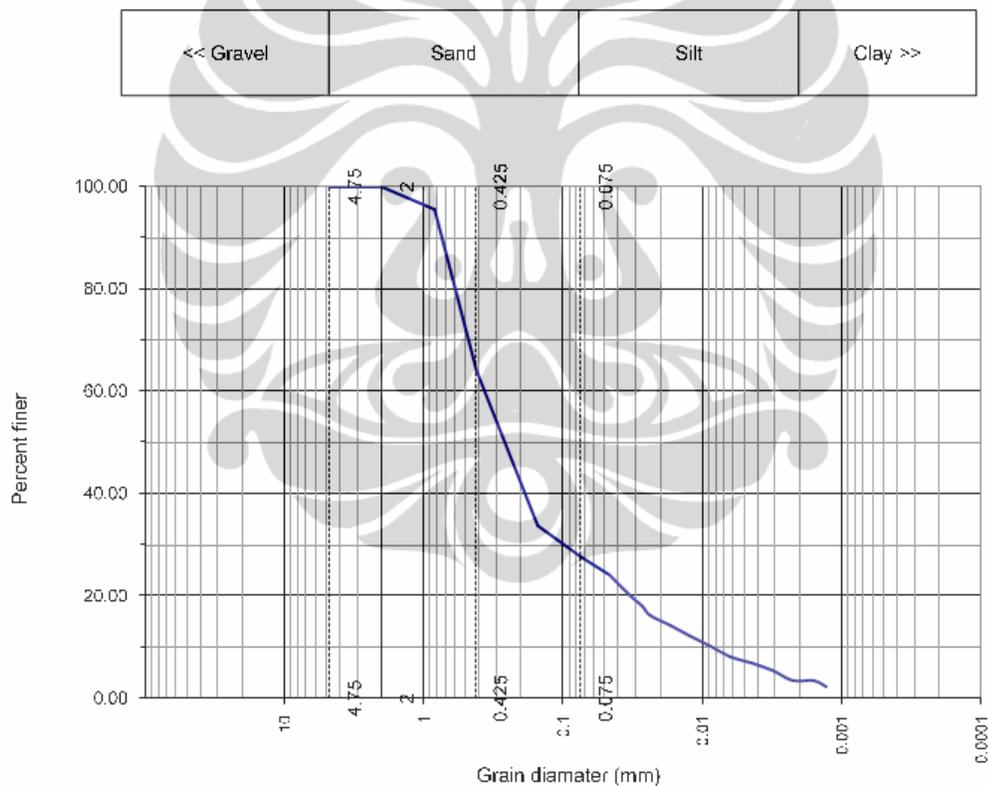


BAB 6

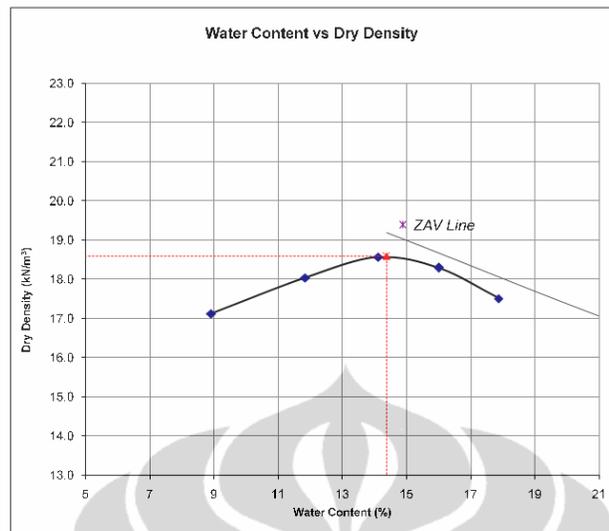
HASIL TEST DAN PEMBAHASAN

6.1 PROPERTIS MATERIAL TANAH

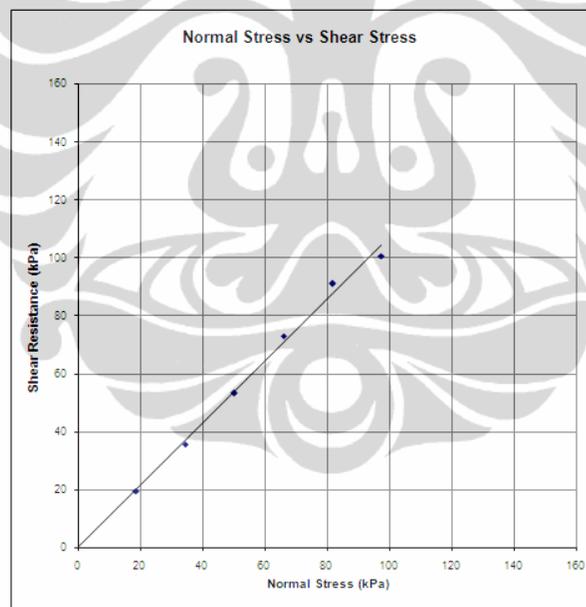
Seperti direncanakan pada Bab 5 tentang Prosedur Test Kapasitas Cabut (*Pull Out Test*), test ini terdiri dari dua jenis tanah yang akan diuji yakni jenis tanah pertama yakni jenis granular (*silty sand*) dan jenis kedua yakni tanah merah super (*clayey silt*). Masing-masing properties engineering dari jenis tanah yang digunakan dan material perkuatan tanahnya adalah seperti di bawah ini.



Gambar 6.1. Hasil Analisa Gradasi Butiran Tanah Jenis Tanah Granular



Gambar 6.2. Hasil Uji Pemadatan Laboratorium Modified Proctor Pada Tanah Jenis Granular



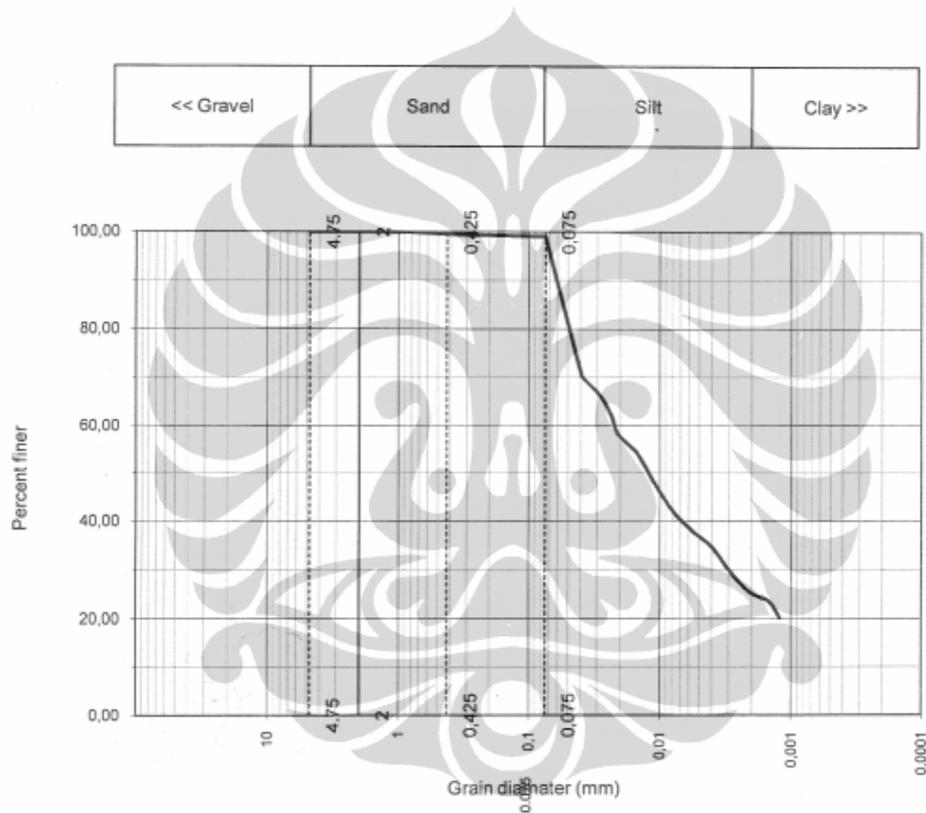
Gambar 6.3. Uji Geser Langsung (Direct Shear) Tanah Jenis Granular

Adapaun propertis untuk tanah granular adalah sebagai berikut :

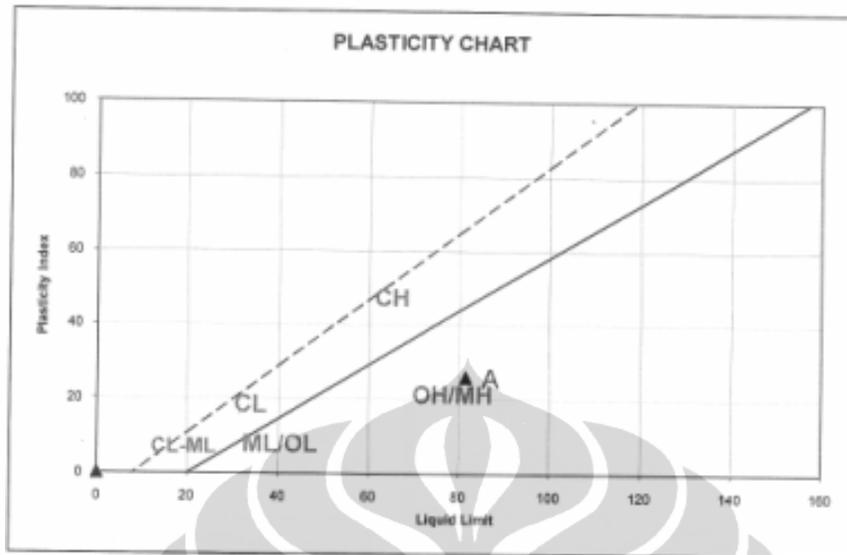
- *Sand* = 72.5 %, *Silt* = 24 % dan *Clay* 3.5 %.
- Klasifikasi USC = *Silty Sand*.
- Maksimum dry density ($\gamma_{dry\ max}$) = 18.59 kN/m³.
- OMC - Optimum Water Content (w_{opt}) = 14.38 %.

- Specific gravity (G_s) = 2.65.
- Nilai kohesi = 0.16 kPa.
- Sudut geser internal tanah = 46.91° .
- $\gamma_{wet} = 21.26 \text{ kN/m}^3$.

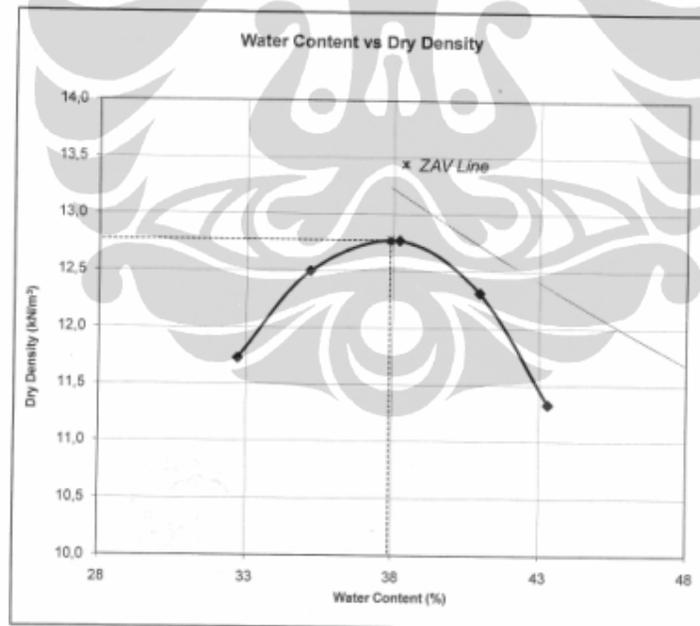
Sedangkan hasil test properties jenis tanah merah super adalah sebagai berikut:



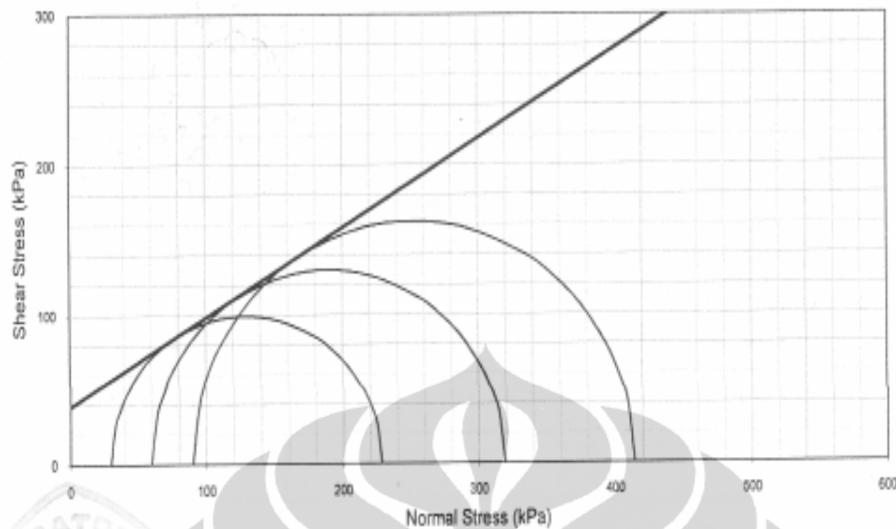
Gambar 6.4. Hasil Analisa Gradasi Butiran Tanah Merah Super



Gambar 6.5. Hasil Analisa Indeks Plastisitas Tanah Merah Super



Gambar 6.6. Hasil Uji Pematatan Standard Proctor Tanah Merah Super



Gambar 6.7. Hasil Uji Triaksial UU Tanah Merah Super

Adapaun propertis untuk jenis tanah merah super adalah sebagai berikut:

- *Sand* = 1 %, *Silt* = 73.5 % dan *Clay* 25.5 %.
- Klasifikasi USC = *Clayey Silt*.
- LL = 81.46 %, PL = 55.58 % dan PI = 25.88 %.
- Klasifikasi = MH.
- *Maximum dry density* ($\gamma_{dry\ max}$) = 12.77 kN/m³.
- OMC - *Optimum Water Content* (w_{opt}) = 37.90 %.
- *Specific gravity* (G_s) = 2.65.
- Nilai kohesi = 38.38 kPa.
- Sudut geser internal tanah = 30.83^o.
- γ_{wet} = 17.31 kN/m³.

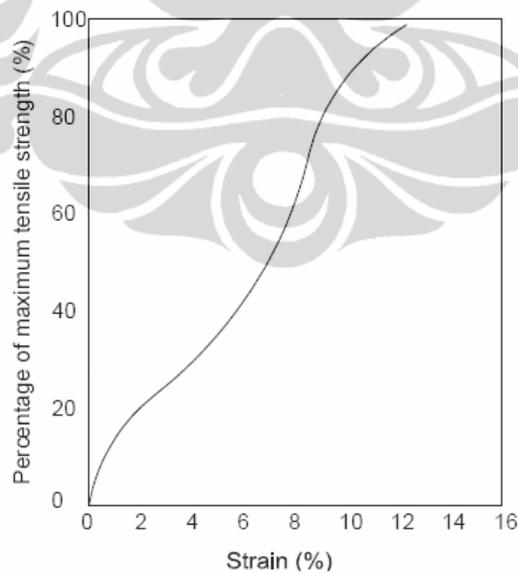
6.2 PROPERTIS MATERIAL PERKUATAN TANAH

Material perkuatan tanah yang akan diuji terdapat dua macam yakni: jenis perkuatan polyester strip dengan ultimate tensile strength 50 kN produksi Kolon Korea dan metal strip standard milik the Reinforced Earth, Perancis dan kedua bahan ini merupakan sumbangan dari PT Geoforce Indonesia.



Gambar 6.8. Material Perkuatan Polyester Strip

Polyester strip yang diuji merupakan material produk Kolotie 50 dari pabrik Kolon Korea dengan kuat tarik ultimate 50 kN. Kolotie terbuat dari bahan serat polyester yang dicoating/dilapis dengan bahan HDPE (*high density polyethelene*). Lebar Kolotie 50 kurang lebih 9 cm dengan tebal 0.2 cm. Kurva regangan-tegangan dari Kolotie 50 seperti gambar di bawah ini



Gambar 6.9. Kurva Regangan-Tegangan Kolotie



Gambar 6.10. Material Perkuatan RE Metal Strip

Material perkuatan (*reinforcement strip*) terbuat dari *ribbed reinforcing strips*. *Ribbed reinforcing strips* merupakan *hot rolled* dengan memiliki profil seperti tulang rusuk pada permukaan sehingga didapat nilai friksi yang besar. Secara fisik dan mekanikal sesuai dengan ASTM A-572 grade 65 (AASHTO M-223) atau yang setara. Galvanizing sesuai dengan ASTM-A123 (AASHTO M-111) dan minimum ketebalan coating adalah 2oz/SF. Ukuran material RE metal strip lebar 5 cm dengan tebal rata-rata 0.4 cm.



Gambar 6.11. Aplikasi Kedua Jenis Material Perkuatan Tanah Yang Diuji

6.3 PROSES PENGETESAN

Telah dilakukan 20 kali seri pengetesan, namun hanya 12 data yang dapat digunakan dan untuk diolah dan dianalisa lebih lanjut. Berikut ini urutan waktu pengetesan.

Tabel 6.1. Test Pull Out Yang Dilakukan

No	Tgl	Air Bag	Tanah	Perkuatan	Keterangan
1	20 Okt 09	5 psi	SS	Polyester	Tidak dipakai/trial
2	21 Okt 09	15 psi	SS	Polyester	Dowel besi hollow pecah
3	22 Okt 09	30 psi	SS	Polyester	Gagal, hidraulik tdk kuat
4	26 Okt 09	10 psi	SS	Polyester	Ok
5	27 Okt 09	20 psi	SS	Polyester	Ok
6	27 Okt 09	5 psi	SS	Polyester	Ok
7	28 Okt 09	10 psi	SS	Metal	Ok
8	28 Okt 09	20 psi	SS	Metal	Gagal, listrik mati
9	29 Okt 09	5 psi	SS	Metal	Ok
10	29 Okt 09	20 psi	SS	Metal	Ok
11	3 Nov 09	10 psi	CS	Polyester	Ok
12	3 Nov 09	10 psi	CS	Metal	Ok
13	11 Nov 09	20 psi	CS	Polyester	Failed
14	11 Nov 09	5 psi	CS	Metal	Failed
15	17 Nov 09	5 psi	CS	Polyester	Kawat nikel port A putus
16	17 Nov 09	5 psi	CS	Metal	Ok
17	17 Nov 09	20 psi	CS	Metal	Ok
18	17 Nov 09	20 psi	CS	Polyester	Alat error kena hujan
19	23 Nov 09	5 psi	CS	Polyester	Ok
20	23 Nov 09	20 psi	CS	Polyester	Ok

Note : SS : silty sand, CS : clayey silt

Selama proses pengetesan, terdapat beberapa kendala dan catatan yang harus menjadi pertimbangan pada saat melakukan analisa hasil pengetesan ini. Catatan pertama, adalah bagaimana mendapatkan metode yang baik untuk pemadatan tanah pada box pull out. Hasil pemadatan tanah tidak dapat mencapai 100 % standard pemadatan proctor laboratorium. Hasil tertinggi yang dapat tercapai adalah hanya sekitar 80 % untuk jenis tanah granular, sedangkan untuk jenis tanah merah didapat tingkat kepadatan lebih baik yakni 90 %.

Catatan kedua, adalah berkenaan dengan tekanan kekang (*confining stress*) atau tekanan normal yang diberikan tidak dapat diamati secara akurat karena tidak tersedianya ukur alat *total load pressure* yang seharusnya diletakkan di bawah material perkutan tanah yang di uji. Sehingga tekanan normal dihitung hanya berdasarkan tinggi tanah timbunan di atas material perkutan setinggi 20 cm ditambah dengan tekanan udara yang diberikan *air bag* di atas media tanah.

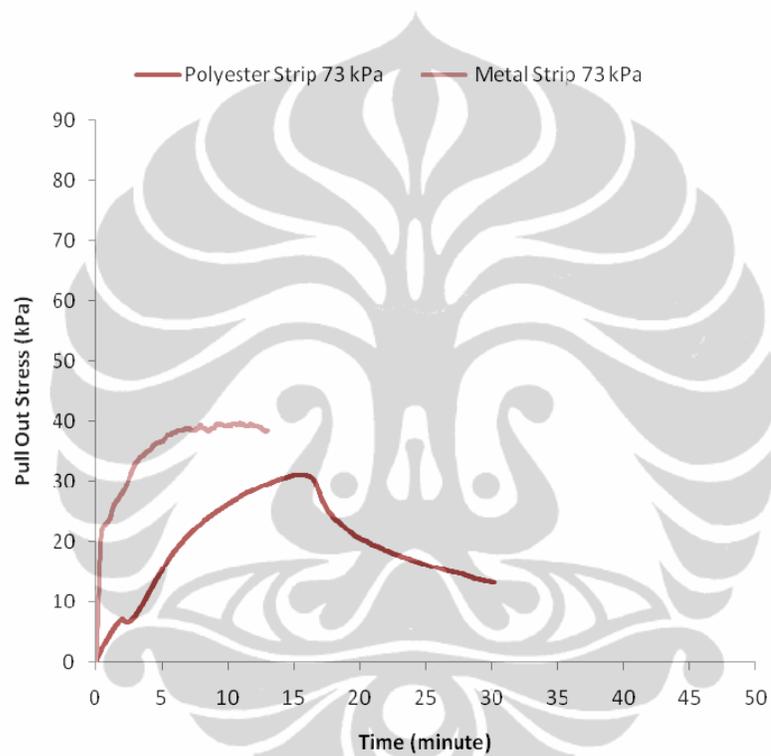
Dikarenakan adanya perilaku kondisi batas yang terjadi pada sisi-sisi dinding box *pull out* ini, tekanan normal yang terjadi sama dengan terukur pada manometer *air bag* dimungkinkan tidak seakurat jika pengukuran dilakukan dengan alat *total load pressure*.

Ketiga, adalah adanya kemungkinan timbulnya tekanan air pori pada saat pemberian tekanan normal yang seharusnya perlu juga terukur dengan menggunakan semacam alat piezometer. Hal ini agar kita mengetahui kondisi pembebanan yang terjadi. Karena seperti pada penjelasan pada bab-bab awal, bahwa tekanan normal yang memberikan tahanan friksi adalah tekanan efektif, bukan tekanan normal. Pada pengujian di tanah granular kemungkinan tidak terlalu memberikan efek yang besar karena akses air pori dapat cepat terdesipasi, namun pada pengujian pada tanah merah (*clayey silt*) akan berbeda. Karena pada pengujian tanah merah terdapat fenomena dimana terdapat gelembung-gelembung air yang keluar dari ujung-ujung material perkuatan yang sedang diuji.

Catatan keempat, kapasitas *power pack* hidraulik dirasakan terlalu kecil. Sebenarnya secara hitungan dengan power pompa hidraulik terpasang akan mampu menarik beban hingga 10 ton. Namun dikarenakan tuntutan kecepatan pembebanan (*loading rate*) yang relatif kecil, maka power yang tersedia tidak dapat maksimal digunakan. Hal ini dikarenakan bukaan solenoid tarik diset sangat kecil sehingga aliran minyak hidrauliknya tidak maksimal. Hal ini terlihat saat dicoba diberikan tekanan air bag hingga 30 psi, jack hidraulik tidak sanggup menarik material perkuatan tanah. Sehingga akhirnya penulis memutuskan tekanan normal maksimum yang diberikan adalah hanya sampai tekanan *air bag* sebesar 20 psi.

Kelima adalah masalah *clamping* sistem, untuk *clamping* material metal strip tidak terdapat kendala yang berarti. Tetapi pada material polyester strip masih ditemukan slip material pada *clamping*-nya. Walaupun slip ini tidak mempengaruhi proses akuisisi data perilaku material perkuatan tanah di dalam massa tanahnya, namun bisa menjadi catatan untuk perbaikan di kemudian hari.

Pada grafik no. 6.12. di bawah ini terlihat bahwa material polyester strip terdapat dua puncak, puncak pertama ini terjadi karena pada beban tertentu material slip di *clamping*-nya kemudian berhenti karena dowel sudah tertahan pada *clamping* dan kemudian beban meningkat lagi secara normal hingga sampai puncak (*peak*). Sedangkan pada metal strip tidak terjadi fenomena ini, dimana beban berjalan secara *continue* hingga mencapai beban puncak dan residualnya.



Gambar 6.12. Tipikal Time Histori Pengetesan Pada Tanah Silty Sand

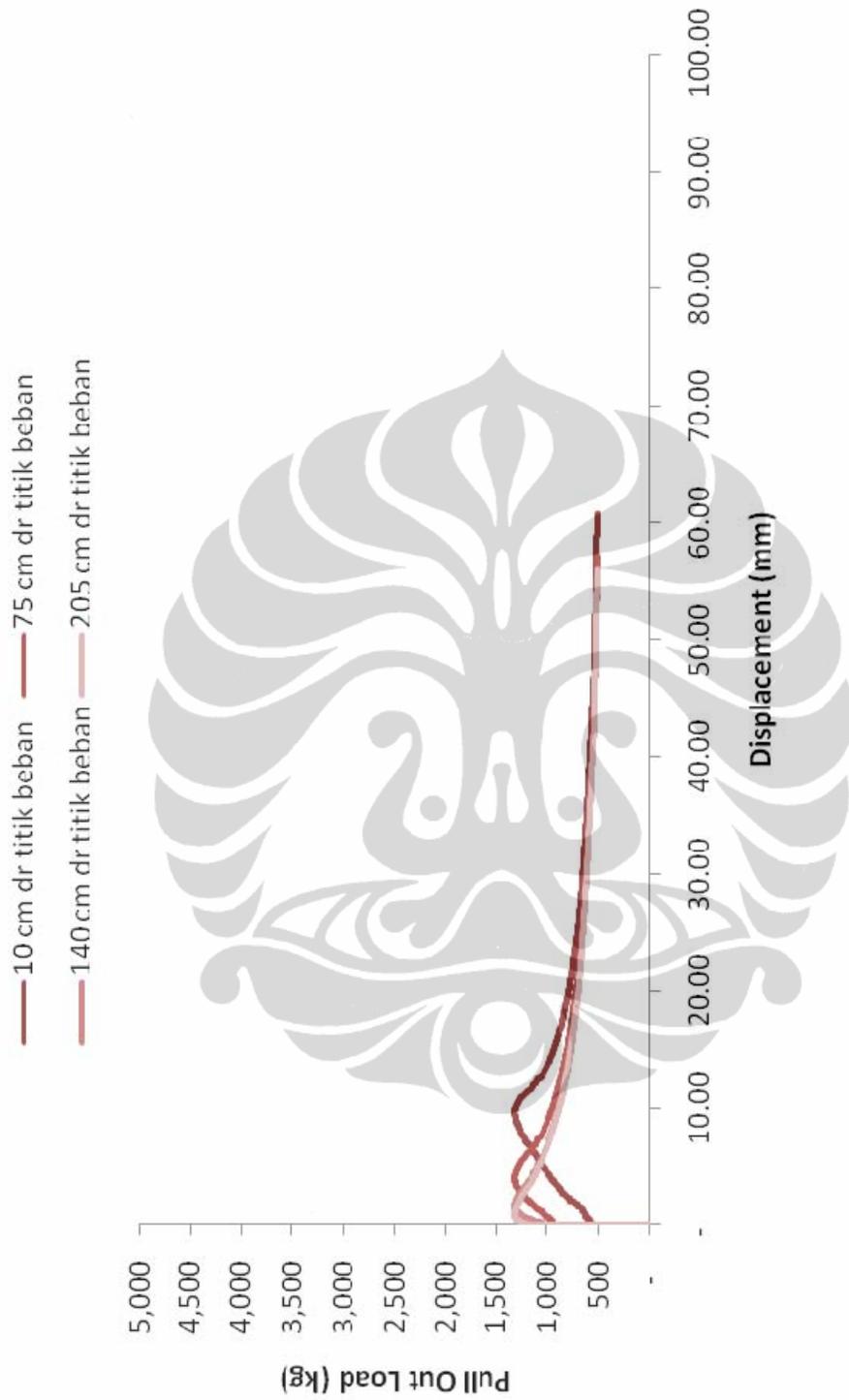
Disamping kendala-kendala di atas dalam proses pengetesan, terdapat kelebihan yang sangat membantu di dalam melakukan analisa data yakni adanya alat akuisisi data. Penggunaan alat akuisisi data beban dan displacement secara otomatis *real time* menggunakan komputer, sangat berguna sekali terhadap keseluruhan proses pengetesan ini. Walaupun seluruh sistem akuisisi data ini dirancang dan dirakit secara mandiri oleh penulis, terbukti telah dapat bekerja secara baik selama proses pengetesan. Dimana kita bisa langsung mengetahui secara akurat *real time* seberapa besar beban yang sedang terjadi, seberapa besar

displacement sedang terjadi pada masing-masing terminal pengukuran. Dan kesemuanya ini langsung diplot dalam bentuk grafik *scatter x-y* di layar computer lap top antara beban dan *displacement* yang sedang terjadi. Kita langsung tahu bahwa apakah pembebanan sedang dalam kondisi *peak*, dimana grafik mulai turun ataukah pembebanan dalam kondisi residual pada saat grafik telah konstan landai. Demikian juga seandainya material perkuatan tanah sampai terjadi putus, maka bisa langsung teramati selama proses pengujian. Dan lebih sangat berguna lagi karena seluruh bacaan data digital ini telah langsung tersimpan dalam format spread sheet sehingga sangat memudahkan didalam melakukan analisa dan pengolahan data ini lebih lanjut.

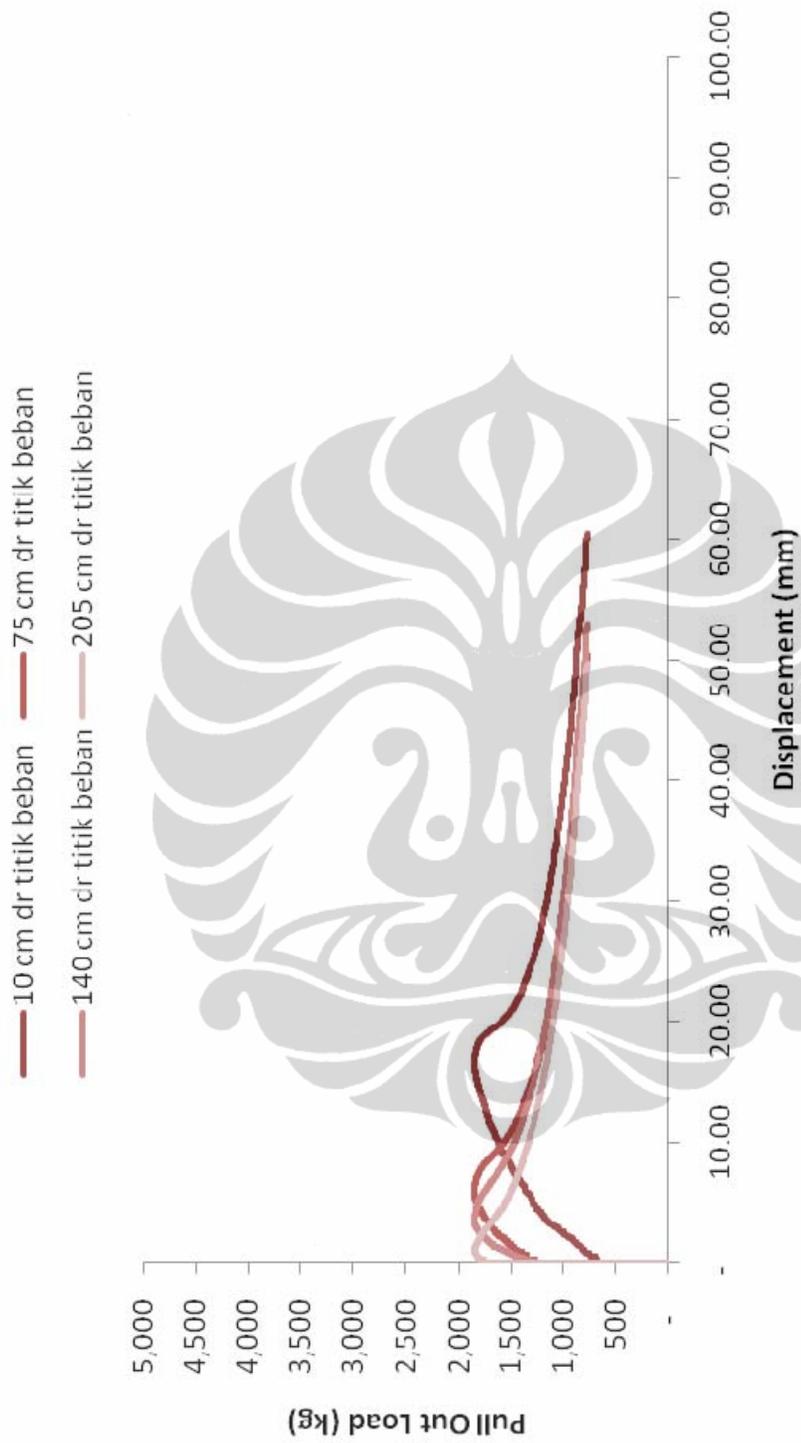
6.4 HASIL TEST

Keseluruhan test terdiri dari 12 (dua belas) seri uji dengan 3 (tiga) variasi tekanan normal. Tekanan *air bag* yang digunakan adalah: 5 psi, 10 psi, 20 psi dan 120 kPa atau 34.47 kPa, 68.95 kPa dan 137.9 kPa. Dari hasil test tanah didapat berat jenis tanah basah (dalam kondisi OMC) untuk jenis *silty sand*: 21.26 kN/m^3 dan jenis *clayey silt*: 17.31 kN/m^3 . Sebenarnya dengan ketebalan 20 cm untuk kedua jenis tanah tersebut akan memberikan tekanan normal yang berbeda, namun untuk keperluan praktis karena perbedaan nilainya sangat kecil maka tekanan normal yang bekerja digunakan nilai rata-rata dari kedua jenis tanah tersebut dan dianggap sama yakni sebesar : 38 kPa, 73 kPa dan 142 kPa.

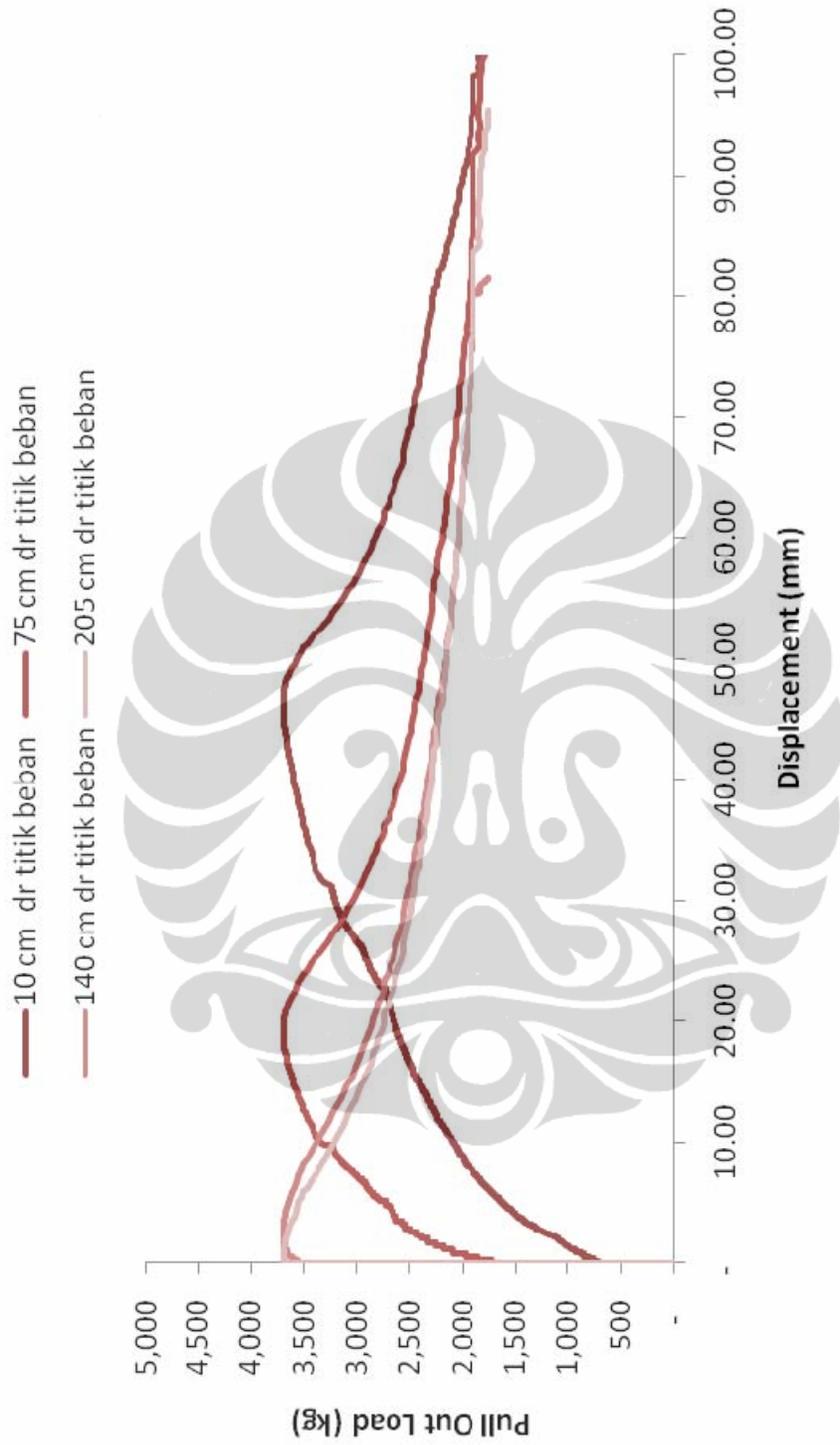
Seperti disampaikan pada bab sebelumnya, maka sesuai rencanan pengetesan dilakukan pada dua jenis tanah yakni: tanah granular (*silty sand*) dan tanah merah (*clayey silt*). Serta dilakukan pada dua jenis material perkuatan tanah yakni polyester strip dan metal strip. Berikut grafik hasil-hasil test yang digunakan untuk analisa lebih lanjut.



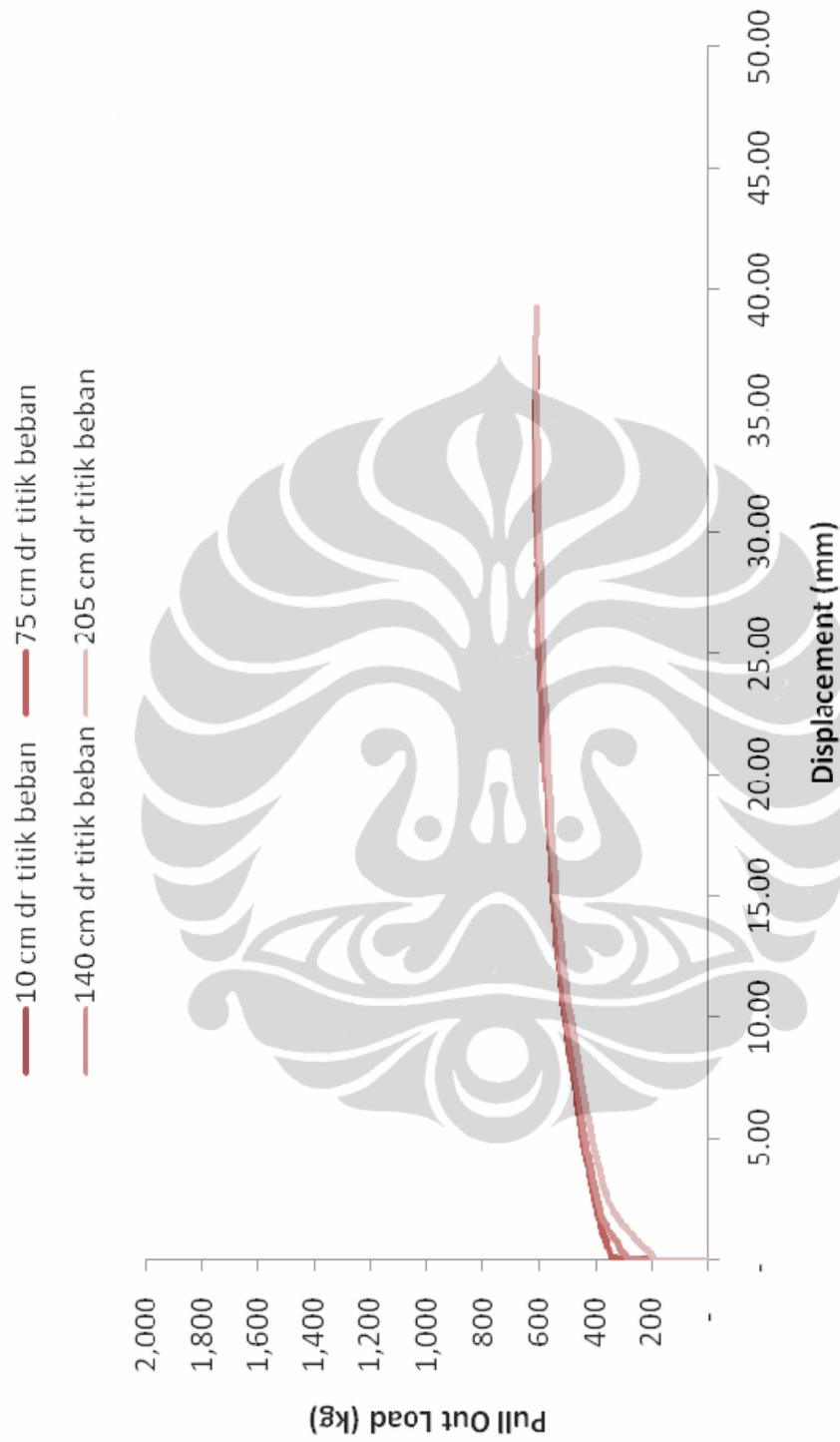
Gambar 6.13. Test Material Polyester Strip Pada Tanah Silty Sand Tekanan Normal 38 kPa



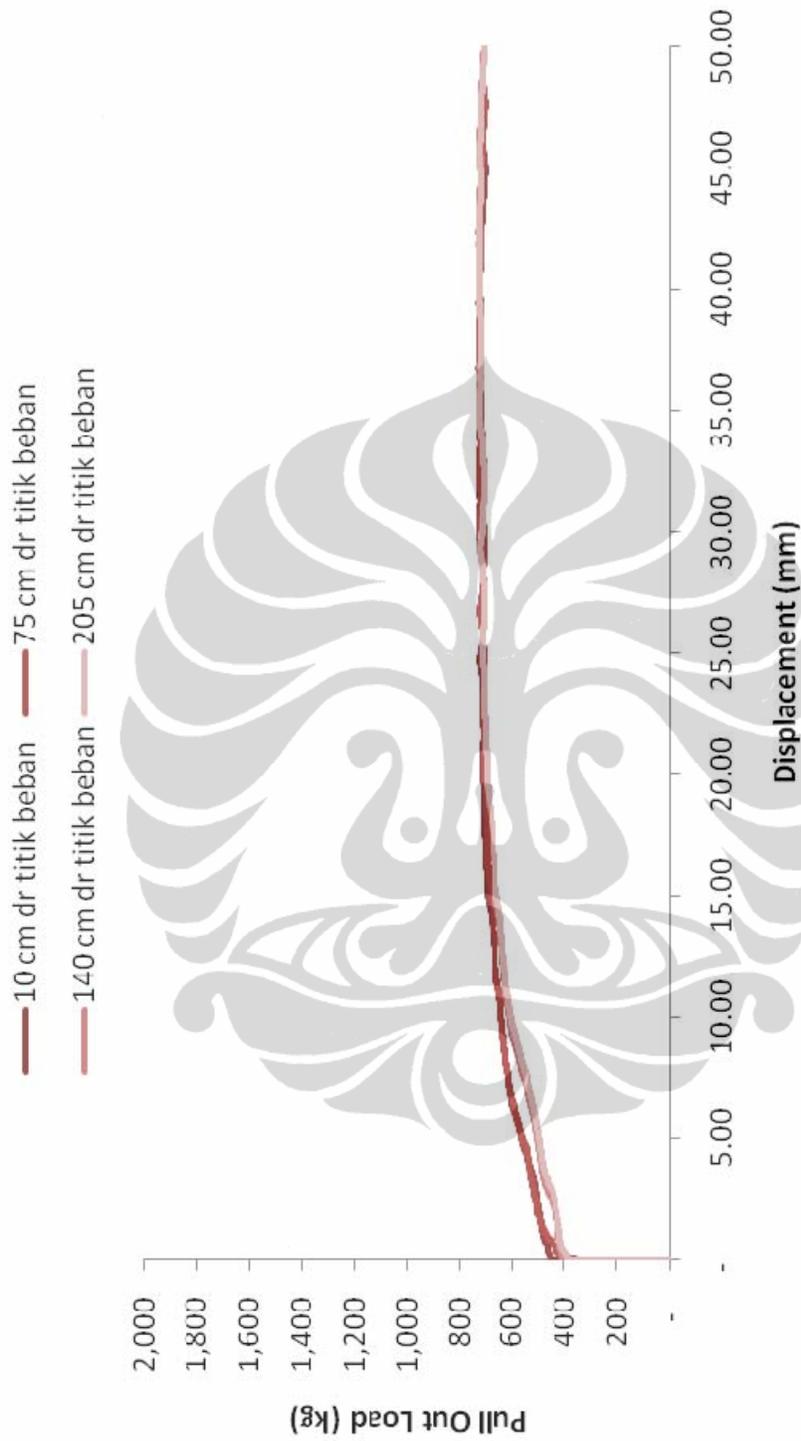
Gambar 6.14. Test Material Polyester Strip Pada Tanah Silty Sand Tekanan Normal 73 kPa



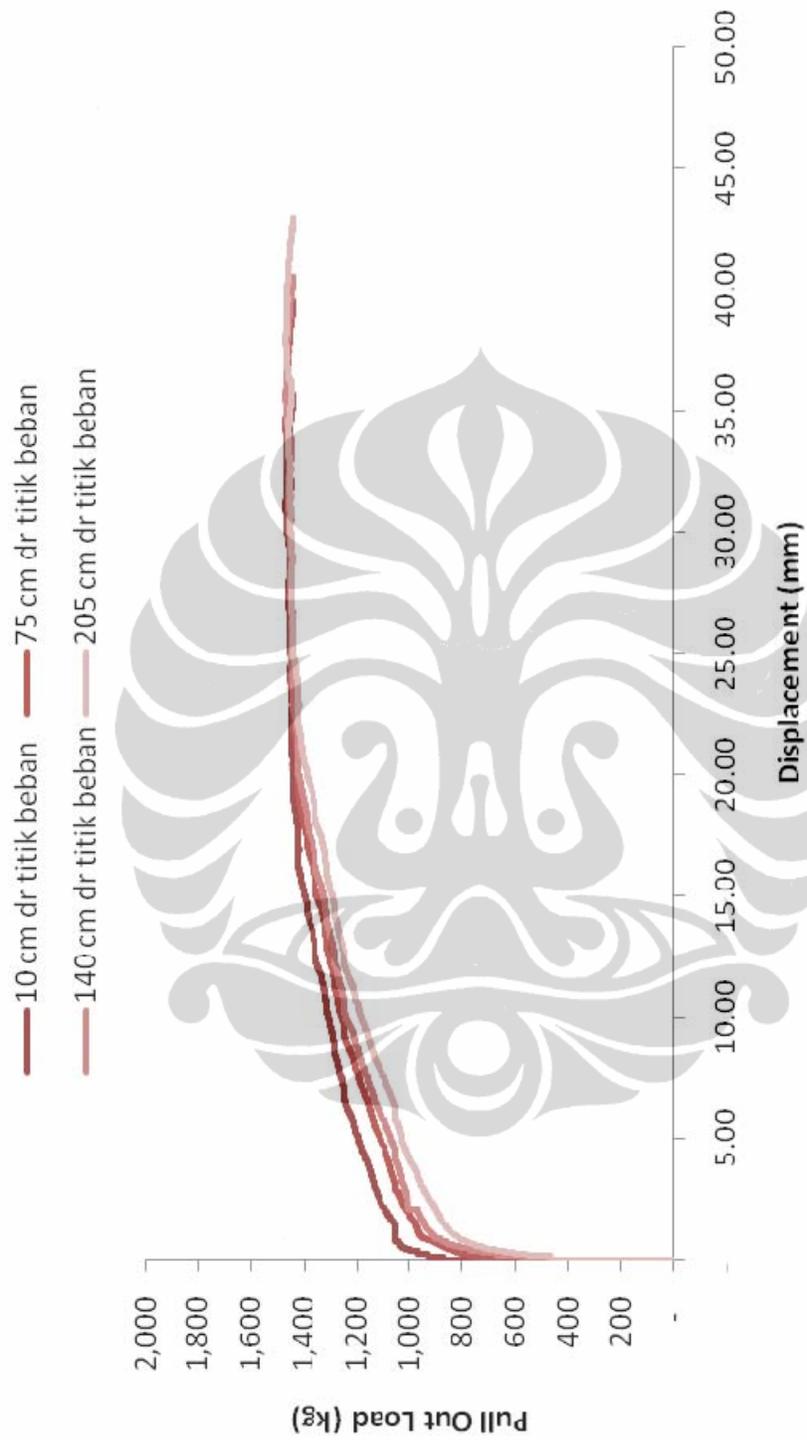
Gambar 6.15. Test Material Polyester Strip Pada Tanah Silty Sand Tekanan Normal 142 kPa



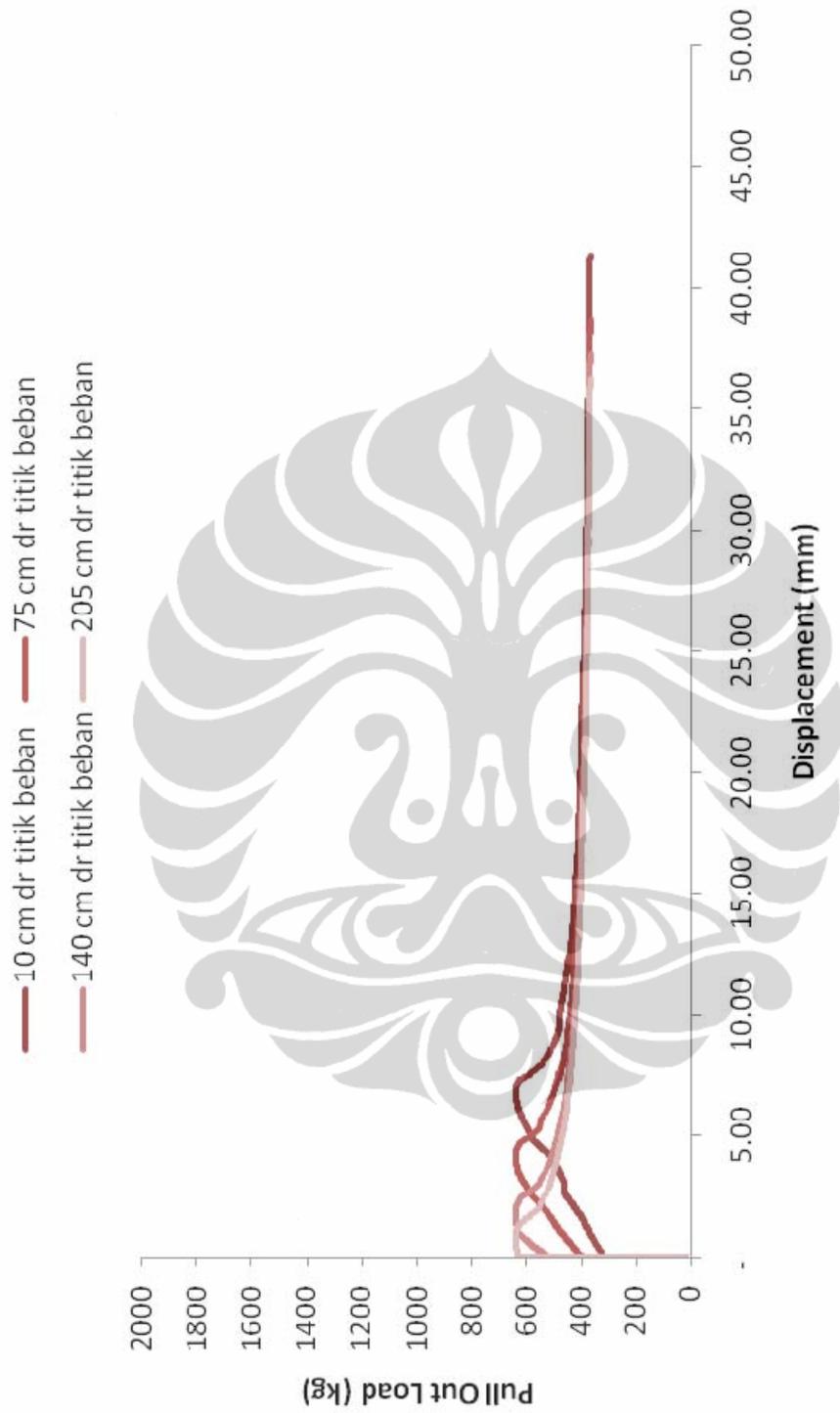
Gambar 6.16. Test Material Metal Strip Pada Tanah Silty Sand Tekanan Normal 38 kPa



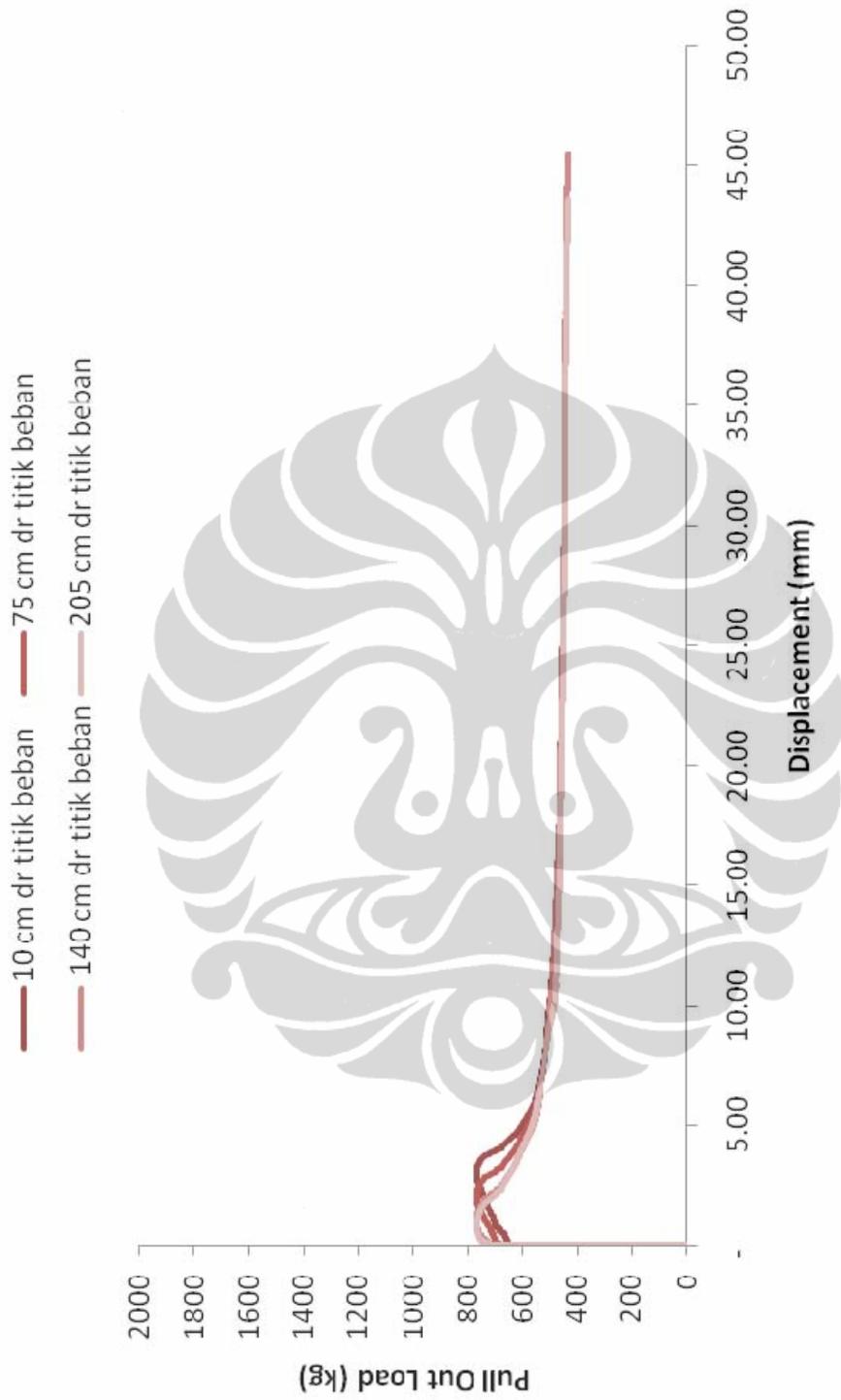
Gambar 6.17. Test Material Metal Strip Pada Tanah Silty Sand Tekanan Normal 73 kPa



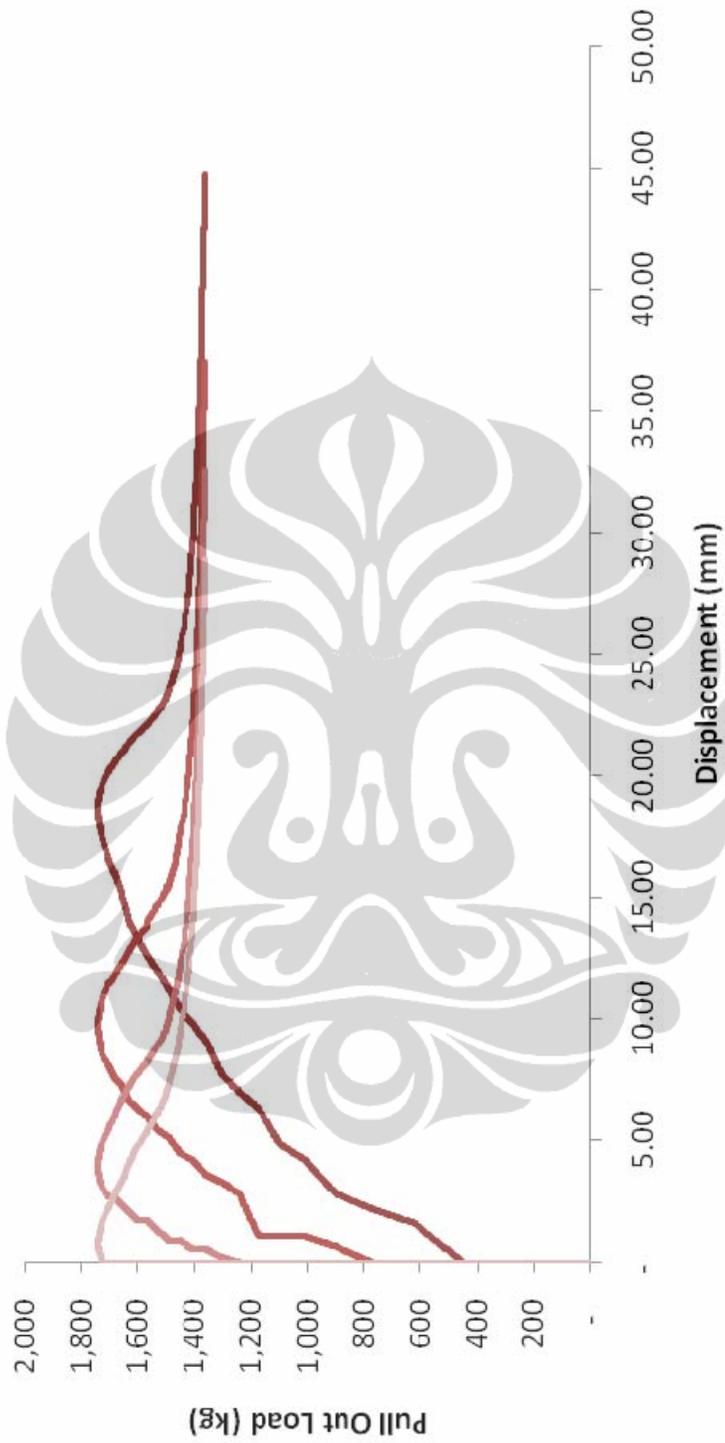
Gambar 6.18. Test Material Metal Strip Pada Tanah Silty Sand Tekanan Normal 142 kPa



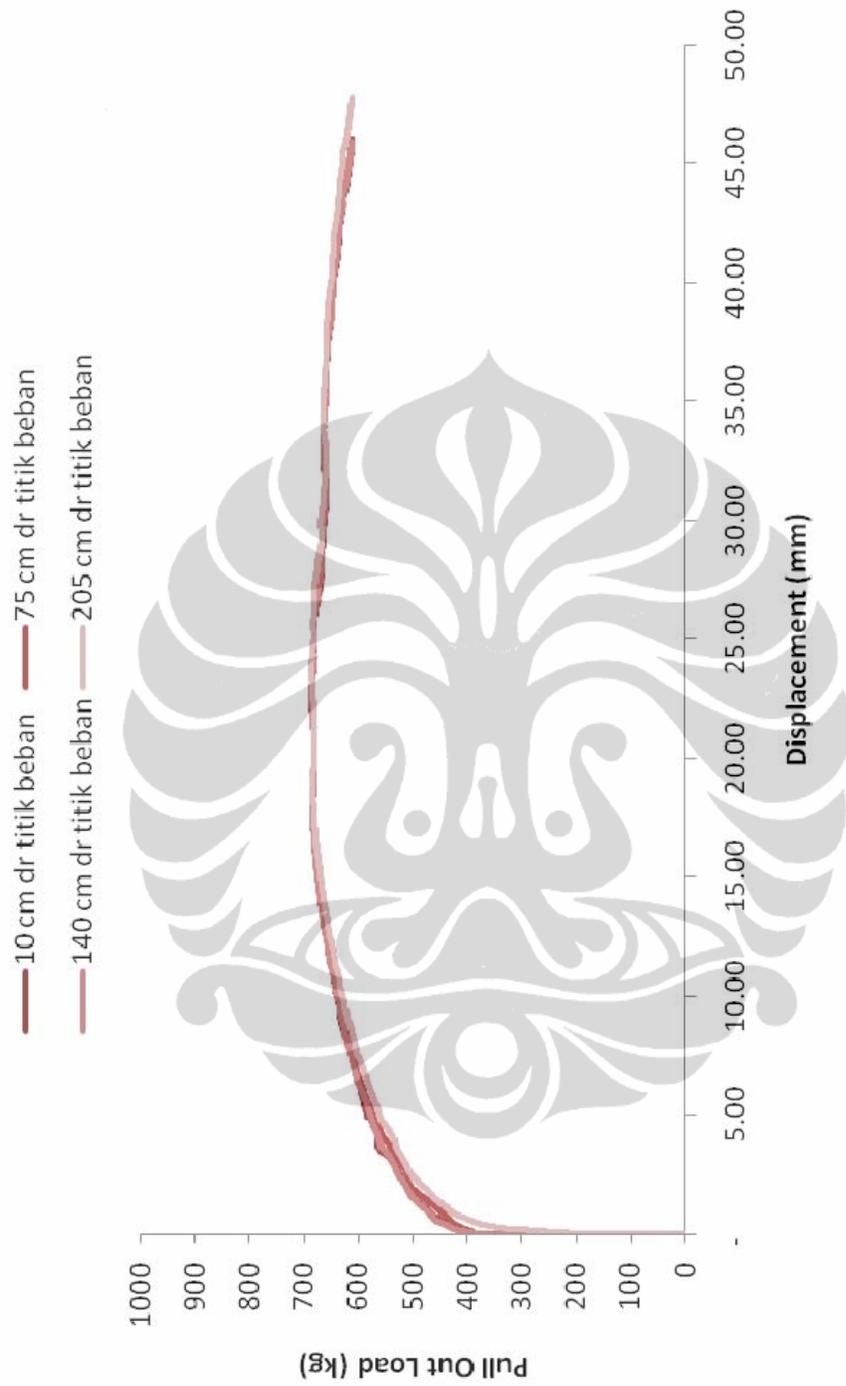
Gambar 6.19. Test Material Polyester Strip Pada Tanah Clayey Silt Tekanan Normal 38 kPa



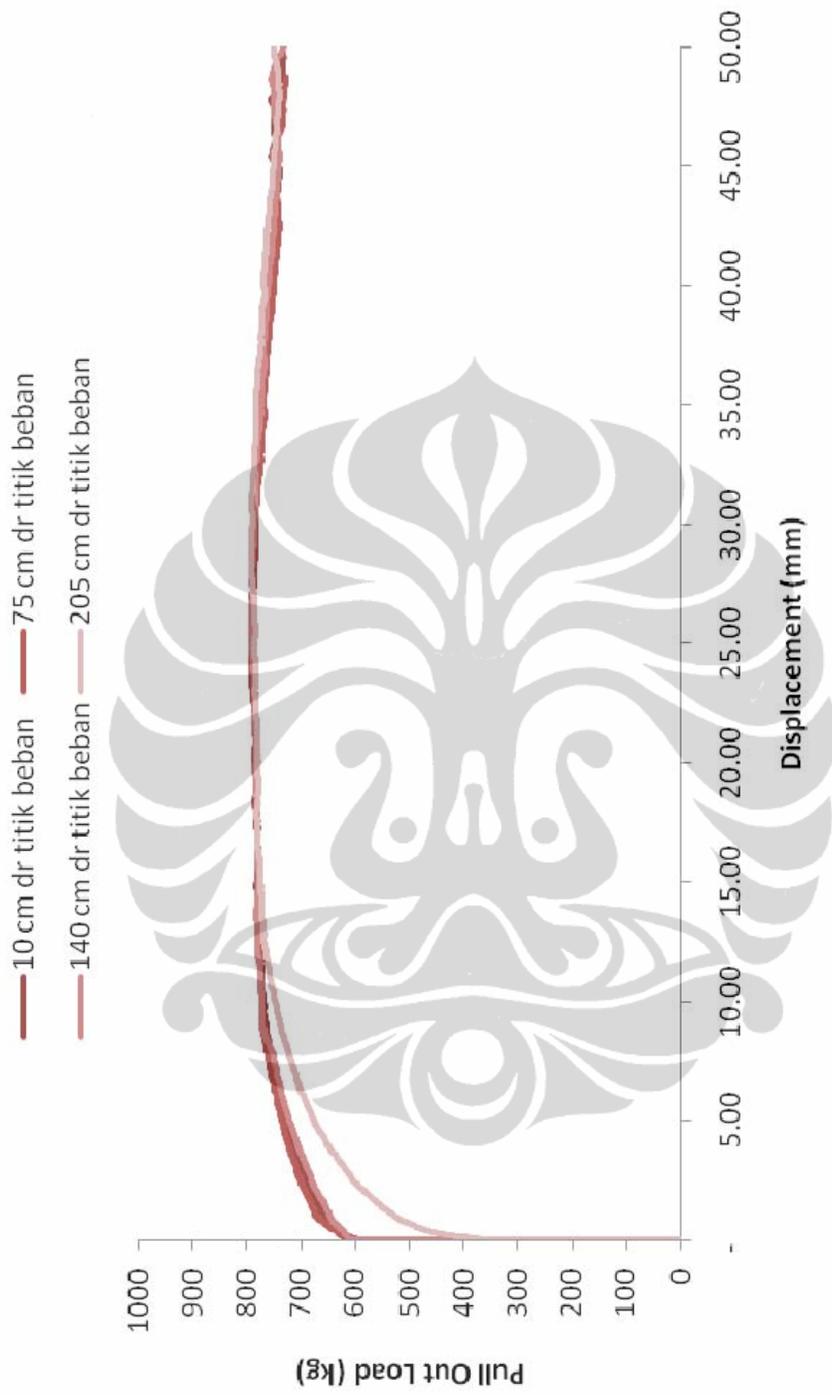
Gambar 6.20. Test Material Polyester Strip Pada Tanah Clayey Silt Tekanan Normal 73 kPa



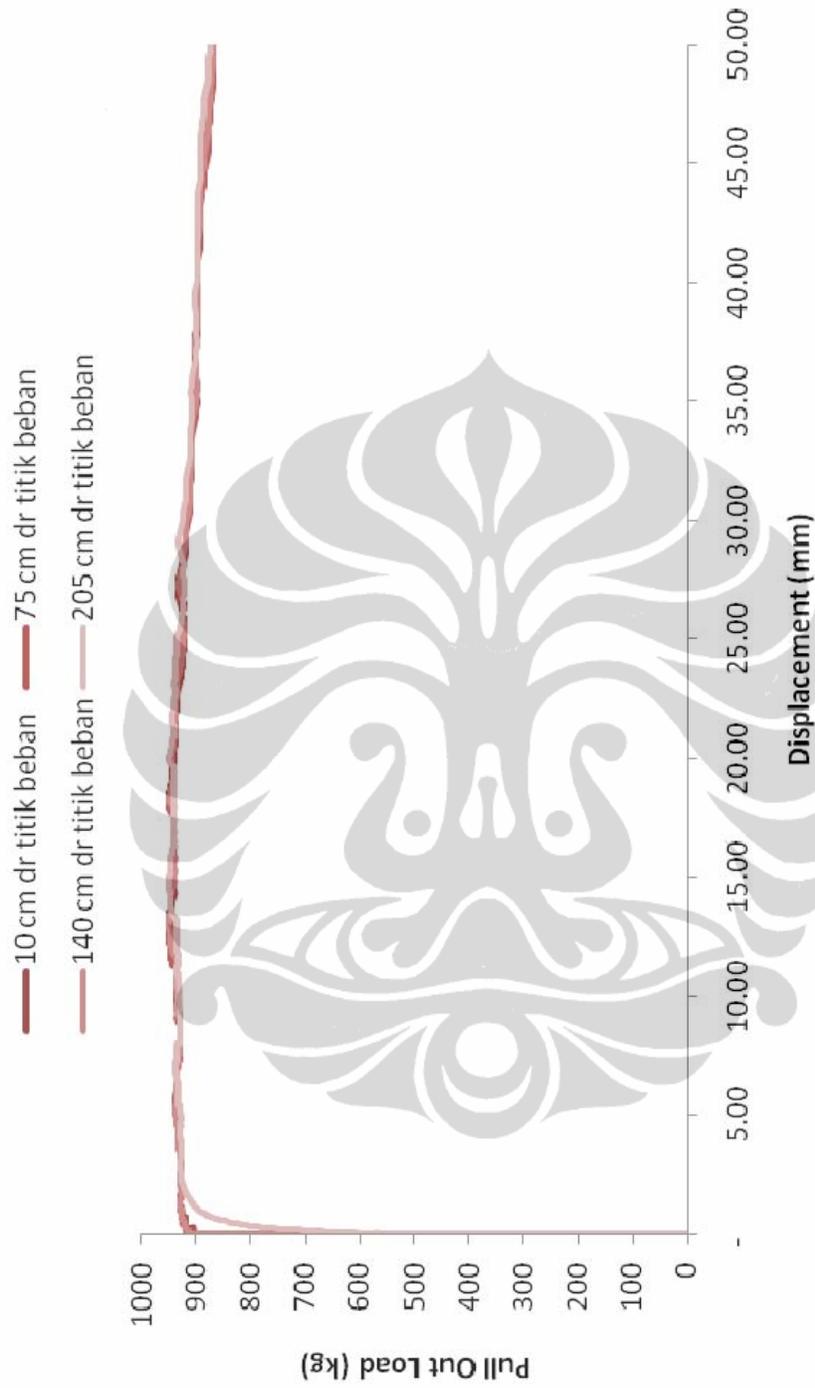
Gambar 6.21. Test Material Polyester Strip Pada Tanah Clayey Silt Tekanan Normal 142 kPa



Gambar 6.22. Test Material Metal Strip Pada Tanah Clayey Silt Tekanan Normal 38 kPa



Gambar 6.23. Test Material Metal Strip Pada Tanah Clayey Silt Tekanan Normal 73 kPa



Gambar 6.24. Test Material Metal Strip Pada Tanah Clayey Silt Tekanan Normal 142 kPa

Berikut ini adalah rangkuman dari hasil pengetestan:

Tabel 6.2. Ringkasan Hasil Test Pull Out

Jenis Tanah	Material	σ_n (kPa)	Peak (kg)	Resd. (kg)
Silty Sand (SS)	Polyester Strip	38	1,323	515
Silty Sand (SS)	Polyester Strip	73	1,844	790
Silty Sand (SS)	Polyester Strip	142	3,698	1,749
Silty Sand (SS)	Metal Strip	38	615	
Silty Sand (SS)	Metal Strip	73	723	
Silty Sand (SS)	Metal Strip	142	1,470	
Clayey Silt (CS)	Polyester Strip	38	639	373
Clayey Silt (CS)	Polyester Strip	73	767	440
Clayey Silt (CS)	Polyester Strip	142	1,741	1,365
Clayey Silt (CS)	Metal Strip	38	664	
Clayey Silt (CS)	Metal Strip	73	791	
Clayey Silt (CS)	Metal Strip	142	941	

6.5 ANALISA HASIL TEST

Grafik-grafik pada gambar 6.13 sampai dengan gambar 6.24 merupakan hasil data faktual hasil pengetestan untuk 12 (dua belas) seri pengetestan yang dilakukan dan direkam pada sistem akuisisi data. Data tersimpan merupakan time histori dari besar pembebanan (dalam kg) dan besar *displacement* pada masing-masing titik pengamatan yakni berjarak 10 cm, 75 cm, 140 cm dan 205 cm dari titik beban atau titik *clamping*. Sedangkan *plotting* dilakukan untuk besarnya beban (*pull out load*) dan besarnya *displacement* di empat titik pengukuran.

Secara umum perbedaan paling terlihat adalah perilaku transfer tegangan antara material perkuatan jenis polyester strip dan metal strip. Sedangkan pengujian pada jenis tanah yang berbeda yakni *silty sand* dan *clayey silt* tidak menunjukkan perilaku transfer tegangan yang berbeda secara signifikan.

Dari semua hasil test-test di atas dapat dianalisa dalam empat kelompok analisa perilakunya yakni:

- a. Bagaimana perilaku deformasi atau *displacement* dari sistem dinding perkuatan tanah akibat terjadinya slip antara tanah-material perkuatan tanah dan/atau akibat regangan (*strain*) dari material perkuatan tanahnya karena adanya pembebanan arah horisontal (*pull out*).
- b. Bagaimana perilaku sebaran *displacement* dan juga regangan (*strain*) sepanjang material perkuatan tanah pada kedua jenis perkuatan tanah dan tanah timbunan.
- c. Bagaimana perilaku pola transfer tegangan dari material perkuatan tanah ke dalam massa tanah pada kedua jenis perkuatan tanah dan tanah timbunan.
- d. Berapa besar sudut geser antara material perkuatan tanah dengan media tanahnya pada kedua jenis perkuatan dan tanah timbunan. Dimana sudut geser ini (δ) merupakan fungsi dari tekanan normal dan kapasitas *pull out*/cabut baik saat kondisi puncak (*peak*) maupun saat residualnya (jika ada).

6.5.1 Perilaku Deformasi atau *Displacement*

Pergerakan pembebanan pada *clamping* dalam alat ini dapat mewakili dua mekanisme di dalam sistem konstruksi dinding perkuatan tanah yakni:

- a. pergerakan panel facing jika posisi material perkuatan tanah berada pada bagian paling bawah sistem dinding penahan tanah akibat tekanan aktif tanah,
- b. pergerakan massa tanah berikut panel facingnya yang mengalami deformasi akibat keruntuhan pada zone aktif Rankine.

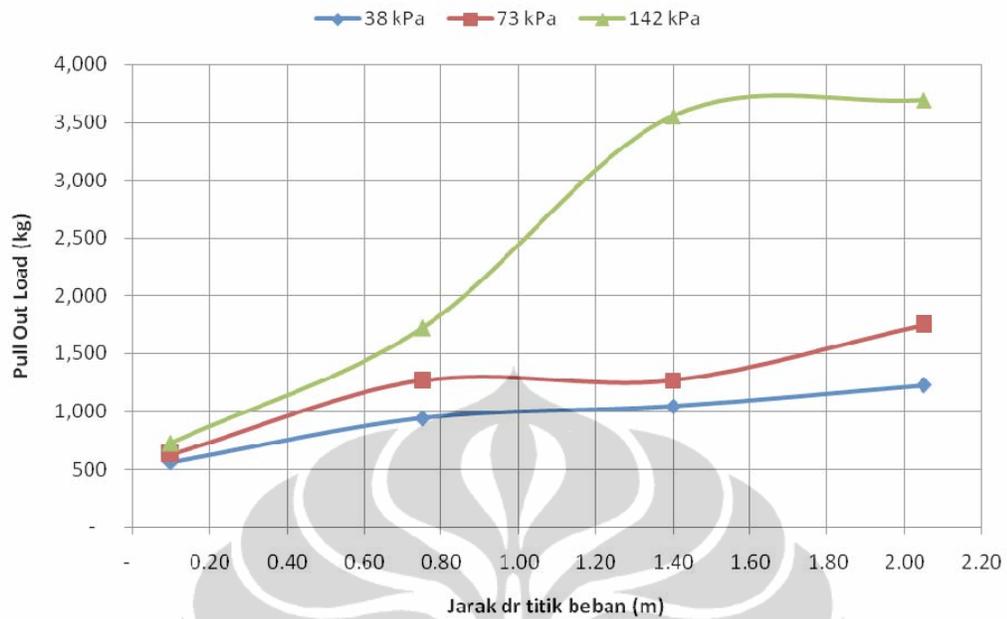
Analisa-analisa ini akan sangat berguna untuk mengetahui besaran deformasi panel facing akibat besar pembebanan yang terjadi, apakah masih dalam batas toleransi yang diijinkan atau tidak. Analisa ini juga dapat digunakan untuk menentukan *setting* kemiringan panel facing (*pre-inclination*) saat pemasangan facing untuk mendapatkan kemiringan akhir yang dikehendaki.

Grafik-grafik di bawah ini adalah *plotting* hubungan besarnya *pull out load* (dalam kg) pada masing-masing pengujian yang menyebabkan mulai (*trigger*) terjadinya *displacement* pada setiap titik pengukuran. Karena pengukuran terdekat

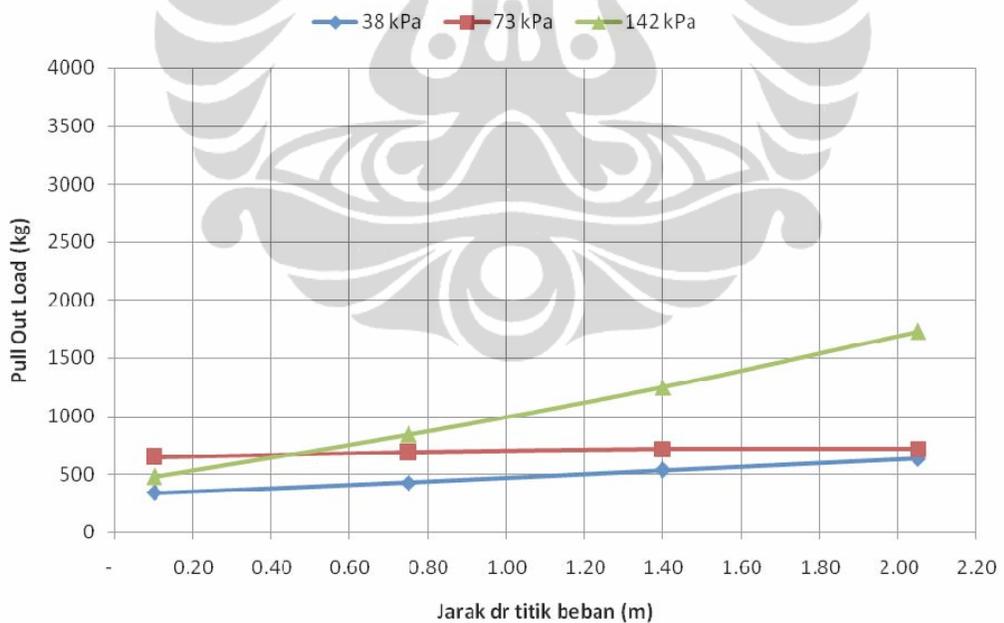
diukur 10 cm dari titik beban, maka sebenarnya tidak dapat diketahui secara akurat perilaku pergerakan facing-nya. Namun penulis masih dapat menilai bahwa pengukuran pada jarak 10 cm sebenarnya cukup mewakili perilaku pergerakan facing. Jika diamati pada jarak 10 cm, maka terlihat bahwa saat awal pembebanan berlangsung *displacement* tidak langsung serta merta terjadi namun ada jeda hingga pembebanan mencapai nilai tertentu yang besarnya bervariasi mengikuti tekanan normal yang diberikan.

Pada material polyester strip pada grafik di gambar 6.25 dan gambar 6.26 yang diturunkan dari data-data faktual grafik gambar 6.13 sampai dengan gambar 6.15 dan gambar 6.19 sampai gambar 6.21 dapat diamati berapa besar beban yang mulai men-*trigger* atau memulai terjadinya *displacement* pada masing-masing jarak pengamatan dari titik beban. Selanjutnya dengan bertambahnya besar beban maka secara berturut-turut bagian lebih jauh mulai bergerak dan demikian seterusnya. Hal ini terlihat pada jenis tanah *silty sand*, sedangkan pada tanah *clayey silt* relatif terjadi secara bersamaan. Memang terdapat hasil yang tidak sepenuhnya linier sesuai dengan tekanan normal yang diberikan. Hal ini dimungkinkan terjadi karena adanya deviasi hasil pengujian yang hanya dilakukan satu pengujian pada satu seri testnya. Sebaiknya memang pengujian dilakukan 3 (tiga) kali untuk satu seri pengujian sehingga dapat dilakukan verifikasi keakuratan terhadap hasilnya.

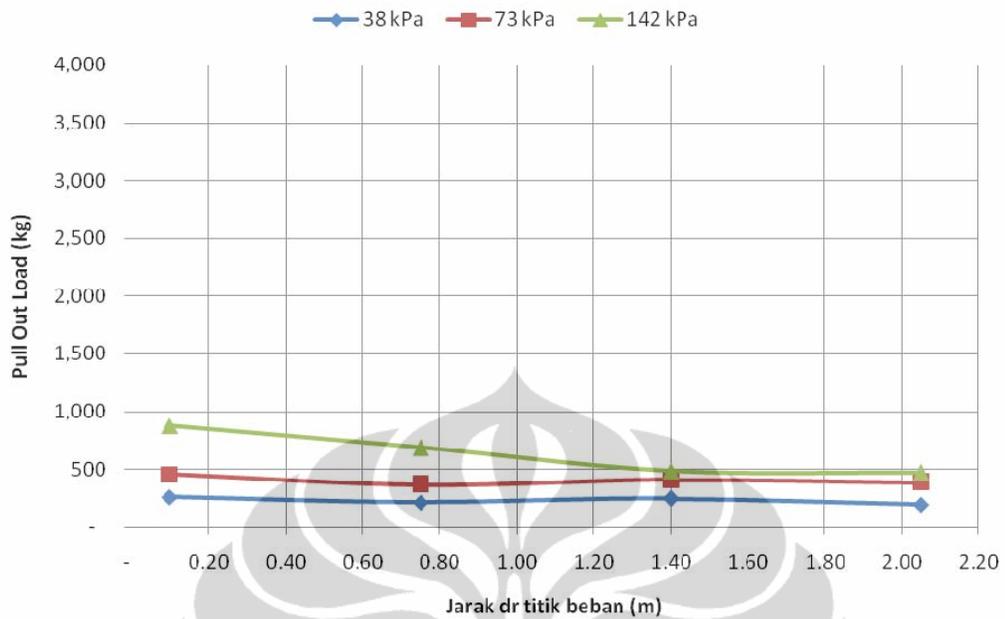
Sedangkan pada material metal strip perilakunya agak berbeda, seperti terlihat pada grafik gambar 6.27 dan 6.28 yang diturunkan dari data-data faktual grafik gambar 6.16 sampai dengan gambar 6.18 dan gambar 6.22 sampai gambar 6.24 dimana pada beban tertentu keseluruhan panjang material perkuatan mulai bergerak hampir bersamaan. Dan ini terjadi pada kedua jenis tanah baik itu pada *silty sand* maupun pada *clayey silt*.



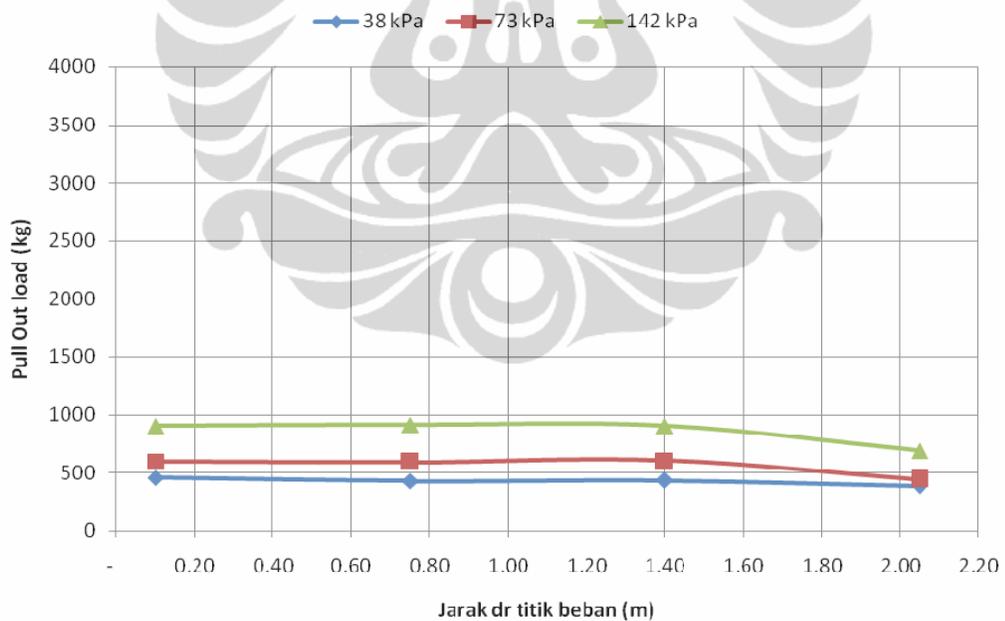
Gambar 6.25. Besar Beban Yang Memulai Displacement Pada Material Polyester Strip Di Tanah Silty Sand



Gambar 6.26. Besar Beban Yang Memulai Displacement Pada Material Polyester Strip Di Pada Tanah Clayey Silt



Gambar 6.27. Besar Beban Yang Memulai Displacement Pada Material Metal Strip Di Tanah Silty Sand

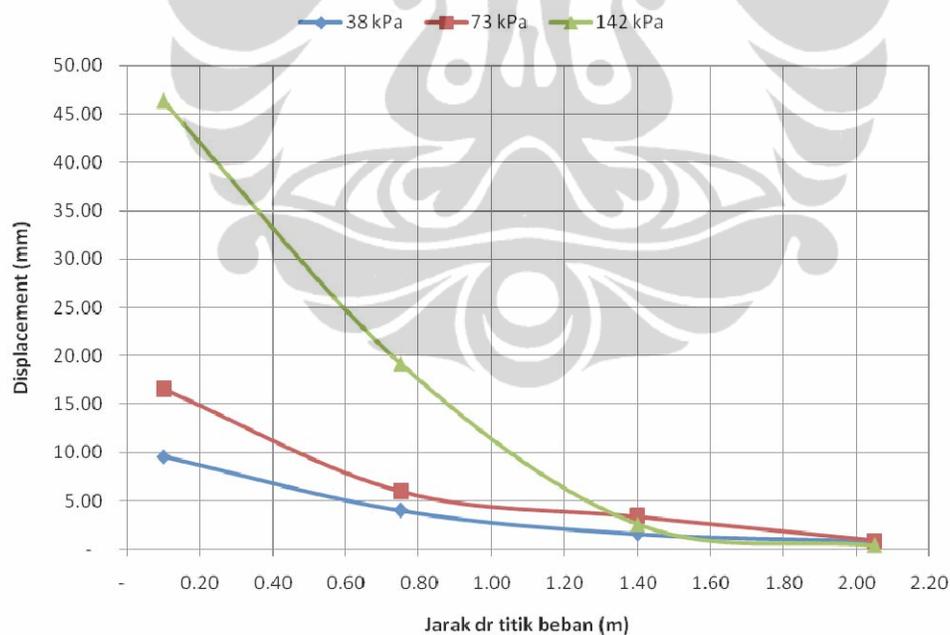


Gambar 6.28. Besar Beban Yang Memulai Displacement Pada Material Metal Strip Di Tanah Clayey Silt

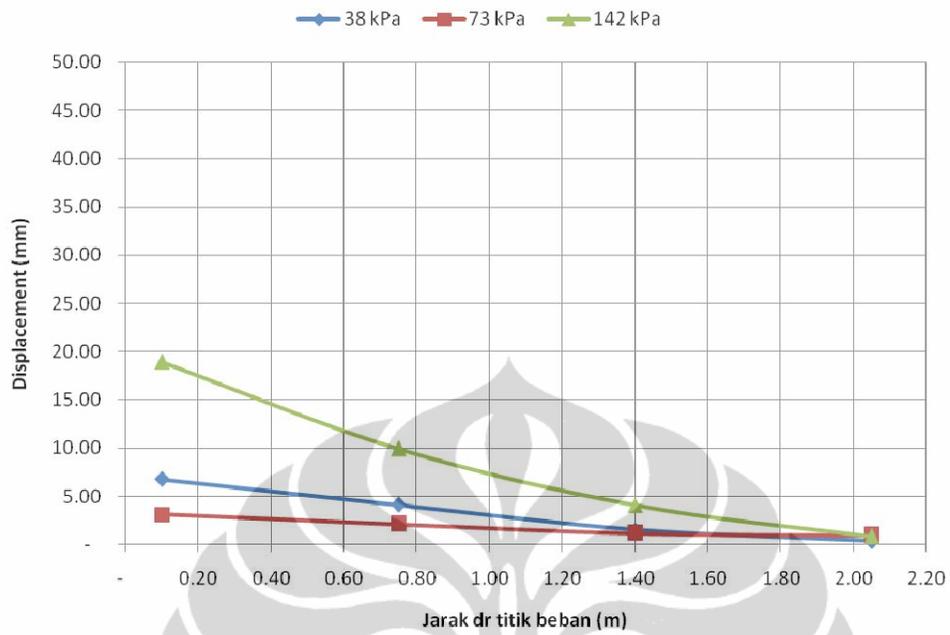
Selanjutnya dapat diplot juga besarnya *displacement* pada saat beban puncak pada masing-masing titik-titik pengamatan seperti pada gambar 6.29 sampai 6.32.

Dimana pada material polyester strip pada bagian terdekat dengan titik beban mengalami *displacement* yang lebih besar dibandingkan dengan bagian-bagian di belakangnya. Sementara pada material metal strip pada saat beban puncak besarnya *displacement* relatif sama besar pada seluruh bagian perkuatan.

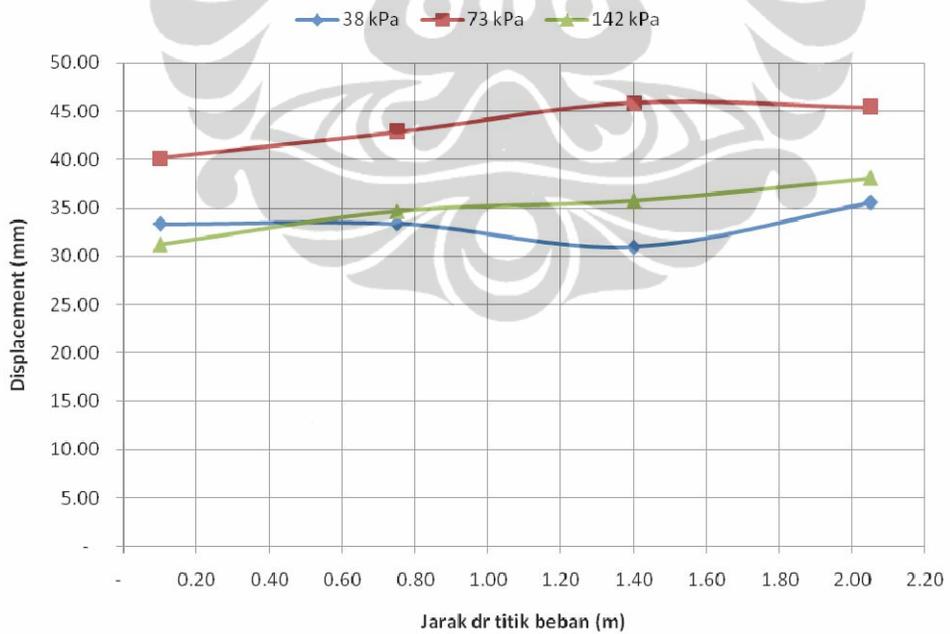
Dari hasil analisa ini dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan karakteristik potensi deformasi pada kedua jenis material perkuatan tanah ini. Namun secara umum disimpulkan bahwa pada level beban tertentu tidak/belum terjadi *displacement* pada facing sistem perkuatan tanah. Setelah mencapai beban tertentu baru kemudian *displacement* terjadi. Dengan demikian pada saat melakukan disain dapat dibatasi bahwa sistem jangan sampai melewati level beban tersebut sehingga *displacement* tidak terjadi pada keseluruhan sistem dinding perkuatan tanah.



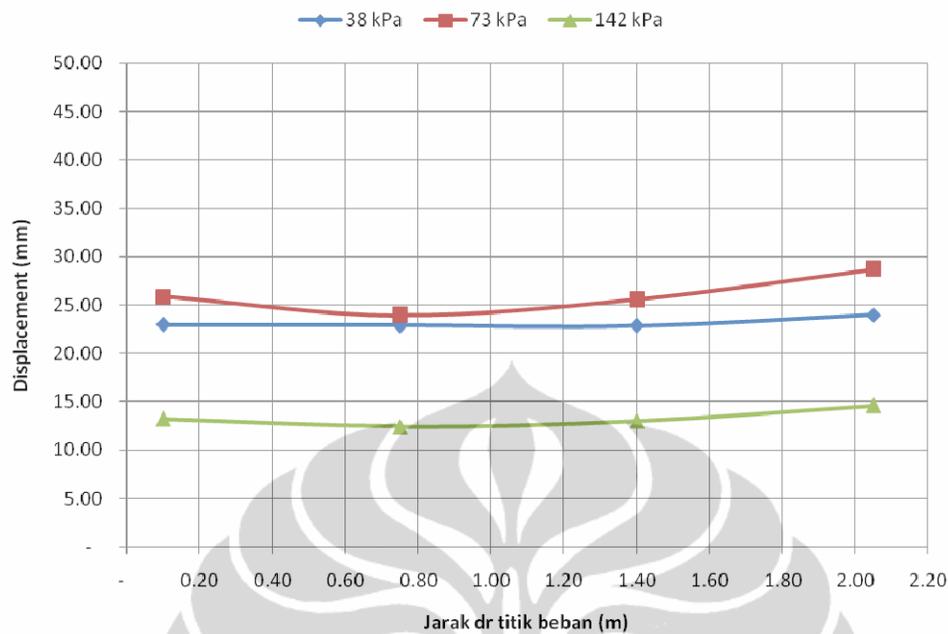
Gambar 6.29. Sebaran Displacement Material Polyester Strip Pada Tanah Silty Sand



Gambar 6.30. Sebaran Displacement
Material Polyester Strip Pada Tanah Clayey Silt



Gambar 6.31. Sebaran Displacement
Material Metal Strip Pada Tanah Silty Sand



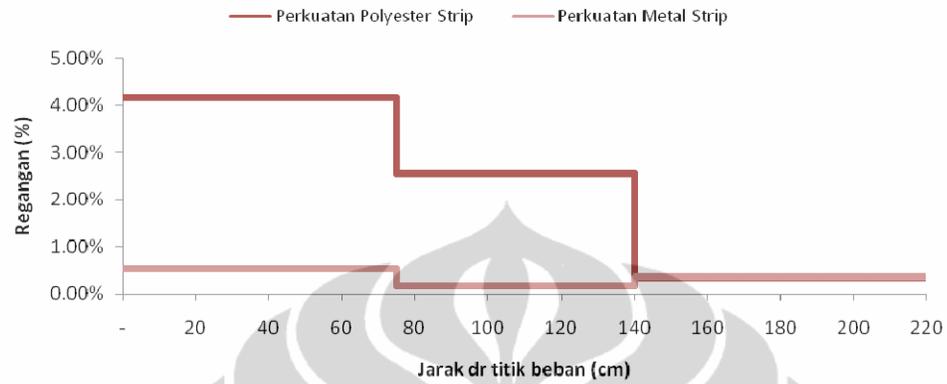
Gambar 6.32. Sebaran Displacement Material Metal Strip Pada Tanah Silty Sand

6.5.2 Perilaku Sebaran Regangan

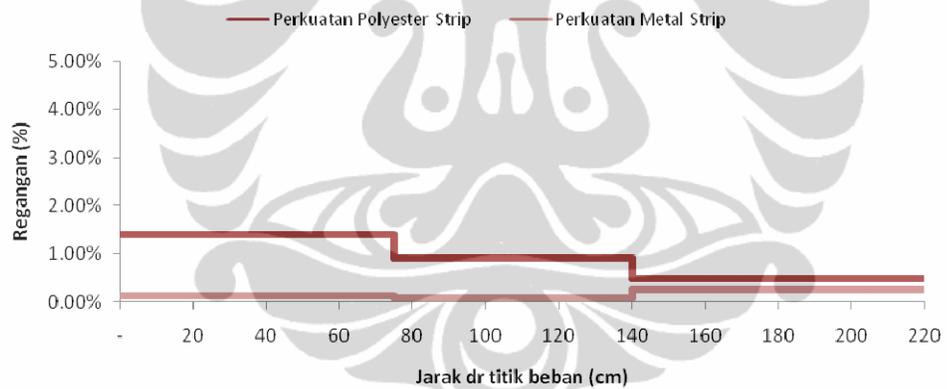
Dari test terlihat bahwa terdapat perbedaan perilaku yang signifikan antara material perkuatan tanah dari metal strip dan polyester strip. Pada material metal strip perilaku tegangan regangan (*stress-strain*) sistem perkuatan tanah terlihat hampir sepenuhnya dipengaruhi oleh interaksi elemen perkuatan dengan tanah timbunannya. Karena regangan yang terjadi relatif seragam pada seluruh panjang perkuatan saat terjadi beban puncak.

Sedangkan pada material polyester strip perilaku *stress-strain* pada sistem perkuatan tanah dengan material perkuatan tanah ini dipengaruhi oleh kombinasi yang kompleks antara perilaku *stress-strain* material perkuatan itu sendiri dan interaksi elemen perkuatan tanah dengan tanah timbunannya. Hal ini terlihat dari gambar 6.33 dan 6.34 di bawah ini. Data ini pada kondisi puncak dengan tekanan normal 142 kPa dan merupakan tipikal untuk test yang lain dimana pada material metal strip regangan yang terjadi hampir merata sama di sepanjang perkuatan dan nilainya relatif sangat kecil dibawah 0.2 %. Pada material polyester strip terdapat variasi sebaran regangan, pada area dekat dengan titik beban regangan yang

terjadi jauh lebih besar dibandingkan dengan bagian yang lebih jauh dari titik beban.



Gambar 6.33. Tipikal Pola Sebaran Regangan Pada Tanah Silty Sand



Gambar 6.34. Tipikal Pola Sebaran Regangan Pada Tanah Clayey Silt

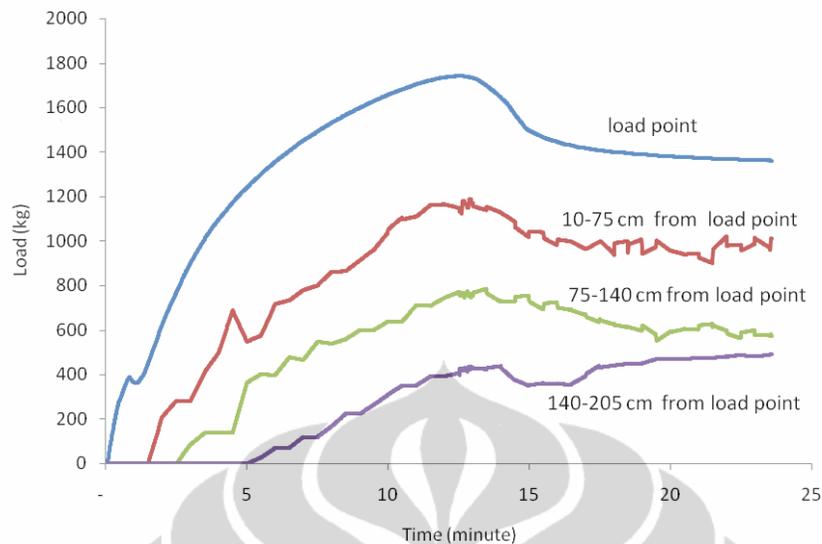
6.5.3 Perilaku Transfer Tegangan

Menurut Alobaidi (1997), ketika mendisain struktur perkuatan tanah, seperti dinding penahan tanah dan slope, nilai interaksi perkuatan tanah dengan tanah sebagai satu parameter yang sangat diperlukan. Secara konvensional mendisain dengan menggunakan metode *limit equilibrium* yang mengasumsikan bahwa semua titik sepanjang elemen perkuatan mencapai kondisi batas secara simultan. Asumsi ini lebih cocok untuk kasus perkuatan metal strip yang secara virtual bersifat inekstensible dan *displacement* pada titik beban diberikan pada kondisi pull out puncak adalah relatif kecil. Perkuatan polymer, seperti geotekstil dan geogrid, membutuhkan jauh lebih besar *displacement* dari pada material metal strip untuk menimbulkan gaya internal. Oleh karena itu, tegangan geser yang muncul sepanjang perkuatan polymer adalah tidak seragam dan asumsi di atas menjadi tidak valid.

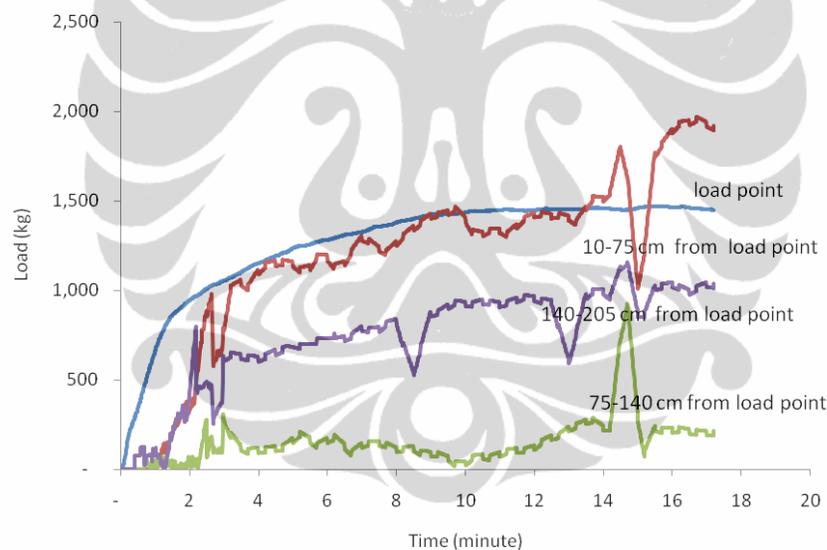
Hasil test oleh penulis membuktikan penjelasan di atas tentang ketidakseragaman tegangan internal yang terjadi. Pada perkuatan polyester strip, *displacement* terjadi secara berturut-turut dimulai dari ujung dekat dengan titik beban, kemudian diikuti pada bagian belakangnya demikian seterusnya terjadi secara berturut-turut. Besarnya pergerakan pada bagian depan, tengah dan belakang besarnya berbeda hingga akhirnya akan mendekati sama pada saat mencapai beban stabil (*residual*). Artinya transfer tegangan tidak terjadi secara bersamaan pada seluruh panjang perkuatan. Karena transfer beban dikatakan telah terjadi, hanya jika pada saat telah terjadi pergerakan/*displacement*. Pada saat ujung depan (dekat titik beban) telah mengalami slip (*peak*) bagian perkuatan dibelakangnya belum terjadi slip. Bagian depan telah mengalami *kinetic friction* (friksi kinetik) dan bagian belakangnya masih mengalami *static friction* (friksi statik). Hingga akhirnya setelah seluruh bagian perkuatan mulai mengalami pergerakan maka seluruhnya telah mengalami friksi kinetik dan slip terjadi. Pada perkuatan polyester strip, respon yang terukur pada load cell mempunyai pola seperti pasir padat yang mengalami beban geser. Dimana secara gradual bertambah hingga mencapai nilai puncak (*peak*) kemudian teramati berkurang hingga akhirnya mencapai nilai tetap (*residual*).

Pada material perkuatan metal strip mempunyai perilaku sangat berbeda. Pergerakan diamati terjadi hampir secara bersamaan pada sepanjang bagian perkuatan setelah beban yang diberikan telah menyebabkan terjadinya slip pada material perkuatan ini. Besarnya pergerakan pada depan, tengah dan belakang relatif sama atau dapat dikatakan transfer beban terjadi secara hampir bersamaan pada seluruh bagian material perkuatan. Pada material perkuatan metal strip memberikan respon seperti pada tipe pasir lepas mengalami beban geser. Dimana *pull out force* secara gradual bertambah hingga mencapai suatu nilai konstan. Pola perilaku transfer tegangan ini memiliki kecenderungan yang sama baik pada media tanah *silty sand* maupun pada tipe tanah *clayey silt*.

Sedangkan mekanisme *load transfer* (note : tidak transfer tegangan geser) dapat dijelaskan melalui grafik gambar 6.33 dan 6.34 yang dapat dikonversi dari nilai regangan (*strain*) material ke nilai tegangan (*stress*) kemudian dikalikan dengan luas material perkuatan maka didapat gaya-gaya yang terjadi. Sebenarnya konversi ini menghasilkan nilai yang bisa tidak akurat, karena jika menginginkan akurasi maka penggunaan alat *strain gauge* sangat disarankan. *Strain gauge* adalah komponen elektronika yang dipakai untuk mengetahui tegangan melalui pengukuran deformasi atau *strain* yang terjadi. Prinsip alat ini seperti alat *load cell* seperti penjelasan bab 6 item 5.2.d. Konversi regangan ke tegangan material metal strip dilakukan berdasarkan hukum Hooke dimana untuk besi dengan grade 65 mempunyai modulus elastisitas (*E*) 200 GPA dengan luas tampang metal strip 0.0002 m². Sedangkan untuk material polyester strip menggunakan data beban-regangan seperti gambar 6.9 yang merupakan data dari pabrik pembuatnya. Yang kemudian dilinierkan menjadi nilai modulus elastisitas material polyester strip. Regangan (*strain*) material dihitung berdasarkan selisih besar *displacement* antara dua titik pengamatan dibagi dengan jaraknya antara dua titik tersebut. Dalam gambar 6.35. merupakan tipikal time histori *load transfer* (note : bukan transfer tegangan) sepanjang pengetesan pada tekanan normal 142 kPa material polyester strip. Dapat dilihat bahwa besar beban aksial yang terjadi pada titik beban tidak sama dengan yang terjadi pada bagian material lain. Gaya tarik yang dialami material, semakin jauh semakin kecil dibandingkan gaya tarik pada ujung beban.



Gambar 6.35. Tipikal Load Transfer Material Polyester Strip di Tanah Clayey Silt

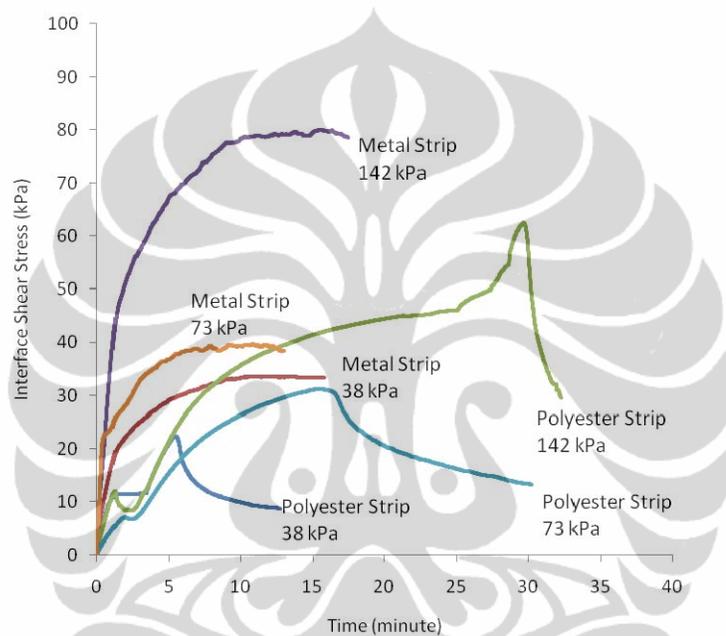


Gambar 6.36. Tipikal Load Transfer Material Metal Strip di Tanah Silty Sand

Gambar 6.36. merupakan hasil pengolahan data dari material metal strip, hasilnya ternyata terlihat analog dengan hasil pada material polyester strip di atas hanya terlihat disana hasilnya terjadi loncatan nilai yang terjadi saat mendekati akhir pengujian. Hal ini dimungkinkan dapat terjadi dikarenakan beberapa sebab:

- a. Nilai modulus elastisitas metal strip cukup tinggi yakni 200 GPa, menyebabkan deviasi nilai regangan (*strain*) yang kecil akan menyebabkan interpretasi perbedaan beban bisa sangat besar.

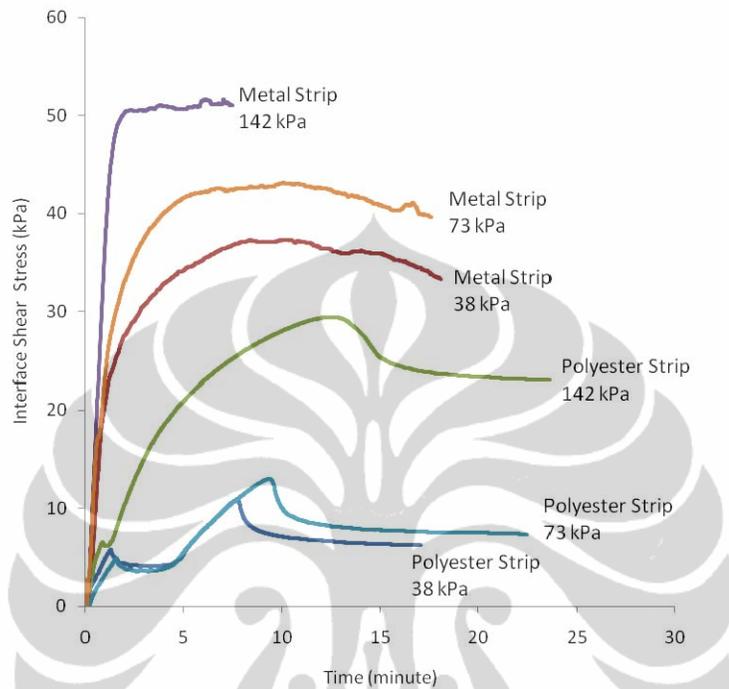
- a. Nilai modulus elastisitas kawat nickel yang mendekati nilai modulus elastisitas metal strip berpengaruh terhadap keakuratan pengukuran *displacement* yang dikonversi ke regangan.
- b. Nilai regangan metal strip melalui pengukuran *displacement* kurang akurat, untuk itu diperlukan peralatan yang lebih lazim yakni *strain gauge*.



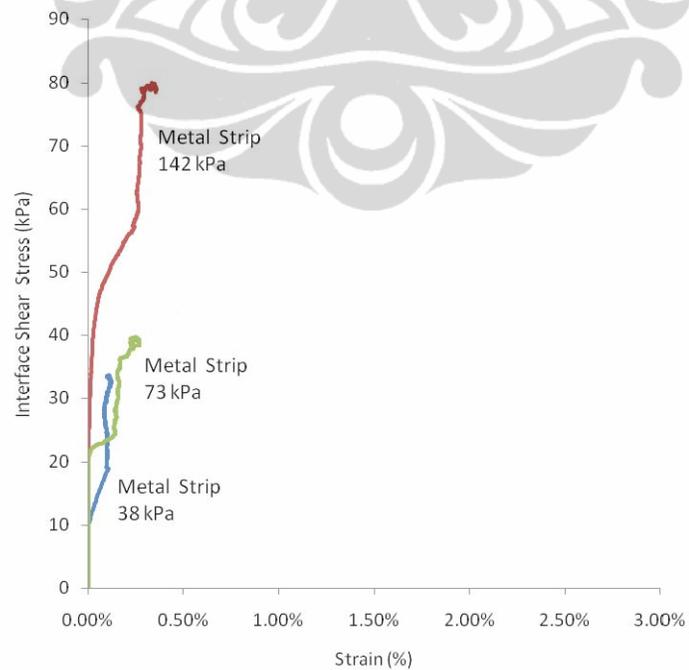
Gambar 6.37. Time Histori Hasil Test Pada Tanah Silty Sand

Material polyester *displacement* terjadi secara gradual hingga puncak, kemudian *pull out strength* (kapasitas cabut)-nya turun secara drastis hingga kemudian landai dan tercapai kondisi residualnya. Sedangkan pada metal strip *pull out strength* akan meningkat secara *continue* hingga suatu ketika mencapai suatu titik konstan tanpa mengalami penurunan yang tiba-tiba seperti pada polyester strip. Untuk melihat fenomena ini dapat dilihat pada grafik-grafik gambar 6.37 dan 6.38. Hal ini sangat penting diamati terutama jika konstruksi dinding perkuatan tanah ini dibangun pada wilayah yang mengalami resiko beban gempa bumi yang besar, jika misalkan struktur tersebut “harus” runtuh karena beban gempa yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan apa yang telah disain sesuai peraturan

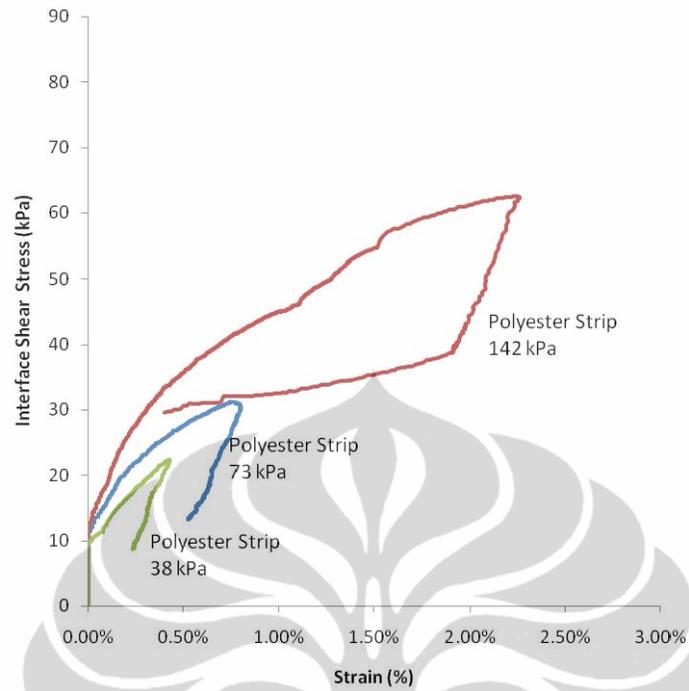
(code), maka keruntuhan yang bersifat progresif atau sistem bersifat lebih *ductile* lebih disarankan.



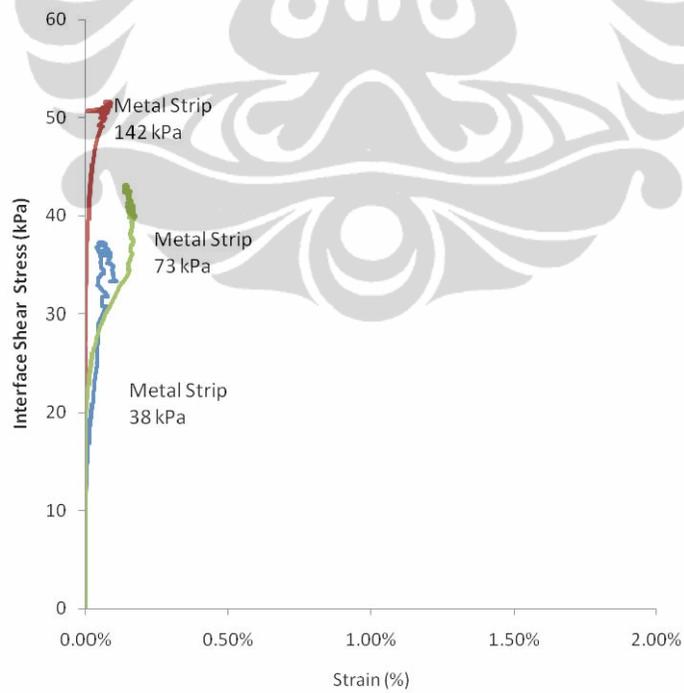
Gambar 6.38. Time Histori Hasil Test Pada Tanah Clayey Silt



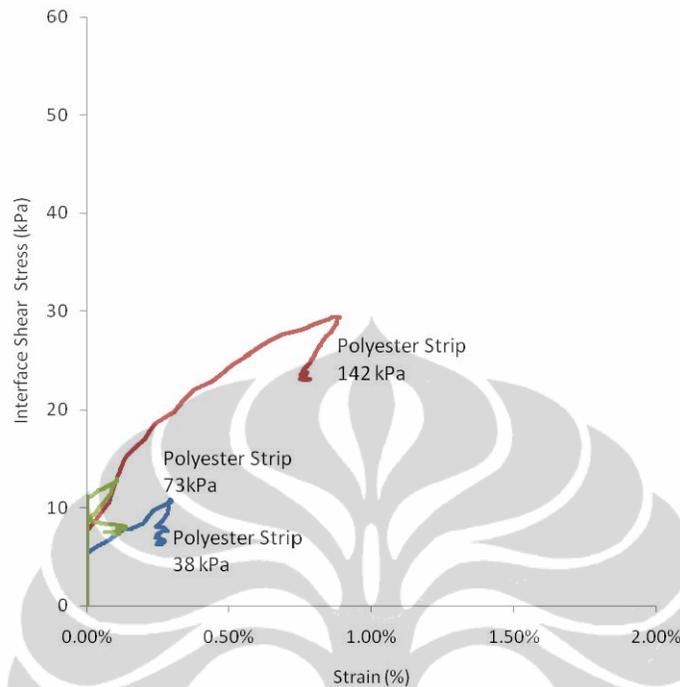
Gambar 6.39. Diagram Tegangan-Regangan Metal Strip Di Tanah Silty Sand



Gambar 6.40. Diagram Tegangan-Regangan Polyester Strip Di Tanah Silty Sand



Gambar 6.41. Diagram Tegangan-Regangan Metal Strip Di Tanah Clayey Silt



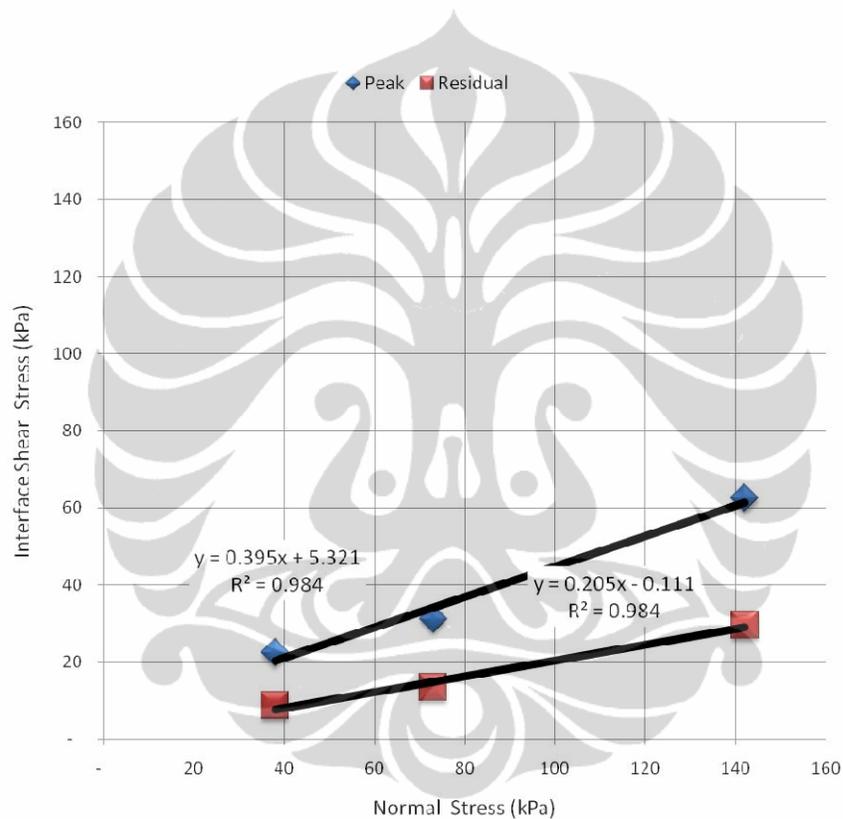
Gambar 6.42. Diagram Tegangan-Regangan Polyester Strip Di Tanah Clayey Silt

Grafik gambar 4.37 sampai dengan 4.40 adalah plot besaran *interface shear stress* terhadap regangan (*strain*) material yang terjadi. Regangan material dihitung berdasarkan selisih besar *displacement* antara titik pengamatan terdekat dengan terjauh dari titi beban (jarak 205 cm – 10 cm) dibagi dengan jaraknya. Dimana juga terlihat fenomena seperti gambar 4.35 dan 4.36 di atas yakni terjadi penurunan tegangan *pull out* secara tiba-tiba setelah kondisi puncak pada material polyester strip.

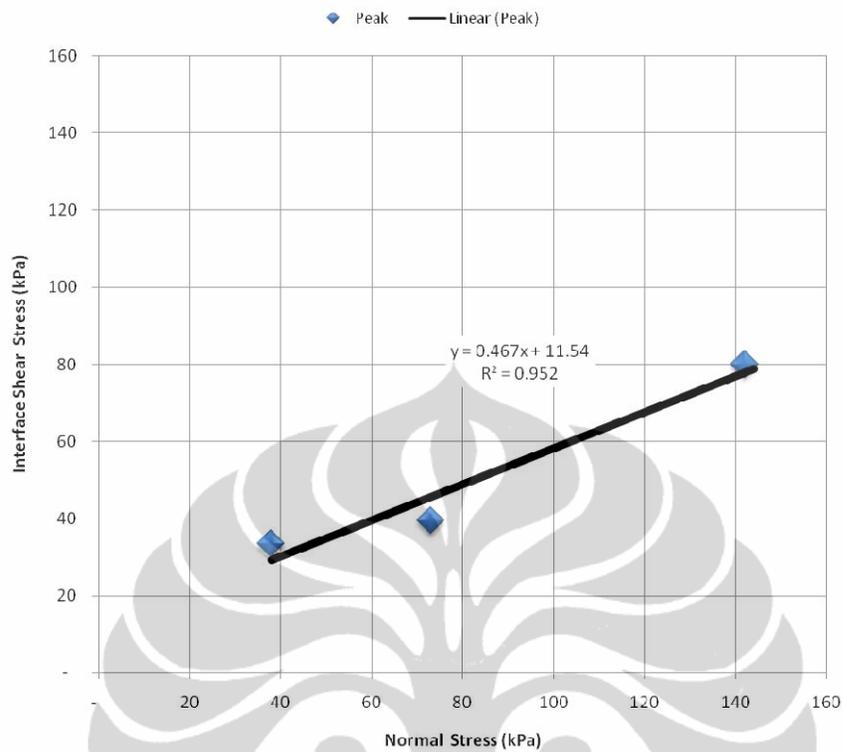
6.5.4 Besar Sudut Geser

Untuk kepentingan praktis salah satu parameter penting di dalam melakukan disain sistem perkuatan tanah dengan menggunakan material perkuatan tanah adalah sudut geser antara keduanya. Dalam data-data dari penelitian ini juga dapat ditentukan berapa besarnya baik itu pada kondisi peak maupun residualnya. Dimana sudut geser ini (δ) merupakan fungsi dari tekanan normal dan kapasitas *interface shear stress* saat kondisi puncak (*peak*) maupun residualnya (jika ada).

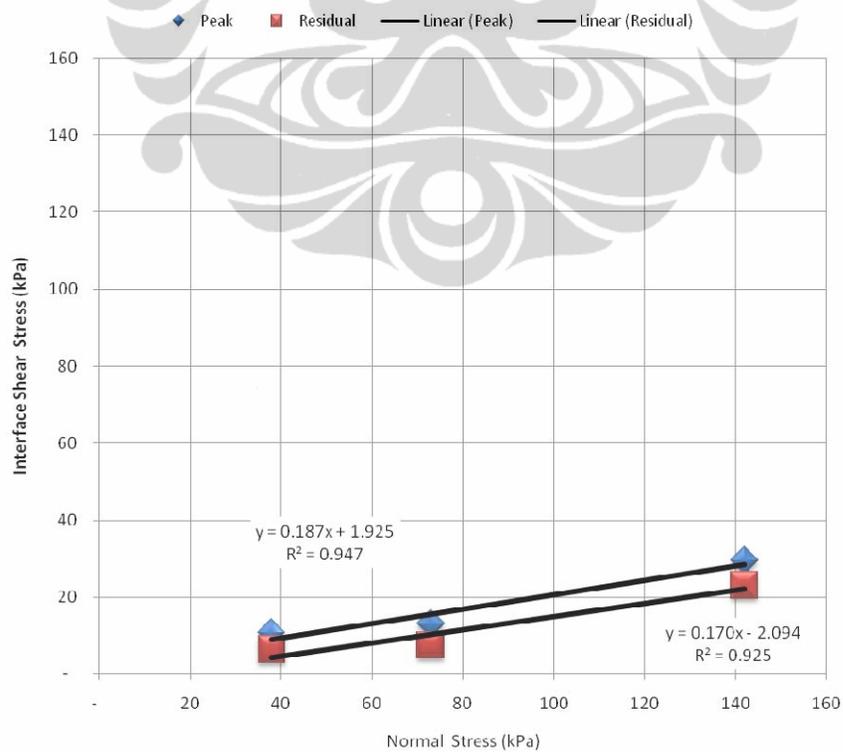
Nilai *interface shear stress* didapatkan dari nilai *pull out load* dibagi luas material yang tertanam di dalam massa tanah timbunan. Luas ini merupakan hasil kali perimetri material perkuatan dengan panjang material perkuatannya. Untuk material Polyester strip luas material didalam massa tanah adalah 0.29 m^2 x dua sisi dan metal strip 0.09 m^2 x 2 sisi. Berikut adalah hasil analisa untuk masing-masing jenis perkuatan tanah dan jenis tanahnya.



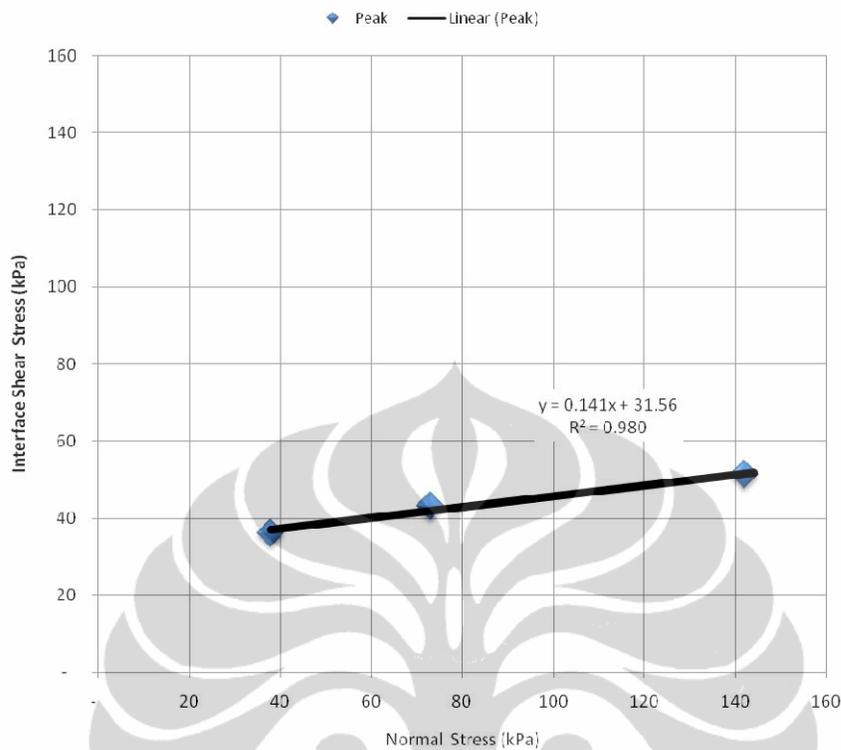
Gambar 6.43. Sudut Geser Polyester Strip Pada Tanah Silty Sand



Gambar 6.44. Sudut Geser Metal Strip Pada Tanah Silty Sand



Gambar 6.45. Sudut Geser Polyester Strip Pada Tanah Clayey Silt



Gambar 6.46. Sudut Geser Metal Strip Pada Tanah Clayey Silt

Rangkuman hasil analisa di atas dalam persamaan regresi hubungan tekanan *interface shear stress* dan tekanan normal adalah sebagai berikut:

Tabel 6.3. Rangkuman Hasil Analisa Persamaan Regresi

Material	<i>Silty Sand</i>	<i>Clayey Silt</i>
Polyester Strip Peak	$0.395 x + 5.321$	$0.187 x + 1.925$
Polyester Strip Residual	$0.205 x - 0.111$	$0.170 x - 2.094$
Metal Strip	$0.467 x + 11.54$	$0.141 x + 31.56$

Dari data tersebut terlihat bahwa kombinasi material perkuatan metal strip pada media tanah *silty sand* menunjukkan sudut geser terbesar (δ) yakni 0.467 atau 25° . Sedangkan material polyester strip dalam kondisi peak pada tanah *silty sand* juga memberikan sudut geser yang cukup besar juga yakni 0.395 atau 21° . Sementara pada kondisi residual didapat sudut geser 0.205 atau 11.58° . Jika kita mendisain pada kondisi *peak* baik pada tanah *silty sand* nilai sudut geser nya kurang lebih 53.29 % dari besar sudut geser internal tanah ($\varphi_{silty\ sand} : 46.91^{\circ}$) untuk jenis

perkuatan metal strip. Sedangkan pada jenis perkuatan polyester strip didapat angka 44.76 % dari besar sudut geser internal tanahnya ($\phi_{silty\ sand} : 46.91^0$).

Sementara itu juga diamati bahwa material metal strip pada tanah *clayey silt* memberikan nilai sudut geser paling kecil diantara pengujian material polyester baik kondisi peak maupun residual yakni 0.141 atau 8^0 . Sementara material polyester strip pada *clayey silt* pada kondisi puncak nilai 0.187 atau 10.59^0 . Sehingga secara umum dapat disimpulkan bahwa kapasitas cabut yang diberikan oleh tanah *silty sand* (granular) lebih baik dibandingkan jenis tanah *clayey silt* (*fine grain*).

