (lunak) namun setelah tanah tersebut di campur dengan alumunium kaleng minuman berubah menjadi *stiff* (kaku). Sedangkan pada pengujian geser langsung (*direct shear*) di dapatkan nilai kohesi ( $C_u$ ) sebesar  $0,593 \text{ kg/cm}^2$  dan nilai sudut geser dalam ( $\phi$ ) sebesar  $16,2^\circ$ . Campuram limbah alumunium kaleng minuman dapat meningkatkan nilai kohesi (C) namun mengalami penurunan pada nilai sudut geser dalam ( $\phi$ ). Dari hasil pengujian geser langsung (*direct shear*) maka di dapatkan nilai kuat geser tanah dari korelasi nilai kohesi dan sudut geser dalam. Hasil pengujian tanah campuran nilai kuat geser tanah ( $\tau$ ) yaitu sebesar  $2,17 \text{ kg/cm}^2$  dan mengalami kenaikan sebesar  $2,84\%$  dari nilai kuat geser tanah asli.