

BAB IV

ANALISA HASIL UJI LABORATORIUM

4.1 PENDAHULUAN

Uji laboratorium yang dilakukan pada skripsi adalah uji *unconfined* dan triaksial *CU*. Namun pada seminar skripsi telah dilakukan percobaan pendahuluan dengan triaksial *UU*. Percobaan ini dilakukan untuk memberikan bayangan tentang percobaan yang akan dijalani.

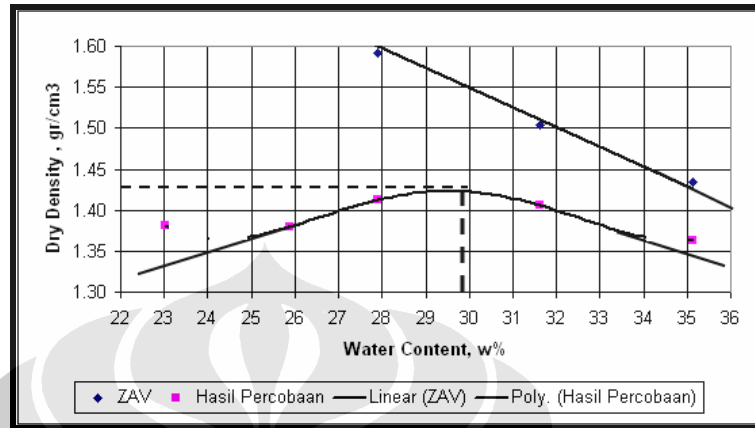
Percobaan pendahuluan dengan triaksial *UU* dilakukan dengan menggunakan tanah merah yang berasal dari daerah sekitar Depok, bukan tanah Ujung Harapan yang dipakai dalam skripsi. Tanah merah ini memiliki kadar air optimum sebesar 25% dan didesain dengan kadar air di atas optimum yaitu 35%. Percobaan ini menghasilkan kesimpulan awal bahwa penggunaan geotekstil dapat menurunkan nilai kohesi dan menaikkan sudut geser. Pada percobaan di lapangan pemberian geotekstil dapat meningkatkan nilai kekuatan geser dari tanah lempung lunak. Hasil triaksial *UU* ini akan dibuktikan lagi pada percobaan *unconfined* dan triaksial *CU*. Untuk hasil lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran hal 83.

4.2 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN COMPACTION DAN γ_{dry} CONTOH UJI YANG DIHASILKAN

Tanah lempung lunak yang digunakan untuk skripsi berasal dari tanah Ujung Harapan, Jakarta Utara yang merupakan sisa dari percobaan skripsi sebelumnya. Untuk indeks propertis dari tanah Ujung Harapan diambil dari data skripsi “*Perilaku Kekuatan Geser Tanah Lempung Lunak Dengan Uji Vane Shear Dan Uji Triaksial UU*” oleh Eva Khuzafah (lampiran hal 89).

Persiapan contoh uji dengan melakukan uji *compaction* untuk mendapatkan grafik hubungan antara kadar air optimum dan γ_{dry} (Gambar 4-1). Berdasarkan grafik ini maka ditentukanlah contoh uji dengan kadar air 28 % (di

bawah optimum), 30% (optimum), dan 32% (di atas optimum). Hal ini untuk mengetahui perilaku contoh uji bila diberi geotekstil pada masing kondisi kadar air.



Gambar 4-1. Grafik kadar air optimum pada tanah Ujung Harapan

Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui γ_{dry} yang harus dihasilkan untuk kadar air 28%, 30%, dan 32%. Dengan menggunakan rumus 3.1 akan didapatkan berat tanah yang dibutuhkan 1 contoh uji untuk masing-masing kondisi kadar air. Berat geotekstil yang akan digunakan dengan $\phi = 2,6$ cm adalah sebesar 0,1 gram atau 0,05% dari berat contoh uji sehingga dianggap tidak berpengaruh terhadap berat secara keseluruhan. Pada percobaan ini yang dibutuhkan adalah γ_{dry} sebagai pengontrol. Berikut ringkasan γ_{dry} yang dihasilkan pada pencetakan contoh uji pada kadar air 28%, 30%, dan 32% untuk uji *unconfined* dan uji triaksial *CU*.

Tabel 4-1. Perbandingan γ_{dry} dari setiap contoh uji *Unconfined*

Kadar air	Contoh Uji UCT	γ_{wet} (gr/cm ³)	γ_{dry} (gr/cm ³)
28%	Tanpa Geotekstil	1.802	1.412
	1 Lapis Geo	1.810	1.415
	2 Lapis Geo	1.807	1.414
30%	Tanpa Geotekstil	1.849	1.427
	1 Lapis Geo	1.843	1.422
	2 Lapis Geo	1.853	1.428
32%	Tanpa Geotekstil	1.862	1.413
	1 Lapis Geo	1.858	1.412
	2 Lapis Geo	1.862	1.415

Tabel 4-2. Perbandingan γ_{dry} dari setiap contoh uji Triaksial CU kadar air 28%

Kadar air	Contoh Uji Triaksial CU	γ_{wet} (gr/cm ³)	γ_{dry} (gr/cm ³)	
28%	Tanpa Geotekstil	50 kPa	1.808	1.415
		100 kPa	1.806	1.413
		150 kPa	1.807	1.414
	1 Lapis Geo	50 kPa	1.798	1.413
		100 kPa	1.807	1.413
		150 kPa	1.804	1.415
	2 Lapis Geo	50 kPa	1.803	1.415
		100 kPa	1.804	1.412
		150 kPa	1.803	1.413

Tabel 4-3. Perbandingan γ_{dry} dari setiap contoh uji Triaksial CU kadar air 30%

Kadar air	Contoh Uji Triaksial CU	γ_{wet} (gr/cm ³)	γ_{dry} (gr/cm ³)	
30%	Tanpa Geotekstil	50 kPa	1.852	1.425
		100 kPa	1.837	1.421
		150 kPa	1.851	1.426
	1 Lapis Geo	50 kPa	1.850	1.427
		100 kPa	1.843	1.421
		150 kPa	1.847	1.425
	2 Lapis Geo	50 kPa	1.843	1.423
		100 kPa	1.851	1.426
		150 kPa	1.853	1.427

Tabel 4-4. Perbandingan γ_{dry} dari setiap contoh uji Triaksial CU kadar air 32%

Kadar air	Contoh Uji Triaksial CU	γ_{wet} (gr/cm ³)	γ_{dry} (gr/cm ³)	
32%	Tanpa Geotekstil	50 kPa	1.850	1.411
		100 kPa	1.865	1.415
		150 kPa	1.856	1.411
	1 Lapis Geo	50 kPa	1.852	1.411
		100 kPa	1.862	1.415
		150 kPa	1.863	1.413
	2 Lapis Geo	50 kPa	1.862	1.415
		100 kPa	1.859	1.414
		150 kPa	1.864	1.414

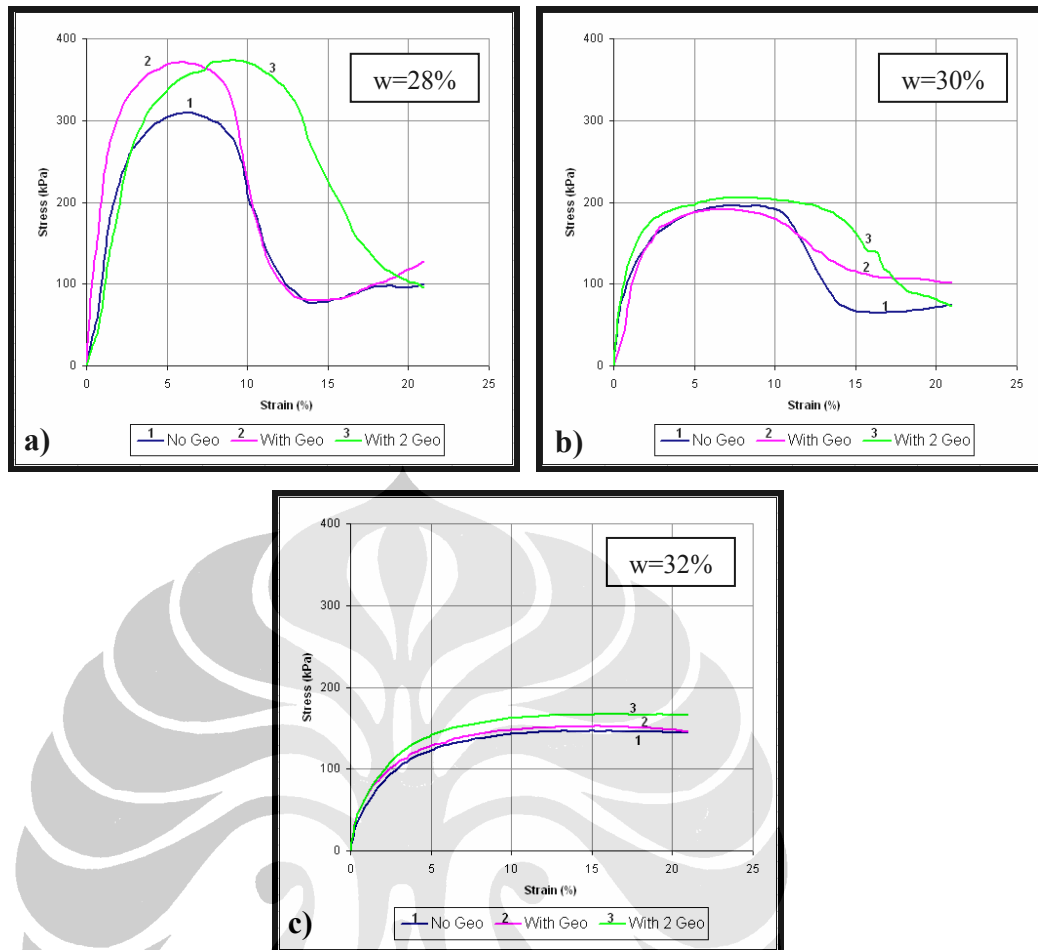
Tabel 4-1 di atas memperlihatkan bahwa γ_{dry} dari masing-masing contoh uji memiliki rentang yang sama untuk masing-masing kadar air. Untuk kondisi kadar air optimum 30%, γ_{dry} yang dimiliki adalah yang terbesar yaitu sebesar 1,422 – 1,428. Sedangkan kadar air 28% dan 32% memiliki γ_{dry} yang hampir sama yaitu dari 1.412 – 1.415. Hal ini telah sesuai dengan Gambar 4-1 yang menunjukkan hubungan antara kadar air dengan *dry density*.

Rentang γ_{dry} yang dihasilkan pada pencetakan contoh uji triaksial *CU* sesuai pula dengan grafik *compaction*. Hal ini dapat terlihat dari tabel 4-2, 4-3, dan 4-4. Untuk kadar air 28% dan 32% memiliki rentang yang sama yaitu antara 1,411 – 1,415 gr/cm³. Sedangkan untuk kadar air optimum 30% memiliki rentang antara 1,421 – 1,427 gr/cm³. Dari tabel-tabel γ_{dry} di atas dapat disimpulkan bahwa contoh uji untuk masing-masing percobaan memiliki perbedaan yang tidak mencapai 1%. Dengan demikian contoh-contoh uji yang dihasilkan dapat digunakan untuk percobaan selanjutnya.

4.3 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN *UNCONFINED COMPRESSION TEST (UCT)*

Percobaan *Unconfined* ini menggunakan contoh uji dengan 3 desain kadar air yaitu pada kondisi optimum (30%) serta $\pm 2\%$ yaitu 28% dan 32%. Alasan diambil $\pm 2\%$ adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan geotekstil pada daerah kadar air optimum pada contoh uji. Contoh uji dibuat dengan bantuan tekanan ekstruder yang dikontrol berdasarkan γ_{dry} . Total contoh uji ada 3 buah untuk masing-masing kondisi, yaitu tanpa menggunakan geotekstil, dengan menggunakan 1 lapis serta dengan 2 lapis geotekstil. Untuk kondisi 1 lapis, geotekstil diletakkan pada 1/3 tinggi contoh uji atau pada lapisan bawah. Sedangkan untuk kondisi 2 lapis, geotekstil diletakkan pada masing-masing lapisan. Masing-masing contoh uji kemudian diberi tekanan hingga mengalami regangan (*strain*) sebesar 20%.

Percobaan *Unconfined* ini menghasilkan grafik yang menggambarkan hubungan antara *Stress Vs Strain* pada contoh uji terhadap jumlah geotekstil yang digunakan. Grafik tersebut memberikan informasi mengenai perilaku contoh uji terhadap tegangan (*stress*) yang diberikan selama pengujian berlangsung. Selain itu akan diketahui pula tegangan maksimum (q_u maks) yang dapat ditahan oleh contoh uji. Grafik-grafik ini dapat dilihat pada gambar 4-2a untuk kadar air 28%, 4-2b untuk kadar air 30%, dan 4-2c untuk kadar air 32%.



Gambar 4-2. Grafik Stress Vs Strain contoh uji Unconfined terhadap jumlah lapisan geotekstil untuk masing-masing kadar air

Dari gambar 4-2a memperlihatkan bahwa pemberian geotekstil pada contoh uji kadar air 28% memberikan kontribusi dalam meningkatkan kemampuan contoh uji menerima beban yang lebih besar. Dalam grafik terlihat terjadi peningkatan 61,70 kPa atau 19,94 % pada contoh uji dengan 1 lapis geotekstil. Namun pemberian jumlah lapis geotekstil yang berbeda pada contoh uji tidak memberikan peningkatan kekuatan yang signifikan yakni hanya sebesar 63,81 kPa atau 20,62 % dengan 2 lapis geotekstil. Walaupun demikian, pemberian 2 geotekstil dalam contoh uji membuat letak tegangan maksimum (q_u maks) berada pada regangan 9%, lebih panjang 3% dibandingkan dengan 2 contoh uji yang lain yaitu sebesar 6%. Dari bentuk grafik pun dapat disimpulkan bahwa pada kadar air 28% contoh uji mengalami kondisi getas dimana terjadi penurunan kekuatan yang signifikan setelah mencapai q_u maksimum.

Pada gambar 4-2b terlihat bahwa pemberian geotekstil pada contoh uji kadar air 30% tidak memberikan peningkatan kekuatan yang signifikan. Pada contoh uji dengan 1 lapis geotekstil mengalami penurunan kekuatan sebesar 4,36 kPa atau 2,23 % dan dengan 2 lapis geotekstil mengalami peningkatan kekuatan sebesar 9,31 kPa atau 4,75 %. Terjadinya penurunan kekuatan pada contoh uji dengan 1 lapis geotekstil disebabkan ketidaksempurnaan dalam pencetakan contoh uji atau dapat dikatakan tanah telah mengalami gangguan. Akibatnya ada satu contoh uji yang memberikan reaksi penurunan kekuatan maksimum sehingga contoh uji ini dapat dikatakan gagal dari 9 contoh uji yang dicoba. Regangan yang dihasilkan pada kadar air optimum ini memberikan nilai yang lebih yang lebih besar yaitu 8% - 9%. Dari grafik pun dapat disimpulkan bahwa pada kadar air 30% contoh uji mengalami kondisi getas dimana terjadi penurunan kekuatan yang signifikan setelah mencapai q_u maksimum namun tidak segetas kadar air 28%.

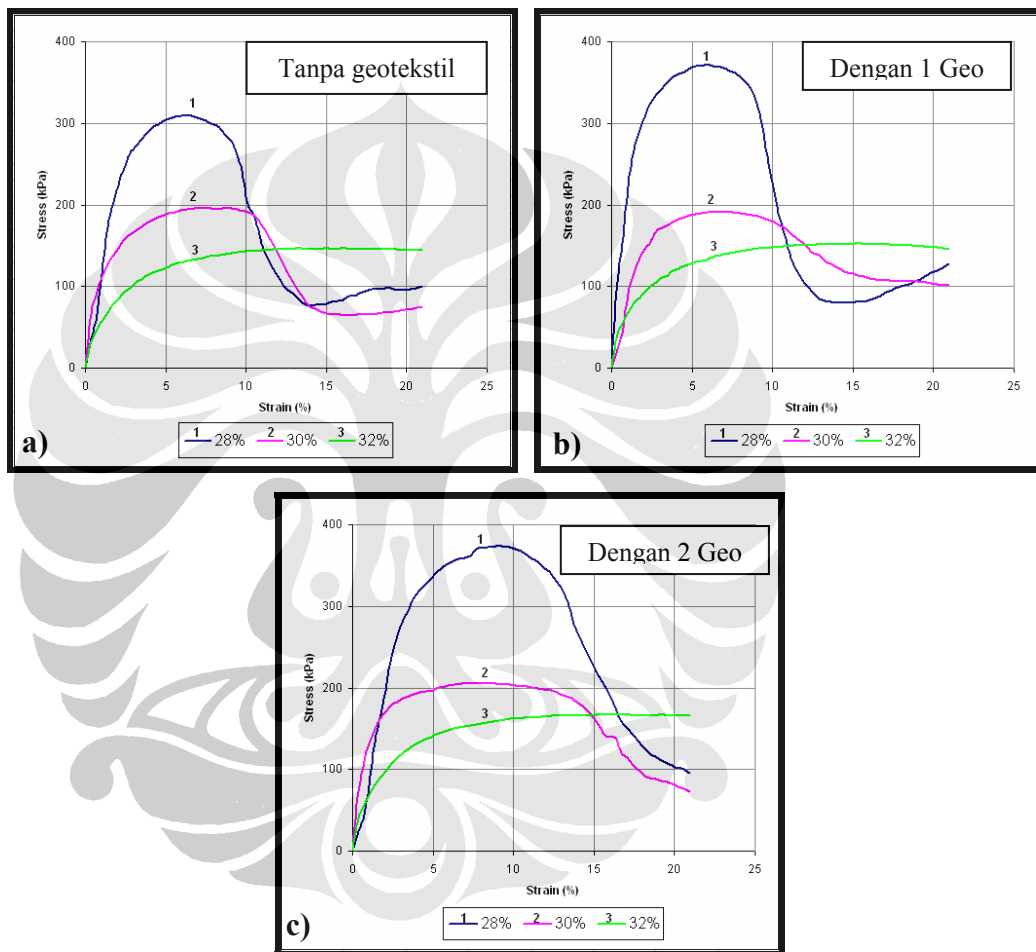
Contoh uji kadar air 32% (gambar 4-2c) memberikan hasil yang berbeda dibandingkan dengan yang lainnya. Perbedaannya adalah pada kestabilan kurva *stress* terhadap *strain* yang berarti contoh uji mengalami kondisi plastis. Untuk pengaruh lapisan geotekstil pada contoh uji dengan 1 lapis adalah sebesar 5,74 kPa atau 3,92 % sedangkan pada 2 lapis adalah 20,48 kPa atau 13,97 %. Sehingga dapat disimpulkan jumlah lapisan geotekstil pada contoh uji berpengaruh terhadap kekuatan yang dapat diterima contoh uji. Selain itu, geotekstil juga memberikan pengaruh dalam memperpanjang regangan dari contoh uji yaitu sebesar 15% - 17% yang berarti contoh uji memiliki ketahanan dalam menerima beban yang lebih lama dibandingkan dengan kadar air 28% dan 30%.

Tabel 4-5. Perbandingan q_u dari masing-masing contoh uji *Unconfined*

Kadar air	Contoh Uji UCT	q_u (kPa)	Δq_u (%)
28%	Tanpa Geotekstil	309.39	-
	1 Lapis Geo	371.09	19.94
	2 Lapis Geo	373.20	20.62
30%	Tanpa Geotekstil	195.97	-
	1 Lapis Geo	191.61	-2.23*)
	2 Lapis Geo	205.28	4.75
32%	Tanpa Geotekstil	146.56	-
	1 Lapis Geo	152.30	3.92
	2 Lapis Geo	167.04	13.97

*) = contoh uji yang gagal

Selain itu dapat pula dibandingkan dengan cara lain yaitu dilihat dari kondisi contoh uji (tanpa geotekstil, 1 lapis geotekstil, dan 2 lapis geotekstil) terhadap perubahan kadar air. Hal ini untuk mengetahui pengaruh geotekstil terhadap kekuatan geser tanah jika terjadi perubahan kadar air pada suatu tanah. Perbandingan ini dapat dilihat pada gambar 4-3 serta tabel 4-6 untuk mengetahui q_u maksimum yang dihasilkan.



Gambar 4-3. Grafik *Stress Vs Strain* contoh uji *Unconfined* terhadap perubahan kadar air untuk masing-masing lapisan geotekstil

Gambar 4-3a contoh uji tanpa geotekstil menunjukkan bahwa tegangan yang dapat ditahan oleh contoh uji semakin menurun seiring dengan meningkatnya kadar air. Penurunan kekuatan dari 28 % ke 32 % sebesar 162,83 kPa atau sebesar 52,63 %. Gejala yang sama ditunjukkan untuk contoh uji dengan 1 lapis geotekstil dan 2 lapis geotekstil. Penurunan contoh uji dengan 1 lapis

geotekstil (gambar 4-3b) yang terjadi dari 28 % ke 32 % adalah sebesar 218,79 kPa atau 58,96 %. Sedangkan penurunan yang terjadi pada contoh uji dengan 2 lapis geotekstil (gambar 4-3c) sebesar 206,16 kPa atau 55,24 %. Besarnya penurunan tidak jauh berbeda dengan contoh uji tanpa geotekstil sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada hubungan antara jumlah lapis geotekstil terhadap perubahan kadar air yang semakin jenuh. Namun terdapat hubungan antara regangan yang dihasilkan untuk mencapai q_u maksimum dengan jumlah lapisan geotekstil yang diletakkan pada contoh uji. Dari gambar 4-6 terlihat bahwa regangan akan semakin panjang untuk mencapai q_u maksimum untuk kadar air yang semakin besar. Peningkatan ini dapat terjadi karena semakin besar kadar air suatu tanah semakin bertambah pula gaya kohesi antara partikel tanah dengan geotekstil.

Tabel 4-6. Perbandingan contoh uji *Unconfined* ditinjau dari perubahan kadar air

Kondisi	Kadar air	q_u (kPa)	Δq_u (%)
Tanpa Geotekstil	28%	309.39	-
	30%	195.97	36.66
	32%	146.56	52.63
1 Lapis Geotekstil	28%	371.09	-
	30%	191.61	48.37
	32%	152.30	58.96
2 Lapis Geotekstil	28%	373.20	-
	30%	205.28	45.00
	32%	167.04	55.24

4.4 HASIL DAN ANALISA PENGUJIAN TRIAKSIAL TERKONSOLIDASI TAK TERDRAINASI (CU)

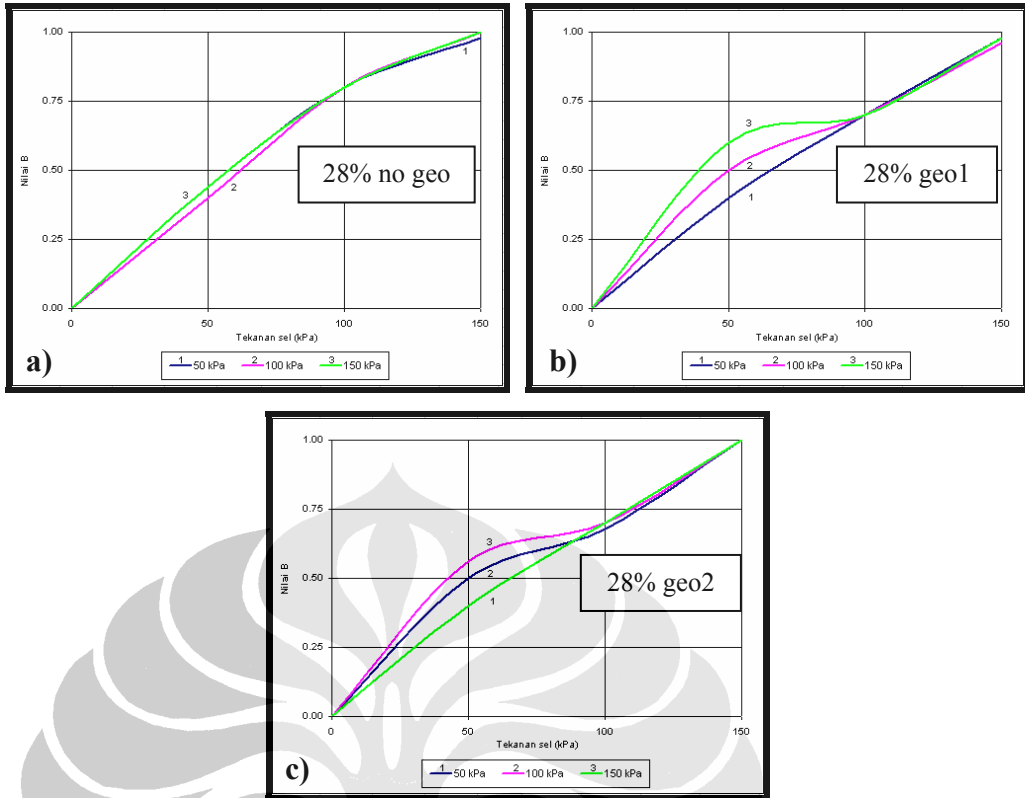
Percobaan Triaksial Terkonsolidasi Tak Terdrainasi membutuhkan contoh uji adalah sebanyak 27 buah yang terdiri dari 9 buah contoh uji untuk masing-masing kondisi kadar air, yaitu 28%, 30%, dan 32%. Contoh - contoh uji tersebut masing-masing diuji dengan triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 50$ kPa, 100 kPa, dan 150 kPa untuk menghasilkan nilai kekuatan geser dari masing-masing kondisi.

Triaksial *CU* ini memiliki 3 tahapan yang harus dilalui yaitu tahap saturasi, konsolidasi, dan kompresi. Tahap saturasi membutuhkan waktu 2 hari dikarenakan contoh uji yang digunakan merupakan tanah *disturbed* yang telah

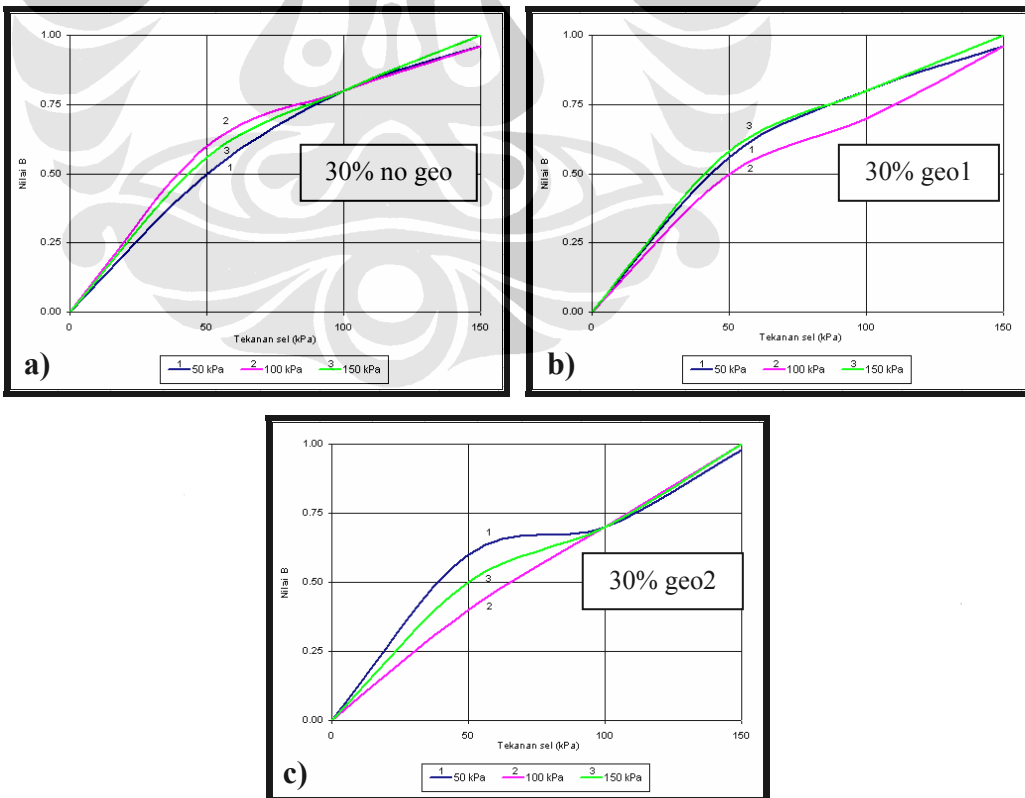
mengalami pemadatan dengan *extruder* sehingga berbeda dengan tanah *undisturbed* yang rata-rata hanya membutuhkan waktu saturasi sehari. Pada tahap ini pori-pori pada contoh uji diisi dengan air. Data yang didapat adalah nilai tekanan sel, tekanan balik, tekanan pori, koefisien B, perubahan volum tekanan balik, dan perubahan volum sel. Tahap kedua adalah tahap konsolidasi yang membutuhkan waktu 1 jam. Pada tahap ini air pori mengalir keluar dari contoh uji sehingga terjadi perubahan volum contoh uji sebanyak jumlah air yang keluar. Data yang didapatkan adalah data perubahan volum pori (yang akan menghasilkan data jumlah air yang mengalir keluar selama proses konsolidasi) dan tekanan pori tiap satuan waktu tertentu. Dan tahap ketiga adalah tahap kompresi yang membutuhkan waktu sekitar 1 jam untuk mencapai strain sebesar 20%. Kecepatan penurunan yang diberikan dalam tahap kompresi adalah 0,05 mm/menit. Pada tahap ini, air pori tidak diperbolehkan mengalir sehingga akan terjadi perubahan tekanan air pori selama proses pembebanan. Data yang didapatkan adalah deformasi aksial, beban aksial, dan tekanan pori. Jadi, total waktu yang dibutuhkan untuk menguji 1 contoh uji adalah 4 hari.

Data-data yang diperoleh dari uji triaksial ini diolah dengan menggunakan persamaan-persamaan yang telah diuraikan pada bab tinjauan pustaka sehingga akan menghasilkan kurva-kurva yaitu kurva hubungan antara tekanan sel terhadap nilai B, kurva hubungan antara perubahan volum dan tekanan pori terhadap akar waktu tertentu, kurva hubungan antara tegangan deviator terhadap regangan, kurva hubungan antara tegangan deviator terhadap tegangan efektif, dan kurva hubungan antara perubahan tekanan air pori terhadap regangan.

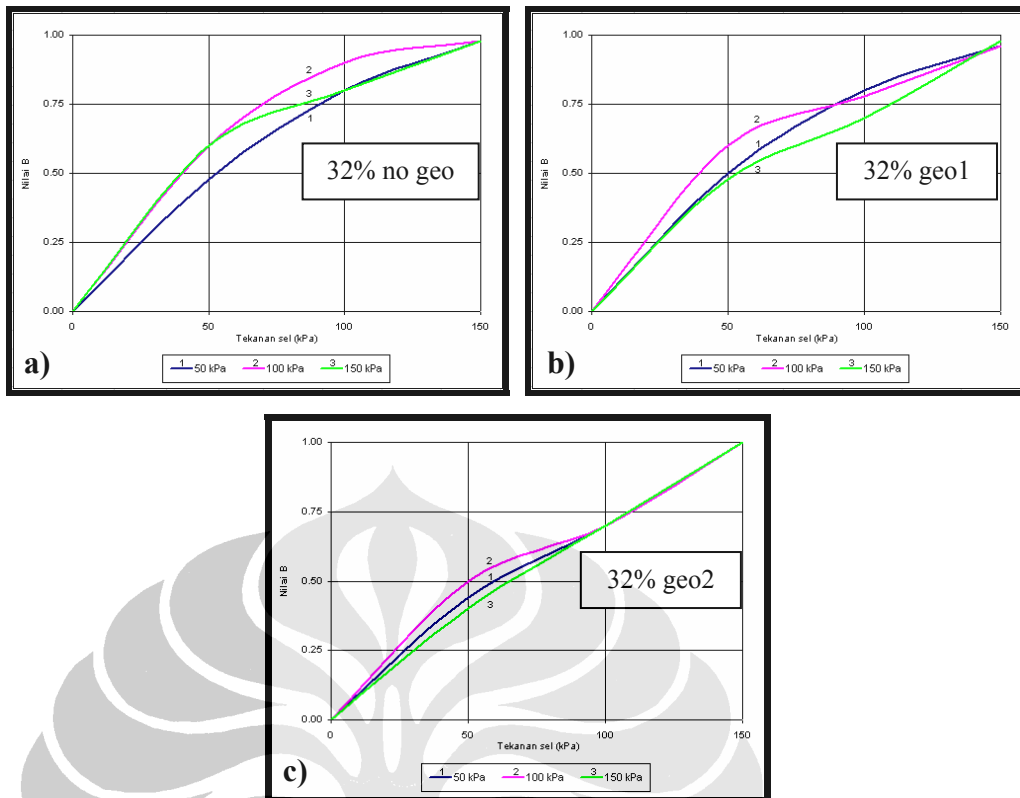
Grafik yang dihasilkan pada proses saturasi adalah grafik hubungan antara tekanan sel terhadap nilai B. Contoh uji yang telah mencapai saturasi 100% akan memiliki nilai B antara 0,95 – 1. Grafik untuk setiap kadar air pada masing-masing kondisi contoh uji ditunjukkan pada gambar 4-4, 4-5, dan 4-6.



Gambar 4-4. Grafik Nilai B Vs Tekanan Sel contoh uji triaksial CU untuk kadar air 28%



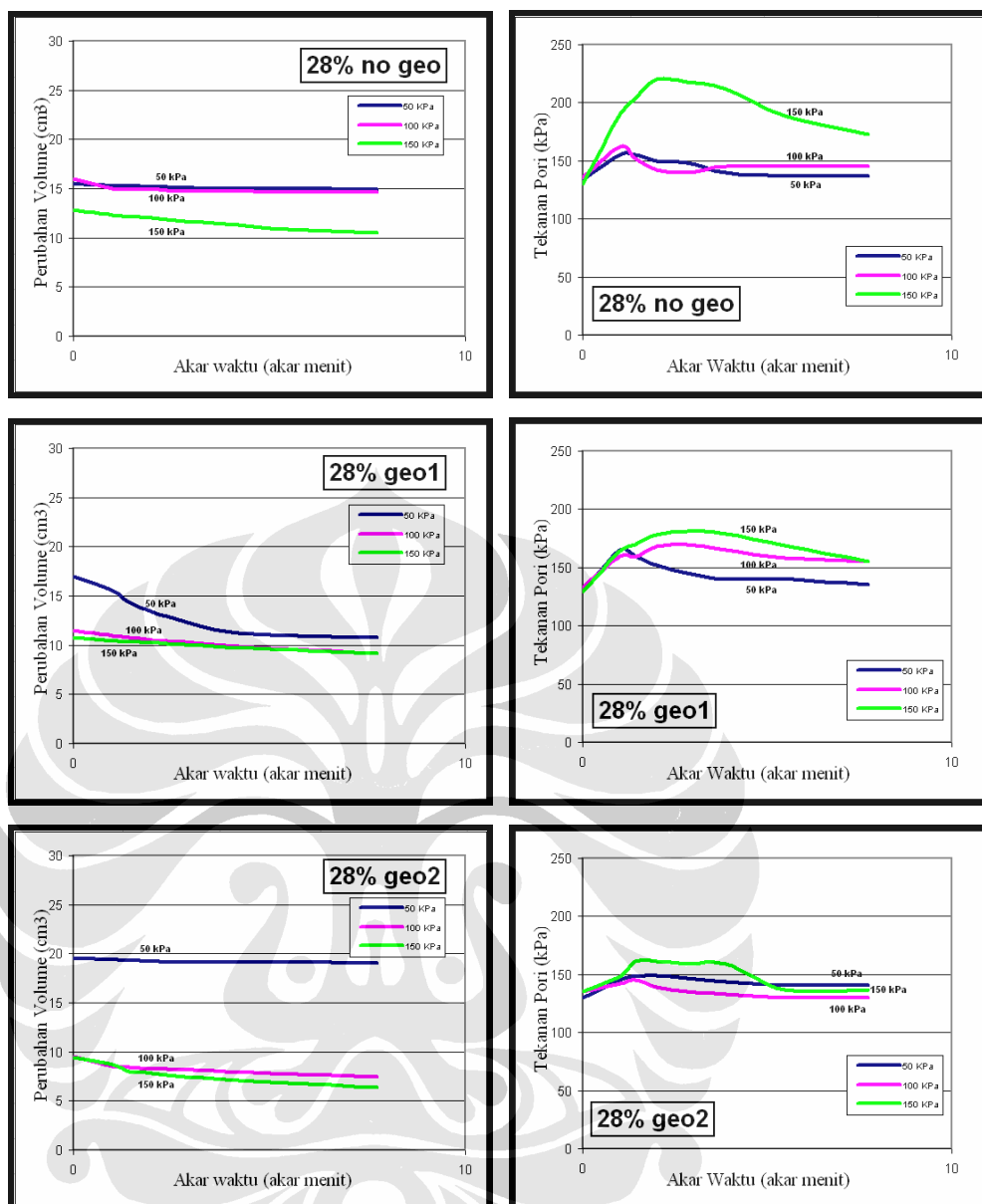
Gambar 4-5. Grafik Nilai B Vs Tekanan Sel contoh uji triaksial CU untuk kadar air 30%



Gambar 4-6. Grafik Nilai B Vs Tekanan Sel contoh uji triaksial CU untuk kadar air 32%

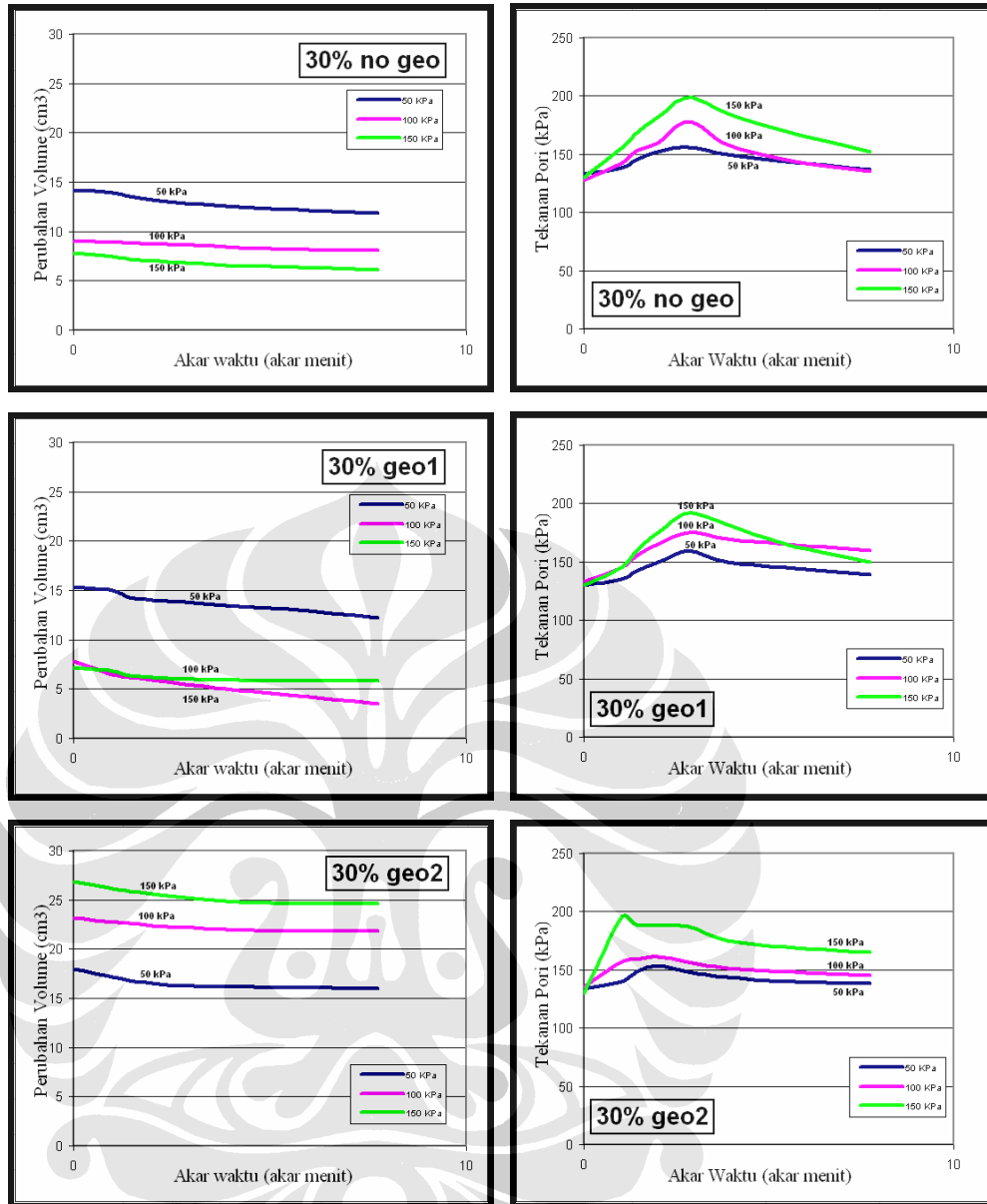
Untuk kadar air 28%, terlihat bahwa secara umum banyaknya lapisan geotekstil dalam contoh uji tidak berpengaruh dalam kecepatan contoh uji mencapai nilai $B = 0,95-1$. Hal ini disebabkan adanya kertas tisu yang diberikan di sisi luar contoh uji sebagai daya kapilaritas pada saat proses saturasi. Hal ini juga berlaku untuk kadar air 30% dan 32%.

Grafik yang dihasilkan pada proses konsolidasi adalah grafik hubungan antara perubahan volum contoh uji terhadap akar waktu serta tekanan pori terhadap akar waktu. Dari grafik ini akan diketahui perubahan volum pada contoh uji selama proses konsolidasi selama 1 jam serta tekanan pori yang dihasilkan. Grafik untuk setiap kadar air pada masing-masing kondisi contoh uji ditunjukkan pada gambar 4-7, 4-8, dan 4-9.



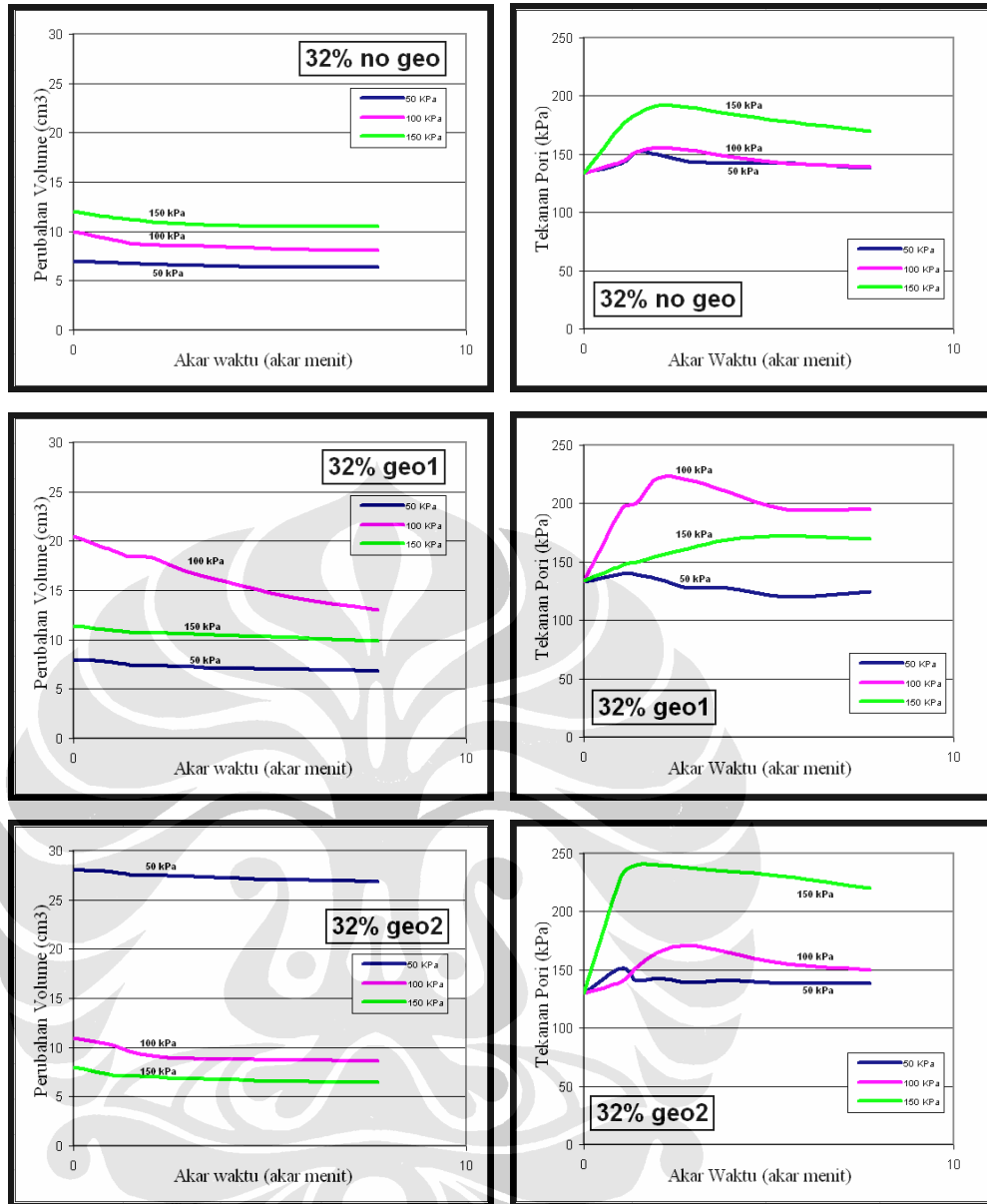
Gambar 4-7. Grafik Perubahan Volum Vs Akar Waktu (kiri) dan Tekanan Pori Vs Akar Waktu (kanan) contoh uji triaksial CU untuk kadar air 28%

Dari grafik 4-7 dapat diketahui bahwa perubahan volum selama proses konsolidasi berkisar antara 0.6 – 2.3 cm³ terhadap volum contoh uji awal sebesar 72,14 cm³. Sedangkan tekanan pori yang diberikan contoh uji saat proses konsolidasi akan membesar pada 4 menit pertama dan selanjutnya akan bergerak turun secara pelan-pelan. Hal ini sesuai dengan perilaku tanah lempung lunak saat proses konsolidasi. Namun pemberian geotekstil pada contoh uji tidak mempengaruhi perubahan volum yang terjadi maupun tekanan pori yang dihasilkan.



Gambar 4-8. Grafik Perubahan Volum Vs Akar Waktu (kiri) dan Tekanan Pori Vs Akar Waktu (kanan) contoh uji triaksial CU untuk kadar air 30%

Dari grafik 4-8 dapat diketahui bahwa perubahan volum selama proses konsolidasi berkisar antara 0.9 – 4.3 cm³ terhadap volum contoh uji awal sebesar 72,14 cm³. Sedangkan tekanan pori yang diberikan contoh uji saat proses konsolidasi akan membesar pada 8 menit pertama dan selanjutnya akan bergerak turun secara pelan-pelan. Hal ini berbeda dengan kadar air 28% dan 32% dikarenakan tekanan pori yang diberikan contoh uji pada kadar air optimum berjalan lebih lama. Pemberian geotekstil pada contoh uji tidak mempengaruhi perubahan volum yang terjadi maupun tekanan pori yang dihasilkan.



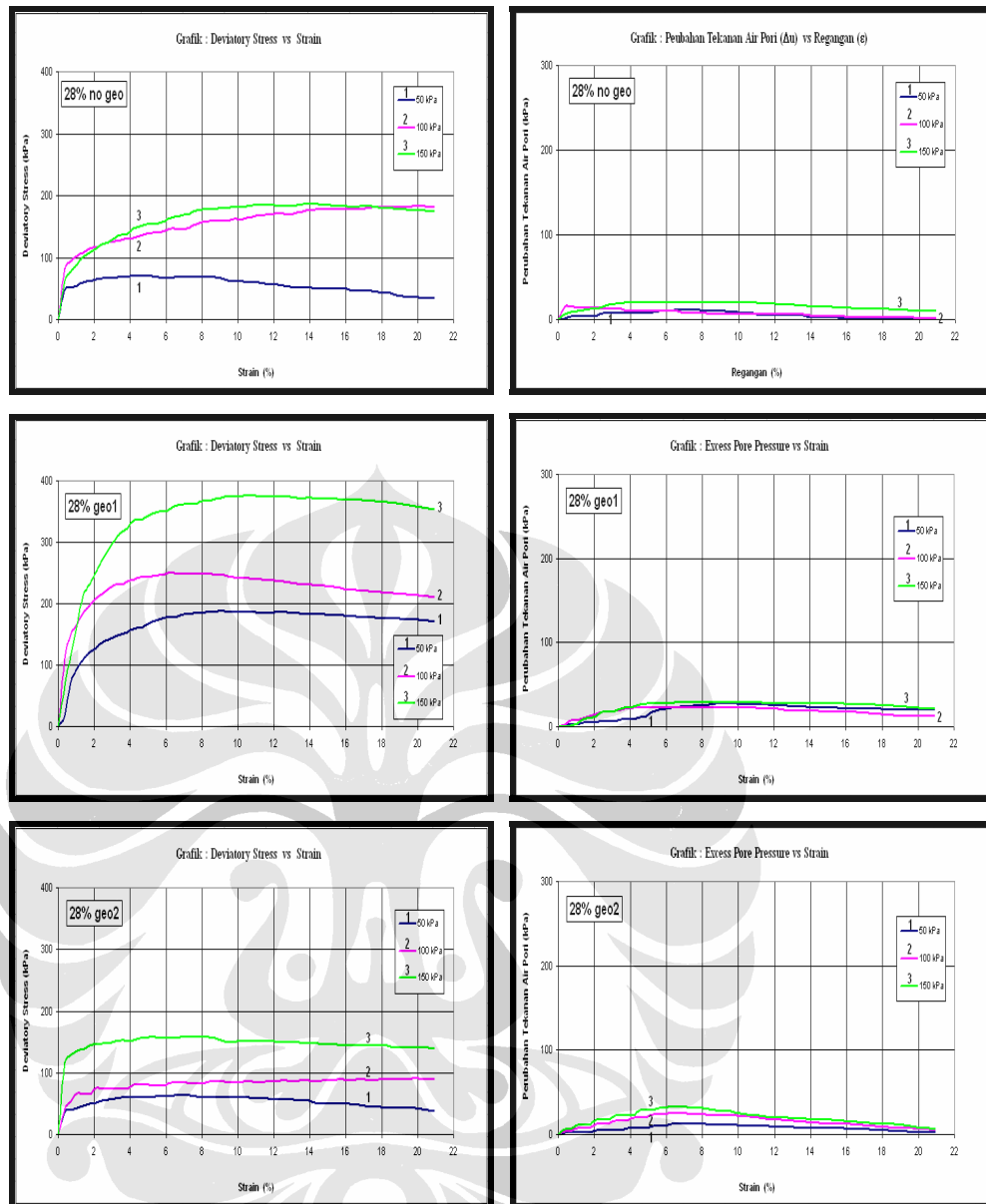
Gambar 4-9. Grafik Perubahan Volum Vs Akar Waktu (kiri) dan Tekanan Pori Vs Akar Waktu (kanan) contoh uji triaksial CU untuk kadar air 32%

Dari grafik 4-9 dapat diketahui bahwa perubahan volum selama proses konsolidasi berkisar antara 0.6 – 2.4 cm³ terhadap volum contoh uji awal sebesar 72,14 cm³. Sedangkan tekanan pori yang diberikan contoh uji saat proses konsolidasi akan membesar pada 4 menit pertama dan selanjutnya akan bergerak turun secara pelan-pelan. Namun pemberian geotekstil pada contoh uji tidak mempengaruhi perubahan volum yang terjadi maupun tekanan pori yang dihasilkan.

Grafik yang dihasilkan pada proses kompresi adalah kurva hubungan antara tegangan deviator terhadap regangan, kurva hubungan antara perubahan tekanan air pori terhadap regangan, dan kurva hubungan antara tegangan deviator terhadap tegangan efektif. Dari grafik tegangan deviator terhadap regangan akan diketahui hubungan antara regangan yang terjadi pada contoh uji terhadap tegangan yang diberikan sehingga dapat diketahui hubungannya dengan peningkatan kadar air serta penambahan lapisan geotekstil. Grafik untuk setiap kadar air pada masing-masing kondisi contoh uji ditunjukkan pada gambar 4-10, 4-11, dan 4-12 kiri.

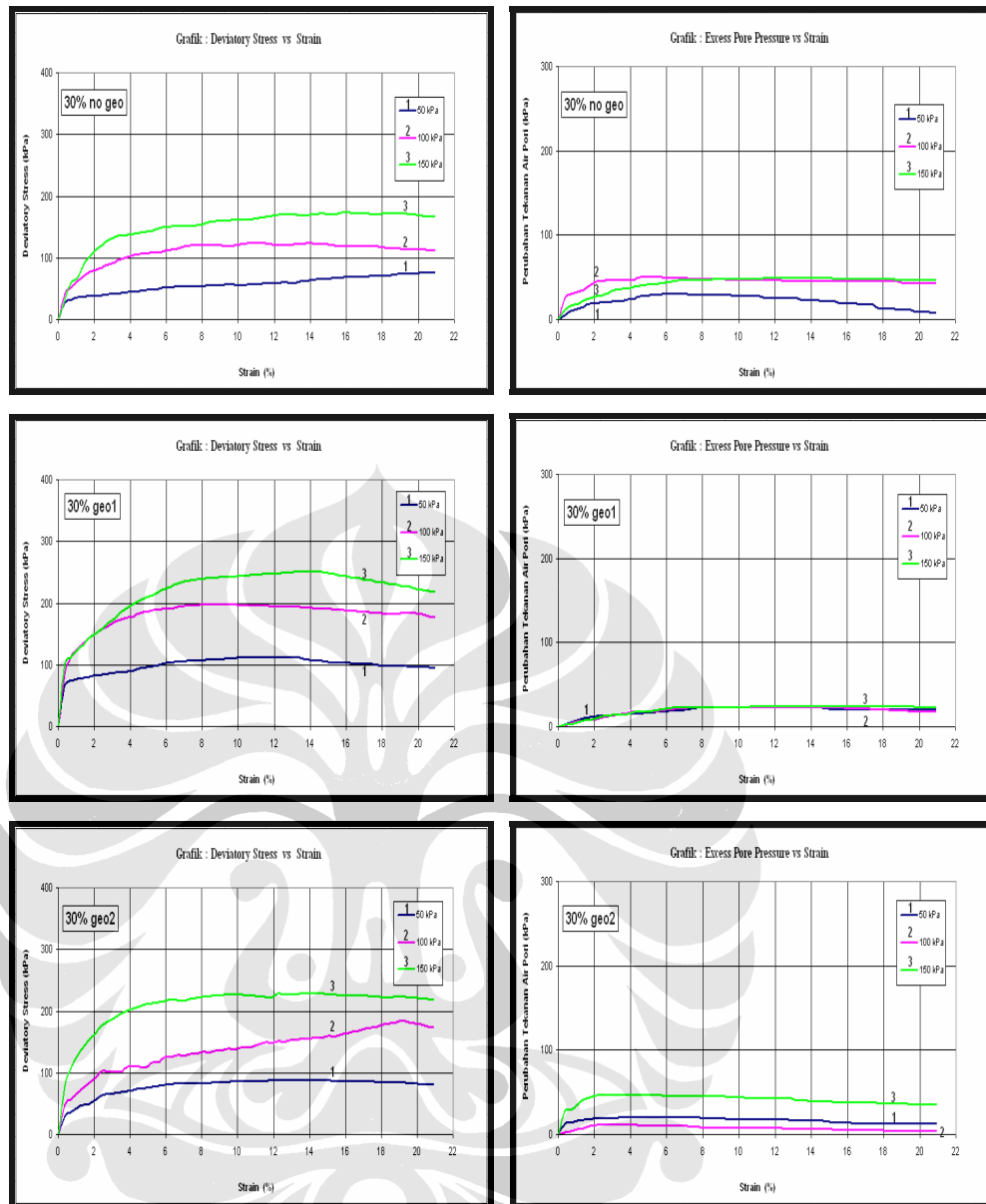
Grafik hubungan antara perubahan tekanan air pori terhadap regangan akan memberikan informasi mengenai kondisi konsolidasi tanah yaitu konsolidasi normal atau konsolidasi berlebih. Namun jika dilihat dari proses pencetakan contoh uji grafik yang merupakan contoh uji *disturbed* dan dengan ditekan (bukan ditumbuk) yang dihasilkan lebih ke arah konsolidasi berlebih. Konsolidasi berlebih inilah yang akan ditinjau apakah konsolidasi sedikit berlebihan (*lightly overconsolidated*), konsolidasi agak berlebihan (*medium overconsolidated*), atau konsolidasi sangat berlebihan (*heavily overconsolidated*). Grafik untuk setiap kadar air pada masing-masing kondisi contoh uji ditunjukkan pada gambar 4-10, 4-11, dan 4-12 kanan.

Sedangkan dari grafik hubungan antara tegangan deviator terhadap tegangan efektif akan dihasilkan nilai parameter kekuatan geser yang terjadi pada tanah berupa kohesi dan sudut geser. Untuk mendapatkan parameter-parameter geser tersebut digunakan konsep kondisi kritis (*critical state*) dengan kriteria keruntuhan menggunakan pembatasan *strain* sebesar 15%. Grafik untuk setiap kadar air pada masing-masing kondisi contoh uji ditunjukkan pada gambar 4-13, 4-14, dan 4-15.



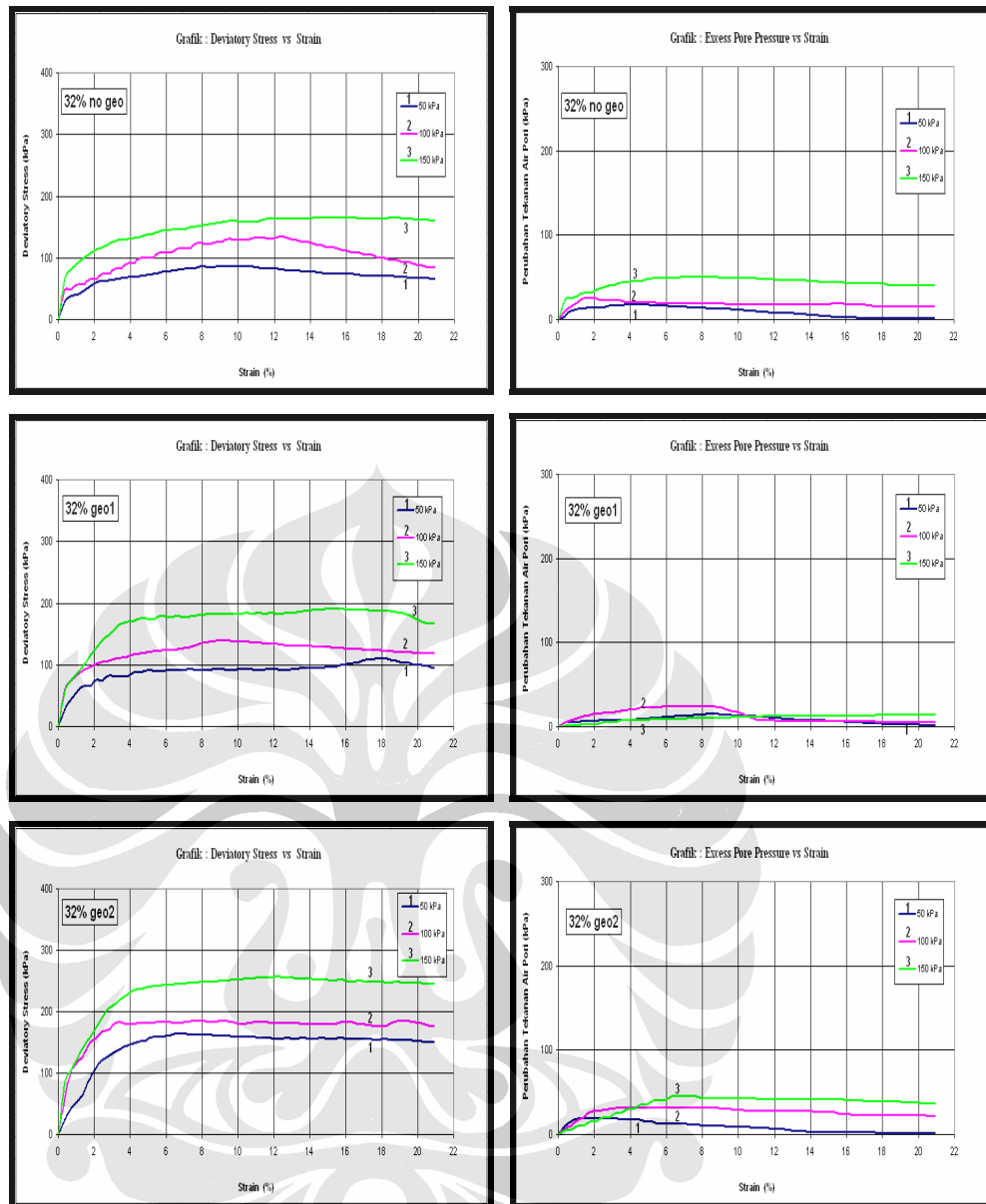
Gambar 4-10. Grafik *Deviatory Stress Vs Strain* (kiri) dan *Perubahan Tekanan Pori Vs Regangan* (kanan) contoh uji triaksial *CU* untuk kadar air 28%

Dari grafik 4-10 (kiri) dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan tegangan maksimum yang mampu diterima oleh contoh uji seiring bertambahnya jumlah geotekstil. Namun untuk 2 lapis geotekstil terjadi penurunan tegangan maksimum yang disebabkan contoh uji mengalami gangguan. Untuk mengetahui tegangan-tegangan maksimum yang terjadi pada setiap contoh uji dapat dilihat pada tabel 4-7, 4-8, dan 4-9. Untuk grafik 4-10 (kanan) diketahui bahwa contoh uji mengalami konsolidasi agak berlebihan (*medium overconsolidated*).



Gambar 4-11. Grafik Perubahan Volum Vs Akar Waktu (kiri) dan Tekanan Pori Vs Akar Waktu (kanan) contoh uji triaksial CU untuk kadar air 30%

Dari grafik 4-11 (kiri) dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan tegangan maksimum yang mampu diterima oleh contoh uji seiring bertambahnya jumlah geotekstil. Namun untuk 2 lapis geotekstil terjadi penurunan tegangan maksimum yang disebabkan contoh uji mengalami gangguan. Untuk mengetahui tegangan-tegangan maksimum yang terjadi pada setiap contoh uji dapat dilihat pada tabel 4-7, 4-8, dan 4-9. Untuk grafik 4-11 (kanan) diketahui bahwa contoh uji mengalami konsolidasi agak berlebihan (*medium overconsolidated*).



Gambar 4-12. Grafik Perubahan Volum Vs Akar Waktu (kiri) dan Tekanan Pori Vs Akar Waktu (kanan) contoh uji triaksial CU untuk kadar air 32%

Dari grafik 4-12 (kiri) dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan tegangan maksimum yang mampu diterima oleh contoh uji seiring bertambahnya jumlah geotekstil. Namun untuk 1 lapis geotekstil peningkatan tegangan maksimum tidak terlalu signifikan. Untuk mengetahui tegangan-tegangan maksimum yang terjadi pada setiap contoh uji dapat dilihat pada tabel 4-7, 4-8, dan 4-9. Untuk grafik 4-12 (kanan) diketahui bahwa contoh uji mengalami konsolidasi agak berlebihan (*medium overconsolidated*).

Tabel 4-7. Perbandingan tegangan maksimum contoh uji Triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 50$ kPa

Kadar air	Kondisi	Max Deviator Stress $\Delta\sigma_{\max}$ (kPa)	$\Delta\sigma_{\max}$ (%)
28%	Tanpa Geo	69.89	-
	1 Geo	187.42	168.18
	2 Geo	63.26	-9.48*)
30%	Tanpa Geo	76.21	-
	1 Geo	111.92	46.86
	2 Geo	88.10	15.59
32%	Tanpa Geo	85.77	-
	1 Geo	109.83	28.05
	2 Geo	163.33	90.42

Tabel 4-8. Perbandingan tegangan maksimum contoh uji Triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 100$ kPa

Kadar air	Kondisi	Max Deviator Stress $\Delta\sigma_{\max}$ (kPa)	$\Delta\sigma_{\max}$ (%)
28%	Tanpa Geo	182.73	-
	1 Geo	249.51	36.55
	2 Geo	90.55	-50.45*)
30%	Tanpa Geo	124.25	-
	1 Geo	196.85	58.43
	2 Geo	185.09	48.96
32%	Tanpa Geo	134.04	-
	1 Geo	139.36	3.97
	2 Geo	185.01	38.03

Tabel 4-9. Perbandingan tegangan maksimum contoh uji Triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 150$ kPa

Kadar air	Kondisi	Max Deviator Stress $\Delta\sigma_{\max}$ (kPa)	$\Delta\sigma_{\max}$ (%)
28%	Tanpa Geo	185.64	-
	1 Geo	375.31	102.18
	2 Geo	157.98	-14.90*)
30%	Tanpa Geo	173.44	-
	1 Geo	251.26	44.86
	2 Geo	229.09	32.08
32%	Tanpa Geo	165.40	-
	1 Geo	190.64	15.26
	2 Geo	256.35	54.99

Untuk $\sigma_3 = 50$ kPa (tabel 4-7) terjadi peningkatan penerimaan tegangan hingga 168,18% untuk 1 lapis geotekstil dan penurunan sebesar 9,48% pada kadar air 28%. Penurunan pada kondisi 2 lapis geotekstil disebabkan tidak meratanya tekanan yang diberikan pada contoh uji saat proses pencetakan atau dapat

dikatakan contoh uji telah mengalami gangguan. Untuk kadar air 30% terjadi peningkatan penerimaan tegangan pada kondisi 1 lapis geotekstil sebesar 46,86% dan pada 2 lapis geotekstil sebesar 15,59%. Namun perilaku tersebut tidak terjadi pada kadar air 32% yang justru makin meningkat kemampuan contoh uji dalam menerima tegangan maksimum seiring bertambahnya jumlah lapisan geotekstil yaitu dari 28,05% menjadi 90,42%. Grafik dapat dilihat pada lampiran 5 hal 113.

Contoh uji dengan $\sigma_3 = 100$ kPa memiliki perilaku yang sama dengan contoh uji $\sigma_3 = 50$ kPa. Pada tabel 4-8 kadar air 28% dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan tegangan sebesar 36,55% atau 66,78 kPa pada contoh uji yang diberi 1 lapis geotekstil. Namun terjadi penurunan tegangan pada contoh uji dengan 2 lapis geotekstil sebesar 50,45 % atau 92,18 kPa. Hal ini dapat disebabkan oleh pemberian tekanan dalam pencetakan yang tidak merata / contoh uji mengalami gangguan. Peningkatan penerimaan tegangan terjadi pula pada kadar air 30% kondisi 1 lapis geotekstil sebesar 58,43% atau 72,60 kPa. Sedangkan pada kondisi 2 lapis geotekstil terjadi peningkatan tegangan sebesar 48,96% atau 60,84 kPa. Peningkatan ini lebih kecil daripada peningkatan tegangan yang terjadi pada contoh uji dengan 1 lapis geotekstil. Hal ini disebabkan ketidakefektifan jumlah geotekstil dalam menahan tegangan pada contoh uji. Tabel 17 kadar air 32% menunjukkan peningkatan tegangan sebesar 3,97% atau 5,32 kPa pada kondisi 1 lapis geotekstil. Peningkatan tegangan yang kecil sekali dapat disebabkan oleh ketidakrataan pemberian tekanan saat mencetak contoh uji / contoh uji telah mengalami gangguan. Sedangkan untuk kondisi 2 lapis geotekstil menghasilkan peningkatan sebesar 38,03% atau 50,97 kPa. Grafik dapat dilihat pada lampiran 5 hal 114.

Pemberian $\sigma_3 = 150$ kPa menyebabkan peningkatan tegangan yang dapat diterima contoh uji dapat dilihat pada tabel 4-9. Peningkatan penerimaan tegangan hingga 102,18% untuk 1 lapis geotekstil dan penurunan sebesar 14,9% pada kadar air 28%. Untuk kadar air 30% terjadi peningkatan penerimaan tegangan pada kondisi 1 lapis geotekstil sebesar 44,86% dan pada 2 lapis geotekstil sebesar 32,08%. Namun perilaku tersebut tidak terjadi pada kadar air 32% yang justru makin meningkat kemampuan contoh uji dalam menerima tegangan maksimum

seiring bertambahnya jumlah lapisan geotekstil yaitu dari 15,26% menjadi 54,99%. Grafik dapat dilihat pada lampiran 5 hal 115.

Data *deviator stress* maksimum yang didapat dari percobaan triaksial *CU* dapat dibandingkan dengan data dari percobaan *Unconfined* yang dapat dilihat pada tabel 4-10, 4-11, dan 4-12. Secara teori, tegangan maksimum yang dapat diterima contoh uji dengan percobaan triaksial *CU* lebih besar dibandingkan percobaan *unconfined*. Perbedaan tersebut disebabkan perbedaan kondisi masing-masing percobaan yaitu pada triaksial *CU* contoh uji diberi tegangan dalam arah vertikal σ_1 dan arah horisontal σ_3 sedangkan pada *unconfined* hanya dalam arah vertikal σ_1 . Namun yang terjadi pada percobaan triaksial *CU* adalah kebalikannya yaitu lebih kecil dari percobaan *unconfined*. Penurunan kekuatan tersebut terlihat pada contoh uji triaksial *CU* yaitu sebesar 32% – 83% untuk kadar air 28%, penurunan 9% – 61% untuk kadar air 30%, dan 2 – 42% untuk kadar air 32%.

Tabel 4-10. Perbandingan contoh uji *Unconfined* dengan Triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 50$ kPa

Kadar air	Kondisi	<i>Unconfined</i> <i>qu maks</i> (kPa)	Dev stress $\Delta\sigma_{max}$ (kPa) untuk $\sigma_3=50$ kPa	selisih (kPa)	selisih (%) thd <i>Unconfined</i>
28%	Tanpa Geo	309.39	69.89	239.50	77.41
	1 Geo	371.09	187.42	183.67	49.49
	2 Geo	373.20	63.26	309.94	83.05
30%	Tanpa Geo	195.97	76.21	119.76	61.11
	1 Geo	191.61	111.92	79.69	41.59
	2 Geo	205.28	88.10	117.18	57.08
32%	Tanpa Geo	146.56	85.77	60.79	41.48
	1 Geo	152.30	109.83	42.47	27.89
	2 Geo	167.04	163.33	3.71	2.22

Tabel 4-11. Perbandingan contoh uji *Unconfined* dengan Triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 100$ kPa

Kadar air	Kondisi	<i>Unconfined</i> <i>qu maks</i> (kPa)	Dev stress $\Delta\sigma_{max}$ (kPa) untuk $\sigma_3=100$ kPa	selisih (kPa)	selisih (%) thd <i>Unconfined</i>
28%	Tanpa Geo	309.39	182.73	126.66	40.94
	1 Geo	371.09	249.51	121.58	32.76
	2 Geo	373.20	90.55	282.65	75.74
30%	Tanpa Geo	195.97	124.25	71.72	36.60
	1 Geo	191.61	196.85	-5.24	-2.74 *)
	2 Geo	205.28	185.09	20.19	9.83
32%	Tanpa Geo	146.56	134.04	12.52	8.54
	1 Geo	152.30	139.36	12.94	8.50
	2 Geo	167.04	185.01	-17.97	-10.76*)

Tabel 4-12. Perbandingan contoh uji *Unconfined* dengan Triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 150$ kPa

Kadar air	Kondisi	<i>Unconfined</i> <i>qu maks</i> (kPa)	Dev stress $\Delta\sigma_{max}$ (kPa) untuk $\sigma_3=150$ kPa	selisih (kPa)	selisih (%) thd <i>Unconfined</i>
28%	Tanpa Geo	309.39	185.64	123.75	40.00
	1 Geo	371.09	375.31	-4.22	-1.14 *)
	2 Geo	373.20	157.98	215.22	57.67
30%	Tanpa Geo	195.97	173.44	22.53	11.50
	1 Geo	191.61	251.26	-59.65	-31.13*)
	2 Geo	205.28	229.09	-23.81	-11.60*)
32%	Tanpa Geo	146.56	165.40	-18.84	-12.86*)
	1 Geo	152.30	190.64	-38.34	-25.17*)
	2 Geo	167.04	256.35	-89.31	-53.47*)

Grafik Tegangan Deviator (q) Vs Tegangan Efektif (p) dapat menunjukkan nilai kekuatan geser berupa kohesi dan sudut geser yang dialami oleh masing-masing contoh uji dalam kondisi masing-masing yang berbeda. Berdasarkan grafik ini maka akan terlihat pengaruh jumlah lapis geotekstil terhadap kekuatan geser tanah serta pengaruh geotekstil terhadap kondisi tanah yang makin jenuh atau kadar air yang meningkat. Grafik-grafik ini dapat dilihat pada gambar 4-13, 4-14, dan 4-15. Sedangkan rangkuman nilai-nilai kekuatan geser dari masing-masing contoh uji dapat dilihat pada tabel 4-13. Kohesi dan sudut geser contoh uji dapat dicari dari rumus :

$$\phi' = \sin^{-1} \left(\frac{3M}{6 + M} \right) \dots\dots\dots (4.1)$$

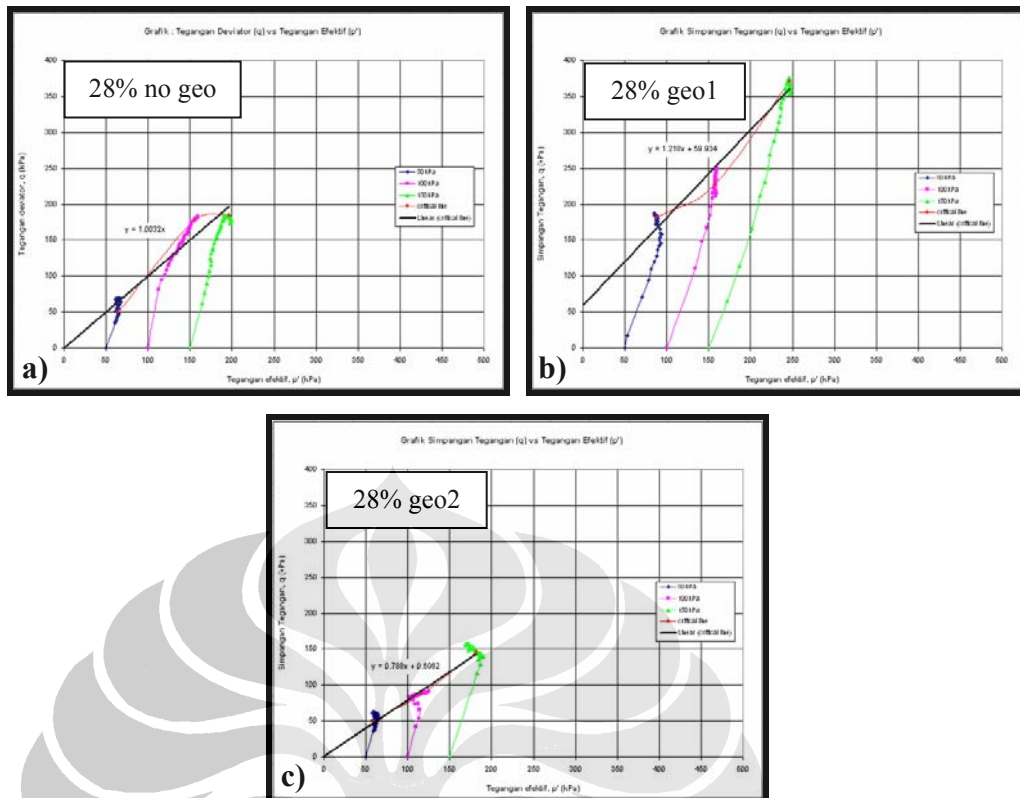
$$c' = \left(\frac{3 - \sin \phi'}{6 - \sin \phi'} \right) q_0 \dots\dots\dots (4.2)$$

dimana:

M = kemiringan garis keruntuhan (*critical state*)

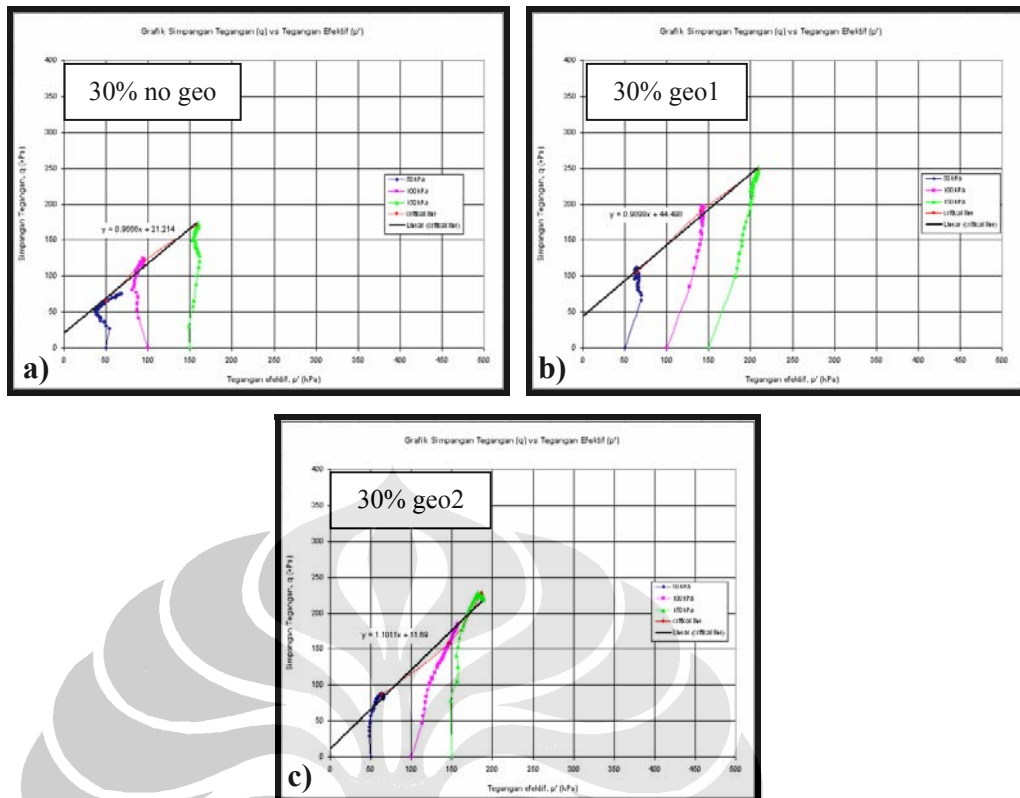
q_0 = perpotongan garis *critical state* terhadap sumbu y

Nilai M diambil dari persamaan garis kondisi kritis yang diambil dari grafik *Tegangan Deviator (q) Vs Tegangan Efektif (p)* yaitu $y = Mx + q_0$. Dengan memasukkan unsur M dan q_0 ke dalam rumus 4.1 dan 4.2 akan dihasilkan nilai kohesi dan sudut geser dari contoh uji.



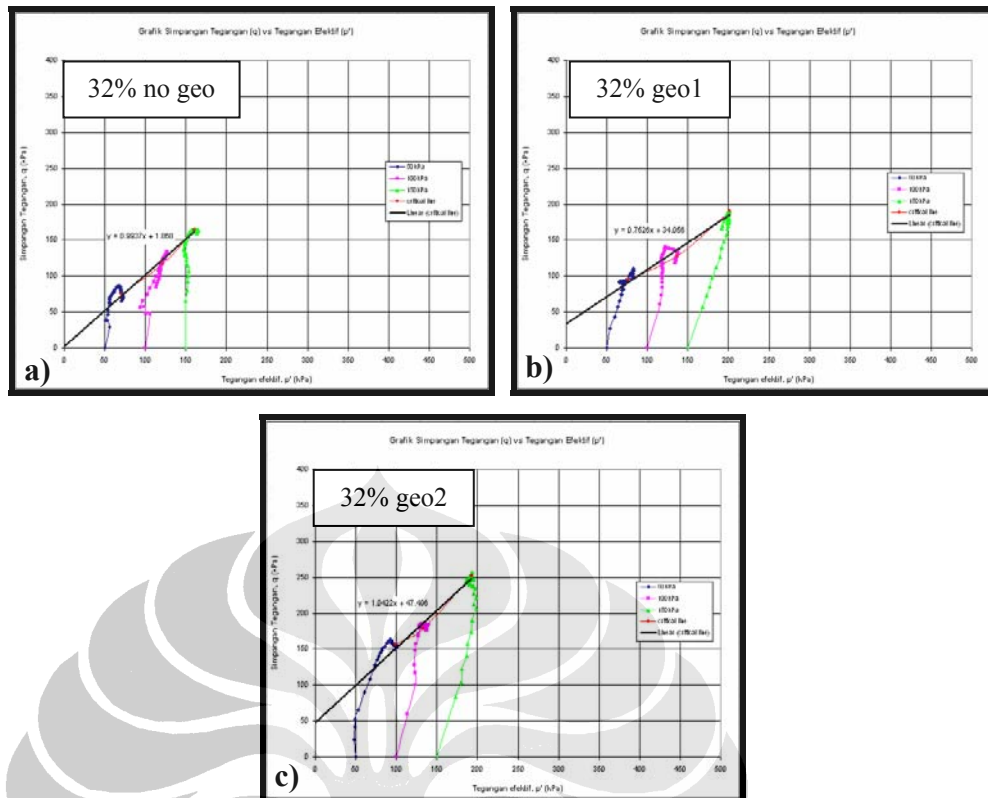
Gambar 4-13. Grafik Tegangan deviator (q) Vs Tegangan Efektif (p') dengan kadar air 28%.

Dari grafik 4-13 dapat diketahui bahwa secara umum terjadi penyimpangan grafik dengan $\sigma_3 = 100$ kPa terhadap garis keruntuhan. Untuk grafik 4-13a (28% no geo) kurva $\sigma_3 = 100$ kPa melebihi garis keruntuhan sedangkan pada grafik 4-13b (28% geo1) letak tegangan maksimum $\sigma_3 = 100$ kPa tidak berada pada strain 15% yang telah disepakati sebagai pembatas. Penyimpangan-penyimpangan tersebut dapat disebabkan contoh uji yang telah mengalami gangguan / pemberian tekanan yang tidak merata pada contoh uji. Sedangkan pada grafik 4-14c (28% geo2) penyimpangan terjadi pada kurva $\sigma_3 = 150$ kPa yang bergerak ke kiri yang menandakan bahwa tegangan efektif menurun setelah tegangan deviator mencapai maksimum. Untuk parameter kekuatan geser dan peningkatannya terhadap jumlah lapis geotekstil dapat dilihat pada tabel 4-13.



Gambar 4-14. Grafik Tegangan deviator (q) Vs Tegangan Efektif (p') dengan kadar air 30%.

Dari grafik 4-14 dapat diketahui bahwa secara umum penyimpangan grafik terjadi pada kurva dengan $\sigma_3 = 100$ kPa terhadap garis keruntuhan. Untuk grafik 4-14a (30% no geo) kurva $\sigma_3 = 100$ kPa melebihi garis keruntuhan namun tidak signifikan. Pada grafik 4-14b (30% geo1) penyimpangan terjadi pada kurva $\sigma_3 = 50$ kPa yang bergerak ke kiri yang menandakan bahwa tegangan efektif menurun setelah tegangan deviator mencapai maksimum. Sedangkan pada grafik 4-14c (30% geo2) $\sigma_3 = 100$ kPa tidak memiliki tegangan maksimum sehingga kurva terlalu condong ke kanan. Hal ini dapat diakibatkan contoh uji yang telah mengalami gangguan / pemberian tekanan yang tidak merata pada contoh uji. Grafik 4-14c (28% geo2) $\sigma_3 = 150$ kPa kurva berada di atas garis keruntuhan namun penyimpangan tidak terlalu besar. Untuk parameter kekuatan geser dan peningkatannya terhadap jumlah lapis geotekstil dapat dilihat pada tabel 4-13.



Gambar 4-15. Grafik Tegangan deviator (q) Vs Tegangan Efektif (p') dengan kadar air 32%.

Dari grafik 4-15 dapat diketahui bahwa secara umum penyimpangan grafik terjadi pada kurva dengan $\sigma_3 = 50$ kPa terhadap garis keruntuhan. Untuk grafik 4-14a (32% no geo) kurva $\sigma_3 = 50$ kPa melebihi garis keruntuhan namun tidak signifikan. Pada grafik 4-14b (32% geo1) penyimpangan terjadi pada kurva $\sigma_3 = 50$ kPa dan $\sigma_3 = 100$ kPa melebihi garis keruntuhan namun tidak signifikan. Namun pada kurva $\sigma_3 = 150$ kPa bergerak ke kiri yang menandakan bahwa tegangan efektif menurun setelah tegangan deviator mencapai maksimum. Sedangkan pada grafik 4-14c (32% geo2) $\sigma_3 = 50$ kPa melebihi garis keruntuhan namun tidak signifikan. Hal ini dapat diakibatkan contoh uji yang telah mengalami gangguan / pemberian tekanan yang tidak merata pada contoh uji. Untuk parameter kekuatan geser dan peningkatannya terhadap jumlah lapis geotekstil dapat dilihat pada tabel 4-13.

Tabel 4-13. Perbandingan parameter kekuatan geser antar contoh uji Triaksial CU

Kadar air	Contoh Uji Triaksial CU	c (kPa)	Δc (%)	ϕ (derajat)	$\Delta\phi$ (%)
28%	Tanpa Geotekstil	0.00	-	25.45	-
	1 Lapis Geo	27.21	∞	30.41	19.50
	2 Lapis Geo	0.33	∞	20.38	-19.92*)
30%	Tanpa Geotekstil	9.82	-	24.60	-
	1 Lapis Geo	20.55	109.38	25.14	2.21
	2 Lapis Geo	5.35	-45.46*)	27.72	12.70
32%	Tanpa Geotekstil	0.86	-	25.23	-
	1 Lapis Geo	16.02	1757.59	19.53	-22.58*)
	2 Lapis Geo	21.85	2433.16	26.36	4.47

Perubahan nilai kohesi pada contoh uji dipengaruhi oleh jumlah lapisan geotekstil yang dimiliki. Pada kadar air 28% terjadi peningkatan nilai kohesi sebesar 27,21 kPa jika diberi 1 lapis geotekstil dan 0,33 kPa jika diberi 2 lapis geotekstil. Untuk kadar air 30% terjadi peningkatan 109,38% untuk 1 lapis geotekstil dan penurunan sebesar 45,46% pada contoh uji dengan 2 lapis geotekstil. Penurunan ini dapat disebabkan oleh contoh uji yang telah terganggu dalam proses pencetakan yaitu tidak meratanya penekanan pada contoh uji. Sedangkan kadar air 32% terjadi peningkatan 1757,59% pada contoh uji dengan 1 lapis dan 2433,16% untuk 2 lapis geotekstil. Peningkatan yang sangat signifikan ini dapat disebabkan contoh uji tanpa geotekstil yang mengalami gangguan.

Terjadinya peningkatan nilai kohesi membuktikan bahwa geotekstil memberikan kontribusi yang besar terhadap tanah. Hal ini sesuai kenyataan di lapangan dikarenakan partikel tanah diberikan kohesi tambahan berupa lapisan geotekstil untuk menahan tegangan maksimum yang dialami. Jika ditinjau terhadap perbedaan kadar air, geotekstil cenderung untuk menurunkan nilai kohesi untuk kondisi 1 lapis geotekstil namun menaikkan nilai kohesi untuk kondisi 2 lapis geotekstil.

Perubahan nilai sudut geser pada contoh uji juga dipengaruhi oleh jumlah lapisan geotekstil yang dimiliki. Pada kadar air 28% terjadi peningkatan nilai sudut geser sebesar 19,50% jika diberi 1 lapis geotekstil dan penurunan sebesar 19,92% jika diberi 2 lapis geotekstil. Penurunan ini dapat disebabkan oleh contoh uji yang telah terganggu dalam proses pencetakan yaitu tidak meratanya penekanan pada contoh uji. Untuk kadar air 30% terjadi peningkatan 2,21% untuk 1 lapis geotekstil dan peningkatan sebesar 12,70 % pada contoh uji dengan 2 lapis

geotekstil. Sedangkan kadar air 32% terjadi penurunan 22,58% pada contoh uji dengan 1 lapis dan peningkatan 4,47% untuk 2 lapis geotekstil.

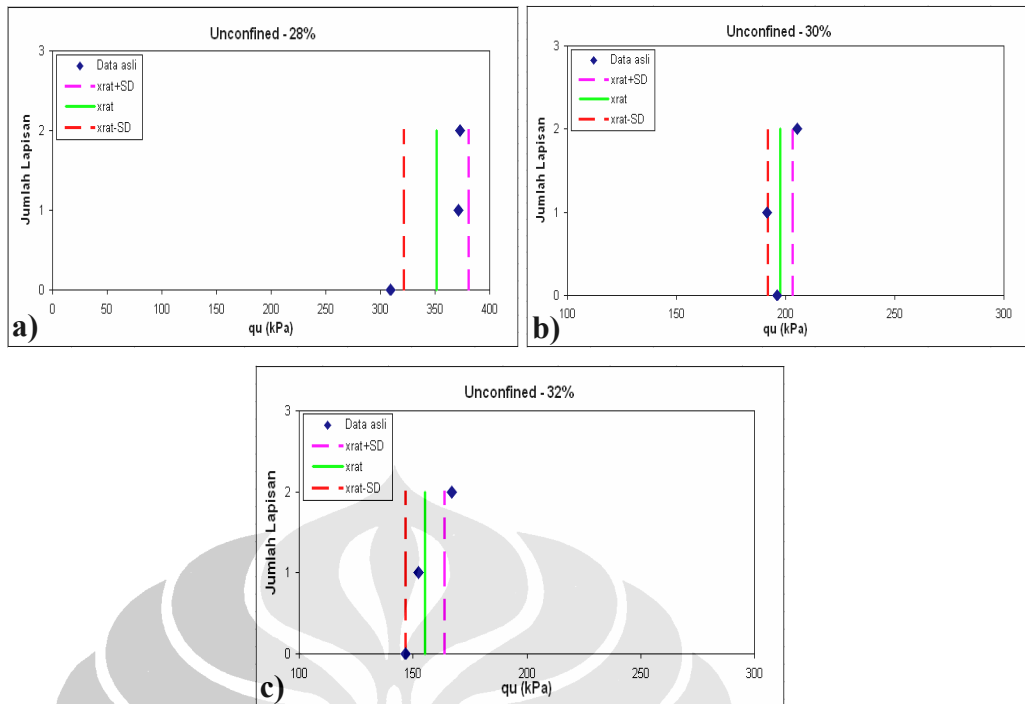
Secara umum terlihat bahwa jumlah lapisan geotekstil pada contoh uji mempengaruhi peningkatan sudut geser pada contoh uji. Semakin besar sudut geser tanah maka semakin besar pula kekuatan geser yang dihasilkan. Jika ditinjau terhadap perbedaan kadar air, geotekstil cenderung untuk menurunkan nilai sudut geser baik untuk kondisi 1 lapis geotekstil dan kondisi 2 lapis geotekstil.

4.5 RENTANG NILAI TEGANGAN DEVIATOR MAKSIMUM (q_u)

Nilai-nilai tegangan deviator maksimum (q_u) yang didapatkan pada uji *Unconfined* maupun Triaksial *CU* dapat dicari rentang nilainya dengan menggunakan ilmu statistik yaitu dengan mencari standar deviasi dari contoh uji yang memiliki karakteristik sama. Standar deviasi ini nantinya akan memberikan informasi apakah data yang kita dapat berada pada rentang nilai yang benar atau tidak. Pada sub bab ini data-data yang ada dikelompokkan berdasarkan peningkatan tegangan terhadap penambahan lapisan geotekstil pada contoh uji. Setelah didapatkan rentang nilai yang dihasilkan maka akan diketahui data-data yang memiliki nilai tegangan di luar rentang yang kemudian akan dianalisa penyebabnya.

4.5.1 Contoh Uji *Unconfined*

Data-data yang didapatkan pada contoh uji *Unconfined* dapat dicari rentang nilai tegangan deviator maksimumnya dengan mencari nilai rata-rata dari contoh uji dengan kadar air sama serta menambahkan dan menguranginya dengan standar deviasi yang didapatkan. Setelah diketahui rentang nilainya dapat diketahui data-data mana saja yang berada di luar rentang nilai tersebut sehingga kita dapat menganalisa penyebabnya. Berikut grafik statistik rentang data tegangan deviator maksimum untuk uji *Unconfined* dapat dilihat pada grafik 4-16.



Gambar 4-16. Grafik rentang nilai tegangan deviator maksimum (q_u) pada contoh uji *unconfined*

Berdasarkan kurva pemadatan tanah yang digunakan pada percobaan ini (grafik 4-1), grafik-grafik pada gambar 4-16 seharusnya memiliki karakteristik yang mirip dengan grafik 4.1 karena nilai q_u yang dihasilkan berhubungan erat dengan γ_{dry} pada kurva pemadatan. Sedangkan gambar 4-16a yaitu data-data *Unconfined* pada kondisi kadar air 28% memiliki rentang nilai yang seharusnya berada di bawah rentang nilai yang dihasilkan oleh kadar air 30%. Selain itu, bila dilihat dari nilai *SD* (standar deviasi) yang didapatkan berbeda jauh dengan data-data pada kadar air 30% dan 32%. Dengan demikian data-data tersebut dianggap gagal dan tidak dipakai dalam analisa selanjutnya. Kegagalan tersebut dapat disebabkan contoh uji yang telah mengalami gangguan pada saat proses pencetakan. Untuk data lebih lengkapnya dapat dilihat pada tabel 4-14.

Dari tabel 4-14 dapat dilihat ada 4 contoh uji yang memiliki nilai q_u di luar rentang nilai yang ada. Namun nilai tersebut tidak terlalu jauh dari rentang nilai yang didapatkan. Data-data yang di luar rentang nilai ini dapat disebabkan contoh uji mengalami kegagalan pada saat proses pencetakan.

Tabel 4-14. Rentang nilai tegangan deviator maksimum pada contoh uji *unconfined*

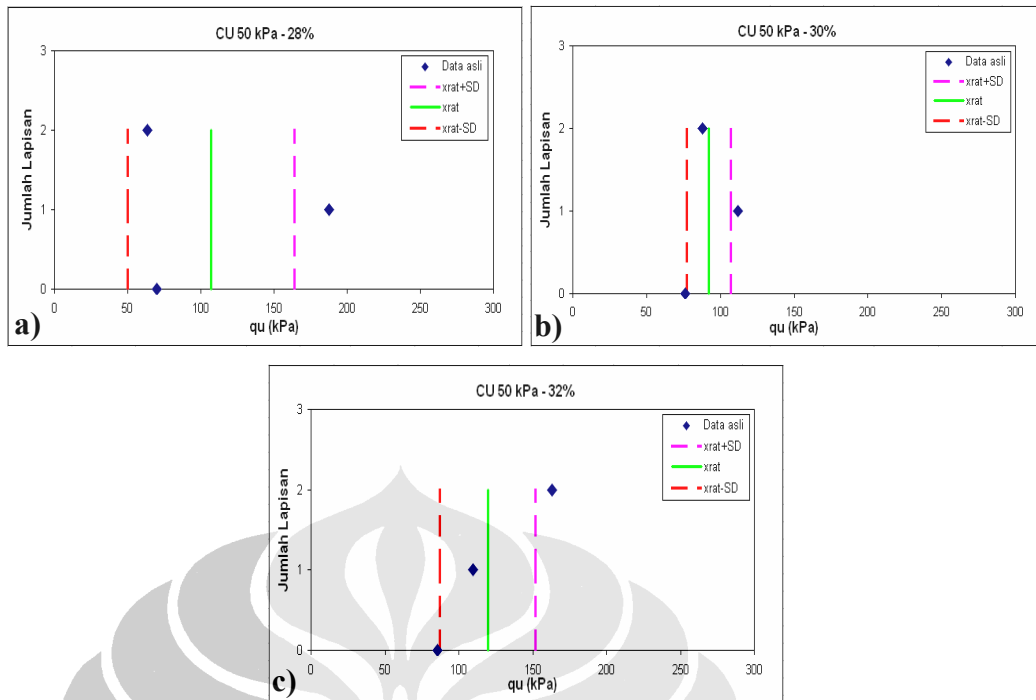
Kadar air	Contoh Uji UCT	q_u (kPa)	SD	Rentang Nilai q_u
28%	Tanpa Geotekstil	309.39 *)	29.60	321.63 - 380.82
	1 Lapis Geo	371.09		
	2 Lapis Geo	373.20		
30%	Tanpa Geotekstil	195.97	5.70	191.92 - 203.32
	1 Lapis Geo	191.61 *)		
	2 Lapis Geo	205.28 *)		
32%	Tanpa Geotekstil	146.56 *)	8.62	146.67 - 163.92
	1 Lapis Geo	152.30		
	2 Lapis Geo	167.04 *)		

Ket: *) \rightarrow data di luar batas rentang

4.5.2 Contoh Uji Triaksial *CU*

Contoh uji Triaksial *CU* menghasilkan data-data tegangan deviator maksimum yang dapat diketahui apakah data tersebut benar atau tidak dengan menggunakan ilmu statistik seperti pada uji *Unconfined*. Dengan menggunakan standar deviasi (*SD*) terhadap nilai rata-rata data yang didapatkan akan diketahui rentang nilai data yang benar. Kebenaran data pun dapat terlihat dari nilai *SD* yang dihasilkan yaitu kemiripan nilai data yang satu dengan yang lainnya. Selain itu, kebenaran data juga dilihat dengan membandingkan nilai rentang data masing-masing kadar air dengan kurva pemadatan dimana rentang nilai pada kadar air 28% dan 32% memiliki kemiripan namun lebih rendah terhadap kadar air 30%. Berikut grafik statistik rentang data tegangan deviator maksimum untuk uji Triaksial *CU* dapat dilihat pada grafik 4-17 – 4-19.

Uji triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 50$ kPa dapat dilihat pada grafik 4-17. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa ada 5 contoh uji yang memiliki nilai $\Delta\sigma_{\max}$ di luar rentang nilai yang ada namun tidak terlalu jauh sehingga dapat dikatakan pada kelima contoh uji tersebut mengalami kegagalan pada saat proses pencetakan.



Gambar 4-17. Grafik rentang nilai tegangan deviator maksimum (q_u) pada contoh uji triaksial CU dengan $\sigma_3 = 50$ kPa

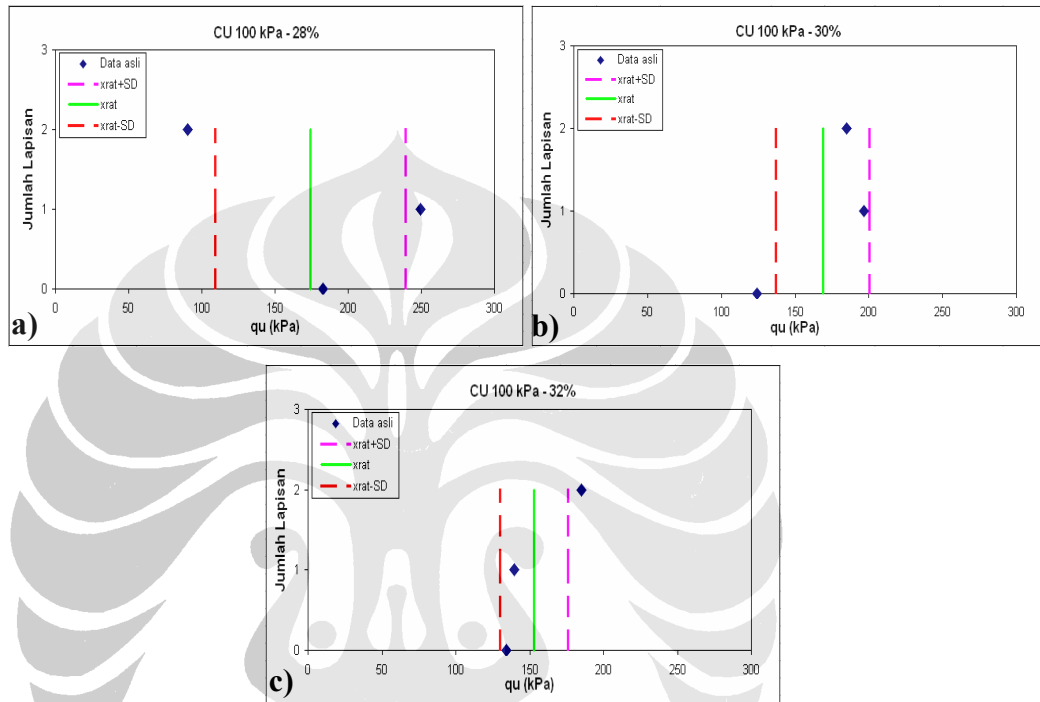
Jika dilihat dari nilai SD masing-masing data maka keakuratan data pada kadar air 28% agak kurang karena memiliki nilai SD yang lebih besar dibandingkan kadar air 30% dan 32% dimana semakin besar nilai SD maka semakin tidak akurat suatu data. Nilai-nilai rentang yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 4-15.

Tabel 4-15. Rentang nilai tegangan deviator maksimum pada contoh uji triaksial CU dengan $\sigma_3 = 50$ kPa

Kadar air	Kondisi	Max Deviator Stress $\Delta\sigma_{max}$ (kPa)	SD	Rentang Nilai $\Delta\sigma_{max}$
28%	Tanpa Geo	69.89	57.03	49.82 - 163.89
	1 Geo	187.42 *)		
	2 Geo	63.26		
30%	Tanpa Geo	76.21 *)	14.85	77.23 - 106.93
	1 Geo	111.92 *)		
	2 Geo	88.10		
32%	Tanpa Geo	85.77 *)	32.41	87.23 - 152.06
	1 Geo	109.83		
	2 Geo	163.33 *)		

Ket: *) \rightarrow data di luar batas rentang

Uji triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 100$ kPa dapat dilihat pada grafik 4-18. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa ada 4 contoh uji yang memiliki nilai q_u di luar rentang nilai yang ada sehingga dapat dikatakan pada keempat contoh uji tersebut mengalami kegagalan pada saat proses pencetakan. Sedangkan nilai rentang yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 4-16.



Gambar 4-18. Grafik rentang nilai tegangan deviator maksimum (q_u) pada contoh uji triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 100$ kPa

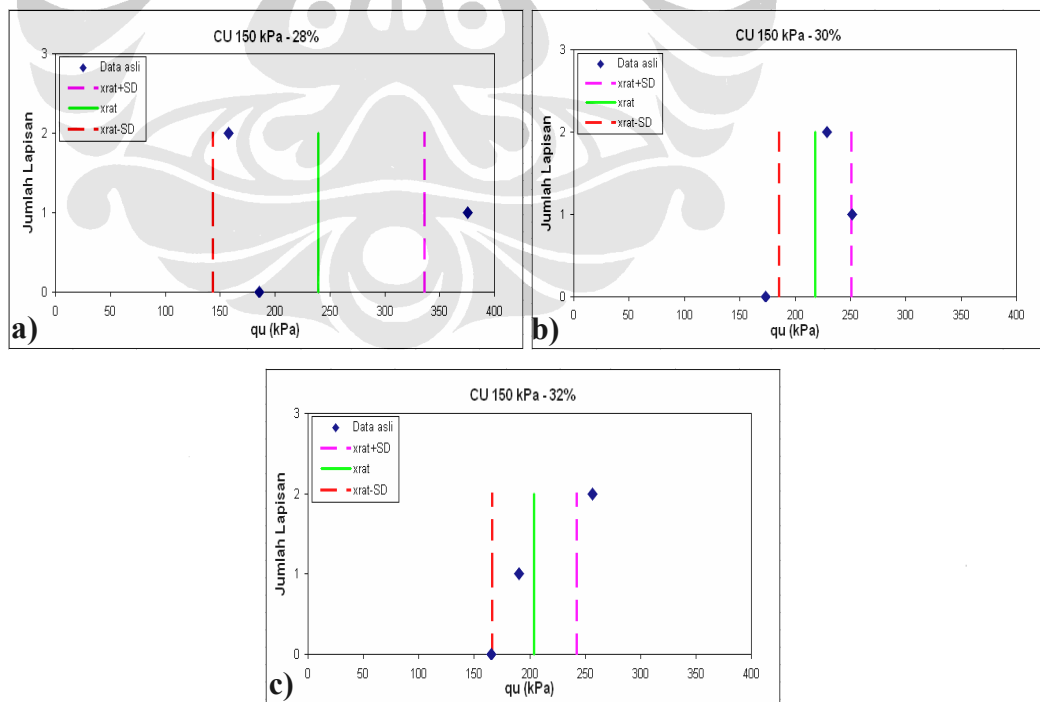
Jika dilihat dari nilai SD masing-masing data maka keakuratan data pada kadar air 28% agak kurang karena memiliki nilai SD yang lebih besar dibandingkan kadar air 30% dan 32% dimana semakin besar nilai SD maka keakuratan suatu data menjadi sangat kurang. Sedangkan jika dilihat dari rentang data, maka rentang nilai tegangan deviator maksimum pada kadar air 28% seharusnya berada di bawah rentang nilai tegangan pada kadar air 30% atau mirip dengan kadar air 32%.

Tabel 4-16. Rentang nilai tegangan deviator maksimum pada contoh uji triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 100$ kPa

Kadar air	Kondisi	Max Deviator Stress $\Delta\sigma_{max}$ (kPa)	SD	Rentang Nilai $\Delta\sigma_{max}$
28%	Tanpa Geo	182.73	65.17	109.09 - 239.43
	1 Geo	249.51 *)		
	2 Geo	90.55 *)		
30%	Tanpa Geo	124.25 *)	31.81	136.92 - 200.55
	1 Geo	196.85		
	2 Geo	185.09		
32%	Tanpa Geo	134.04	22.88	129.93 - 175.68
	1 Geo	139.36		
	2 Geo	185.01 *)		

Ket: *) \rightarrow data di luar batas rentang

Uji triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 150$ kPa dapat dilihat pada grafik 4-19. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa ada 5 contoh uji yang memiliki nilai q_u di luar rentang nilai yang ada sehingga dapat dikatakan pada kelima contoh uji tersebut mengalami kegagalan pada saat proses pencetakan. Sedangkan nilai rentang yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 4-17.



Gambar 4-19. Grafik rentang nilai tegangan deviator maksimum (q_u) pada contoh uji triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 150$ kPa

Jika dilihat dari nilai SD masing-masing data maka keakuratan data pada kadar air 28% agak kurang karena memiliki nilai SD yang lebih besar dibandingkan kadar air 30% dan 32% dimana semakin besar nilai SD maka keakuratan suatu data menjadi sangat kurang. Sedangkan jika dilihat dari rentang data, maka rentang nilai tegangan deviator maksimum pada kadar air 28% seharusnya berada di bawah rentang nilai tegangan pada kadar air 30% atau mirip dengan kadar air 32%.

Tabel 4-17. Rentang nilai tegangan deviator maksimum pada contoh uji triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 150$ kPa

Kadar air	Kondisi	Max Deviator Stress $\Delta\sigma_{max}$ (kPa)	SD	Rentang Nilai $\Delta\sigma_{max}$
28%	Tanpa Geo	185.64	96.60	143.05 - 336.24
	1 Geo	375.31 *)		
	2 Geo	157.98		
30%	Tanpa Geo	173.44 *)	32.73	185.20 - 250.66
	1 Geo	251.26 *)		
	2 Geo	229.09		
32%	Tanpa Geo	165.40 *)	38.34	165.79 - 242.47
	1 Geo	190.64		
	2 Geo	256.35 *)		

Ket: *) \rightarrow data di luar batas rentang

4.6 NILAI KEKUATAN GESER PADA CONTOH UJI TRIAKSIAL *CU*

Percobaan triaksial *CU* menghasilkan parameter-parameter kekuatan geser kondisi efektif berupa nilai sudut geser efektif (ϕ') dan nilai kohesi efektif (c'). Dengan menggunakan rumus :

$$\tau_f = c' + \sigma'_f \tan \phi' \dots\dots\dots(4.3)$$

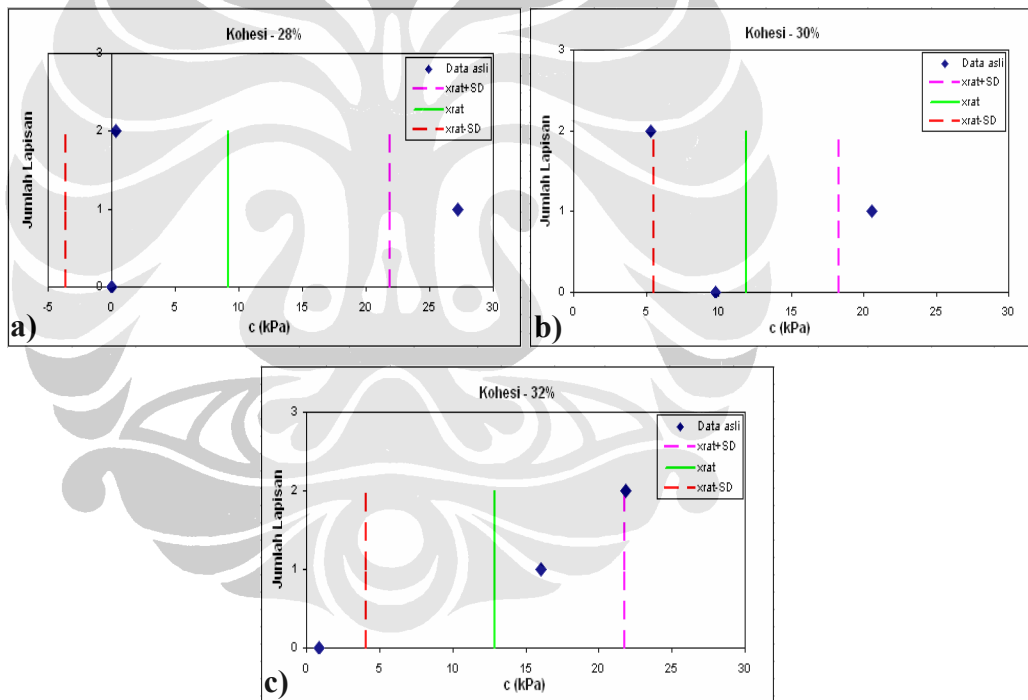
dimana :

$$\sigma'_f = \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3) \cos 2\theta \dots\dots\dots(4.4)$$

$$\theta = 45^\circ + \frac{\phi'}{2} \dots\dots\dots(4.5)$$

akan didapatkan nilai kuat geser efektif (τ'). Nilai kuat geser efektif tersebut memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan nilai kuat geser pada kondisi *undrained* (τ_u). Namun sebelum membahas mengenai nilai kekuatan geser akan diperlihatkan grafik dan tabel yang berisi rentang nilai kohesi dan sudut geser yang seharusnya dipenuhi oleh data-data yang didapatkan dari pengujian dengan metode standar deviasi dari ilmu statistik

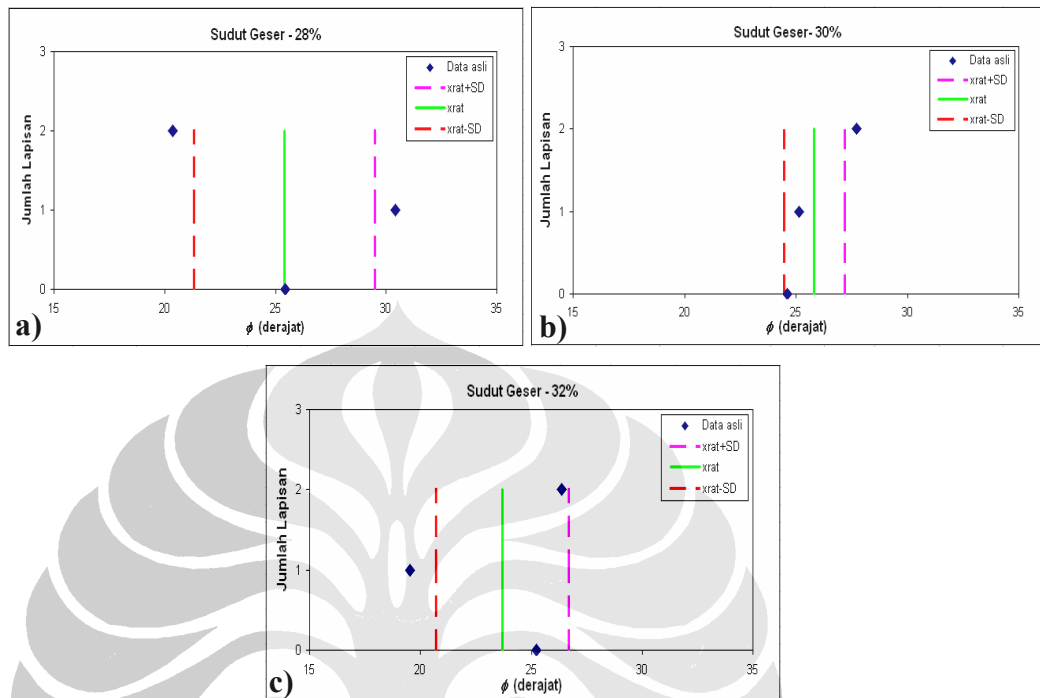
Untuk rentang nilai kohesi (c') uji triaksial *CU* dapat dilihat pada grafik 4-20. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa ada 5 contoh uji yang memiliki nilai c_u di luar rentang nilai yang ada sehingga dapat dikatakan pada kelima contoh uji tersebut mengalami kegagalan pada saat proses pencetakan. Sedangkan nilai rentang yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 4-18.



Gambar 4-20. Grafik rentang nilai kohesi efektif (c') pada contoh uji triaksial *CU*

Jika dilihat dari nilai SD masing-masing data maka keakuratan data pada kadar air 28% agak kurang karena memiliki nilai SD yang lebih besar dibandingkan kadar air 30% dan 32% dimana semakin besar nilai SD maka keakuratan suatu data menjadi sangat kurang. Sedangkan jika dilihat dari rentang

data, maka rentang nilai kohesi pada kadar air 32% seharusnya berada di bawah rentang nilai tegangan pada kadar air 30% atau mirip dengan kadar air 28%.



Gambar 4-21. Grafik rentang nilai sudut geser efektif (ϕ') pada contoh uji triaksial *CU*

Untuk rentang nilai sudut geser (ϕ') uji triaksial *CU* dapat dilihat pada grafik 4-21. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa ada 4 contoh uji yang memiliki nilai ϕ' di luar rentang nilai yang ada sehingga dapat dikatakan pada keempat contoh uji tersebut mengalami kegagalan pada saat proses pencetakan. Sedangkan nilai rentang yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 4-18.

Jika dilihat dari nilai SD masing-masing data maka keakuratan data pada kadar air 28% agak kurang karena memiliki nilai SD yang lebih besar dibandingkan kadar air 30% dan 32% dimana semakin besar nilai SD maka keakuratan suatu data menjadi sangat kurang. Sedangkan jika dilihat dari rentang data, maka rentang nilai sudut geser pada kadar air 28% seharusnya mirip dengan kadar air 32%.

Tabel 4-18. Rentang nilai kohesi efektif (c') dan sudut geser efektif (ϕ') pada contoh uji triaksial CU

Kadar air	Jml lapis	c' (kPa)	SD	Rentang Nilai c	ϕ' (derajat)	SD	Rentang Nilai ϕ
28%	0	0.00	12.75	0.00 - 21.93	25.45	4.10	21.32 - 29.51
	1	27.21*			30.41 *)		
	2	0.33			20.38 *)		
30%	0	9.82	6.38	5.53 - 18.29	24.60	1.36	24.46 - 27.18
	1	20.55*			25.14		
	2	5.35 *)			27.72 *)		
32%	0	0.86 *)	8.85	4.07 - 21.76	25.23	2.99	20.72 - 26.69
	1	16.02			19.53 *)		
	2	21.85*)			26.36		

Ket: *) \rightarrow data di luar batas rentang

Setelah mengetahui parameter-parameter kuat geser maka dapat diketahui pula nilai kuat geser efektif (τ'_f) dan *undrained* (τ_{uf}) yang dihasilkan masing-masing contoh uji dengan menggunakan rumus 4.3. Kuat geser efektif adalah kuat geser yang dihasilkan parameter kuat geser contoh uji dengan memperhitungkan tekanan air pori sedangkan kuat geser *undrained* tidak memperhitungkan tekanan air pori. Nilai kuat geser ini yang akan memperlihatkan pengaruh pemberian lapisan geotekstil pada contoh uji terhadap peningkatan nilai kuat geser tanah. Berikut disajikan nilai-nilai kuat geser masing-masing contoh uji dalam bentuk tabel 4-19 hingga 4-21.

Tabel 4-19. Perbandingan nilai kuat geser efektif dan *undrained* pada contoh uji triaksial CU dengan $\sigma_3 = 50$ kPa

Kadar Air	Jml lapis	C_u (kPa)	ϕ_u (derajat)	τ_{uf} (kPa)	C' (kPa)	ϕ' (derajat)	τ'_f (kPa)	% Peningkatan τ'_f
28%	0	0.00	24.17	29.06	0.00	25.45	30.58	0
	1	17.61	29.68	72.19	27.21	30.41	82.84	170.92
	2	0.00	18.76	22.78	0.33	20.38	24.99	-18.27
30%	0	5.07	20.09	31.25	9.82	24.60	41.48	0
	1	11.86	24.67	48.93	20.55	25.14	58.25	40.42
	2	5.46	24.35	39.63	5.35	27.72	43.82	5.64
32%	0	10.41	18.09	35.15	0.86	25.23	34.51*)	0
	1	15.44	18.76	43.45	16.02	19.53	45.06	30.58
	2	34.58	19.18	70.16	21.85	26.36	68.08*	97.27

*) = contoh uji yang memiliki nilai kuat geser efektif di bawah kuat geser *undrained*.

Tabel 4-20. Perbandingan nilai kuat geser efektif dan *undrained* pada contoh uji triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 100$ kPa

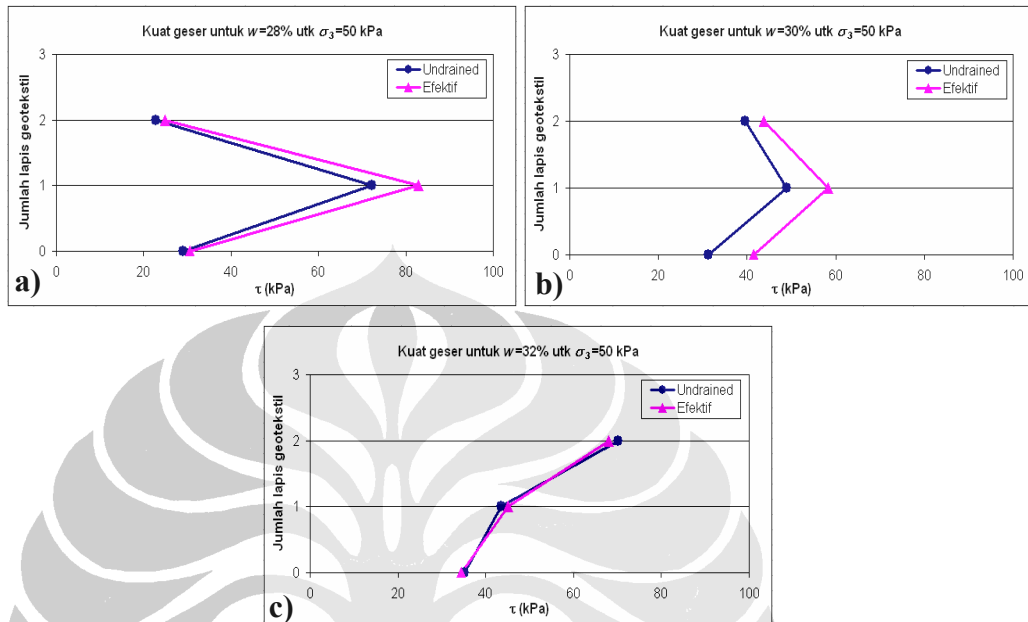
Kadar Air	Jml lapis	Cu (kPa)	ϕ_u (derajat)	τ_{uf} (kPa)	C' (kPa)	ϕ' (derajat)	τ'_f (kPa)	% Peningkatan τ'_f
28%	0	0.00	24.17	68.53	0.00	25.45	71.81	0
	1	17.61	29.68	107.39	27.21	30.41	118.94	65.63
	2	0.00	18.76	44.07	0.33	20.38	48.08	-33.04
30%	0	5.07	20.09	56.26	9.82	24.60	71.85	0
	1	11.86	24.67	83.18	20.55	25.14	93.10	29.57
	2	5.46	24.35	71.86	5.35	27.72	80.24	11.68
32%	0	10.41	18.09	56.23	0.86	25.23	63.77	0
	1	15.44	18.76	64.17	16.02	19.53	66.63	4.49
	2	34.58	19.18	90.20	21.85	26.36	95.98	50.51

Tabel 4-21. Perbandingan nilai kuat geser efektif dan *undrained* pada contoh uji triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 150$ kPa

Kadar Air	Jml lapis	Cu (kPa)	ϕ_u (derajat)	τ_{uf} (kPa)	C' (kPa)	ϕ' (derajat)	τ'_f (kPa)	% Peningkatan τ'_f
28%	0	0.00	24.17	91.73	0.00	25.45	96.38	0
	1	17.61	29.68	156.49	27.21	30.41	169.05	75.40
	2	0.00	18.76	67.78	0.33	20.38	73.73	-23.50
30%	0	5.07	20.09	80.40	9.82	24.60	101.24	0
	1	11.86	24.67	113.96	20.55	25.14	124.45	22.92
	2	5.46	24.35	103.55	5.35	27.72	116.09	14.67
32%	0	10.41	18.09	77.95	0.86	25.23	93.80	0
	1	15.44	18.76	88.25	16.02	19.53	91.65	-2.29
	2	34.58	19.18	116.12	21.85	26.36	130.81	39.46

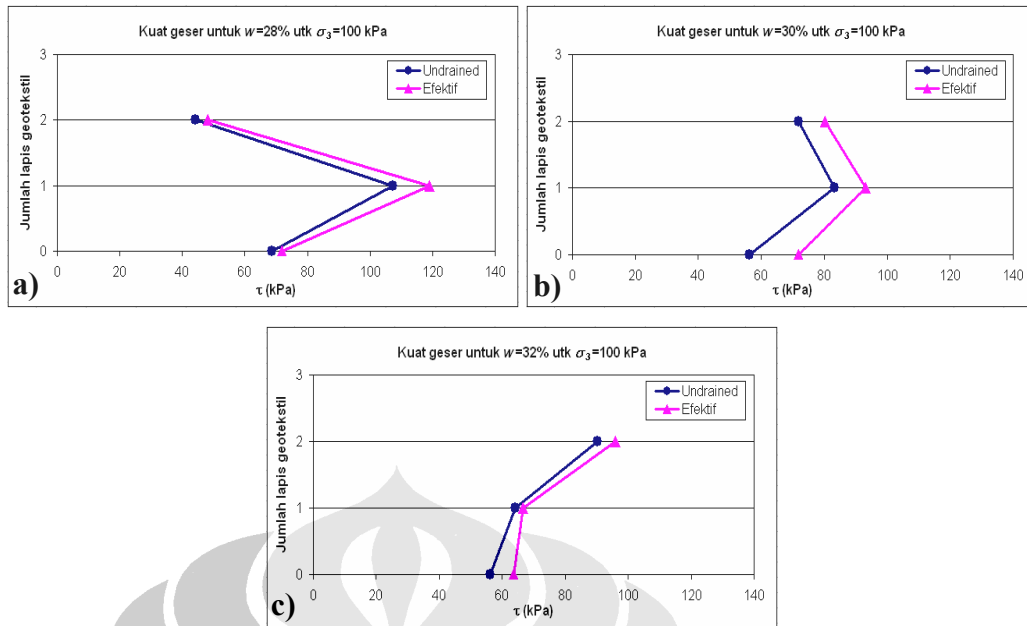
Dari tabel 4-19 – 4-21 terlihat bahwa hampir semua data kekuatan geser tanah yang dihasilkan memiliki karakteristik yang hampir sama dengan kurva pemadatan (grafik 4-1) yaitu nilai kekuatan geser paling besar berada pada kadar air optimum 30% serta turun di kadar air 28% dan 30%. Hal ini menunjukkan data-data yang dihasilkan pada percobaan ini hampir mendekati nilai yang valid. Selain itu, dapat pula diketahui besaran peningkatan nilai kekuatan geser pada tanah lempung lunak akibat penambahan lapisan geotekstil. Peningkatan kekuatan geser efektif yang terjadi berkisar antara 4.49% - 170.92% untuk 1 lapis geotekstil dan 5.64% - 97.27% untuk 2 lapis geotekstil. Namun ada beberapa data yang menunjukkan peningkatan yang bernilai negatif yang berarti contoh uji tersebut mengalami kegagalan terutama saat proses pencetakan. Untuk mengetahui peningkatan kekuatannya, dapat dilihat pada halaman lampiran dengan contoh

kasus pembangunan pondasi pada tanah lempung lunak. Sedangkan grafik perbandingan antara peningkatan kuat geser tanah efektif dan undrained dapat dilihat pada gambar 4-22 hingga 4-24.

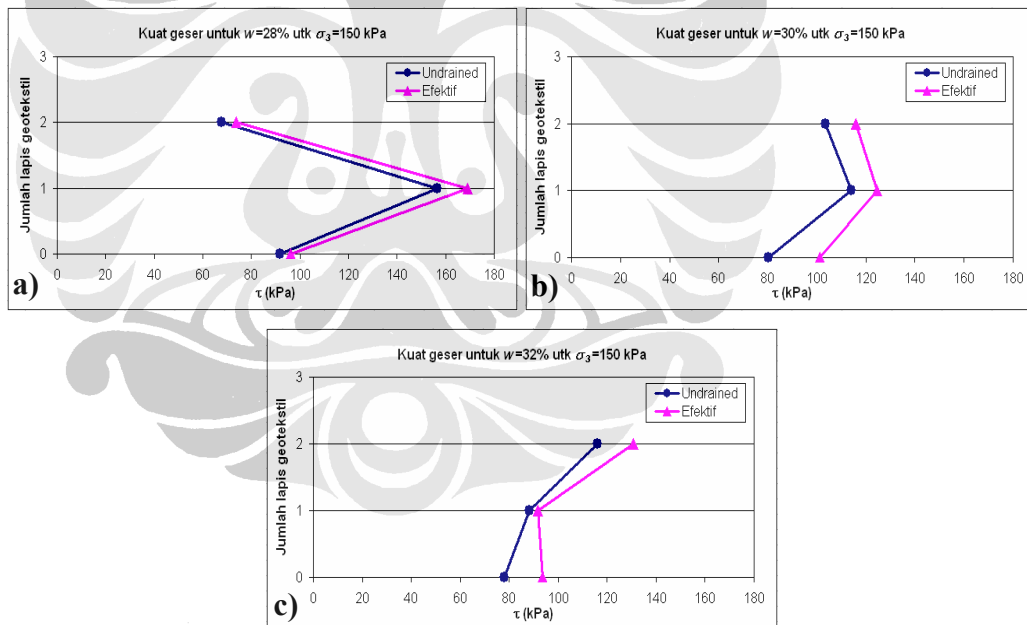


Gambar 4-22. Grafik nilai kuat geser efektif dan *undrained* untuk berbagai kondisi kadar air pada contoh uji triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 50$ kPa

Pada grafik 4-22a dan 4-22b terlihat bahwa nilai kuat geser kondisi efektif untuk $\sigma_3 = 50$ kPa memiliki nilai yang lebih besar daripada kuat geser kondisi *undrained*. Hal ini disebabkan nilai kuat geser efektif mendapatkan bantuan kekuatan berupa tekanan air pori sehingga menghasilkan nilai yang lebih besar. Sedangkan pada grafik 4-22c terlihat bahwa ada dua contoh uji yang memiliki kuat geser efektif kurang dari nilai kuat geser *undrained*. Hal ini dapat disebabkan contoh uji belum sepenuhnya tersaturasi sempurna atau contoh uji telah mengalami gangguan pada saat proses pencetakan. Grafik 4-22a dan 4-22b menunjukkan pula bahwa contoh uji dengan 2 lapis geotekstil mengalami kegagalan karena nilai kuat gesernya lebih rendah daripada contoh uji dengan 1 lapis geotekstil. Sedangkan grafik 4-22c menunjukkan hasil kuat geser yang seharusnya dicapai dalam percobaan ini.



Gambar 4-23. Grafik nilai kuat geser efektif dan *undrained* untuk berbagai kondisi kadar air pada contoh uji triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 100$ kPa



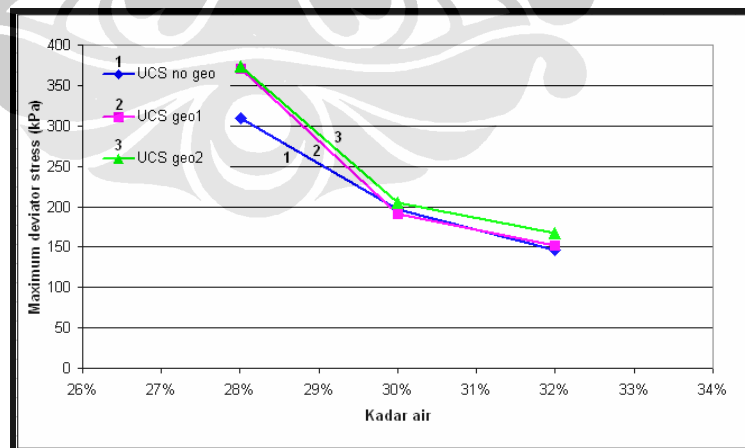
Gambar 4-24. Grafik nilai kuat geser efektif dan *undrained* untuk berbagai kondisi kadar air pada contoh uji triaksial *CU* dengan $\sigma_3 = 150$ kPa

Kondisi yang ditunjukkan pada grafik 4-22 juga ditunjukkan pada grafik 4-23 ($\sigma_3 = 100$ kPa) dan 4-24 ($\sigma_3 = 150$ kPa) dimana sama-sama menunjukkan bahwa grafik 4-23a, 4-23b, 4-24a dan 4-24b menunjukkan bahwa contoh uji dengan 2 lapis geotekstil mengalami kegagalan karena nilai kuat gesernya lebih

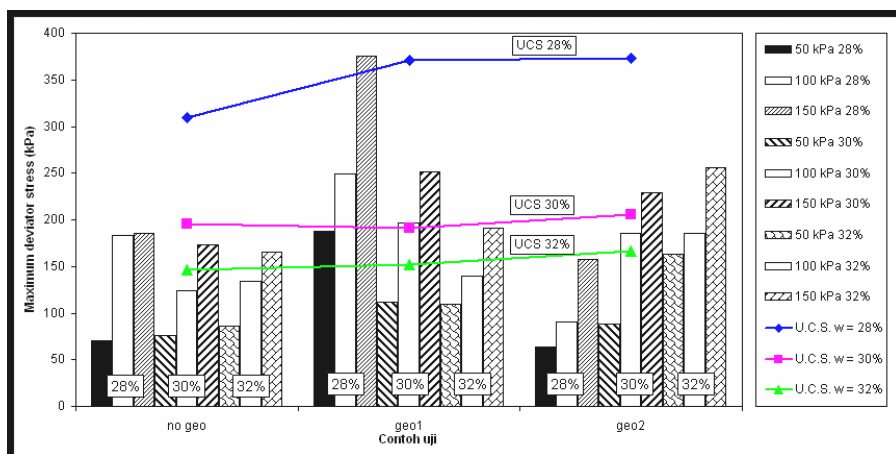
rendah daripada contoh uji dengan 1 lapis geotekstil. Sedangkan grafik 4-23c dan 4-24c menunjukkan hasil kuat geser yang seharusnya dicapai dalam percobaan ini. Sedangkan pada grafik 4-23 dan 4-24 menunjukkan hal yang benar yaitu nilai kuat geser kondisi efektif memiliki nilai yang lebih besar daripada kuat geser kondisi *undrained*. Hal ini disebabkan nilai kuat geser efektif mendapatkan bantuan kekuatan berupa tekanan air pori sehingga menghasilkan nilai yang lebih besar.

4.5 PERBANDINGAN HASIL TRIAKSIAL CU DENGAN METODE CHANG

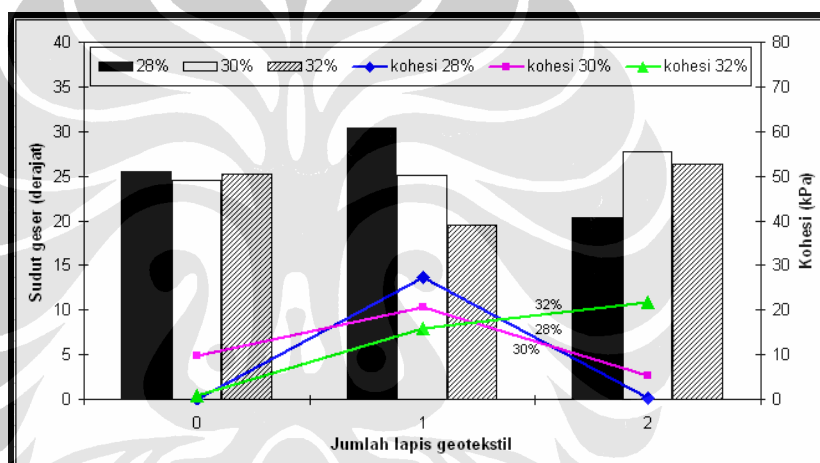
Hasil percobaan di atas akan dibandingkan dengan hasil percobaan *uniaxial* dan triaksial *CD* yang telah dilakukan oleh P.W. Chang & K.S. Cha, T.S. Park, dan Y.K. Park (2003) pada *proceeding 12th Asian Regional Conf. On Soil Mechanics & Geotechnical Engineering*. *Proceeding* ini telah dibahas dalam Bab 2.4.3. Dalam jurnal tersebut, Chang *et al.* mencoba melakukan percobaan dengan material contoh uji berupa *Silty Sand* (SM) dan *Silt* (ML) yang telah diperkuat dengan 3 jenis perkuatan yaitu dengan geotekstil, fiber, dan campuran keduanya. Berikut rangkuman hasil percobaan dalam bentuk grafik.



Gambar 4-25. Grafik *maximum deviator stress* terhadap kadar air pada contoh uji *Unconfined*



Gambar 4-26. Grafik ringkasan *maximum deviator stress* Vs kadar air terhadap jumlah lapisan geotekstil.



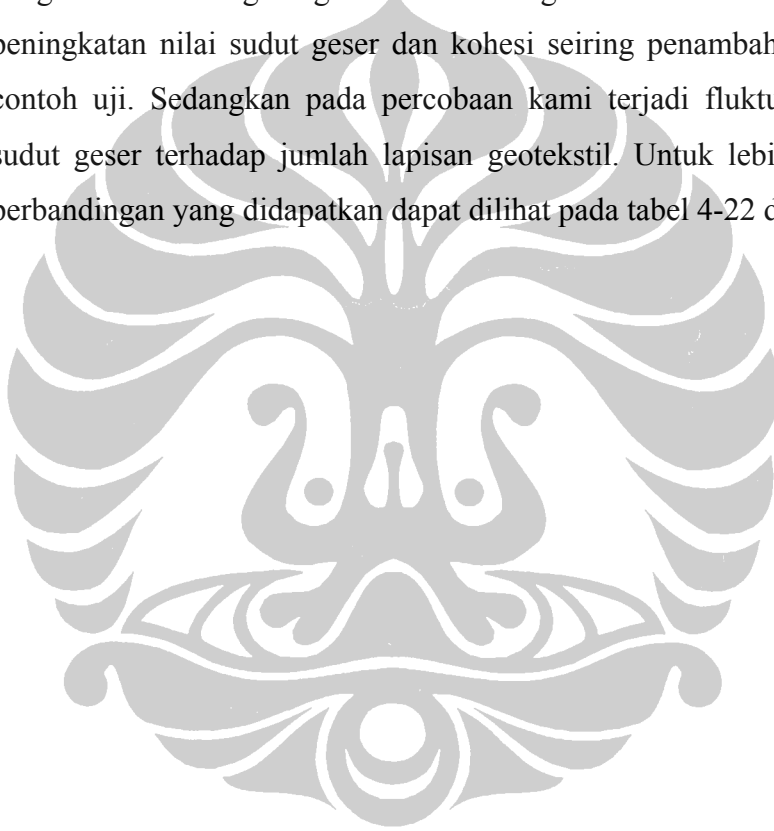
Gambar 4-27. Grafik antara sudut geser (ϕ) dan kohesi (c) terhadap jumlah lapis geotekstil dan perubahan kadar air.

Dari gambar 2-24 dan gambar 4-25 akan dibandingkan berdasarkan peningkatan nilai *Unconfined Compression Strength* (U.C.S.) pada contoh uji. Chang dkk mendapatkan hasil bahwa nilai U.C.S. akan terus menurun seiring dengan meningkatnya nilai kadar air pada contoh uji. UCS maksimum yang didapatkan untuk SM dan ML adalah sekitar 260 kPa dan 220 kPa. Perilaku yang sama didapatkan pada percobaan kami di atas yaitu penurunan nilai U.C.S. seiring dengan bertambahnya nilai kadar air dan jumlah lapisan geotekstil dengan nilai maksimum antara 309 - 373 kPa.

Untuk mengetahui peningkatan nilai maximum deviator stress pada percobaan triaksial *CD* dan triaksial *CU* dengan membandingkan gambar 2-26

dan gambar 4-26. Dari percobaan Chang diketahui bahwa terjadi pola peningkatan nilai maximum deviator stress terhadap penambahan fiber dan geotekstil dalam contoh uji. Namun pada percobaan kami didapatkan hasil yang berbeda yaitu pada kadar air 28% dan 30% terjadi peningkatan nilai maximum deviator stress untuk contoh uji dengan 1 lapis geotekstil namun menurun untuk 2 lapis geotekstil. Sedangkan untuk kadar air 32% terjadi pola peningkatan kekuatan seiring bertambahnya jumlah lapisan geotekstil pada contoh uji.

Sedangkan jika ditinjau dari nilai kohesi dan sudut geser dapat dilihat dengan membandingkan gambar 2-27 dan gambar 4-27. Chang menghasilkan tren peningkatan nilai sudut geser dan kohesi seiring penambahan jumlah perkuatan contoh uji. Sedangkan pada percobaan kami terjadi fluktuasi nilai kohesi dan sudut geser terhadap jumlah lapisan geotekstil. Untuk lebih jelasnya mengenai perbandingan yang didapatkan dapat dilihat pada tabel 4-22 dan 4-23.



Tabel 4-22. Rangkuman hasil percobaan yang dilakukan oleh Chang dkk.

Percobaan	Material	Jenis perkuatan	Hasil
<i>Unconfined</i>	SM (silty sand)	Fiber	w = 17% ; U.C.S. = 260 kPa w = 20% (optimum) ; U.C.S. = 250 kPa w = 22% ; U.C.S. = 240 kPa w = 27% ; U.C.S. = 70 kPa
	ML (silt)	Fiber	w = 14% ; U.C.S. = 220 kPa w = 17% ; U.C.S. = 210 kPa w = 20% (optimum) ; U.C.S. = 150 kPa w = 22% ; U.C.S. = 50 kPa
Triaksial <i>CD</i>	SM (silty sand)		Jika dibandingkan tanah tanpa perkuatan di tekanan confining 200kPa, rasio tegangan pada perkuatan :
		Geotekstil	meningkat 25%
		Fiber	meningkat 25%
	Komposit	meningkat 54% --> Kohesi meningkat 10 kPa & sudut geser meningkat 3°	
	ML (silt)	Geotekstil	Meningkat 5~20% (ML) seiring meningkatnya jml geotekstil
		Fiber	Meningkat 40%
Komposit		Meningkat 45~66% --> Kohesi meningkat 15~43 kPa dan sudut geser meningkat < 3°	

Tabel 4-23. Rangkuman hasil percobaan yang didapatkan.

Percobaan	Material	Jenis perkuatan	Hasil
<i>Unconfined</i>	MH (soft clay)	no geotekstil	w = 28% ; U.C.S. = 309.39 kPa w = 30% (optimum) ; U.C.S. = 195.97 kPa w = 32% ; U.C.S. = 146.56 kPa
		1 lapis geotekstil	w = 28% ; U.C.S. = 371.09 kPa w = 30% (optimum) ; U.C.S. = 191.61 kPa w = 32% ; U.C.S. = 152.30 kPa
		2 lapis geotekstil	w = 28% ; U.C.S. = 373.20 kPa w = 30% (optimum) ; U.C.S. = 205.28 kPa w = 32% ; U.C.S. = 167.04 kPa
Triaksial <i>CU</i>	MH (soft clay)		Jika dibandingkan tanah tanpa perkuatan di tekanan confining 100kPa, rasio tegangan pada perkuatan :
		1 lapis geotekstil	meningkat 4~ 59% --> Kohesi meningkat 10.7~27.2 kPa dan sudut geser meningkat < 5°
		2 lapis geotekstil	meningkat 32~55% --> Kohesi meningkat 0.3~21 kPa dan sudut geser meningkat < 4°