

# **LAPORAN PENELITIAN**

## **EFEK TEGANGAN KELILING TAMBAHAN AKIBAT BEBAN AKSIAL DARI UJI TRIAXIAL UNCONSOLIDATED-UNDRAINED TANAH TERGANGGU PADA PERHITUNGAN PONDASI DALAM**

**Dikerjakan Oleh :**

**Ir. Idrus M.Sc  
Staff Pengajar Jurusan Sipil ISTN**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL  
J A K A R T A  
2003**

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY

ASTOR LENOX AND TILDEN FOUNDATIONS

1215 BROADWAY, NEW YORK, N. Y.

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY

ASTOR LENOX AND TILDEN FOUNDATIONS

NEW YORK

1917

1917

THE NEW YORK PUBLIC LIBRARY  
ASTOR LENOX AND TILDEN FOUNDATIONS  
1215 BROADWAY, NEW YORK, N. Y.

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**LAPORAN PENELITIAN**



**EFEK TEGANGAN KELILING TAMBAHAN  
AKIBAT BEBAN AKSIAL DARI UJI  
TRIAXIAL UNCONSOLIDATED-UNDRAINED  
TANAH TERGANGGU PADA PERHITUNGAN  
PONDASI DALAM**

**Dikerjakan Oleh:**

**Ir .Idrus M.Sc, (Staff Pengajar Jurusan Teknik Sipil)**

**Mengetahui :**

**Ketua Jurusan Teknik Sipil**



**Ir. Harry Hartawan, M.T**

**Program Studi Teknik Sipil  
Institut Sains dan Teknologi Nasional  
Jakarta 2002**

LEMBAGA PENELITIAN  
KEMENTERIAN PERTANIAN



PERJALANAN PENELITIAN  
ALAT BERTANAI  
KEMENTERIAN PERTANIAN  
TAHAP TERGANGGU PADA PERILAKU  
KONDISI BAKTERI

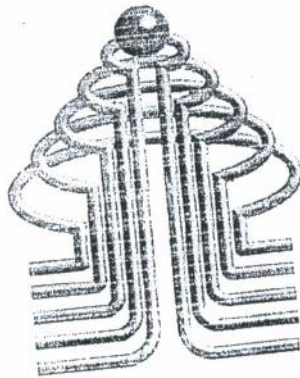
Disusun oleh:  
Nama: ...  
NIM: ...  
Kelas: ...

Disetujui oleh:

Disetujui oleh:  
Nama: ...  
NIM: ...  
Kelas: ...

# **LAPORAN PENELITIAN**

**FEK TEGANGAN KELILING TAMBAHAN AKIBAT BEBAN AKSIAL DARI UJI  
TRIAXIAL UNCONSOLIDATED-UNDRAINED TANAH TERGANGGU PADA  
PERHITUNGAN PONDASI DALAM**



**ISTN**

Disusun Oleh :

**Ir. H. IDRUS MSc**

**IRVAN TEGUH PRATAMA**

**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
JURUSAN TEKNIK SIPIL S1  
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL  
JAKARTA  
2002**

## DAFTAR ISI

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                                                  | <b>1</b>  |
| 1. 1. Latar Belakang Masalah                                              | 1         |
| 1. 2. Rumusan Masalah                                                     | 2         |
| 1. 3. Tujuan Penelitian                                                   | 3         |
| 1. 4. Hipotesa Penelitian                                                 | 4         |
| 1. 5. Kegunaan Penelitian                                                 | 4         |
| 1. 6. Ruang Lingkup Penelitian                                            | 5         |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>                                            | <b>6</b>  |
| 2. 1. Tanah                                                               | 6         |
| 2. 2. Kekuatan Geser Tanah                                                | 7         |
| 2. 3. Pengujian Triaksial                                                 | 10        |
| 2. 4. Pondasi Tiang Pancang                                               | 15        |
| 2. 5. Perhitungan Pondasi Dalam Tiang Pancang Metode Tomlinson.           | 19        |
| 2. 5. 1. Daya Dukung Ujung                                                | 19        |
| 2. 5. 2. Daya Dukung Friksi                                               | 20        |
| <b>BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN DI LABORATORIUM</b>                     | <b>24</b> |
| 3. 1. Test Triaksial                                                      | 24        |
| a. Persiapan Tanah                                                        | 24        |
| b. Pencetakan Tanah                                                       | 26        |
| c. Pengujian Triaksial                                                    | 26        |
| <b>BAB IV HASIL LABORATORIUM DAN ANALISA DATA</b>                         | <b>31</b> |
| 4. 1. Hasil Laboratorium Data Tanah Asli                                  | 31        |
| 4. 2. Hasil Laboratorium Pengujian Triaksial Unconsolidated-<br>Undrained | 31        |
| 4. 2. 1. Pengaruh Penambahan Tekanan Sel Terhadap Kohesi                  | 33        |

|                                                                                                                                                                                   |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 4. 2. 2. Pengaruh Penambahan Tekanan Sel Terhadap Sudut<br>Tahanan Geser .....                                                                                                    | 35            |
| 4. 3. Aplikasi Perhitungan Pondasi Dalam .....                                                                                                                                    | 41            |
| 4. 3. 1. Penyelesaian Soal Metode Tomlinson Pada Tiang<br>Pancang Floating Pile Tanah Stiff Clay .....                                                                            | 42            |
| 4. 3. 2. Penyelesaian Soal Metode Tomlinson Pada Tiang<br>Pancang Floating Pile Tanah Stiff Clay Dengan Memper<br>hatikan Perubahan Kohesi Dan Sudut Tahanan Geser<br>Tanah ..... | 45            |
| 4. 3. 3. Penyelesaian Soal Metode Tomlinson Pada Tiang<br>Pancang End Bearing Pile Tanah Stiff Clay .....                                                                         | 51            |
| 4. 3. 4. Penyelesaian Soal Metode Tomlinson Pada Tiang<br>Pancang Floating Pile Tanah Soft Clay .....                                                                             | 53            |
| 4. 3. 5 Penyelesaian Soal Metode Tomlinson Pada Tiang<br>Pancang End Bearing Pile Tanah Soft Clay .....                                                                           | 55            |
| <br><b>BAB V KESIMPULAN .....</b>                                                                                                                                                 | <br><b>57</b> |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1. 1. Latar Belakang Masalah**

Tanah merupakan bagian dari suatu perencanaan struktur yang harus di perhitungkan sebelum struktur dibangun dan dibuat. Tanah bagian dari struktur yang sangat kompleks atau bermacam-macam jenis dan sifatnya. Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari bebatuan. Ikatan yang lemah antara partikel-partikel tanah disebabkan oleh pengaruh karbonat atau oksida yang bersenyawa diantara partikel-partikel tersebut, atau juga dapat disebabkan oleh adanya material organik. Bila hasil dari pelapukan tersebut tanah sisa ( Residual Soil ).

Semua jenis tanah bersifat lulus air ( Permeable ) dimana air bebas mengalir melalui ruang-ruang kosong atau pori-pori yang terdapat diantara butiran-butiran tanah. Dibawah muka air tanah, tanah diasumsikan jenuh, walaupun sebenarnya tidak demikian karena ada rongga-rongga udara. Tinggi muka air tanah berubah-ubah sesuai dengan keadaan iklim, tetapi dapat juga berubah karena pengaruh dari adanya kegiatan konstruksi.

Tanah disetiap wilayah bermacam-macam jenisnya, begitupun dengan sifat yang dimiliki oleh tanah, oleh sebab itu harus diadakan pengujian-pengujian disetiap wilayah, daerah atau titik sesuai dengan data yang dibutuhkan terhadap tanah. Pengujian-pengujian bisa dilakukan langsung di lapangan atau di laboratorium, tergantung pengujian apa yang akan kita lakukan.

Salah satu pengujian yang ada dalam pengujian tanah adalah triaxial test atau pengujian tiaksial. Pengujian ini dilakukan di laboratorium. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter kekuatan geser tanah, yaitu kohesi tanah ( $c$ ) dan sudut geser tanah ( $\phi$ ). Triaxial test ini sering digunakan dan cocok untuk semua jenis tanah, dikarenakan kondisi pengaliran dapat dikontrol, tekanan air pori dapat diukur dan apabila diperlukan tanah dengan permeabilitas rendah dapat dibuat terkonsolidasi.

Penambahan tegangan deviator ( $\Delta p$ ) pada pengujian triaksial Unconsolidated – Undrained standar di laboratorium tidak disertai dengan penambahan tekanan sel ( $\sigma_3$ ) pada sample tanah, yang pada keadaan sebenarnya di lapangan apabila terjadi penambahan tegangan deviator akan mengakibatkan penambahan tekanan sel pada tanah.

## 1. 2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dipergunakan untuk menyelesaikan dan menentukan parameter-parameter kekuatan geser tanah, adalah metode keruntuhan Mohr-Coulomb. Teori ini merupakan teori tentang keruntuhan pada material yang menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan tegangan geser, dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum saja.

Garis keruntuhan ( failure envelope ) yang pertama kali diperkenalkan oleh Mohr ( 1980 ) sebenarnya berbentuk garis lengkung. Untuk sebagian besar masalah-masalah mekanika tanah maka garis tersebut cukup didekati dengan sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan normal dan geser yang lebih dikenal dengan garis keruntuhan Mohr-Coulomb.

Teori yang dipergunakan untuk perancangan perhitungan pondasi dalam tiang pancang menggunakan teori Tomlinson ( 1971 ).

### 1. 3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini membahas tentang ketahanan tanah terhadap keruntuhan geser. Pengetahuan tentang kekuatan geser tanah diperlukan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang berhubungan dengan stabilitas tanah. Parameter-parameter kekuatan geser suatu tanah tertentu dapat ditentukan dari hasil pengujian laboratorium pada contoh-contoh tanah lapangan yang mewakili. Diperlukan ketelitian dan perhatian yang besar terhadap proses pengambilan, penyimpanan dan perawatan sample tanah sebelum pengujian, terutama untuk sample tanah yang tidak terganggu ( Undisturbed Soil ).

Bila dilihat dari pengujian triaksial Unconsolidated – Undrained pada prinsipnya bertujuan untuk menentukan kekuatan tanah yang tidak terkonsolidasi dan tidak terdrainasi pada lempung dengan kondisi dilapangan, dimana apabila pengujian dilakukan di laboratorium pada keadaan standar tidak terjadi penambahan tekanan sel jika terjadi penambahan tegangan deviator.

Pada kondisi sebenarnya di lapangan apabila tanah diberikan beban diatasnya tentu akan berakibat bertambahnya tekanan sel pada tanah secara horisontal. Pada pengujian Unconsolidated – Undrained ini akan lebih didekatkan lagi dengan kondisi dilapangan dengan menambahkan tekanan sel seiring dengan penambahan tegangan deviator pada sample tanah, dengan maksud agar didapatkan parameter-parameter kekuatan geser tanah yang lebih mendekati kondisi yang terjadi di lapangan.

#### 1. 4. Hipotesa Penelitian

Triaksial test unconsolidated-undrained modifikasi yang dilakukan pada  $\gamma_d$  ( Berat isi Kering ) maksimum dan  $w_{opt}$  ( Kadar Air Optimum ) pada kondisi properties tanah desain yang sama dengan memperhatikan penambahan  $\sigma_3$  ( tekanan sel atau tekanan keliling ) pada tanah yang mendapatkan beban aksial  $\Delta p$  ( tegangan deviator ).

Pada percobaan Triaksial Unconsolidated - Undrained standar menjadi modifikasi, dimana terjadi penambahan tekanan sel seiring pembebanan aksial ( deviator ) pada tes triaksial modifikasi. Sample tanah akan mengalami tekanan hancur yang lebih besar pada kondisi modifikasi dibandingkan dengan keadaan standar, maka parameter-parameter kuat geser tanah yang didapat akan mengalami perubahan.

Dimana diharapkan perubahan parameter-parameter kuat geser dalam akan meningkatkan kemampuan daya dukung pondasi dalam yaitu tiang pancang.

#### 1. 5. Kegunaan Penelitian

Kegunaan dari penelitian dan pengujian laboratorium triaksial Unconsolidated – Undrained diharapkan dapat memberikan parameter-parameter kuat geser tanah, yaitu : *kohesi* (  $c$  ) atau tarik menarik antar partikel, dan *sudut gesekan dalam* (  $\phi$  ) atau tahanan terhadap pelesetan antar partikel, untuk mendesain pondasi dalam tiang pancang yang lebih baik mendekati kondisi di lapangan yang sebenarnya.

Kekuatan tanah ialah tahanan yang terbentuk dari suatu kombinasi partikel yang bergulir, pelesetan dan meremuk oleh setiap tekanan pori berlebih yang terjadi selama pergerakan partikel. Ketahanan terhadap deformasi ini ialah kekuatan geser tanah

sebagaimana yang menentang terhadap kekuatan pampat atau regang dari bahan-bahan rekayasa yang lain.

#### 1. 6. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian untuk mengetahui parameter-parameter kekuatan geser tanah, terdiri dari :

- Pengujian yang dilakukan, merupakan pengujian dengan cara tes triaksial. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban secara vertikal atau memberikan tegangan deviator ( $\Delta p$ ) terhadap sample tanah.
- Pengujian triaksial yang digunakan ialah pengujian triaksial Unconsolidated – Undrained test ( UU test ), yaitu uji air-termampatkan-tak terkonsolidasi, kita tidak diizinkan mengalirkan air dari dan ke benda uji selama memberikan tekanan sel ( $\sigma_3$ ). Benda uji tadi kita uji sampai runtuh dengan memberikan tegangan deviator ( $\Delta p$ ) tanpa memperbolehkan pengaliran air dari dan ke dalam benda uji.
- Sample tanah yang digunakan merupakan sample tanah terganggu ( disturb soil ) atau sample tanah desain yang dibuat dengan metode yang sama agar mendapatkan keadaan properties yang sama.
- Tekanan sel pada pengujian triaksial standar diabaikan seiring dengan penambahan tegangan deviator, maka pada triaxial test modifikasi yang dilakukan dengan memperhatikan atau menambahkan tekanan sel seiring dengan penambahan beban atau tegangan deviator pada sample tanah desain.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2. 1. Tanah

Dalam pengertian secara umum, tanah dapat didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran-butiran, mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lainnya dan terdiri dari bahan-bahan organik yang telah mengalami pelapukan disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong antara partikel- partikel padat tersebut.

Butiran-butiran mineral yang membentuk bagian padat dari tanah merupakan hasil pelapukan dari batuan-batuan. Dimana ukuran dari setiap butiran padat sangat bervariasi satu sama lain, disamping itu sifat-sifat fisik dari tanah banyak tergantung dari faktor-faktor ukuran, bentuk dan komposisi kimia dari butiran.<sup>1</sup>

Tanah merupakan salah satu bahan konstruksi yang langsung tersedia di lapangan, dan apabila dapat dipergunakan langsung maka sangatlah ekonomis dikarenakan tidak adanya biaya tambahan dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Bendungan tanah, tanggul sungai dan timbunan jalan raya serta jalan kereta api, kesemuanya merupakan pemakaian yang ekonomis dari tanah sebagai bahan konstruksi, walaupun demikian sama halnya seperti bahan konstruksi lainnya tanah tersebut akan dipakai setelah kualitasnya dikontrol.

Berdasarkan asal mula penyusunannya, tanah dapat dibedakan ke dalam dua kelompok besar, yaitu sebagai hasil pelapukan ( weathering ) secara fisis dan kimia, dan

---

<sup>1</sup> Braja M. Das. Mekanika Tanah Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis, Jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1995.

yang berasal dari bahan organik. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, ia disebut *tanah residual*, apabila telah berpindah tempat disebut *tanah angkutan*.<sup>2</sup>

Beberapa percobaan laboratorium dilakukan untuk mengetahui keadaan tanah pada suatu lokasi. Percobaan-percobaan yang dilakukan adalah sebagai berikut dibawah ini.

## 2. 2. Kekuatan Geser Tanah

Kekuatan geser tanah diperlukan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang berhubungan dengan stabilitas massa tanah. Bila suatu titik pada sembarang bidang dari suatu massa tanah memiliki tegangan geser yang sama dengan kekuatan gesernya maka keruntuhan akan terjadi pada titik tersebut.

Mohr ( 1980 ) menyuguhkan sebuah teori tentang keruntuhan pada material yang menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser, dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum saja. Jadi hubungan antara tegangan normal dan geser pada sebuah bidang keruntuhan dapat dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut.

$$\tau_f = f(\sigma)$$

Garis keruntuhan ( failure envelope ) yang dinyatakan oleh persamaan diatas sebenarnya berbentuk garis lengkung. Untuk sebagian besar masalah-masalah mekanika tanah, garis tersebut cukup didekati dengan sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan normal dan geser ( Coulomb, 1776 ).

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

<sup>2</sup> Karl Terzaghi Dan Ralph B. Peck. Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa. Jilid 1. Penerbit Erlangga. Jakarta. 1987.

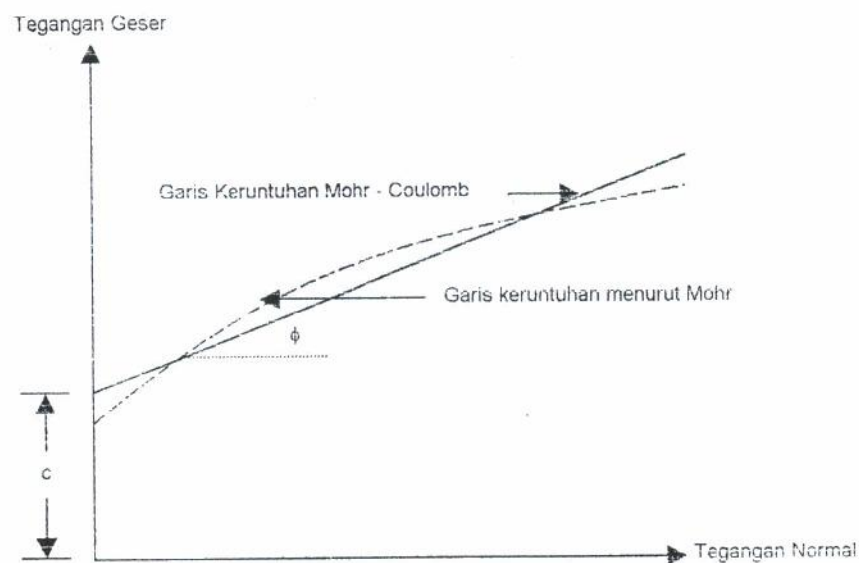
Dimana :

$\tau_f$  = Kekuatan Geser Tanah.

$c$  = Kohesi Tanah.

$\sigma$  = Tegangan Normal Yang Bekerja.

$\phi$  = Sudut Geser Tanah.



Gambar 2. 1. Garis Keruntuhan Menurut Mohr Dan Mohr-Coulomb

$c$  dan  $\phi$  adalah *parameter-parameter kekuatan geser*, yang berturut-turut didefinisikan sebagai *kohesi ( cohesion intercept atau apparent cohesion )* dan *sudut tahanan geser ( angle of shearing resistance )*.<sup>3</sup> Kekuatan geser dapat dibagi menjadi dua golongan butiran :

<sup>3</sup> R. F. Craig. *Mekanika Tanah*. Penerbit Erlangga. Jakarta. 1991.

a. Butiran Kasar ( Tidak Kohesif )

Butiran yang terdapat pada salah satunya adalah pasir yang mempunyai nilai kohesif (  $c$  ) = 0, dimana permeabilitas air sangat besar sehingga air pasir mungkin disingkirkan, maka pada jenis tanah yang tidak kohesif diperlukan waktu yang tidak lama untuk mencapai keadaan sampai beban luar yang bekerja sepenuhnya sebagai tegangan efektif.

b. Butiran Halus ( Kohesif )

Butiran yang terdapat pada tanah lempung dimana nilai dari kohesifnya (  $c$  ) tidak sama dengan nol. Kohesif dari lempung disebabkan oleh gravitasi listrik dan sifatnya dari air yang diserap pada permukaan partikel lempung. Apabila tanah berada dalam keadaan tidak jenuh, meskipun tanah tidak kohesif maka sifat kohesif kadang-kadang tidak terlihat sebagai tegangan permukaan dari air yang terdapat dalam pori-pori. Jadi kekuatan geser tanah berubah-ubah sesuai dengan jenis dan kondisi tanah itu. Untuk mengetahui kekuatan geser tanah kohesif yang berada dalam keadaan jenuh, diperlukan suatu pengertian yang mendalam mengenai peranan dari tekanan air pori. Jika gaya luar yang bekerja pada tanah jenuh, maka pada permukaan air yang terdapat diantara pori-pori memikul tekanan normal yang bekerja. Setelah air pori itu mengalir keluar, tekanan itu berangsur-angsur dipikul oleh air pori. Pada tanah kohesif, permeabilitas air adalah sangat kecil, sehingga air pori sulit disingkirkan. Dengan demikian maka pada jenis tanah kohesif. Diperlukan waktu yang lama untuk mencapai keadaan sampai beban luar bekerja sepenuhnya sebagai tegangan efektif.

### 2. 3. Pengujian Triaksial

Uji geser triaksial adalah uji yang paling dapat diandalkan untuk menentukan parameter-parameter tegangan geser. Uji ini telah digunakan secara luas untuk keperluan pengujian biasa ataupun untuk keperluan riset.

Sample yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 36 mm dan tinggi sample 72 mm atau lebih, paling tidak tingginya mencapai dua kali dari diameternya.<sup>4</sup> Sample tanah tersebut ditutup dengan membran karet yang tipis dan diletakkan didalam sebuah bejana silinder dari bahan gelas yang kemudian bejana tersebut diisi dengan air atau larutan gleserin, yang gunanya agar mendapatkan tekanan sel ( $\sigma_3$ ) dan membuat kondisi tanah seperti masih di alam. Didalam bejana tersebut benda uji tersebut akan mendapat tekanan hidrostatik secara vertikal yang merupakan tegangan deviator ( $\Delta p$ ). Pembebanan arah vertikal dapat dilakukan dengan dua cara :

- a. Dengan memberikan beban mati yang berangsur-angsur ditambah dan penambahan beban yang dilakukan setiap saat sama sampai benda uji runtuh. Deformasi arah aksial akibat pembebanan ini diukur dengan menggunakan dial gage.
- b. Dengan memberikan deformasi arah vertikal dengan kecepatan deformasi yang tetap dengan bantuan gigi-gigi mesin atau pembebanan hidrolis. Cara ini disebut juga sebagai uji regangan terkendali.

---

<sup>4</sup> George F. Sowers. *Introductory Soil Mechanics And Foundations : Geotechnical Engineering*. Macmillan Publishing Co., Inc. New York. 1979.

Beban secara vertikal atau tegangan deviator yang diberikan diukur dengan sebuah proving ring yang berhubungan dengan piston vertikal. Ada tiga tipe standar pengujian triaksial yang biasa dilakukan, yaitu :

- a. Consolidated-drained test atau terdrainasi ( *CD test* ).

Pengaliran pada contoh tanah diperbolehkan di bawah tekanan tertentu sampai konsolidasi selesai. Kemudian, dengan pengaliran yang diperbolehkan, digunakan selisih tegangan utama dengan kecepatan sedang untuk membuat kelebihan tekanan air pori tetap nol.

- b. Consolidated-undrained test atau terkonsolidasi-tak terdrainasi ( *CU test* ).

Pengaliran pada contoh tanah diperbolehkan di bawah tekanan sel tertentu sampai konsolidasi selesai. Kemudian digunakan selisih tegangan utama tanpa pengaliran. Pengukuran tekanan air pori dilakukan selama keadaan tanpa pengaliran.

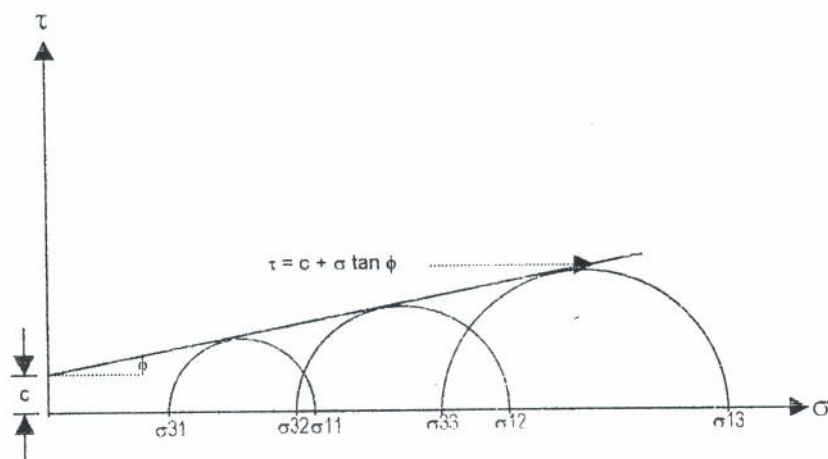
- c. Unconsolidated-undrained test atau tak terkonsolidasi-tak terdrainasi ( *UU test* ).

Contoh tanah mengalami tekanan sel tertentu, kemudian digunakan selisih tegangan utama secara tiba-tiba tanpa pengaliran pada setiap tahap pengujian. Tidak diperbolehkan mengalirkan air dari dan ke benda uji selama memberikan tekanan sel. Benda uji tadi kita uji sampai runtuh dengan memberikan tegangan deviator tanpa memperbolehkan pengaliran air.

Hasil pengujian triaksial akan mendapatkan parameter-parameter kekuatan geser tanah yang dapat dilihat setelah digambarkan garis keruntuhan Mohr-Coulomb nya. Tes triaksial menggunakan tiga sample tanah yang diuji pada alat uji triaksial dengan melakukan pembebanan pada sample tanah dan menambahkan tekanan sel yang berbeda.

Dari hasil tekanan sel yang berbeda akan mendapatkan tiga lingkaran Mohr-Coulomb yang berbeda, sesuai dengan kondisi tekanan sel yang diberikan kepada sample tanah pada alat uji. Serta mendapatkan satu garis keruntuhan Mohr-Coulomb. Ilustrasi dapat dilihat pada gambar 2.2

Kriteria Mohr-Coulomb tersebut berasumsi bahwa bila sejumlah keadaan tegangan diketahui, dimana masing-masing menghasilkan keruntuhan geser pada tanah, sebuah garis singgung akan dapat digambarkan pada lingkaran Mohr, garis singgung tersebut dinamakan selubung keruntuhan ( Failure Envelope ).<sup>5</sup>



**Gambar 2. 2. Lingkaran Dan Garis Keruntuhan Mohr-Coulomb**

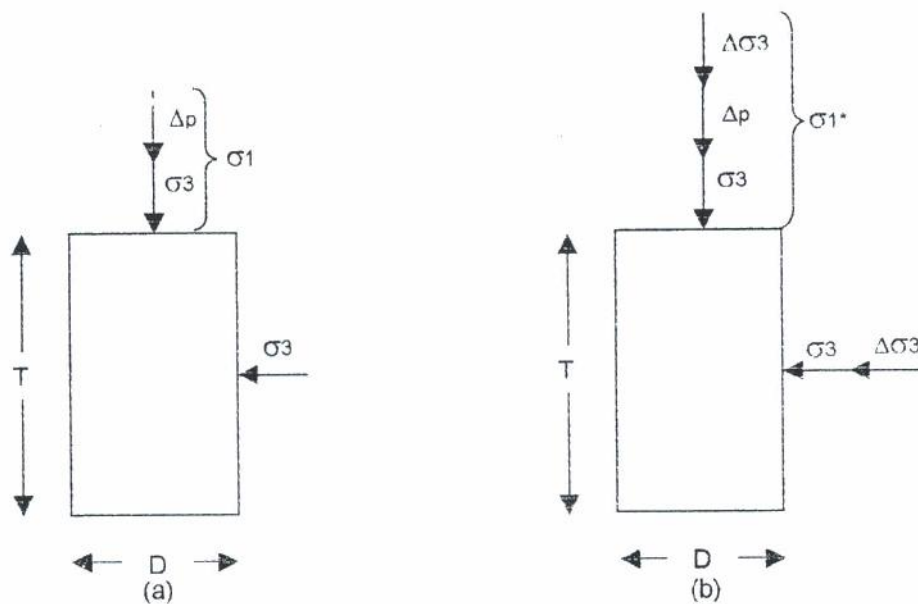
Sample pada uji triaksial diberi tegangan deviator dan juga diberikan tekanan sel atau tekanan keliling selama pembebanan hingga terjadi keruntuhan pada sample tanah pada uji triaksial Unconsolidated – Undrained.

Dalam penulisan Laporan Penelitian ini dibuat dua jenis pengujian triaksial, yaitu :

<sup>5</sup> R. F. Craig – Budi Susili S. Mekanika Tanah Edisi Keempat. Erlangga. Jakarta. 1991.

a. Tes Triaksial Standar

Pada tes triaksial ini merupakan tes triaksial yang biasa dilakukan pada uji triaksial laboratorium. Tes triaksial ini dilakukan pada tiga jenis sample tanah yang dilakukan pembebanan dengan menambahkan tekanan sel yang berbeda pada masing-masing sample tanah.



Gambar 2. 3. Sistem Tegangan Pada Uji Triaksial Laboratorium

- a) Uji Triaksial Standar
- b) Uji Triaksial Modifikasi

b. Test Triaksial Modifikasi

Tes triaksial ini merupakan tes triaksial yang dilakukan untuk mencapai hasil yang mendekati keadaan sebenarnya di lapangan. Tes triaksial ini dilakukan dengan cara memperhatikan penambahan tekanan sel pada sample tanah seiring dengan penambahan beban.

Pada pengujian triaksial modifikasi dilakukan dengan menggunakan tanah desain, yaitu tanah yang dibuat dengan pencetakan sample tanah dengan metode yang sama untuk mendapatkan keadaan tanah pada kondisi kadar air optimum serta berat isi kering maksimum.

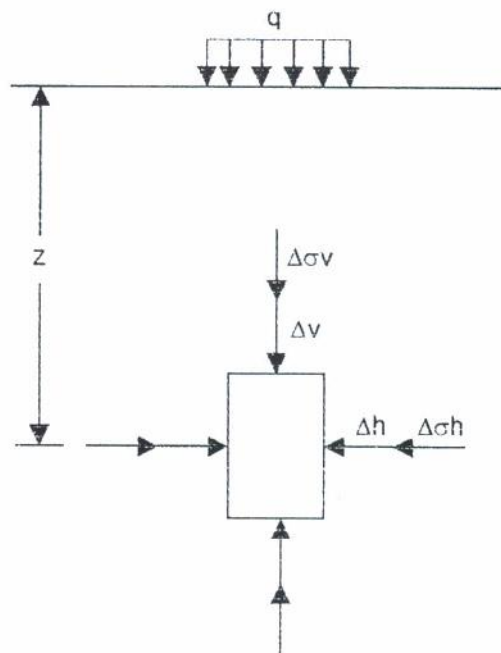
Uji triaksial sebelumnya tidak dapat menentukan bidang keruntuhan pada benda uji. Dari berbagai diskusi tentang bermacam-macam uji triaksial, telah jelas bahwa kekuatan geser dan tanah tergantung pada besarnya tegangan air pori yang terjadi selama uji berlangsung. Tegangan air pori akan berkurang dan menghilang akibat adanya aliran air ( drainase ) dari dan ke dalam benda uji.<sup>6</sup>

Akibat beban yang bekerja pada lapisan tanah pada permukaan akan berdampak pada lapisan tanah dibawahnya. Yang semula sebelum adanya beban pada tanah permukaan, tanah pada lapisan dibawahnya hanya mendapatkan tekanan keliling atau tekanan sel akibat tekanan tanah lain disekelilingnya.

Tetapi setelah terjadinya pembebanan pada lapisan tanah permukaan, maka akan terjadi pula penambahan beban pada lapisan tanah di bawahnya. Sehingga semula yang bekerja hanya tekanan sel, akibat beban yang ada pada lapisan tanah permukaan beban yang bekerja pada lapisan tanah dibawahnya akan bertambah pula.

---

<sup>6</sup> Braja M Das. Mekanika Tanah ( Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis ). Erlangga. Jakarta. 1995.



Gambar 2. 4. Sistem Tegangan Tanah Dua Dimensi Di Lapangan

#### 2. 4. Pondasi Tiang Pancang

Pondasi dalam hal ini adalah pondasi tiang pancang. Suatu bangunan diletakan di atas pondasi tiang jika tanah yang langsung berada di bawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung yang cukup atau jika perkiraan biayanya lebih murah dari tipe pondasi lainnya.

Tiang pancang dapat dibagi dalam dua kategori utama menurut pemasangannya. Kategori pertama berupa tiang pancang yang terbuat dari baja atau beton pracetak dan tiang pancang yang dibentuk dengan memancangkan tabung atau kulit yang dipasangi sepatu pancang di mana tabung atau kulit tersebut lalu diisi dengan adukan beton setelah di pancang.

Daya dukung tanah merupakan dimana suatu pondasi merupakan bagian dari struktur yang menyalurkan beban langsung ke lapisan tanah dibawahnya. Daya dukung tanah izin didefinisikan sebagai tekanan maksimum yang boleh dikerjakan pada tanah sedemikian rupa harus memenuhi syarat faktor keamanan 2,5 – 3 dan penurunan pondasi dapat terjadi dalam batas toleransi dan penurunan sebagian ( *differential settlement* ) tidak boleh menyebabkan kerusakan serius atau mempengaruhi fungsi struktur.

Daya dukung ultimit didefinisikan sebagai tekanan terkecil yang dapat menyebabkan keruntuhan geser pada tanah pendukung tepat di bawah dan di sekeliling pondasi. Keruntuhan dapat dibedakan menjadi 3 ( tiga ) jenis : keruntuhan geser umum ( *general shear failure* ), keruntuhan geser lokal ( *local shear failure* ), keruntuhan geser pons ( *punching shear failure* ).

Dilihat dari cara berfungsinya, tiang-tiang dapat dibagi dalam 3 ( tiga ) kategori, yaitu :<sup>7</sup>

- a. Tiang Gesekan ( *Friction Piles* ) pada tanah berbutir kasar yang sangat permeable ( lulus-air ).
- b. Tiang Gesekan ( *Friction Piles* ) pada tanah yang berbutir sangat halus dengan permeabilitas rendah.
- c. Tiang berdaya dukung ujung ( *Point Bearing Piles* ).

Beban ultimit yang dapat ditanggung oleh sebuah tiang pancang sama dengan jumlah tahanan dasar dan tahanan cerobong ( *shaft resistance* ). Tahanan dasar merupakan hasil kali luas dasar dan daya dukung ultimit pada elevasi dasar lorong.

---

<sup>7</sup> George F. Sowers. *Introductory Soil Mechanics And Foundations*. Fourth Edition. Macmillan Publishing Co., Inc. New York. 1979.

Tahanan cerobong adalah hasil kali luas keliling cerobong dan nilai rata-rata tahanan geser ultimit tiap satuan luas, yang biasanya disebut friksi kulit ( skin friction ) antara tiang pancang dan tanah. Berat tanah yang dipindahkan atau disingkirkan biasanya diasumsikan sama dengan berat tiang pancang. Secara umum beban ultimit atau daya dukung ultimit suatu tiang tunggal adalah suatu beban dimana penurunan tiang bertambah terus menerus tanpa harus ada beban tambahan.

Berdasarkan kapasitas daya dukungnya dibedakan oleh daya dukung ujung dan daya dukung geser dan apabila keduanya dimobilisasikan akan didapat :

$$Q_{ult} = Q_e + Q_s$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF}$$

Dimana :

$Q_{ult}$  = Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Maksimum

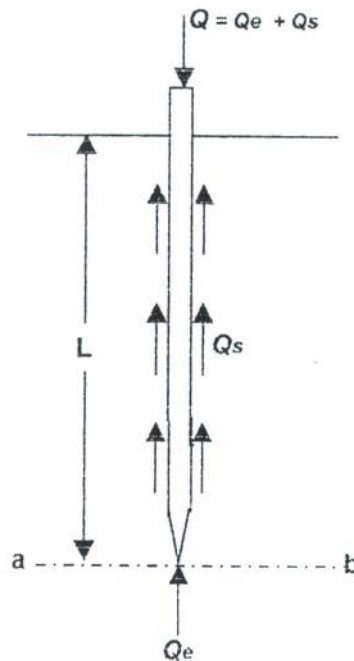
$Q_e$  = Kapasitas Daya Dukung Ujung Yang Didapat Dari Tanah Di Bawah Ujung Pondasi

$Q_s$  = Kapasitas Daya Dukung Yang Didapat Dari Gaya geser Atau Gaya Adhesi Antara Tiang Pancang Dengan Tanahnya

$Q_{all}$  = Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Izin

$SF$  = Faktor Keamanan ( Safety Factor )

Ilustrasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. 5. Tiang Gesekan Yang Dibebani

Berdasarkan data laboratorium kapasitas daya dukung ujung dapat dihitung menurut beberapa peneliti antara lain :

- Meyerhof
- Terzaghi
- Tomlinson

Dalam perhitungan dibagi menjadi 3 ( tiga ) jenis tanah antara lain sebagai berikut :

- Tanah berbutir halus ( c – soils )
- Tanah berbutir kasar ( Ø – soils )
- Tanah pada umumnya ( c - Ø soils )

## 2. 5. Perhitungan Pondasi Dalam Tiang Pancang Metode Tomlinson

Dalam perhitungan pondasi dalam tiang pancang metode Tomlinson terbagi menjadi 3 ( tiga ) jenis tanah yang berbeda seperti yang telah disebutkan. Dalam hal ini dipilih menggunakan jenis tanah pada umumnya ( c - Ø soils ), dikarenakan hasil yang didapat dari perhitungan triaksial tes menghasilkan Kohesi dan Sudut Tahanan Geser tanah

### 2. 5. 1. Daya Dukung Ujung

Daya dukung ujung untuk tanah pada umumnya ( c-Ø soils ) sebagai berikut :

$$Q_e = A_p [ c N_c + q' N_q ]$$

Dimana :

$Q_e$  = Kapasitas Daya Dukung Ujung Yang Didapat Dari Tanah Di Bawah Ujung Pondasi

$A_p$  = Luas Penampang Tiang Pancang

$c$  = Kohesi Didapat Dari UU Test

$N_c$  = Faktor Daya Dukung Untuk Tanah Di Bawah Tiang

$q'$  = Effective Overburden Pressure =  $\Sigma ( \gamma \cdot h_i )$

$N_q$  = Faktor Daya Dukung, Untuk Ø = 0, Maka  $N_q = 1$

Nilai  $N_c$  dan  $N_q$  dipengaruhi dari sudut tahanan geser tanah yang dibuat dalam bentuk grafik pada gambar 2.6.

## 2. 5. 2. Daya Dukung Friksi

Cara  $\alpha$  dari Tomlinson dapat digunakan untuk tanah berbutir halus ( c – soils ), tanah berbutir kasar (  $\emptyset$  – soils ), maupun tanah pada umumnya ( c-  $\emptyset$  soils ).

Dalam kasus ini dipergunakan rumus tanah pada umumnya :

$$Q_s = \alpha c_n A_s + K q' \tan ( \delta ) A_s$$

Dimana :

$Q_s$  = Kapasitas Daya Dukung Yang Didapat Dari Gaya Geser Atau Gaya Adhesi Antara Tiang Pancang Dengan Tanahnya

$\alpha$  = Faktor Adhesi Yang Merupakan Fungsi Dari Kohesi Atau Hasil Undrained Shearing Strength.

c = Kohesi Atau Hasil Undrained Shearing Strength.

K = Coefficient Of Lateral Pressure, harganya terletak dari  $K_0$  sampai 1.75. Biasanya direncanakan mengambil harga yang mendekati  $K_0$ . Harga untuk tiang pancang dihitung sebagai berikut :

$$K_0 = ( 1 - \sin \emptyset ) \sqrt{OCR}$$

Dimana :

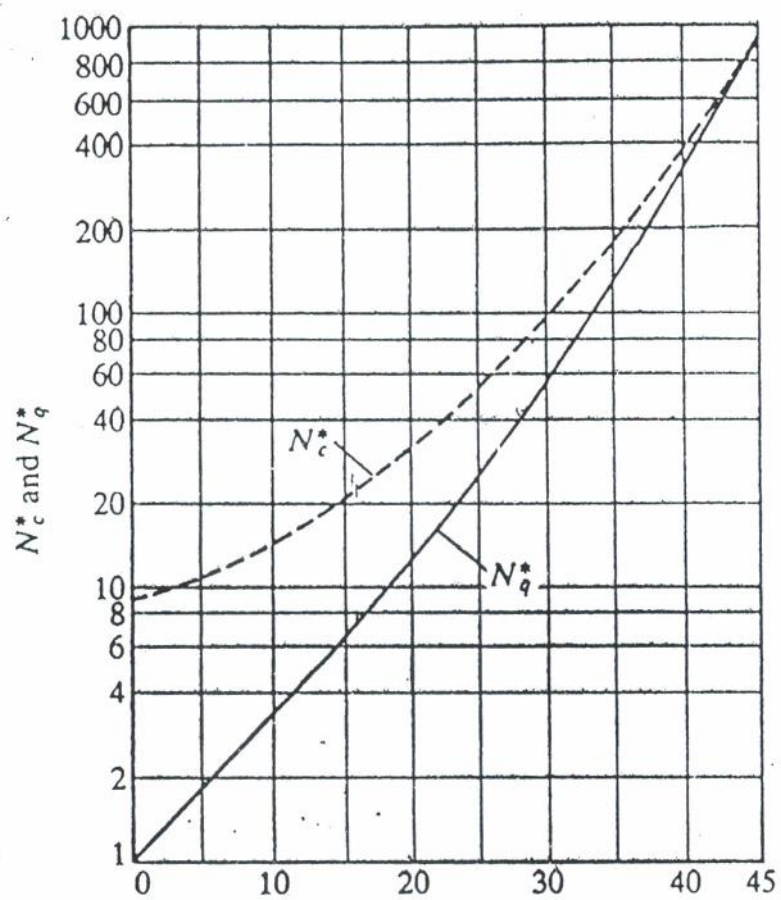
$K_0$  = Coefficient At Rest Condition

OCR = Over Consolidation Ratio =  $q_c/q_0$

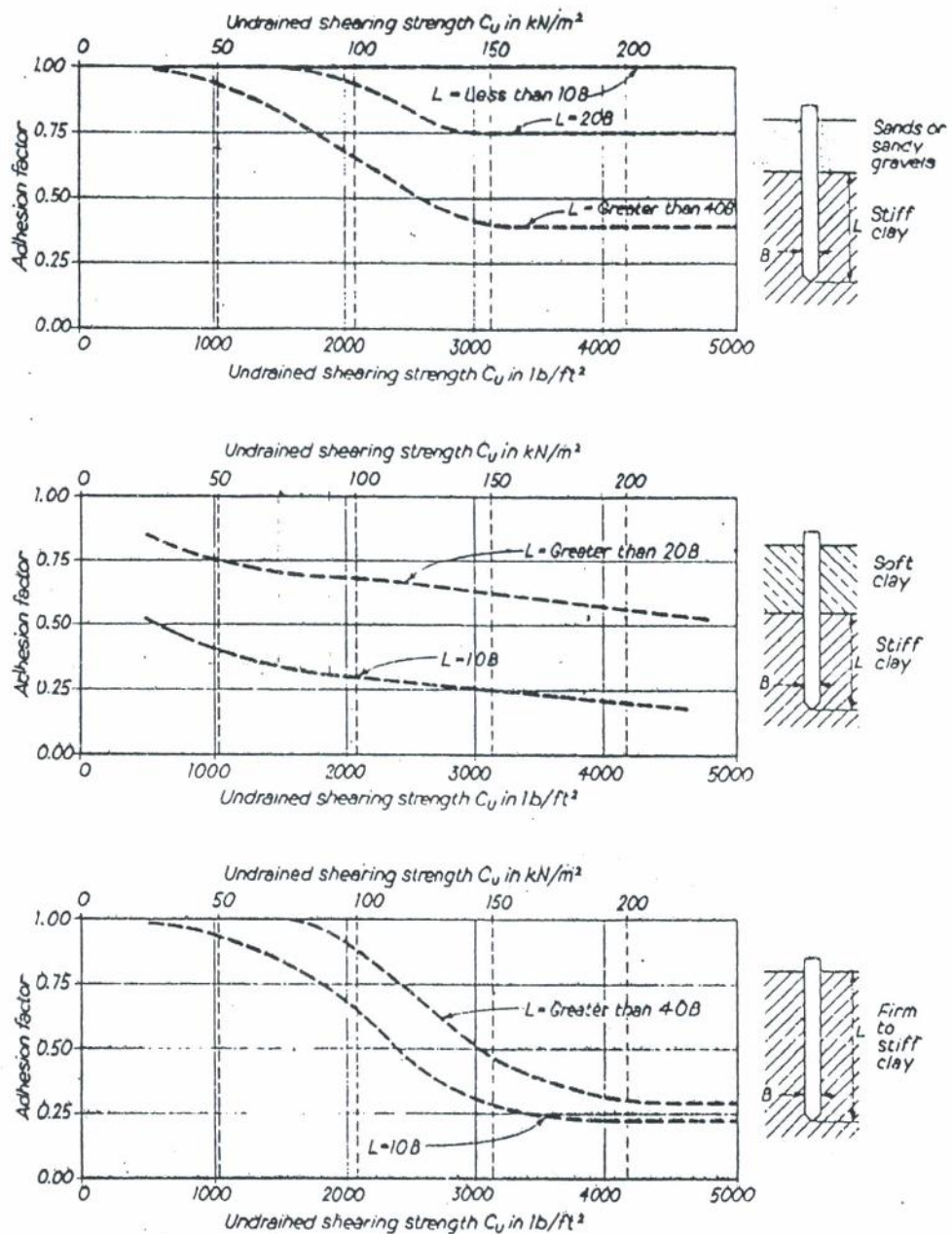
- qc = Preconsolidated Pressure
- qo = Overburden Pressure ( Untuk memudahkan perhitungan ambil OCR = 1 )
- $\phi$  = Sudut Geser Dalam
- $\delta$  =  $\angle$  Geser Effectif antara tanah dan material tiang, kalau tidak disebutkan dapat diambil  $\delta = 2/3 \phi$
- As = Luas Selimut Tiang Pancang yang menerima geser

Harga  $\alpha$  ( faktor adhesi ) dipengaruhi oleh kohesi tanah yang hubungannya dapat dilihat paa gambar 2.7. Faktor adhesi tersebut dibedakan menjadi 3 ( tiga ) bagian disesuaikan dari susunan tanah pada suatu lokasi.

Pada perhitungan tiang pancang menjadi 2 ( dua ) bagian perhitungan, yaitu perhitungan pada keadaan kondisi c dan  $\phi$  standar yang dihasilkan dari percobaan triaksial standar tanpa memperhatikan kenaikan tekanan sel pada percobaannya, dan perhitungan pada kondisi  $c^*$  dan  $\phi^*$  modifikasi yang hasilnya didapat dari percobaan triaksial modifikasi, dengan memperhatikan kenaikan tekanan sel seiring dengan penambahan beban pada sample tanah.



Gambar 2. 6. Grafik Faktor  $N_c$  Dan  $N_q$  Terhadap Sudut Tahanan Geser



Gambar 2. 7. Grafik Faktor Adhesi Terhadap Kohesi Tanah

## BAB III

### PELAKSANAAN PENELITIAN DI LABORATORIUM

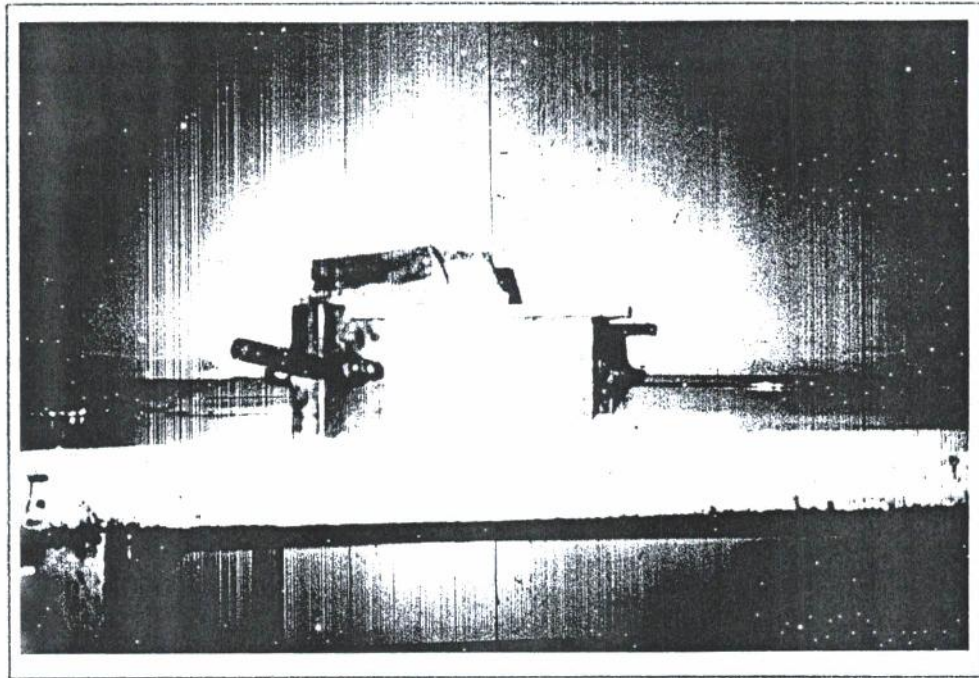
#### 3. 1. Test Triaksial

Percobaan triaksial ini dilakukan untuk mengetahui keadaan Kohesi tanah dan sudut tahanan geser dari suatu tanah tertentu. Test Triaksial yang dilakukan adalah Triaksial tes Unconsolidated – Undrained yang mempergunakan tanah desain.

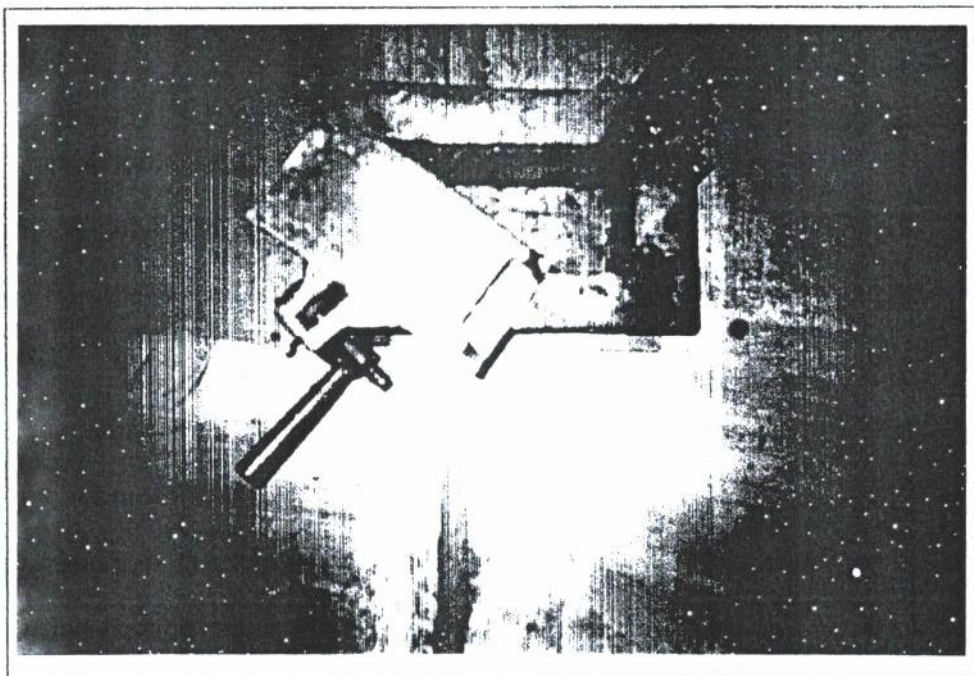
Test Triaksial yang dilakukan 2 tahap, tahap standar yaitu tahap triaksial tes tanpa adanya penambahan tekanan sel, dan tahap modifikasi yaitu tahap dilakukan penambahan tekanan sel pada tanah seiring dengan penambahan beban. Tahap-tahap percobaan dilakukan sebagai berikut :

##### a. Persiapan Tanah

1. Persiapkan tanah sebanyak 6 x @2500 Gr tanah asli, tanah dipergunakan untuk melakukan percobaan pada penambahan tekanan sel 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% pada kondisi berat isi kering  $1,302 \text{ kg/cm}^3$  ( 100% ) dengan kadar air optimum 35,5%.
2. Tanah asli tersebut langsung dimasukan ke dalam plastik dan ditutup dengan rapat agar kadar airnya tidak berubah.
3. Ambil tanah  $\pm 300$  Gram yang kemudian dibagi menjadi 3 bagian @ 100 Gram. Masukan ke dalam cawan masing-masing tanah tersebut dan dioven selama  $\pm 24$  jam. Setelah dioven timbang tanah tiap-tiap cawan tersebut, maka akan diketahui kadar air tanah asli.



Gambar 3. 1. Pencetak Tampak Samping



Gambar 3. 2. Pencetak Tampak Atas

4. Tambahkan air pada tiap-tiap kantong tanah hingga mencapai kadar air optimum, aduk merata, tutup kembali dan diamkan selama  $\pm 24$  jam agar air benar-benar merata ke seluruh bagian tanah.

**b. Pencetakan Tanah**

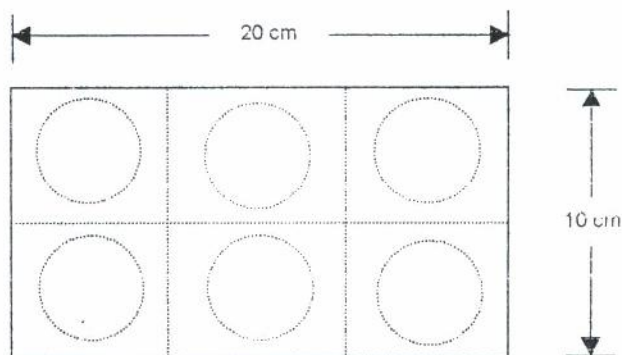
1. Lakukan pencetakan tanah dengan mempergunakan cetakan berbentuk persegi panjang yang mempunyai ukuran  $P \times L \times T = 20 \times 10 \times (11,6 - 1,1)$  – gambar 3.1 dan gambar 3.2 – dengan cara dipadatkan hingga tinggi tanah mencapai ketinggian dari permukaan cetakan  $T_2 = (10,5 - 7,1) = 3,4$  cm.
2. Bagi tanah tersebut menjadi 6 ( enam ) bagian yang sama besar – gambar 3.3. Buat tanah yang berbentuk persegi itu menjadi berbentuk silinder dengan mempergunakan wire saw dengan pencetaknya – gambar 3.4.
3. Lakukan pengukuran terhadap diameter tanah dan ketinggian masing-masing tanah serta timbang masing-masing tanah tersebut. Didapat 6 ( enam ) bagian tanah yang telah berbentuk silinder dan siap dilakukan 3 ( tiga ) tanah untuk test triaksial standar dan tiga ( tiga ) test triaksial modifikasi.

**c. Pengujian Triaksial**

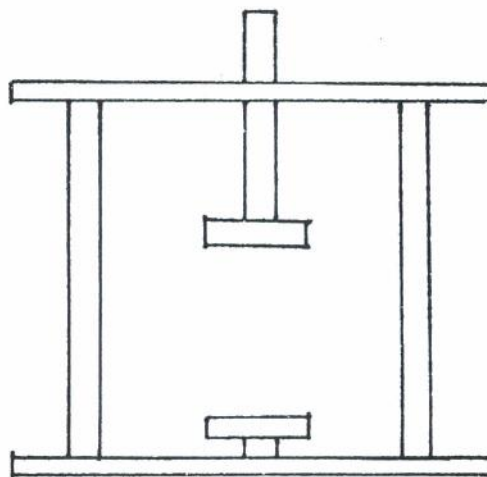
1. Test triaksial standar dilakukan dengan menggunakan tekanan sel 0,5 ; 0,9 ; 1,2 Kg/Cm<sup>2</sup>, yang kemudian dilakukan tes triaksial modifikasi dengan melakukan penambahan tekanan sel 10% untuk spesimen pertama, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% untuk spesimen selanjutnya.
2. Penambahan tekanan sel pada triaksial modifikasi dilakukan dua tahap. Tahap pertama pada saat kenaikan proving ring mencapai kenaikan 50% dari hasil

maksimum triaksial standar, tekanan sel dinaikan sebesar 50% dari kenaikan tekanan sel yang direncanakan dan **tahap kedua** pada saat proving ring mencapai maksimum, tekanan sel dinaikan sebesar 100% dari kenaikan tekanan sel yang direncanakan ( 10%,15%,20%,25%,30%,35% ).

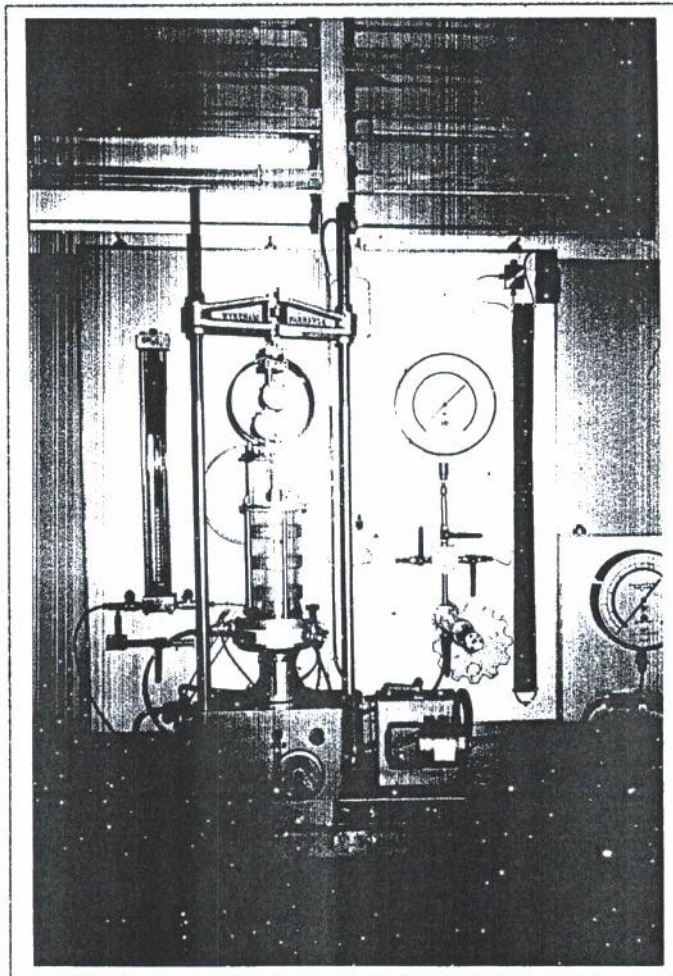
3. Kenaikan tekanan sel 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% dihitung dari hasil beban persatuan luas maksimum percobaan triaksial standar, pada setiap tekanan sel triaksial standar 0,5 ; 0,9 ; 1,2 Kg/Cm<sup>2</sup>.
4. Spesimen lainnya dilakukan sama seperti spesimen pertama, hingga akan mendapat kohesi dan sudut tahanan geser tanah secara standar dan modifikasi.



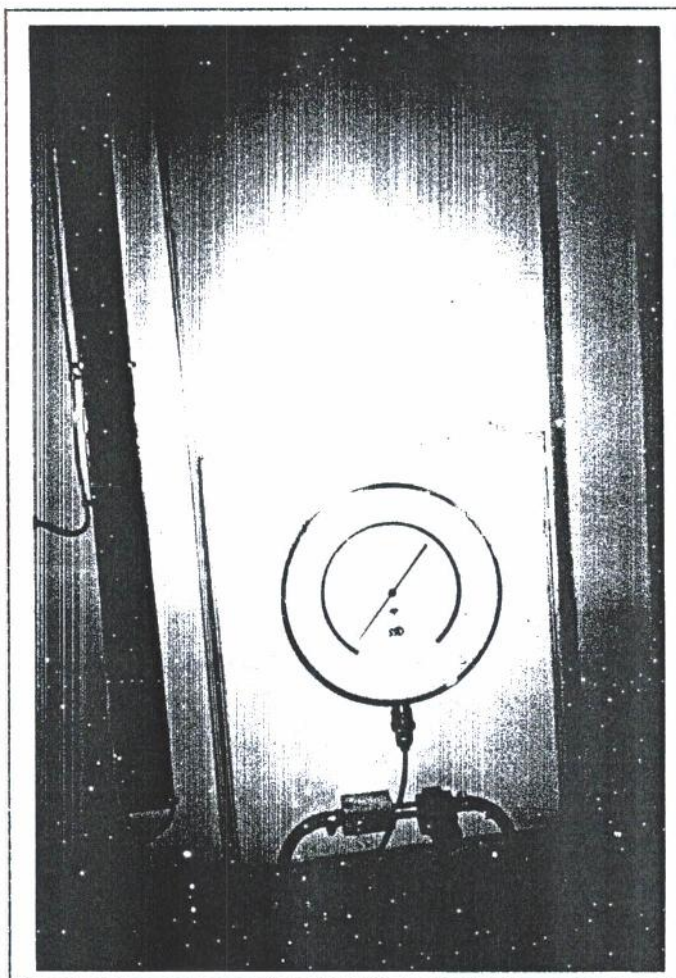
**Gambar 3. 3. Pembagian Tanah Dalam Cetakan**



Gambar 3. 4. Pencetak Silinder



Gambar 3. 5. Alat Test Triaksial



Gambar 3. 6. Pengontrol Tekanan Sel

## BAB IV

### HASIL LABORATORIUM DAN ANALISA DATA

Dari hasil pengujian di laboratorium terhadap sample tanah diperoleh data yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan diperjelas dengan grafik. Hasil laboratorium yang ditampilkan dibagi menjadi dua bagian, dalam tanah asli dan hasil pengujian triaksial Unconsolidated-Undrained dengan menggunakan tanah desain.

#### 4. 1. Hasil Laboratorium Data Tanah Asli

Hasil pemeriksaan tanah asli dapat dilihat dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 4. 1. Data Tanah Asli

| No | Data Tanah Yang Diambil   | Simbol           | Satuan             | Hasil |
|----|---------------------------|------------------|--------------------|-------|
|    | A                         | B                | c                  | d     |
| 1. | Spesific Gravity          | Gs               | Gr/Cm <sup>3</sup> | 2,49  |
| 2. | Kadar Air                 | $\omega$         | %                  | 35,05 |
| 3. | Kadar Air Optimum         | $\omega_{opt}$   | %                  | 35,5  |
| 4. | Berat Isi Kering Maksimum | $\gamma_{dmaks}$ | Gr/Cm <sup>3</sup> | 1,302 |
| 5. | Pasir ( Sand )            |                  | %                  | 0,51  |
| 6. | Lanau ( Silt )            |                  | %                  | 62,99 |
| 7. | Lempung ( Clay )          |                  | %                  | 36,50 |

#### 4. 2. Hasil Laboratorium Pengujian Triaksial Unconsolidated Undrained

Pengujian Triaksial dilakukan pada keadaan kadar air optimum 35,5 % dan berat isi kering 1,302 Gr/Cm<sup>3</sup> ( 100% Kepadatan Maksimum ) dengan variasi penambahan tekanan sel.

Pembuatan sample tanah dipergunakan pencetak berbentuk empat persegi panjang yang kemudian dipadatkan, dan dibentuk sample tanah berbentuk silinder. Bentuk silinder dibuat semirip mungkin antara sample untuk pengujian standar dibandingkan dengan pengujian triaksial modifikasi, seperti tabel 4.2. Ukuran sample tanah mempunyai ukuran yang sama dengan variasi berat.

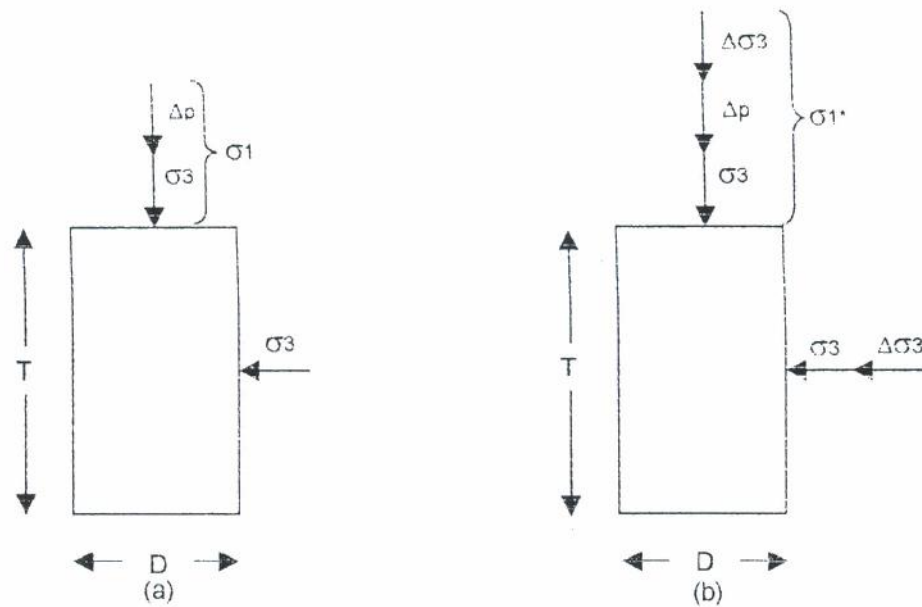
Tanah yang dipergunakan menggunakan tanah desain yang mempunyai karakteristik hampir sama dan dengan metoda pembuatan sample tanah yang sama. Tanah mempunyai  $\gamma$ ,  $\omega$  dan mempunyai kerapatan yang sama dengan cara memadatkan tanah.

**Tabel 4. 2. Data Sample Pengujian Triaksial**

| Data Sample | Satuan | Data      |
|-------------|--------|-----------|
| Diameter    | Cm     | 3,5       |
| Tinggi      | Cm     | 7,3       |
| Berat       | Gr     | 108 - 114 |

Pengujian triaksial yang dilakukan menjadi dua tahap, maka dihasilkan pula kohesi dan sudut tahanan geser dua jenis. Kohesi dan sudut tahanan geser tanah standar dan yang dimodifikasi. Lihat gambar 4.1.

Kohesi dan sudut tahanan geser tanah modifikasi didapat karena adanya penambahan tekanan sel seiring dengan penambahan beban pada sample tanah, seperti tabel-tabel 4.3 dan 4.4.



Gambar 4. 1. Sistem Tegangan Pada Uji Triaksial  
a) Uji Triaksial Standar  
b) Uji Triaksial Modifikasi

#### 4. 2. 1. Pengaruh Penambahan Tekanan Sel Terhadap Kohesi

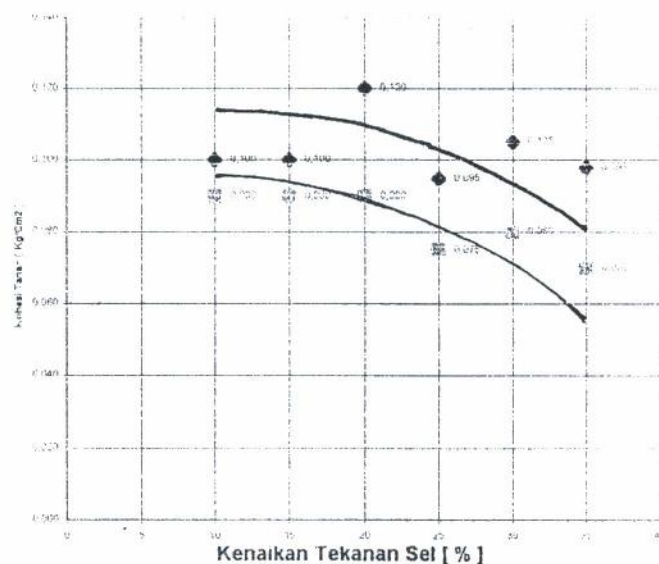
Tabel 4. 3. Persentase Perubahan Kohesi Undrained

| Penambahan Tekanan | Kohesi Tanah Standar   | Kohesi Tanah Modifikasi | Perubahan Kohesi Tanah        |
|--------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| %                  | [ Kg/Cm <sup>2</sup> ] | [ Kg/Cm <sup>2</sup> ]  | %                             |
| a                  | b [ C ]                | c[ C* ]                 | D                             |
| 10                 | 0,100                  | 0,090                   | 10                            |
| 15                 | 0,100                  | 0,090                   | 10                            |
| 20                 | 0,120                  | 0,090                   | 25                            |
| 25                 | 0,095                  | 0,075                   | 21,1                          |
| 30                 | 0,105                  | 0,080                   | 23,8                          |
| 35                 | 0,098                  | 0,070                   | 28,6                          |
| Keterangan         | Rata-Rata =0,103       |                         | Penurunan Rata-Rata = 19,75 % |

Dari data diatas dapat dilihat bahwa akibat adanya penambahan tekanan sel seiring dengan penambahan beban maka dihasilkan, rata-rata kohesi modifikasi cenderung turun dibandingkan dengan modifikasi standar persampelnya.

Apabila dihitung penurunannya persample dengan menggunakan rumus  $\{ (b-c)/b \} \times 100\% = d$ . dari data-data diatas maka telah didapat **penurunan rata-rata kohesi tanah sebesar 19,75 %** dengan menggunakan rumus,  $d \text{ Average} = d/n$  ; dimana  $n = 7$ .

Agar mendapat titik acuan, dihitung juga rata-rata kohesi tanah standar. Hal ini agar didapat hasil patokan terhadap kohesi modifikasi yang telah didapatkan. **Kohesi standar rata-ratanya adalah 0,103 Kg/Cm<sup>2</sup>**. Agar lebih jelas maka dibuat grafik sebagai berikut pada gambar 4.2. dan gambar 4.3.



**Gambar 4. 2. Perubahan Kohesi Akibat Penambahan Tekanan Sel Pada Tiap-Tiap Uji Triaksial**

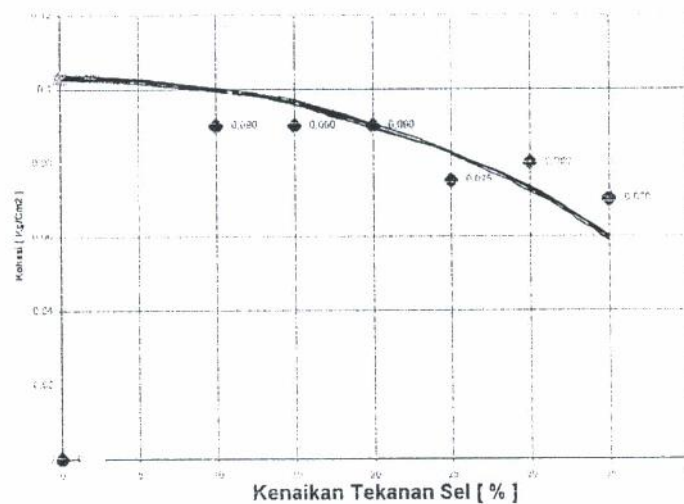
Dimana :



= C\* = Kohesi Modifikasi



= C = Kohesi Standar



Gambar 4. 3. Perubahan Kohesi Terhadap Penambahan Tekanan Sel Dibandingkan Dengan Kohesi Awal Rata-Rata

Dimana :

- = C = Kohesi Standar Rata-Rata  
 ◇ = C\* = Kohesi Modifikasi

#### 4. 2. 2. Pengaruh Penambahan Tekanan Sel Terhadap Sudut Tahanan Geser

Tabel 4. 4. Persentase Perubahan Sudut Tahanan Geser Undrained

| Penambahan Tekanan | Sudut Tahanan Geser Standar | Sudut Tahanan Geser Modifikasi | Perubahan Sudut Tahanan Geser |
|--------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| %                  | o°                          | o°                             | %                             |
| A                  | b [ Ø ]                     | c [ Ø* ]                       | E                             |
| 10                 | 7,58                        | 8,53                           | 11,1                          |
| 15                 | 7,13                        | 10,08                          | 29,3                          |
| 20                 | 7,39                        | 11,31                          | 34,7                          |
| 25                 | 9,93                        | 12,68                          | 21,7                          |
| 30                 | 5,57                        | 9,69                           | 42,5                          |
| 35                 | 7,97                        | 13,50                          | 41                            |
| Keterangan         | Rata-Rata = 7,60            |                                | Kenaikan Rata-Rata = 30,05 %  |

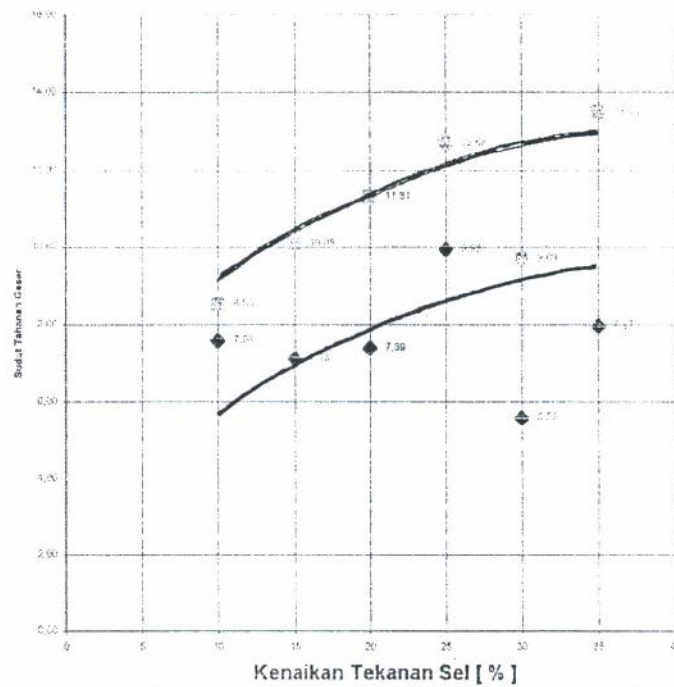
Dari tabel sudut tahanan geser diatas dapat kita simpulkan bahwa seiring dengan penambahan beban maka dilakukan penambahan tekanan sel juga. Hasil yang didapatkan untuk sudut tahanan geser terbalik dengan kohesi tanah, yaitu terjadi peningkatan pada sudut tahanan geser modifikasi dibandingkan sudut tahanan geser modifikasi.

Kenaikan sudut tahanan geser dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut dengan meninjau di setiap sampelnya,  $\{ (c-b)/c \} \times 100\% = e$ . **Kenaikan rata-rata dari sudut tahanan geser tanah** didapat dengan membagi total kenaikan dibagi dengan banyaknya sample, **didapatkan hasil 30,05 %**, dengan menggunakan rumus,  $e \text{ Average} = e/n$  ; dimana  $n = 7$ .

**Untuk sudut tahanan geser standar rata-rata didapatkan hasil sebagai berikut 7,60°**. Hal ini agar didapatkan acuan atau tolak ukur terhadap sudut tahanan geser tanah modifikasi yang didapatkan. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.4 dan gambar 4.5.

Perubahan garis keruntuhan pada Diagram Mohr-Coulomb yang terjadi akibat perubahan kohesi dan sudut tahanan geser tanah diakibatkan adanya perubahan pada tekanan sel seiring dengan penambahan beban pada sample tanah uji triaksial modifikasi.

Perubahan yang terjadi adalah penurunan tingkat kohesi serta kenaikan sudut tahanan geser tanah dibandingkan antara tes triaksial standar dengan modifikasi. Ilustrasi garis keruntuhan Mohr-Coulomb standar dan modifikasi dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4. 4. Perubahan Sudut Tahanan Geser Akibat Penambahan Tekanan Sel Pada Tiap-Tiap Uji Triaksial

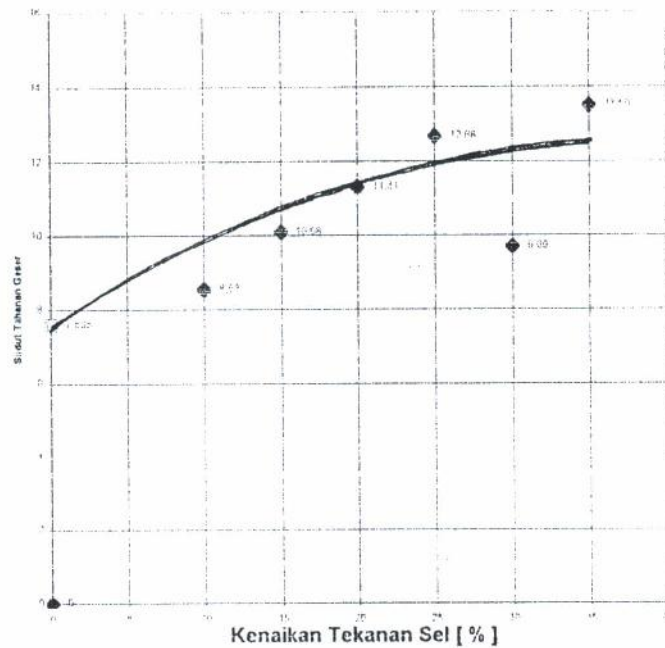
Dimana :



=  $\phi^*$  = Sudut Tahanan Geser Tanah Modifikasi



=  $\phi$  = Sudut Tahanan Geser Tanah Standar



Gambar 4. 5. Perubahan Sudut Tahanan Geser Terhadap Penambahan Tekanan Sel Dibandingkan Dengan Sudut Tahanan Geser Awal Rata-Rata

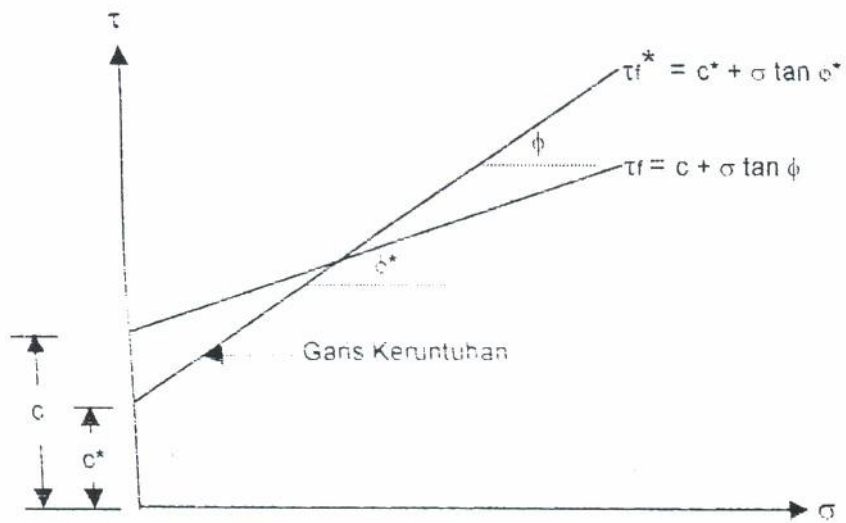
Dimana :



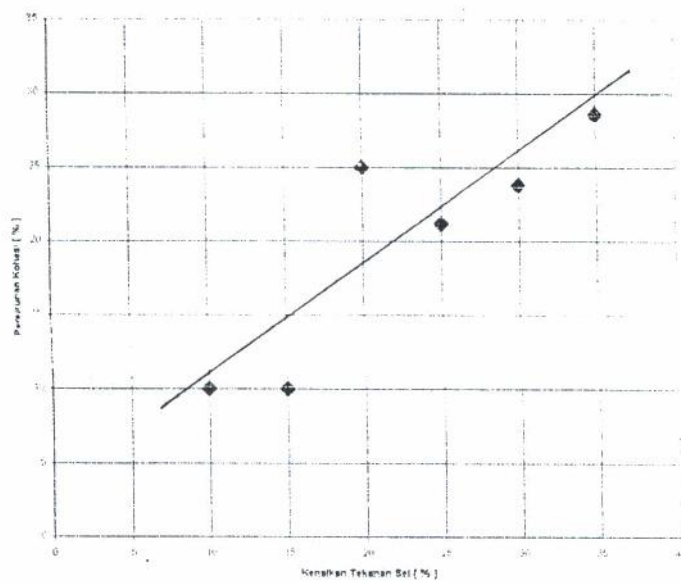
=  $\phi$  = Sudut Tahanan Geser Tanah Standar Rata-Rata



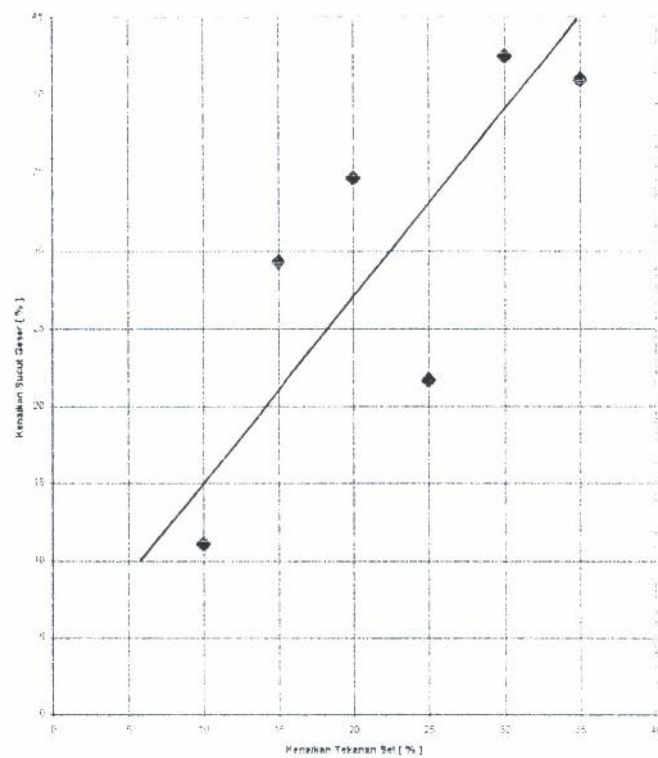
=  $\phi^*$  = Sudut Tahanan Geser Tanah Modifikasi



Gambar 4.6. Ilustrasi Garis Keruntuhan Mohr-Coulomb Uji Triaksial Standar Dan Modifikasi ( \* )



Gambar 4. 7. Grafik Perubahan "Penurunan" Kohesi Tanah Terhadap Kenaikan Tekanan Sel



Gambar 4. 8. Grafik Perubahan “Kenaikan” Sudut Geser Tanah Terhadap Kenaikan Tekanan Sel

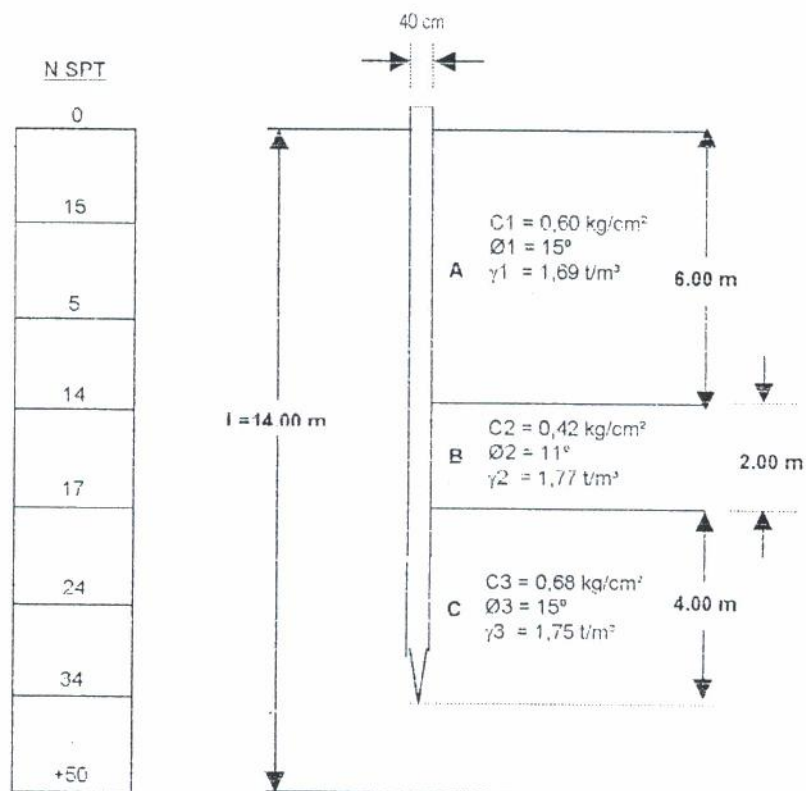
Tabel 4. 5. Gabungan Data Kohesi Dan Sudut Tahanan Geser

| Penambahan Tekanan | Standar            |                | Modifikasi         |                |
|--------------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|
|                    | C                  | $\phi$         | C*                 | $\phi^*$       |
| %                  | Kg/Cm <sup>2</sup> | O <sup>o</sup> | Kg/Cm <sup>2</sup> | O <sup>o</sup> |
| 10                 | 0,100              | 7,58           | 0,090              | 8,53           |
| 15                 | 0,100              | 7,13           | 0,090              | 10,08          |
| 20                 | 0,120              | 7,39           | 0,090              | 11,31          |
| 25                 | 0,095              | 9,93           | 0,075              | 12,68          |
| 30                 | 0,105              | 5,57           | 0,080              | 9,69           |
| 35                 | 0,098              | 7,97           | 0,070              | 13,50          |

#### 4. 3. Aplikasi Perhitungan Pondasi Dalam

Perhitungan pondasi dalam yang dilakukan adalah perhitungan pondasi tiang pancang. Data-data yang diambil adalah data tanah proyek PT. Mandala Pratama Permai, di Cikampek ( Kawasan Industri Otomotif ).

Penelitian tanah dilakukan di laboratorium mekanika tanah Institut Sains Dan Teknologi Nasional ( ISTN ). Sample tanah dites pada laboratorium adalah tanah asli atau tanah tidak terganggu.



Gambar 4. 9. Lapisan Tanah Soal Dengan Tiang Pancang Floating Pile Tanah Stiff Clay

#### 4. 3. 1. Penyelesaian Soal Metode Tomlinson Pada Tiang Pancang Floating Pile

##### Tanah Stiff Clay

##### a. Mencari Daya Dukung Ujung

Rumus :

$$Q_e = A_p [ c N_c + q' N_q ]$$

Dimana :

$$\begin{aligned} A_p &= (\text{Tiang Pancang Dipergunakan } D = 40 \text{ cm}) \\ &= \pi \times R^2 \\ &= \pi \times (40/2)^2 \\ &= 1256,64 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q' &= \sum (\gamma \times h_i) \\ &= (\gamma_1 \times h_A) + (\gamma_2 \times h_B) + (\gamma_3 \times h_C) \\ &= (1,69 \times 6) + (1,77 \times 2) + (1,75 \times 4) \\ &= 10,14 + 3,54 + 7 \\ &= 20,68 \text{ t/m}^2 \\ &= 2,068 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi &= 15^\circ ; \quad N_c = 21 \\ &\quad N_q = 6 \end{aligned}$$

Substitusi :

$$\begin{aligned} Q_e &= A_p [ c N_c + q' N_q ] \\ &= 1256,64 [ 0,68 \times 21 + 2,068 \times 6 ] \\ &= 1256,64 \times (14,28 + 12,41) \\ &= 33537 \text{ kg} \end{aligned}$$

##### b. Mencari Daya Dukung Friksi

Rumus :

$$Q_s = \alpha c_n A_s + K q' \tan (\delta) A_s$$

- **Lapisan Tanah A ( 0.00 m - 6.00 m )**

Dimana :

$$\alpha_1 = 0,98$$

$$\begin{aligned} As_1 &= \pi \times D \times LA \\ &= \pi \times 40 \times 600 \\ &= 75398,22 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_1 &= 1 - \sin \phi_1 \\ &= 1 - \sin 15^\circ \\ &= 0,741 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \left( \frac{2}{3} \right) \phi_1 \\ &= \left( \frac{2}{3} \right) \times 15^\circ \\ \tan \delta_1 &= 0,176 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q'_1 &= \sum (\gamma \times h_i) \\ &= (\gamma_1 \times h_A) \\ &= (1,69 \times 6) \\ &= 10,14 \text{ t/m}^2 \\ &= 1,014 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Substitusi :

$$\begin{aligned} Qs_1 &= \alpha_1 c_1 As_1 + K_1 q'_1 \tan (\delta_1) As_1 \\ &= [ 0,98 \times 0,60 \times 75398,22 ] + [ 0,741 \times 1,014 \times 0,176 \times 75398,22 ] \\ &= 44335 + 9971 \\ &= 54306 \text{ kg} \end{aligned}$$

- **Lapisan Tanah B ( - 6.00 m - 8.00 m )**

Dimana :

$$\alpha_2 = 1,00$$

$$\begin{aligned} As_2 &= \pi \times D \times LB \\ &= \pi \times 40 \times 200 \\ &= 25132,74 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_2 &= 1 - \sin \phi_2 \\ &= 1 - \sin 11^\circ \\ &= 0,809 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_2 &= (2/3) \phi_2 \\ &= (2/3) \times 11^\circ \\ \tan \delta_2 &= 0,129\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q'_2 &= \sum (\gamma \times h_i) \\ &= (\gamma_1 \times h_A) + (\gamma_2 \times h_B) \\ &= (1,69 \times 6) + (1,77 \times 2) \\ &= 10,14 + 3,54 \\ &= 13,68 \text{ t/m}^2 \\ &= 1,368 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Substitusi :

$$\begin{aligned}Qs_2 &= \alpha_2 c_2 As_2 + K_2 q'_2 \tan (\delta_2) As_2 \\ &= [1 \times 0,42 \times 25132,74] + [0,809 \times 1,368 \times 0,129 \times 25132,74] \\ &= 10556 + 3589 \\ &= 14145 \text{ kg}\end{aligned}$$

- Lapisan Tanah C ( - 8.00 m - 12.00 m )

Dimana :

$$\alpha_3 = 0,96$$

$$\begin{aligned}As_3 &= \pi \times D \times LC \\ &= \pi \times 40 \times 400 \\ &= 50265,48 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_3 &= 1 - \sin \phi_3 \\ &= 1 - \sin 15^\circ \\ &= 0,741\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_3 &= (2/3) \phi_3 \\ &= (2/3) \times 15^\circ \\ \tan \delta_3 &= 0,176\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}q'_3 &= \sum (\gamma \times h_i) \\ &= (\gamma_1 \times h_A) + (\gamma_2 \times h_B) + (\gamma_3 \times h_C) \\ &= (1,69 \times 6) + (1,77 \times 2) + (1,75 \times 4) \\ &= 10,14 + 3,54 + 7 \\ &= 20,68 \text{ t/m}^2 \\ &= 2,068 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Substitusi :

$$\begin{aligned}
Q_{s3} &= \alpha_3 c_3 A_{s3} + K_3 q'_3 \tan(\delta_3) A_{s3} \\
&= [0,96 \times 0,68 \times 50265,48] + [0,741 \times 2,068 \times 0,176 \times 50265,48] \\
&= 32813 + 13557 \\
&= 46370 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Mencari Daya Dukung Ultimate dan Daya Dukung Izin

Rumus :

$$\begin{aligned}
Q_{ult} &= Q_e + Q_s \\
&= 33537 + 54306 + 14145 + 46370 \\
&= 148358 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q_{all} &= \frac{Q_{ult}}{SF} \\
&= 148358 / 3 \\
&= 49453 \text{ kg}
\end{aligned}$$

#### 4. 3. 2. Penyelesaian Soal Metode Tomlinson Tiang Pancang Floating Pile Tanah Stiff Clay Dengan Memperhatikan Perubahan Kohesi Dan Sudut Tahanan Geser Tanah

Perubahan kohesi dan sudut geser tanah yang terjadi adalah penurunan kohesi dan kenaikan sudut geser tanah akibat dari kenaikan tekanan sel pengaruh penambahan beban pada sample tanah pengujian triaksial, pada kondisi tanah dan pengerjaan metode yang sama.

Dalam penyelesaian soal ini diambil kenaikan tekanan sel sebesar 10 %, mendapatkan data penurunan kohesi sebesar 10 % dan kenaikan sudut tahanan geser 11,1 %. Lihat tabel 4.3 dan 4.4. data tersebut diambil disebabkan pada teori elastis menyatakan bahwa kenaikan rata-rata akibat kedalaman pada stiff clay dengan angka poison ratio 0,3 sebesar 7 %.

Hal tersebut diambil dikarenakan kadar air pada tanah yang kecil sehingga penambahan tekanan sel pada tanah juga kecil. Tegangan sel arah lateral dipengaruhi oleh koefisien tekanan tanah lateral akibat beban di atasnya, dimana  $K_0 = 1 - \sin \phi$ , sedangkan  $\phi$  sangat dipengaruhi oleh kondisi konsistensi tanah, maka dipergunakan data triaksial modifikasi dengan memperhatikan penambahan tekanan sel sebesar 10 % ( Data Minimum ).

Penyelesaian soal :

**a. Mencari Daya Dukung Ujung**

Rumus :

$$Q_{e^*} = A_p [ c^* N_c + q' N_q ]$$

Dimana :

$$\begin{aligned} A_p &= (\text{Tiang Pancang Dipergunakan } D = 40 \text{ cm}) \\ &= \pi \times R^2 \\ &= \pi \times (40/2)^2 \\ &= 1256,64 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c^* &= 0,68 - (0,68 \times 10\%) \\ &= 0,612 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q' &= \sum (\gamma \times h_i) \\ &= (\gamma_1 \times h_A) + (\gamma_2 \times h_B) + (\gamma_3 \times h_C) \\ &= (1,69 \times 6) + (1,77 \times 2) + (1,75 \times 4) \\ &= 10,14 + 3,54 + 7 \\ &= 20,68 \text{ t/m}^2 \\ &= 2,068 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi^* &= 15^\circ + (15 \times 11,1\%) \\ &= 16,67^\circ \end{aligned} \quad ; \quad \begin{aligned} N_c &= 30 \\ N_q &= 9,6 \end{aligned}$$

Substitusi :

$$\begin{aligned} Q_{e^*} &= A_p [ c^* N_c + q' N_q ] \\ &= 1256,64 [ 0,612 \times 30 + 2,068 \times 9,6 ] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1256,64 \times ( 18,36 + 19,85 ) \\
 &= 48017 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

**b. Mencari Daya Dukung Friksi**

Rumus :

$$Q_s^* = \alpha c_n A_s + K q' \tan ( \delta ) A_s$$

- Lapisan Tanah A ( 0.00 m - 6.00 m )

Dimana :

$$\begin{aligned}
 C1^* &= 0,60 - ( 0,60 \times 10\% ) \\
 &= 0,54 \text{ kg/ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\alpha 1^* = 1,00$$

$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= \pi \times D \times L_A \\
 &= \pi \times 40 \times 600 \\
 &= 75398,22 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K1^* &= 1 - \sin ( \phi 1 + ( \phi 1 \times 11,1 \% ) ) \\
 &= 1 - \sin ( 15^\circ + ( 15^\circ \times 11,1 \% ) ) \\
 &= 0,713
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \delta 1^* &= ( 2/3 ) \phi 1^* \\
 &= ( 2/3 ) \times 16,67^\circ
 \end{aligned}$$

$$\tan \delta 1^* = 0,196$$

$$\begin{aligned}
 q'1 &= \sum ( \gamma \times h_i ) \\
 &= ( \gamma 1 \times h_A ) \\
 &= ( 1,69 \times 6 ) \\
 &= 10,14 \text{ t/m}^2 \\
 &= 1,014 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Substitusi :

$$\begin{aligned}
 Q_{s1}^* &= \alpha 1^* c 1^* A_{s1} + K 1^* q'1 \tan ( \delta 1^* ) A_{s1} \\
 &= [ 1 \times 0,54 \times 75398,22 ] + [ 0,713 \times 1,014 \times 0,196 \times 75398,22 ] \\
 &= 40716 + 10685 \\
 &= 51401 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- **Lapisan Tanah B ( - 6.00 m - 8.00 m )**

Dimana :

$$\begin{aligned} C2^* &= 0,42 - ( 0,42 \times 10\% ) \\ &= 0,378 \text{ kg/ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\alpha 2^* = 1,00$$

$$\begin{aligned} As2 &= \pi \times D \times LB \\ &= \pi \times 40 \times 200 \\ &= 25132,74 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K2^* &= 1 - \sin ( \phi 2 + ( \phi 2 \times 11,1 \% ) ) \\ &= 1 - \sin 12,22^\circ \\ &= 0,788 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta 2^* &= ( 2/3 ) \phi 2^* \\ &= ( 2/3 ) \times 12,22^\circ \end{aligned}$$

$$\tan \delta 2^* = 0,143$$

$$\begin{aligned} q'2 &= \sum ( \gamma \times h_i ) \\ &= ( \gamma 1 \times hA ) + ( \gamma 2 \times hB ) \\ &= ( 1,69 \times 6 ) + ( 1,77 \times 2 ) \\ &= 10,14 + 3,54 \\ &= 13,68 \text{ t/m}^2 \\ &= 1,368 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Substitusi :

$$\begin{aligned} Qs2^* &= \alpha 2^* c2^* As2 + K2^* q'2 \tan ( \delta 2^* ) As2 \\ &= [ 1 \times 0,378 \times 25132,74 ] + [ 0,788 \times 1,368 \times 0,143 \times 25132,74 ] \\ &= 9501 + 3875 \\ &= 13376 \text{ kg} \end{aligned}$$

- **Lapisan Tanah C ( - 8.00 m - 12.00 m )**

Dimana :

$$\begin{aligned} C3^* &= 0,68 - ( 0,68 \times 10\% ) \\ &= 0,612 \text{ kg/ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\alpha 3^* = 0,99$$

$$\begin{aligned} As3 &= \pi \times D \times LC \\ &= \pi \times 40 \times 400 \end{aligned}$$

$$= 50265,48 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} K3^* &= 1 - \sin ( \emptyset 3 + ( \emptyset 3 \times 11,1 \% ) ) \\ &= 1 - \sin 16,67^\circ \\ &= 0,713 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta 3^* &= ( 2/3 ) \emptyset 3^* \\ &= ( 2/3 ) \times 16,67^\circ \end{aligned}$$

$$\tan \delta 3^* = 0,196$$

$$\begin{aligned} q'3 &= \sum ( \gamma \times h_i ) \\ &= ( \gamma_1 \times h_A ) + ( \gamma_2 \times h_B ) + ( \gamma_3 \times h_C ) \\ &= ( 1,69 \times 6 ) + ( 1,77 \times 2 ) + ( 1,75 \times 4 ) \\ &= 10,14 + 3,54 + 7 \\ &= 20,68 \text{ t/m}^2 \\ &= 2,068 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Substitusi :

$$\begin{aligned} Qs3^* &= \alpha 3^* c3^* As3 + K3^* q'3 \tan ( \delta 3^* ) As3 \\ &= [ 0,99 \times 0,612 \times 50265,48 ] + [ 0,713 \times 2,068 \times 0,196 \times 50265,48 ] \\ &= 30455 + 14527 \\ &= 44982 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Mencari Daya Dukung Ultimate dan Daya Dukung Izin

Rumus :

$$\begin{aligned} Qult^* &= Qe^* + Qs^* \\ &= 48017 + 51401 + 13376 + 45290 \\ &= 157776 \text{ kg} \end{aligned}$$

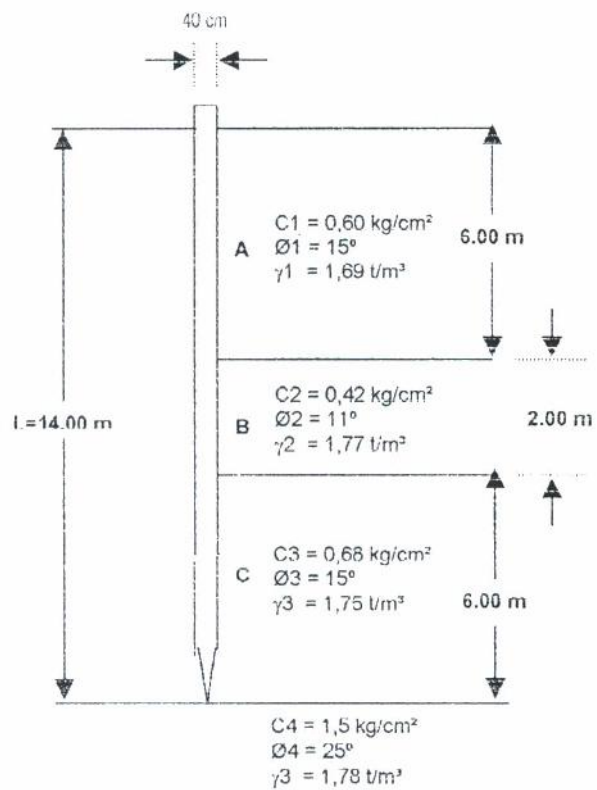
$$\begin{aligned} Qall^* &= \frac{Qult^*}{SF} \\ &= 157776 / 3 \\ &= 52592 \text{ kg} \end{aligned}$$

Tabel 4. 6. Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Floating Pile Tanah Stiff

Clay

| NO   | Standar           |                    |       |       | Modifikasi        |                    |       |       |
|------|-------------------|--------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|-------|-------|
|      | Daya Dukung Ujung | Daya Dukung Friksi |       |       | Daya Dukung Ujung | Daya Dukung Friksi |       |       |
|      |                   | A                  | B     | C     |                   | A                  | B     | C     |
|      | Qe                | Qs                 |       |       | Qe*               | Qs*                |       |       |
|      | Kg                | Kg                 | Kg    | Kg    | Kg                | Kg                 | Kg    | Kg    |
|      | 33537             | 54306              | 14145 | 46370 | 48017             | 51401              | 13376 | 44982 |
|      | 33537             | 114821             |       |       | 48017             | 109759             |       |       |
| Qull | 148358            |                    |       |       | 157776            |                    |       |       |
| SF   | 3                 |                    |       |       | 3                 |                    |       |       |
| Qall | 49453             |                    |       |       | 52592             |                    |       |       |

4. 3. 3. Penyelesaian Soal Metode Tomlinson Pada Tiang Pancang End Bearing Pile Tanah Stiff Clay



Gambar 4. 10. Lapisan Tanah Soal Dengan Tiang Pancang End Bearing Pile Tanah Stiff Clay

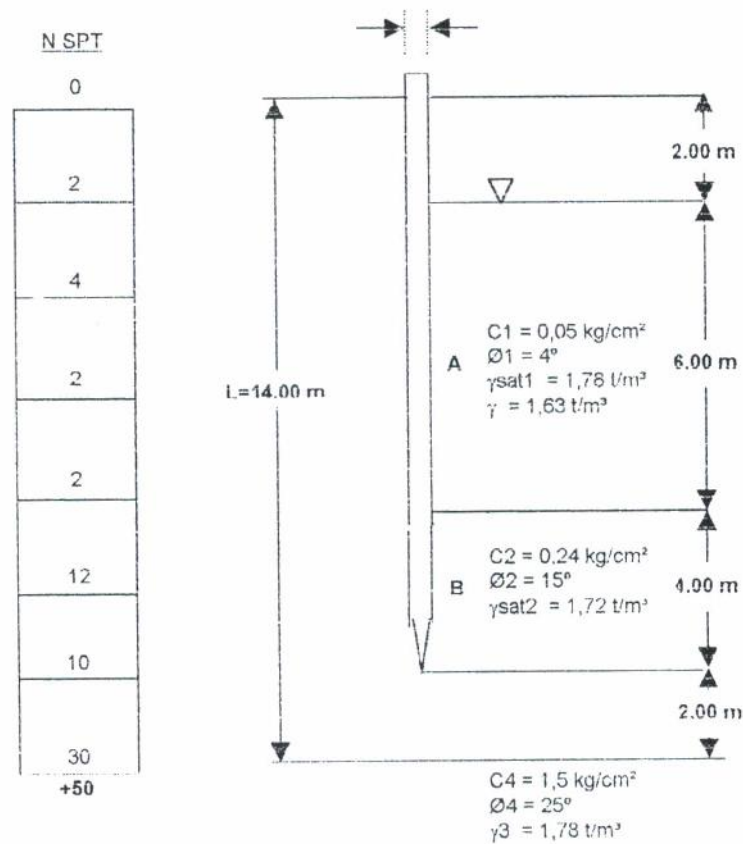
Tabel 4. 7. Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang End Bearing Pile Tanah

Stiff Clay

| NO   | Standar           |                    |       |       | Modifikasi        |                    |       |       |
|------|-------------------|--------------------|-------|-------|-------------------|--------------------|-------|-------|
|      | Daya Dukung Ujung | Daya Dukung Friksi |       |       | Daya Dukung Ujung | Daya Dukung Friksi |       |       |
|      |                   | A                  | B     | C     |                   | A                  | B     | C     |
|      | Qe                | Qs                 |       |       | Qe*               | Qs*                |       |       |
|      | Kg                | Kg                 | Kg    | Kg    | Kg                | Kg                 | Kg    | Kg    |
|      | 186863            | 54306              | 14145 | 72997 | 272440            | 51401              | 13376 | 71181 |
|      | 186863            | 141448             |       |       | 272440            | 135938             |       |       |
| Qull | 328311            |                    |       |       | 408378            |                    |       |       |
| SF   | 3                 |                    |       |       | 3                 |                    |       |       |
| Qall | 109437            |                    |       |       | 136126            |                    |       |       |

#### 4. 3. 4. Penyelesaian Soal Metode Tomlinson Pada Tiang Pancang Floating Pile

##### Tanah Soft Clay



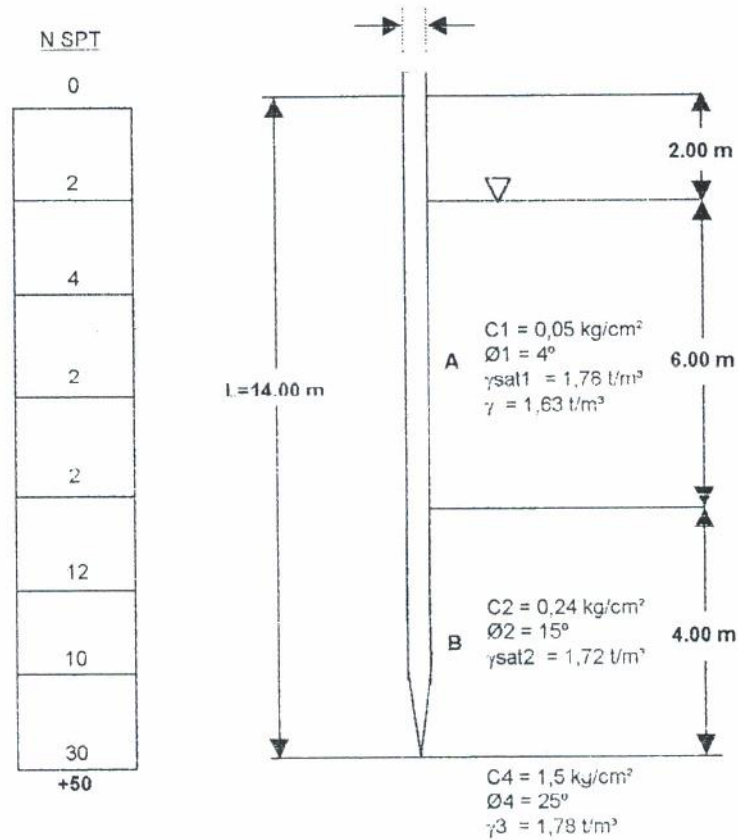
Gambar 4. 11. Lapisan Tanah Soal Dengan Tiang Pancang Floating Pile Tanah Soft Clay

Tabel 4. 8. Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Floating Pile Tanah Soft Clay

| NO   | Standar           |                    |       | Modifikasi        |                    |       |
|------|-------------------|--------------------|-------|-------------------|--------------------|-------|
|      | Daya Dukung Ujung | Daya Dukung Friksi |       | Daya Dukung Ujung | Daya Dukung Friksi |       |
|      |                   | A                  | B     |                   | A                  | B     |
|      | Qe                | Qs                 |       | Qe*               | Qs*                |       |
|      | Kg                | Kg                 | Kg    | Kg                | Kg                 | Kg    |
|      | 14489             | 8214               | 17347 | 25322             | 8045               | 16863 |
|      | 14489             | 25561              |       | 25322             | 24913              |       |
| Qull | 40050             |                    |       | 50235             |                    |       |
| SF   | 3                 |                    |       | 3                 |                    |       |
| Qall | 13350             |                    |       | 16745             |                    |       |

#### 4. 3. 5. Penyelesaian Soal Metode Tomlinson Pada Tiang Pancang End Bearing Pile

Tanah Soft Clay



Gambar 4. 12. Lapisan Tanah Soal Dengan Tiang Pancang End Bearing Pile Tanah Soft Clay

Tabel 4. 9. Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang End Bearing Pile Tanah

Soft Clay

| NO   | Standar           |                    |       | Modifikasi        |                    |       |
|------|-------------------|--------------------|-------|-------------------|--------------------|-------|
|      | Daya Dukung Ujung | Daya Dukung Friksi |       | Daya Dukung Ujung | Daya Dukung Friksi |       |
|      |                   | A                  | B     |                   | A                  | B     |
|      | Qe                | Qs                 |       | Qe*               | Qs*                |       |
|      | Kg                | Kg                 | Kg    | Kg                | Kg                 | Kg    |
|      | 144929            | 8214               | 18291 | 171909            | 8045               | 17981 |
|      | 144929            | 26505              |       | 171909            | 26026              |       |
| Qull | 171434            |                    |       | 197935            |                    |       |
| SF   | 3                 |                    |       | 3                 |                    |       |
| Qall | 57145             |                    |       | 65979             |                    |       |

## BAB V

### KESIMPULAN

Hasil dari pemeriksaan tes triaksial standar dan modifikasi Unconsolidated - Undrained tanah desain dengan pembuatan sample tanah menggunakan metoda yang sama adalah sebagai berikut :

1. Karakteristik tanah yang dipergunakan pada pengujian triaksial standar dan modifikasi adalah pada kondisi Berat Isi Kering Maksimum (  $\gamma_d$  maks ) 1,302 kg/cm<sup>2</sup> dan Kadar Air Optimum (  $\omega_{opt}$  ) 35,5 %. Untuk melihat pengaruh perubahan tiap kenaikan tekanan sel terhadap parameter kuat geser, maka pada tiap-tiap kenaikan tekanan sel pada uji triaksial standar dan modifikasi, properties contoh tanah dibuat mendekati sama.
2. Metoda pengujian triaksial modifikasi adalah dengan menambahkan tekanan sel sebesar 10% , 15%, 20%, 25%, 30% dan 35% dinaikan pada kondisi dari hasil pengujian triaksial standar. Pengaruh dari dinaikan tekanan sel pada tes triaksial mengakibatkan terjadinya perubahan pada Kohesi ( c ) dan Sudut Tahanan Geser tanah ( $\phi$ ).
3. Pada hipotesa penelitian tes Triaksial Unconsolidated - Undrained menyebutkan terjadi perubahan pada parameter kuat geser antara standar dan modifikasi.

Perubahan yang terjadi adalah nilai Kohesi ( $c$ ) mengalami penurunan dan Sudut Tahanan Geser ( $\phi$ ) mengalami kenaikan.

4. Parameter kohesi tanah cenderung turun dengan bertambahnya tekanan sel pada saat pengujian. Penurunan kohesi yang terjadi pada saat penambahan tekanan sel 10% adalah 10%, sedangkan pada saat penambahan tekanan sel 35% adalah 28,6%.
5. Sedangkan sudut tahanan geser mengalami kenaikan akibat penambahan tekanan sel. Kenaikannya pada saat penambahan tekanan sel 10% adalah 11,1%, sedangkan pada saat penambahan tekanan sel 35% adalah 41%.
6. Perubahan yang terjadi adalah penurunan pada nilai Kohesi, yang nilai rata-rata penurunannya sebesar 19,75% dan kenaikan pada Sudut Tahanan Geser yang nilai rata-rata kenaikannya sebesar 30,05%. Kenaikan tekanan sel sangat berpengaruh pada hasil  $c$  dan  $\phi$ .
7. Hasil dari  $c$  dan  $\phi$  standar serta hasil dari  $c^*$  dan  $\phi^*$  modifikasi terhadap aplikasi perhitungan pada pondasi dalam tiang pancang Floating Pile dan End Bearing Pile pada kondisi tanah Stiff Clay dan Soft Clay, juga mempengaruhi hasil daya dukung pada kondisi standar dan modifikasi, seperti dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 5. 1. Perubahan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Tanah Stiff Clay

|                  | Floating Pile    |            | Perubahan | Keterangan |
|------------------|------------------|------------|-----------|------------|
|                  | Standar          | Modifikasi |           |            |
|                  | Kg               | Kg         |           |            |
| Qe               | 33537            | 48017      | 43,18     | Naik       |
| Qs               | 114821           | 109759     | 4,61      | Turun      |
| Q <sub>ult</sub> | 148358           | 157776     | 6,35      | Naik       |
| Q <sub>all</sub> | 49453            | 52592      | 6,35      | Naik       |
|                  | End Bearing Pile |            | Perubahan | Keterangan |
|                  | Standar          | Modifikasi |           |            |
|                  | Kg               | Kg         |           |            |
| Qe               | 186863           | 272440     | 45,8      | Naik       |
| Qs               | 141448           | 135938     | 4,05      | Turun      |
| Q <sub>ult</sub> | 328311           | 4098378    | 24,39     | Naik       |
| Q <sub>all</sub> | 109437           | 136126     | 24,39     | Naik       |

Perubahan parameter  $c^*$  dan  $\phi^*$  ( modifikasi ) yang dipakai pada perhitungan tiang pancang diatas pada kenaikan tekanan sel sebesar 10%, yang terjadi penurunan nilai kohesi sebesar 10% dan kenaikan sudut tahanan geser sebesar 11,1%

Pada tanah stiff clay digunakan data kenaikan tekanan sel sebesar 10% dikarenakan sifat tanah yang mempunyai kadar air yang relatif kecil, sehingga tekanan sel yang ditimbulkan kecil, yang juga tekanan pada tanah sangat dipengaruhi tekanan sel arah lateral dimana koefisien tekanan tanah lateral dipengaruhi oleh  $\phi$ .

Terjadi perubahan dalam hasil perhitungan daya dukung pada tiang pancang yang terjadi. Perubahannya terjadi kenaikan pada daya dukung ultimate, kondisi tanah stiff clay pada floating pile sebesar 6,35% dan pada end bearing pile sebesar 24,39%.

Tabel 5. 2. Perubahan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Tanah Soft Clay

|                  | Floating Pile |            | Perubahan | Keterangan |
|------------------|---------------|------------|-----------|------------|
|                  | Standar       | Modifikasi |           |            |
|                  | Kg            | Kg         |           |            |
| Qe               | 14489         | 25322      | 74,77     | Naik       |
| Qs               | 25561         | 24913      | 2,60      | Turun      |
| Q <sub>ult</sub> | 40050         | 50235      | 25,43     | Naik       |
| Q <sub>all</sub> | 13350         | 16745      | 25,43     | Naik       |

|                  | End Bearing Pile |            | Perubahan | Keterangan |
|------------------|------------------|------------|-----------|------------|
|                  | Standar          | Modifikasi |           |            |
|                  | Kg               | Kg         |           |            |
| Qe               | 144929           | 171909     | 18,62     | Naik       |
| Qs               | 26505            | 26026      | 1,84      | Turun      |
| Q <sub>ult</sub> | 171434           | 197935     | 15,46     | Naik       |
| Q <sub>all</sub> | 57145            | 65979      | 15,46     | Naik       |

Dalam perhitungan diatas digunakan hasil kohesi dan sudut tahanan geser rata-rata. Pada kohesi terjadi penurunan rata-rata sebesar 19,75% dan pada kenaikan rata-rata sudut tahanan geser tanah sebesar 30,05%.

Data tersebut diambil dikarenakan sifat tanah yang soft, sehingga besarnya kadar air tanah mengakibatkan besarnya tekanan lateral pada tanah. Koefisien tekanan tanah lateral sangat dipengaruhi oleh  $\phi$ , sehingga apabila tanah mendekati keadaan cair akibat besarnya kadar air maka nilai koefisien tekanan tanah lateral mendekati 1.

Terjadi perubahan dalam hasil perhitungan daya dukung pada tiang pancang yang terjadi. Perubahannya terjadi kenaikan pada daya dukung ultimate, kondisi tanah soft clay pada floating pile sebesar 25,43% dan pada end bearing pile sebesar 15,46%.

Pada perhitungan tiang pancang floating pile dan end bearing pile pada kondisi tanah stiff clay dan soft clay yang dihitung dengan hasil  $c$  dan  $\phi$  standar dan modifikasi, terlihat bahwa terjadi perubahan pada hasil yang didapat. Perubahan yang terjadi adalah

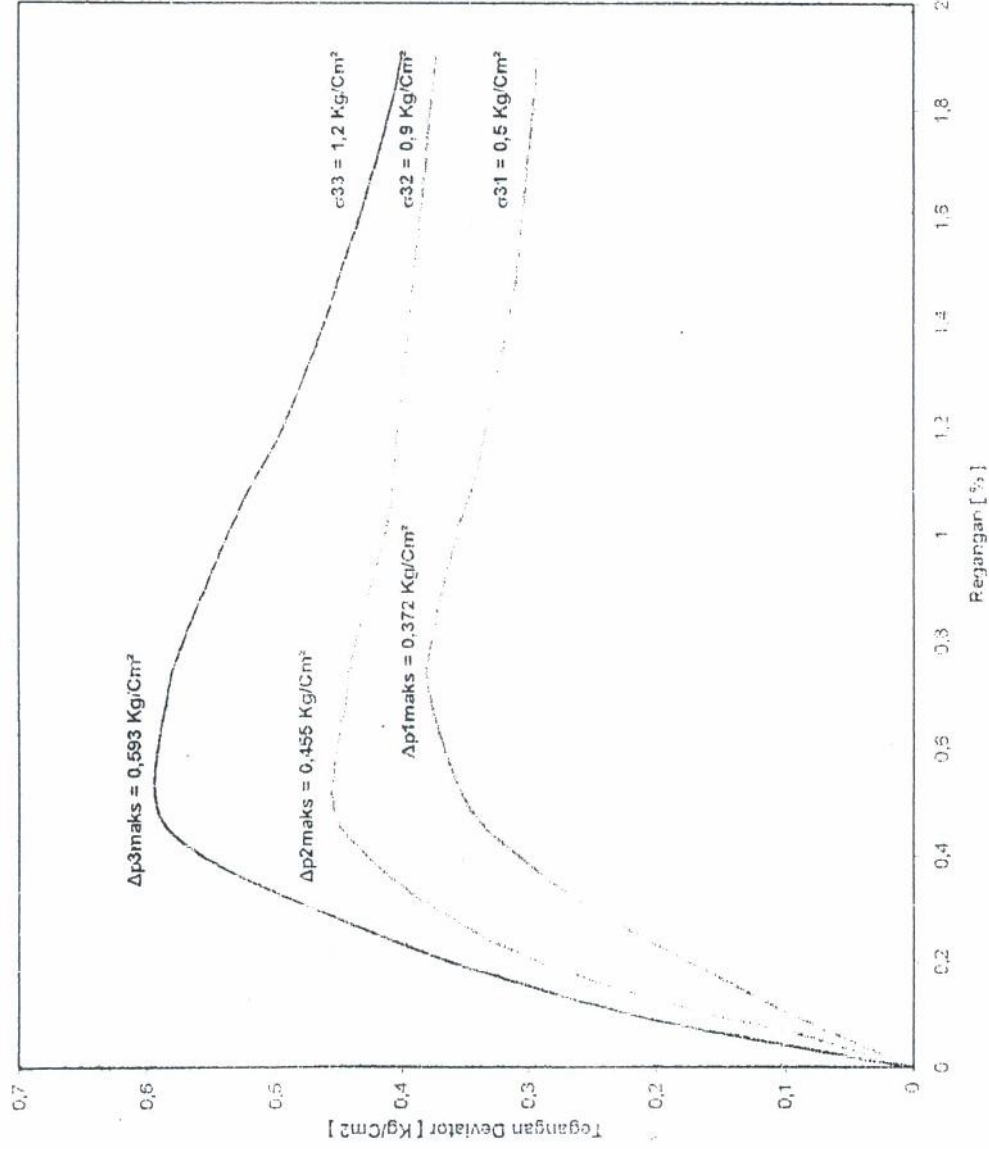
kenaikan hasil daya dukung ujung dan daya dukung ultimate, tetapi terjadi penurunan pada daya dukung friksi.

Walaupun dalam perhitungan terjadi penurunan pada perhitungan daya dukung friksi, akan tetapi hasil daya dukung ultimate tetap mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan sudut tahanan geser lebih mempengaruhi keadaan suatu kondisi tanah.

Dengan hasil yang demikian maka dapat disimpulkan bahwa dengan memperhatikan kenaikan tekanan sel akibat beban yang bekerja di atasnya akan mendapatkan hasil perhitungan perencanaan yang lebih baik dan mendekati keadaan sebenarnya di lapangan. Hal ini dapat dilihat terjadinya kenaikan daya dukung pondasi tiang pancang pada kondisi c dan Ø modifikasi.

LAMPIRAN

# HASIL TRIAKSIAL STANDAR UNTUK RENCANA KENAIKAN TEKANAN SEL 10% TRIAKSIAL MODIFIKASI



Grafik Lampiran 1. a. Grafik Hubungan Regangan Dengan Tegangan Deviator  
( Rencana Kenaikan Tekanan Sel 10% )

Keterangan :

- o  $\Delta p$  = Tegangan Deviator Standar  
= Kg/Cm<sup>2</sup>
- o  $\sigma_3$  = Tekanan Sel Standar  
= Kg/Cm<sup>2</sup>
- o  $\epsilon$  = Regangan  
= %
- o  $\sigma_1$  =  $\sigma_3 + \Delta p$   
= Kg/Cm<sup>2</sup>

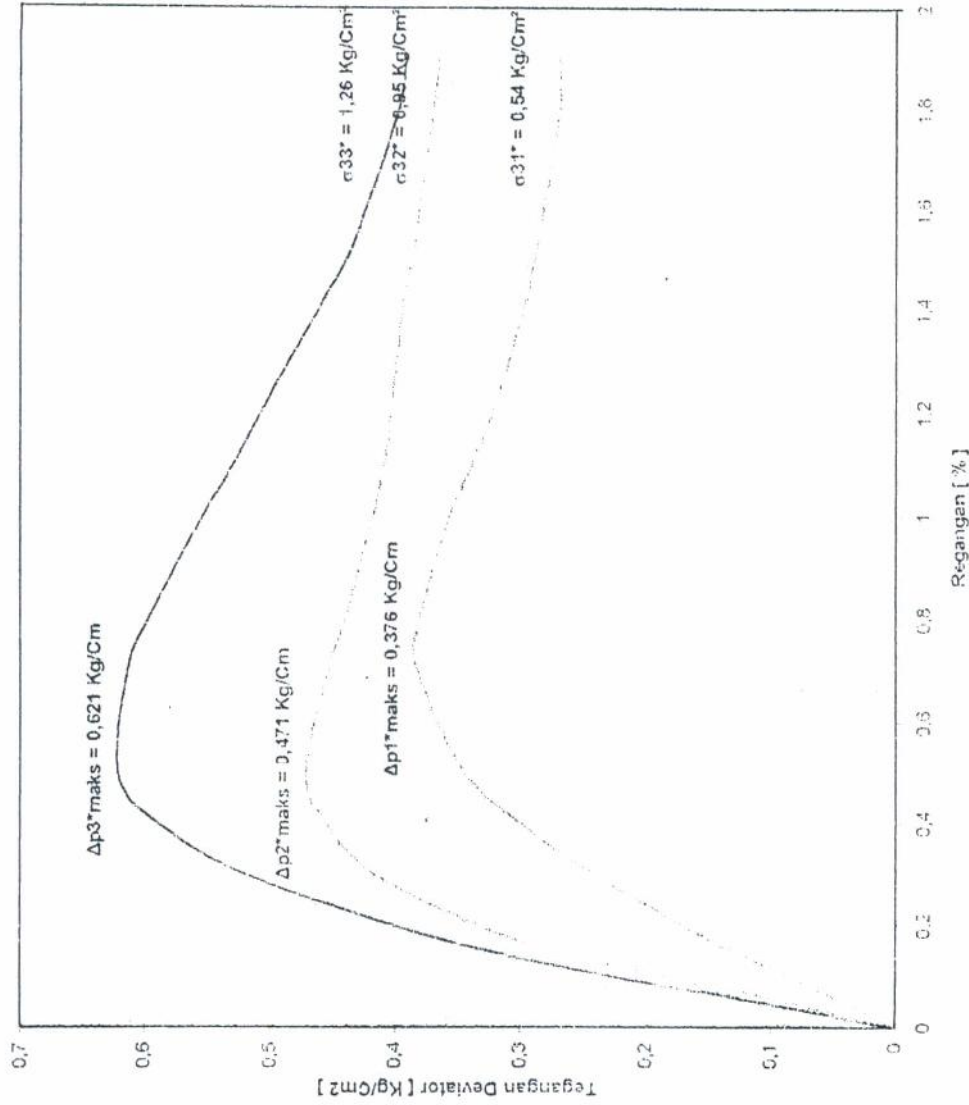
- $\sigma_{11maks}$  =  $\sigma_{31} + \Delta p_{1maks}$   
=  $0,5 + 0,372$   
=  $0,872 \text{ Kg/Cm}^2$
- $\sigma_{12maks}$  =  $\sigma_{32} + \Delta p_{2maks}$   
=  $0,9 + 0,455$   
=  $1,355 \text{ Kg/Cm}^2$
- $\sigma_{13maks}$  =  $\sigma_{33} + \Delta p_{3maks}$   
=  $1,2 + 0,593$   
=  $1,793 \text{ Kg/Cm}^2$

# HASIL TRIAKSIAL MODIFIKASI PADA KENAIKAN TEKANAN SEL 10%

Keterangan :

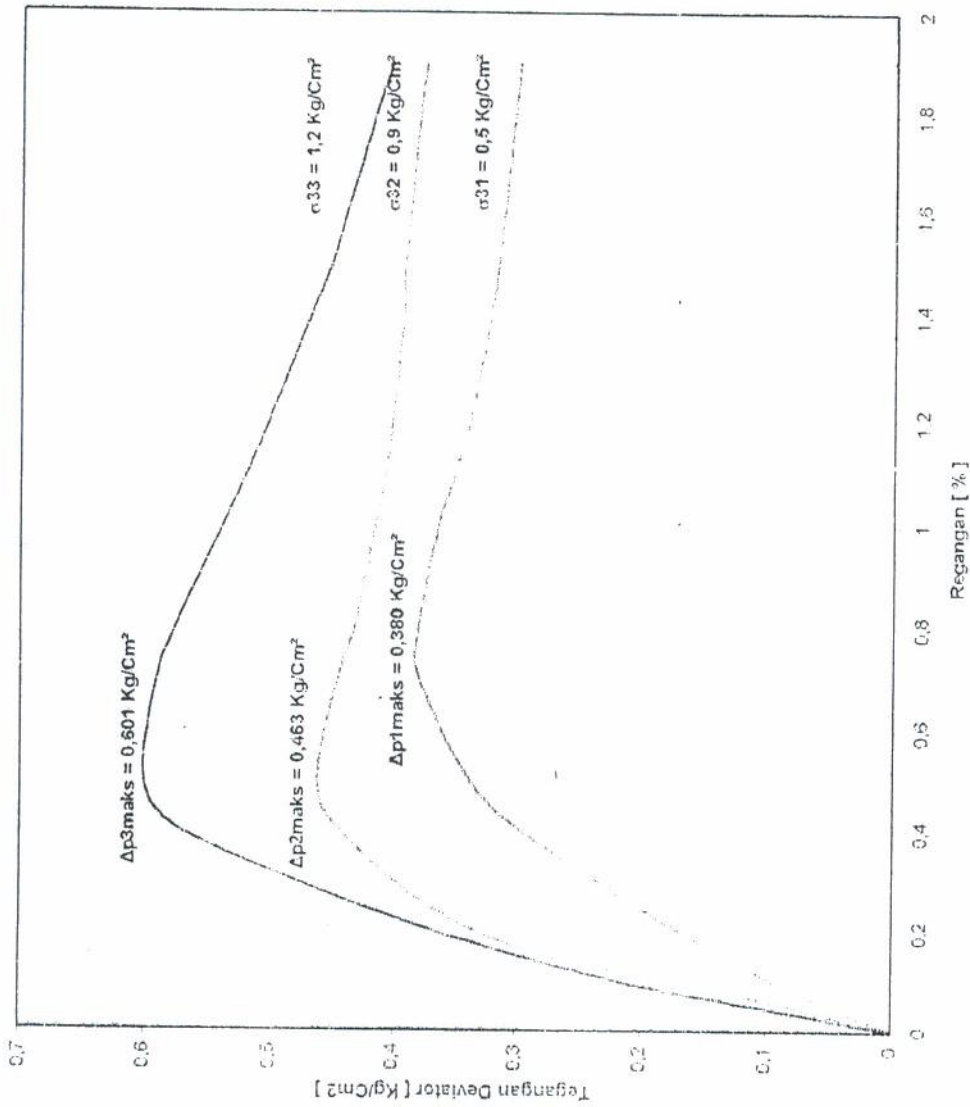
- o  $\Delta p^*$  = Tegangan Deviator Modifikasi  
= Kg/Cm<sup>2</sup>
- o  $\sigma_3^*$  = Tekanan Sel Modifikasi  
= Kg/Cm<sup>2</sup>
- o  $\varepsilon$  = Regangan  
= %
- o  $\sigma_1^*$  =  $\sigma_3^* + \Delta p^*$   
= Kg/Cm<sup>2</sup>

- $\sigma_{11}^* \text{maks}$  =  $\sigma_{31}^* + \Delta p_{11}^* \text{maks}$   
= 0,54 + 0,376  
= 0,916 Kg/Cm<sup>2</sup>.
- $\sigma_{12}^* \text{maks}$  =  $\sigma_{32}^* + \Delta p_{12}^* \text{maks}$   
= 0,95 + 0,471  
= 1,421 Kg/Cm<sup>2</sup>.
- $\sigma_{13}^* \text{maks}$  =  $\sigma_{33}^* + \Delta p_{13}^* \text{maks}$   
= 1,26 + 0,621  
= 1,881 Kg/Cm<sup>2</sup>.



Grafik Lampiran 1. b. Grafik Hubungan Regangan Dengan Tegangan Deviator  
Pada Kenaikan Tekanan Sel 10%

# HASIL TRIAKSIAL STANDAR UNTUK RENCANA KENAIKAN TEKANNAN SEL 15% TRIAKSIAL MODIFIKASI

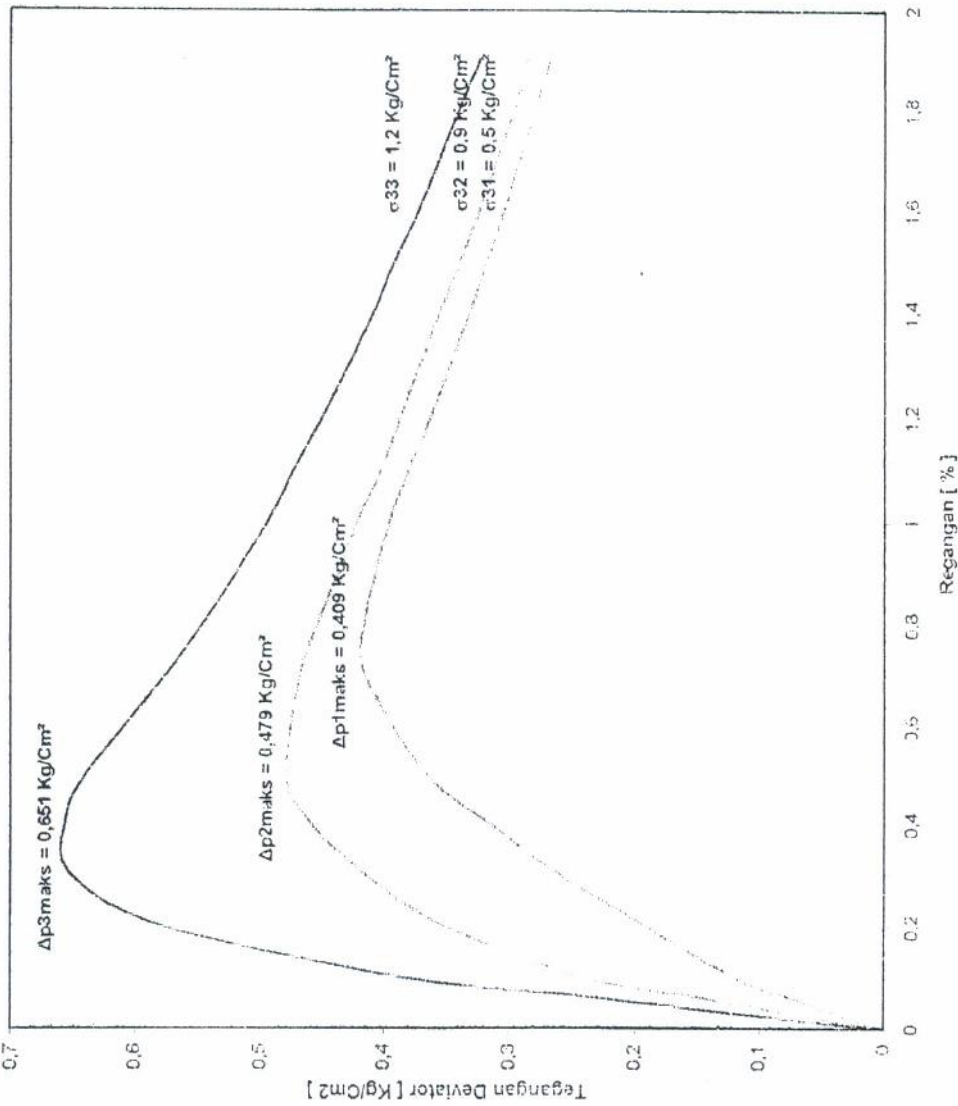


Keterangan :

- $\Delta p$  = Tegangan Deviator Standar  
= Kg/Cm<sup>2</sup>
- $\sigma_3$  = Tekanan Sel Standar  
= Kg/Cm<sup>2</sup>
- $\epsilon$  = Regangan  
= %
- $\sigma_1$  =  $\sigma_3 + \Delta p$   
= Kg/Cm<sup>2</sup>

- $\sigma_{11maks} = \sigma_{31} + \Delta p_{1maks}$   
=  $0,5 + 0,380$   
=  $0,880 \text{ Kg/Cm}^2$ .
- $\sigma_{12maks} = \sigma_{32} + \Delta p_{2maks}$   
=  $0,9 + 0,463$   
=  $1,363 \text{ Kg/Cm}^2$ .
- $\sigma_{13maks} = \sigma_{33} + \Delta p_{3maks}$   
=  $1,2 + 0,601$   
=  $1,801 \text{ Kg/Cm}^2$ .

Grafik Lampiran 2. a. Grafik Hubungan Regangan Dengan Tegangan Deviator  
( Rencana Kenaikan Tekanan Sel 15% )



Grafik Lampiran 3. a. Grafik Hubungan Regangan Dengan Tegangan Deviator  
( Rencana Kenaikan Tekanan Sel 20% )

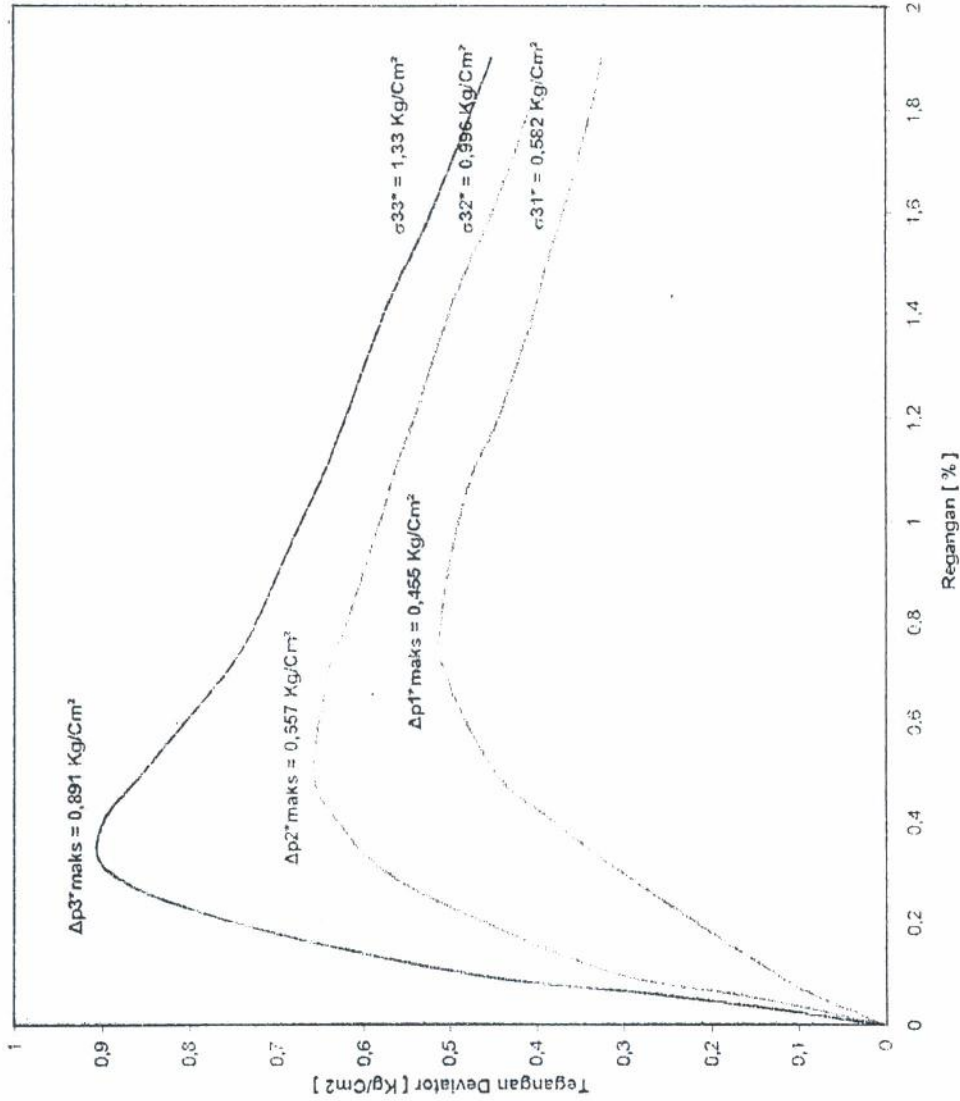
### HASIL TRIAKSIAL STANDAR UNTUK RENCANA KENAIKAN TEKANA SEL 20% TRIAKSIAL MODIFIKASI

|              |                                                     |
|--------------|-----------------------------------------------------|
| Keterangan : |                                                     |
| o $\Delta p$ | = Tegangan Deviator Standar<br>= Kg/Cm <sup>2</sup> |
| o $\sigma_3$ | = Tekanan Sel Standar<br>= Kg/Cm <sup>2</sup>       |
| o $\epsilon$ | = Regangan<br>= %                                   |
| o $\sigma_1$ | = $\sigma_3 + \Delta p$<br>= Kg/Cm <sup>2</sup>     |

|                     |                                                                                    |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| • $\sigma_{11maks}$ | = $\sigma_{31} + \Delta p_{1maks}$<br>= $0,5 + 0,409$<br>= $0,909 \text{ Kg/Cm}^2$ |
| • $\sigma_{12maks}$ | = $\sigma_{32} + \Delta p_{2maks}$<br>= $0,9 + 0,479$<br>= $1,379 \text{ Kg/Cm}^2$ |
| • $\sigma_{13maks}$ | = $\sigma_{33} + \Delta p_{3maks}$<br>= $1,2 + 0,651$<br>= $1,851 \text{ Kg/Cm}^2$ |

# HASIL TRIAKSIAL MODIFIKASI PADA KENAIKAN TEKANAN SEL 20%

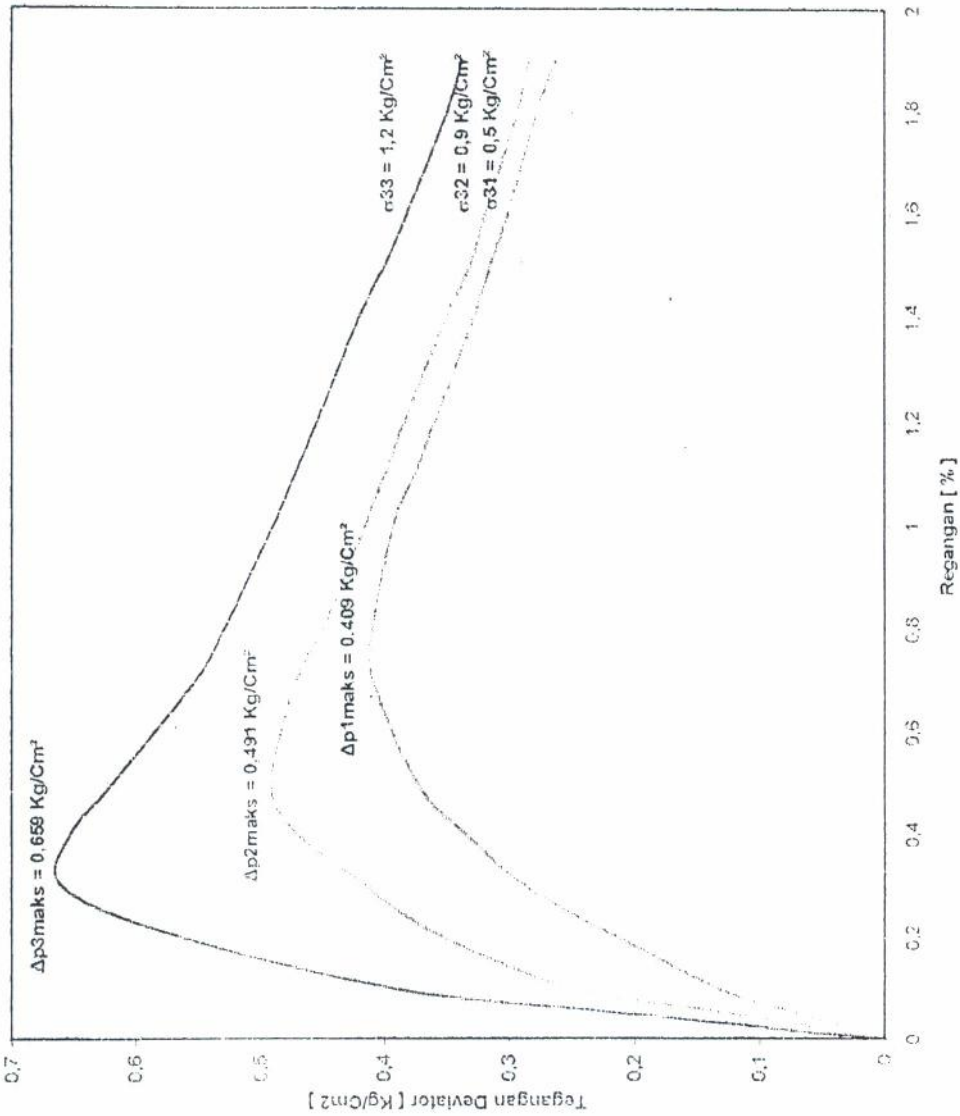


Keterangan :

- $\Delta p^*$  = Tegangan Deviator Modifikasi  
= Kg/Cm<sup>2</sup>
- $\sigma 3^*$  = Tekanan Sel Modifikasi  
= Kg/Cm<sup>2</sup>
- $\epsilon$  = Regangan  
= %
- $\sigma 1^*$  =  $\sigma 3^* + \Delta p^*$   
= Kg/Cm<sup>2</sup>

- $\sigma 11^* \text{ maks} = \sigma 31^* + \Delta p1^* \text{ maks}$   
= 0,582 + 0,455  
= 1,092 Kg/Cm<sup>2</sup>.
- $\sigma 12^* \text{ maks} = \sigma 32^* + \Delta p2^* \text{ maks}$   
= 0,996 + 0,657  
= 1,653 Kg/Cm<sup>2</sup>.
- $\sigma 13^* \text{ maks} = \sigma 33^* + \Delta p3^* \text{ maks}$   
= 1,33 + 0,891  
= 2,221 Kg/Cm<sup>2</sup>.

Grafik Lampiran 3. b. Grafik Hubungan Regangan Dengan Tegangan Deviator  
Pada Kenaikan Tekanan Sel 20%



# HASIL TRIAKSIAL STANDAR UNTUK RENCANA KENAIKAN TEKATAN SEL 25% TRIAKSIAL MODIFIKASI

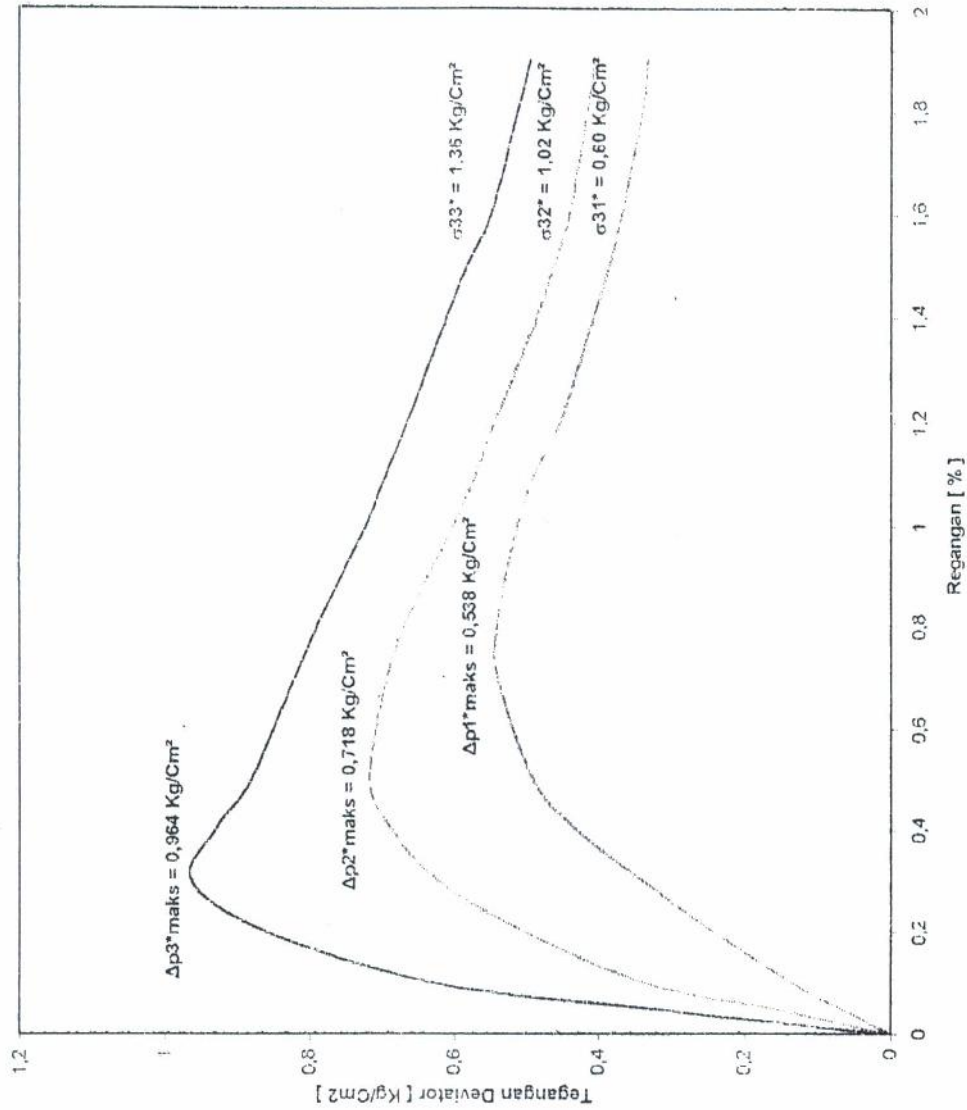
|                |                                                     |
|----------------|-----------------------------------------------------|
| Keterangan :   |                                                     |
| Δp             | = Tegangan Deviator Standar<br>= Kg/Cm <sup>2</sup> |
| σ <sub>3</sub> | = Tekanan Sel Standar<br>= Kg/Cm <sup>2</sup>       |
| ε              | = Regangan<br>= %                                   |
| σ <sub>1</sub> | = σ <sub>3</sub> + Δp<br>= Kg/Cm <sup>2</sup>       |

|                     |                                                                                          |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| σ <sub>11maks</sub> | = σ <sub>31</sub> + Δp <sub>1maks</sub><br>= 0,5 + 0,409<br>= 0,909 Kg/Cm <sup>2</sup> . |
| σ <sub>12maks</sub> | = σ <sub>32</sub> + Δp <sub>2maks</sub><br>= 0,9 + 0,491<br>= 1,391 Kg/Cm <sup>2</sup> . |
| σ <sub>13maks</sub> | = σ <sub>33</sub> + Δp <sub>3maks</sub><br>= 1,2 + 0,659<br>= 1,859 Kg/Cm <sup>2</sup> . |

Grafik Lampiran 4. a. Grafik Hubungan Regangan Dengan Tegangan Deviator  
( Rencana Kenaikan Tekanan Sel 25% )

# HASIL TRIAKSIAL MODIFIKASI PADA KENAIKAN TEKAMAN SEL 25%



Keterangan :

- $\Delta p^*$  = Tegangan Deviator Modifikasi  
= Kg/Cm<sup>2</sup>
- $\sigma^*$  = Tekanan Sel Modifikasi  
= Kg/Cm<sup>2</sup>
- $\varepsilon$  = Regangan  
= %
- $\sigma_1^*$  =  $\sigma_3^* + \Delta p^*$   
= Kg/Cm<sup>2</sup>

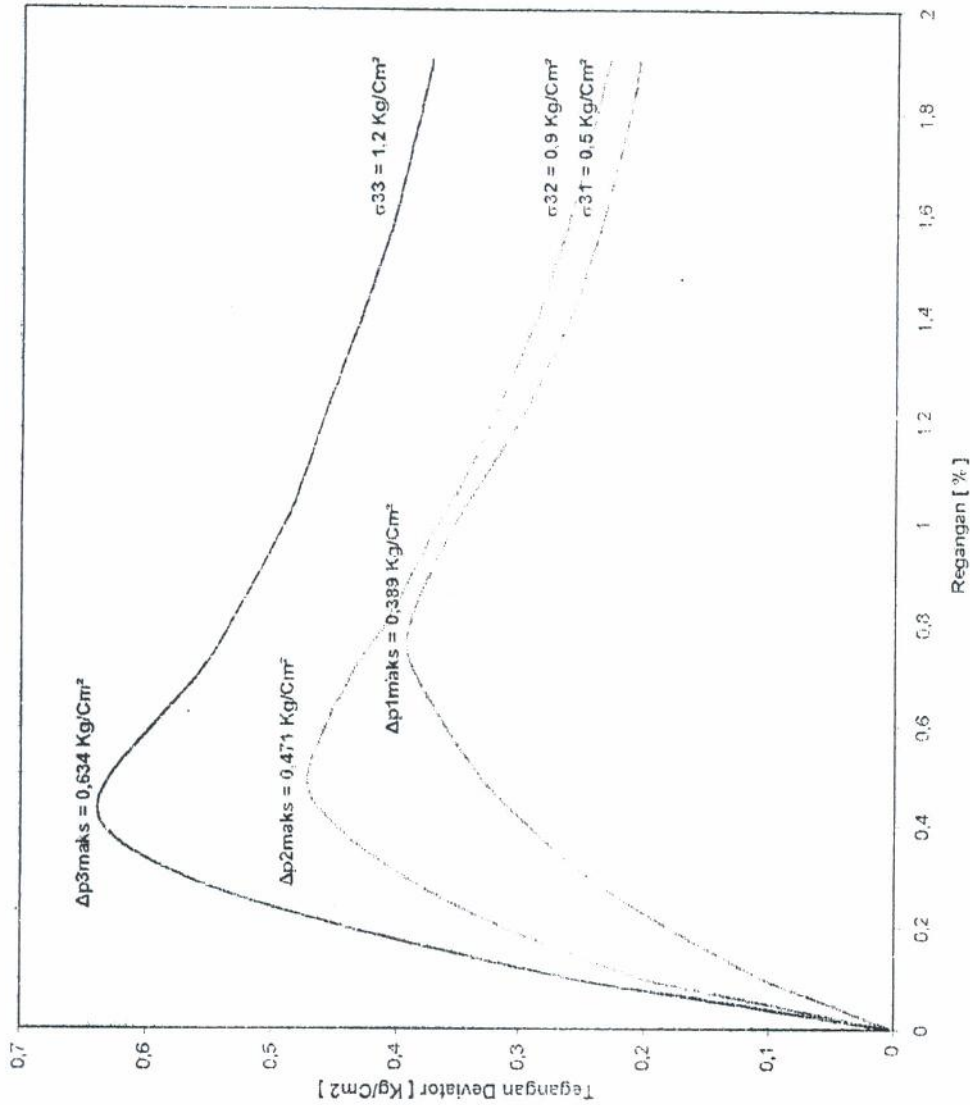
- $\sigma_{11}^* \text{ maks} = \sigma_{31}^* + \Delta p_1^* \text{ maks}$   
= 0,60 + 0,538  
= 1,138 Kg/Cm<sup>2</sup>.
- $\sigma_{12}^* \text{ maks} = \sigma_{32}^* + \Delta p_2^* \text{ maks}$   
= 1,02 + 0,718  
= 1,738 Kg/Cm<sup>2</sup>.
- $\sigma_{13}^* \text{ maks} = \sigma_{33}^* + \Delta p_3^* \text{ maks}$   
= 1,36 + 0,964  
= 2,324 Kg/Cm<sup>2</sup>.

Grafik Lampiran 4. b. Grafik Hubungan Regangan Dengan Tegangan Deviator Pada Kenaikan Tekanan Sel 25%

# HASIL TRIAKSIAL STANDAR UNTUK RENCANA KENAIKAN TEKANAN SEL 30% TRIAKSIAL MODIFIKASI

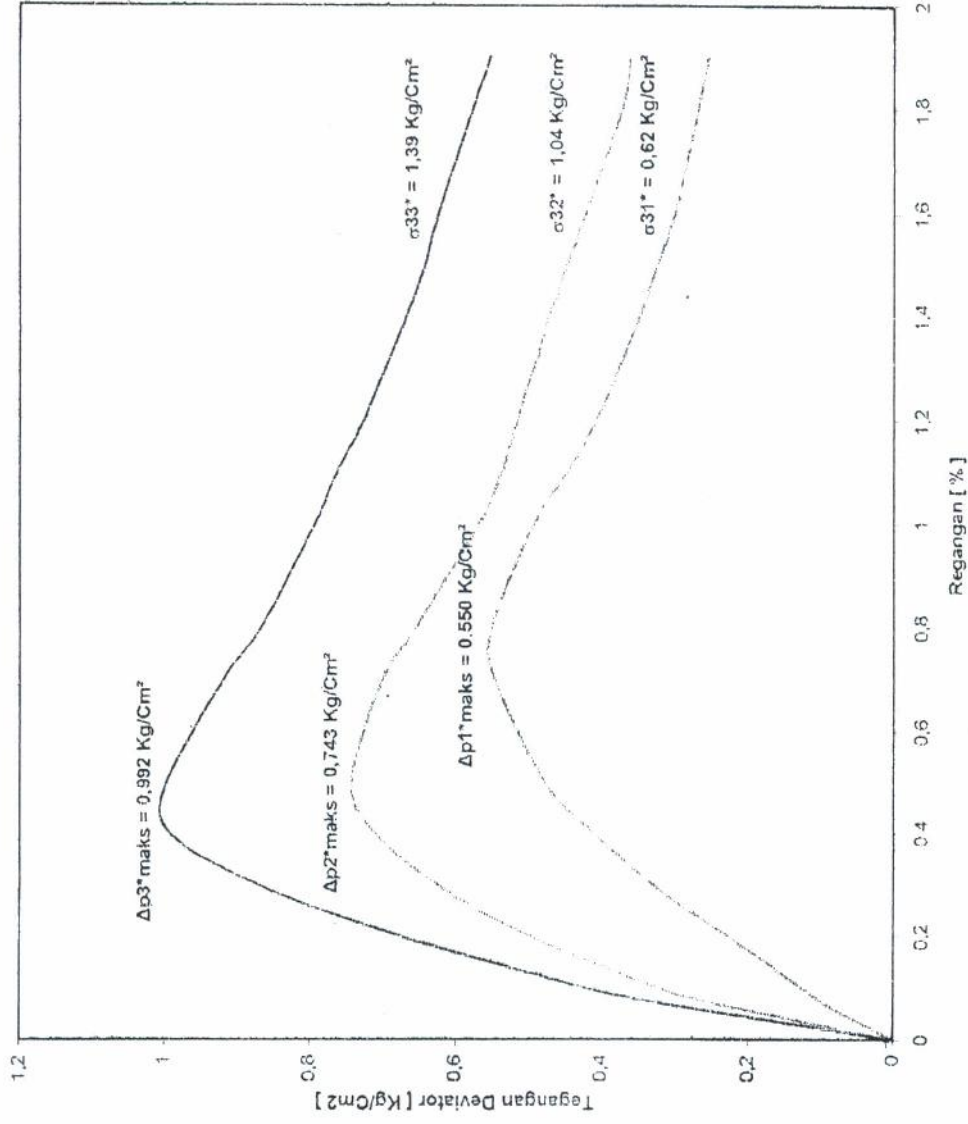
|              |                                                     |
|--------------|-----------------------------------------------------|
| Keterangan : |                                                     |
| o $\Delta p$ | = Tegangan Deviator Standar<br>= Kg/Cm <sup>2</sup> |
| o $\sigma_3$ | = Tekanan Sel Standar<br>= Kg/Cm <sup>2</sup>       |
| o $\epsilon$ | = Regangan<br>= %                                   |
| o $\sigma_1$ | = $\sigma_3 + \Delta p$<br>= Kg/Cm <sup>2</sup>     |

|                     |                                                                                    |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| • $\sigma_{11maks}$ | = $\sigma_{31} + \Delta p_{1maks}$<br>= $0,5 + 0,389$<br>= $0,889 \text{ Kg/Cm}^2$ |
| • $\sigma_{12maks}$ | = $\sigma_{32} + \Delta p_{2maks}$<br>= $0,9 + 0,471$<br>= $1,371 \text{ Kg/Cm}^2$ |
| • $\sigma_{13maks}$ | = $\sigma_{33} + \Delta p_{3maks}$<br>= $1,2 + 0,634$<br>= $1,834 \text{ Kg/Cm}^2$ |



Grafik Lampiran 5. a. Grafik Hubungan Regangan Dengan Tegangan Deviator  
( Rencana Kenaikan Tekanan Sel 30% )

# HASIL TRIAKSIAL MODIFIKASI PADA KENAIKAN TEKANAN SEL 30%



|              |                                |
|--------------|--------------------------------|
| Keterangan : |                                |
| Δp*          | = Tegangan Deviator Modifikasi |
|              | = Kg/Cm²                       |
| σ3*          | = Tekanan Sel Modifikasi       |
|              | = Kg/Cm²                       |
| ε            | = Regangan                     |
|              | = %                            |
| σ1*          | = σ3* + Δp*                    |
|              | = Kg/Cm²                       |

|            |                   |
|------------|-------------------|
| • σ11*maks | = σ31* + Δp1*maks |
|            | = 0,62 + 0,550    |
|            | = 1,170 Kg/Cm².   |
| • σ12*maks | = σ32* + Δp2*maks |
|            | = 1,04 + 0,743    |
|            | = 1,783 Kg/Cm².   |
| • σ13*maks | = σ33* + Δp3*maks |
|            | = 1,39 + 0,992    |
|            | = 2,382 Kg/Cm².   |

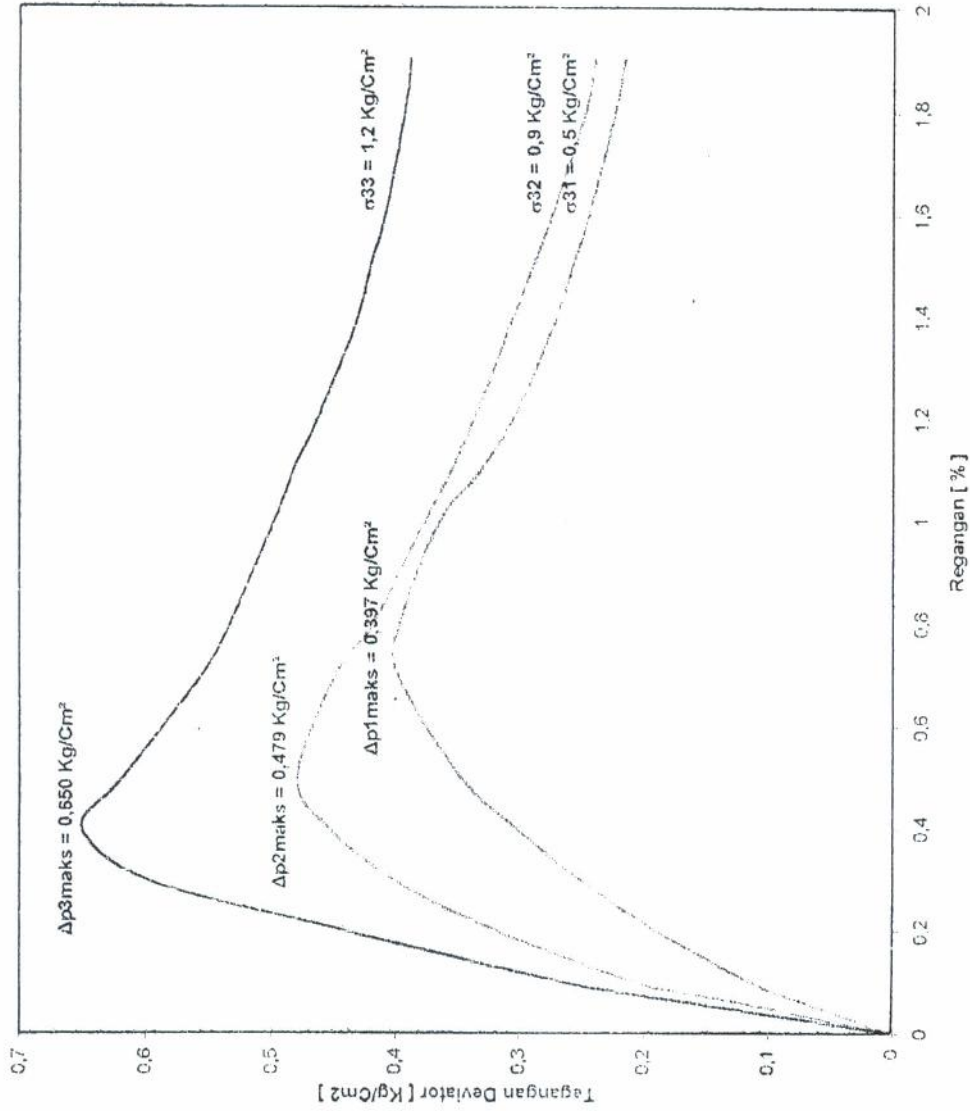
Grafik Lampiran 5. b. Grafik Hubungan Regangan Dengan Tegangan Deviator Pada Kenaikan Tekanan Sel 30%

# HASIL TRIAKSIAL STANDAR UNTUK RENCANA KENAIKAN TEKINAN SEL 35% TRIAKSIAL MODIFIKASI

Keterangan :

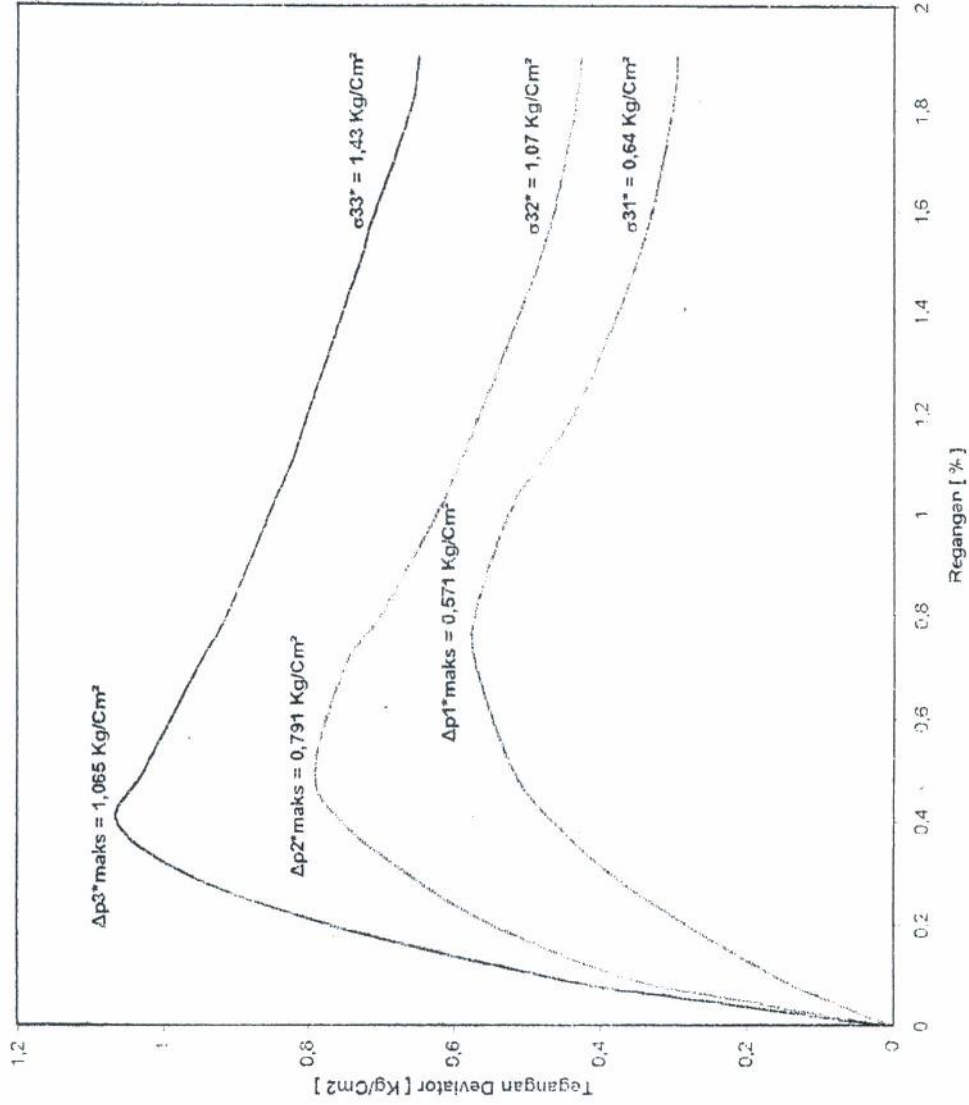
- o  $\Delta p$  = Tegangan Deviator Standar  
= Kg/Cm<sup>2</sup>
- o  $\sigma_3$  = Tekanan Sel Standar  
= Kg/Cm<sup>2</sup>
- o  $\epsilon$  = Regangan  
= %
- o  $\sigma_1$  =  $\sigma_3 + \Delta p$   
= Kg/Cm<sup>2</sup>

- $\sigma_{11maks}$  =  $\sigma_{31} + \Delta p_{1maks}$   
= 0,5 + 0,397  
= 0,897 Kg/Cm<sup>2</sup>.
- $\sigma_{12maks}$  =  $\sigma_{32} + \Delta p_{2maks}$   
= 0,9 + 0,479  
= 1,379 Kg/Cm<sup>2</sup>.
- $\sigma_{13maks}$  =  $\sigma_{33} + \Delta p_{3maks}$   
= 1,2 + 0,650  
= 1,850 Kg/Cm<sup>2</sup>.



Grafik Lampiran 6. a. Grafik Hubungan Regangan Dengan Tegangan Deviator  
( Rencana Kenaikan Tekanan Sel 35% )

# HASIL TRIAKSIAL MODIFIKASI PADA KENAIKAN TEKANAN SEL 35%

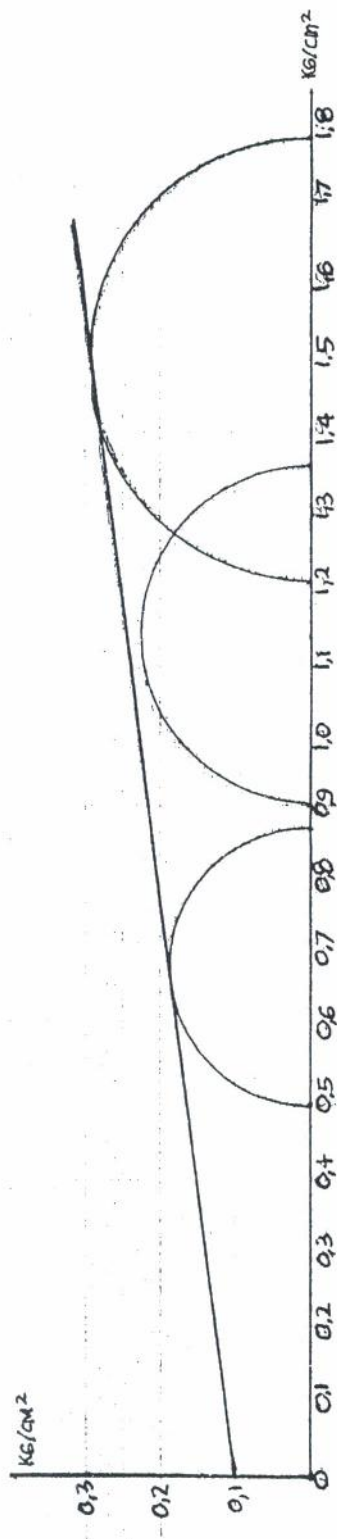


Keterangan :

|                |                                |
|----------------|--------------------------------|
| o $\Delta p^*$ | = Tegangan Deviator Modifikasi |
|                | = Kg/Cm <sup>2</sup>           |
| o $\sigma^*$   | = Tekanan Sel Modifikasi       |
|                | = Kg/Cm <sup>2</sup>           |
| o $\epsilon$   | = Regangan                     |
|                | = %                            |
| o $\sigma 1^*$ | = $\sigma 3^* + \Delta p^*$    |
|                | = Kg/Cm <sup>2</sup>           |

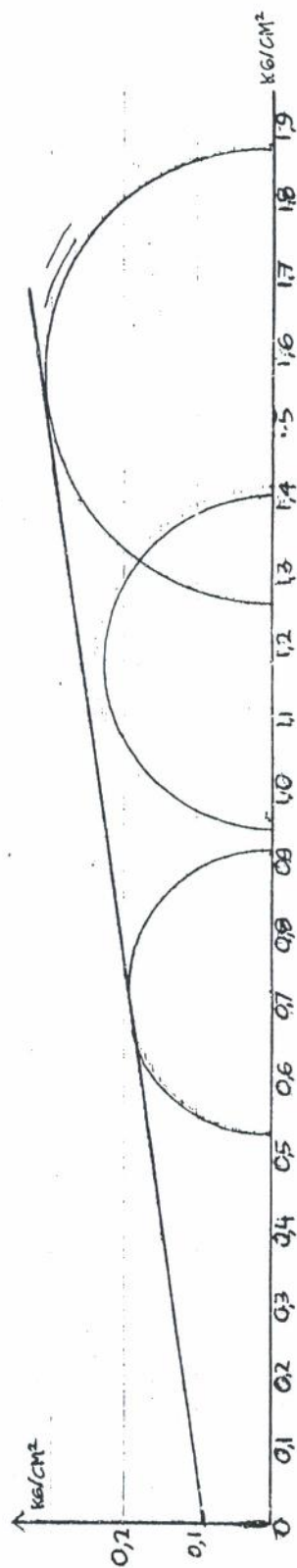
|                        |                                      |
|------------------------|--------------------------------------|
| • $\sigma 11^*_{maks}$ | = $\sigma 31^* + \Delta p1^*_{maks}$ |
|                        | = $0,64 + 0,571$                     |
|                        | = $1,211 \text{ Kg/Cm}^2$            |
| • $\sigma 12^*_{maks}$ | = $\sigma 32^* + \Delta p2^*_{maks}$ |
|                        | = $1,07 + 0,791$                     |
|                        | = $1,861 \text{ Kg/Cm}^2$            |
| • $\sigma 13^*_{maks}$ | = $\sigma 33^* + \Delta p3^*_{maks}$ |
|                        | = $1,43 + 1,065$                     |
|                        | = $2,495 \text{ Kg/Cm}^2$            |

Grafik Lampiran 6. b. Grafik Hubungan Regangan Dengan Tegangan Deviator  
Pada Kenaikan Tekanan Sel 35%



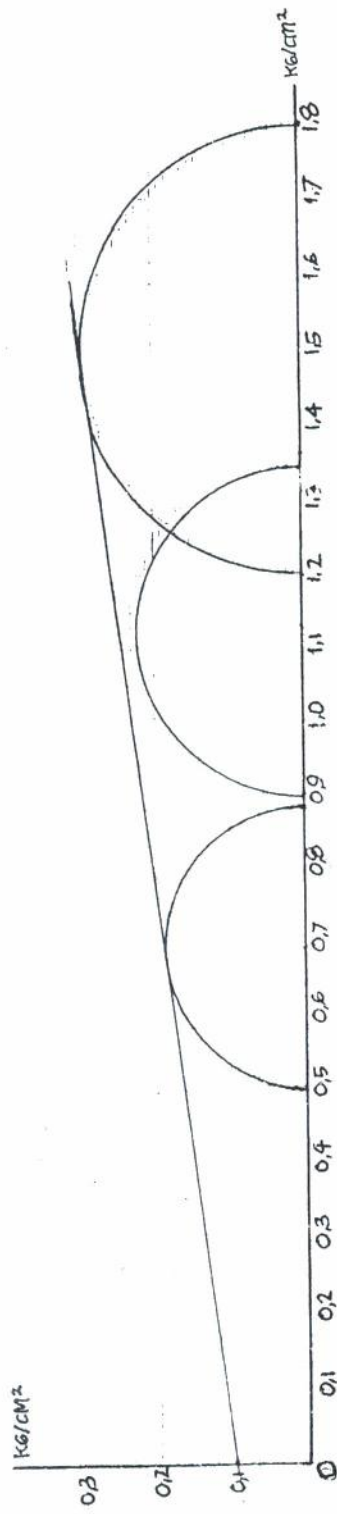
Gambar Lampiran 1. Grafik Mohr-Coulomb Standar ( Rencana Kenaikan Tekanan Sel 10% )

Keterangan :  $C = 0,10 \text{ Kg/Cm}^2$  ;  $\phi = 7,58^\circ$



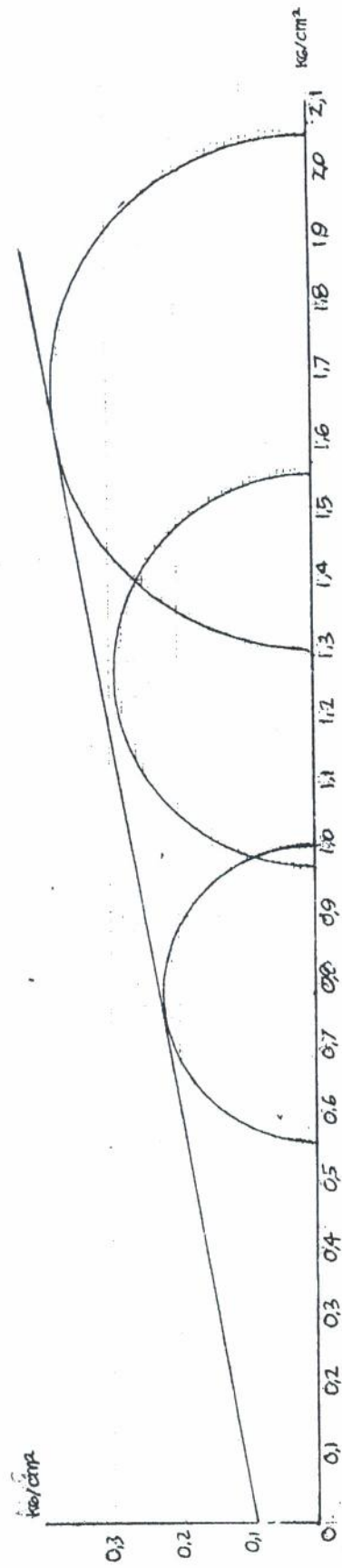
Gambar Lampiran 2. Grafik Mohr-Coulomb Modifikasi Kenaikan Tekanan Sel 10%

Keterangan :  $C^* = 0,09 \text{ Kg/Cm}^2$  ;  $\phi^* = 8,59^\circ$



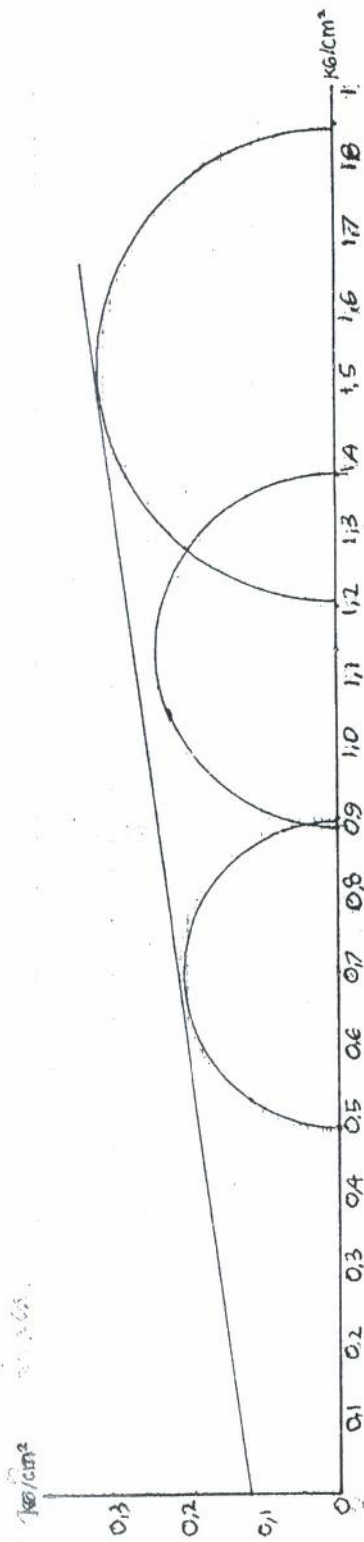
Gambar Lampiran 3. Grafik Mohr-Coulomb Standar ( Rencana Kenaikan Tekanan Sel 15% )

Keterangan :  $C = 0,10 \text{ Kg/Cm}^2$  ;  $\phi = 7,13^\circ$



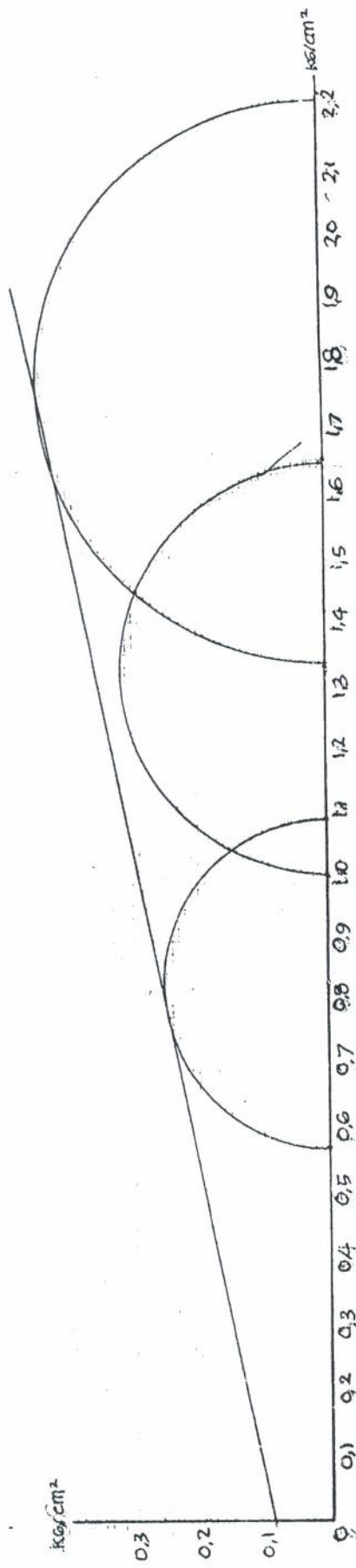
Gambar Lampiran 4. Grafik Mohr-Coulomb Modifikasi Kenaikan Tekanan Sel 15%

Keterangan :  $C^* = 0,09 \text{ Kg/Cm}^2$  ;  $\phi^* = 10,08^\circ$



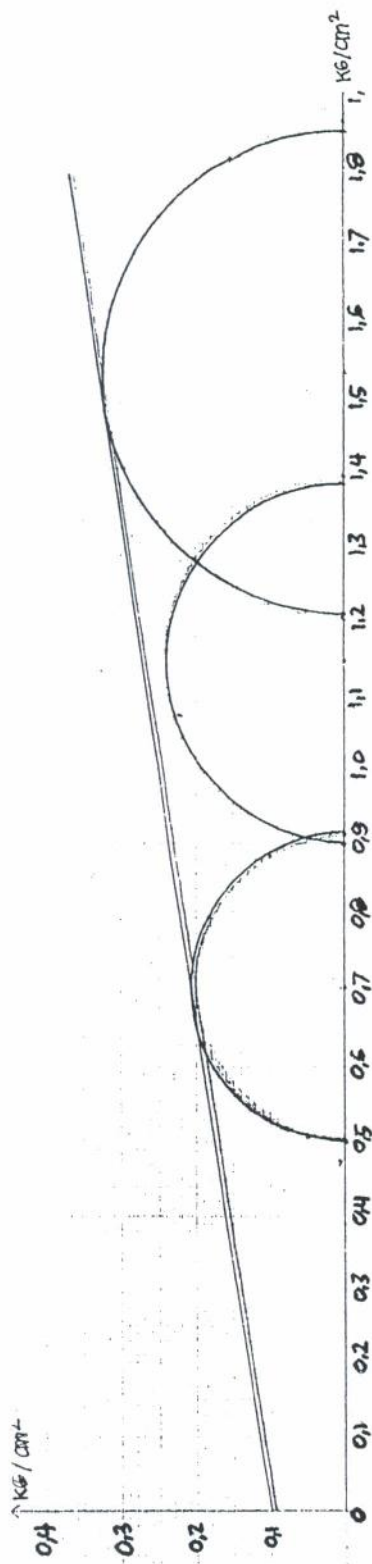
Gambar Lampiran 5. Grafik Mohr-Coulomb Standar ( Rencana Kenaikan Tekanan Sel 20% )

Keterangan :  $C = 0,12 \text{ Kg/Cm}^2$  ;  $\phi = 7,39^\circ$



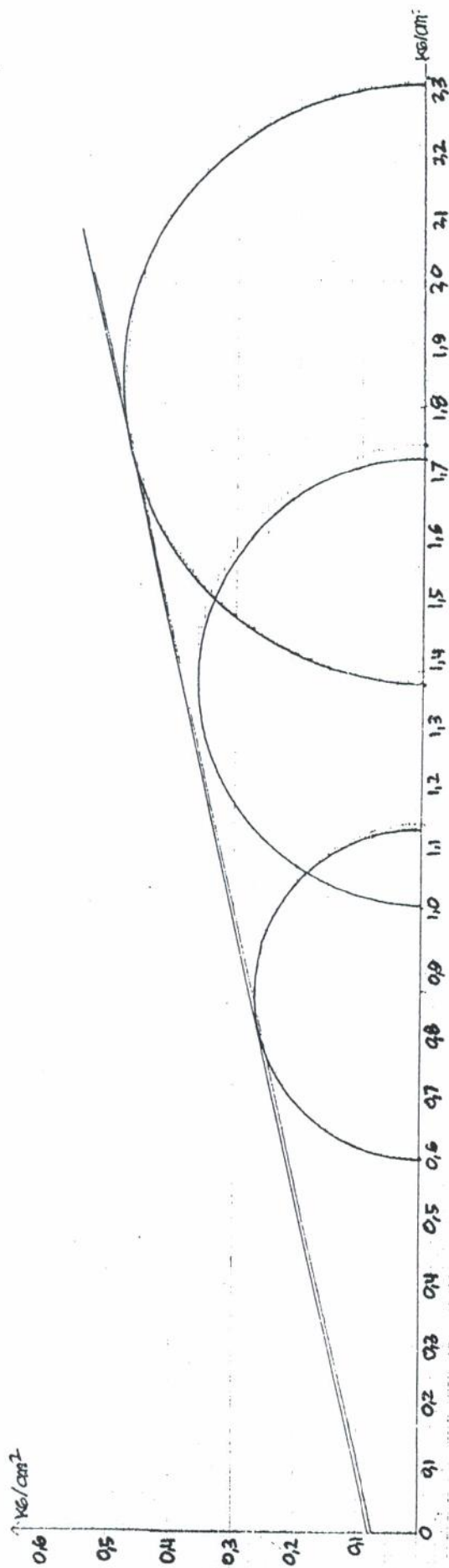
Gambar Lampiran 6. Grafik Mohr-Coulomb Modifikasi Kenaikan Tekanan Sel 20%

Keterangan :  $C^* = 0,09 \text{ Kg/Cm}^2$  ;  $\phi^* = 11,31^\circ$



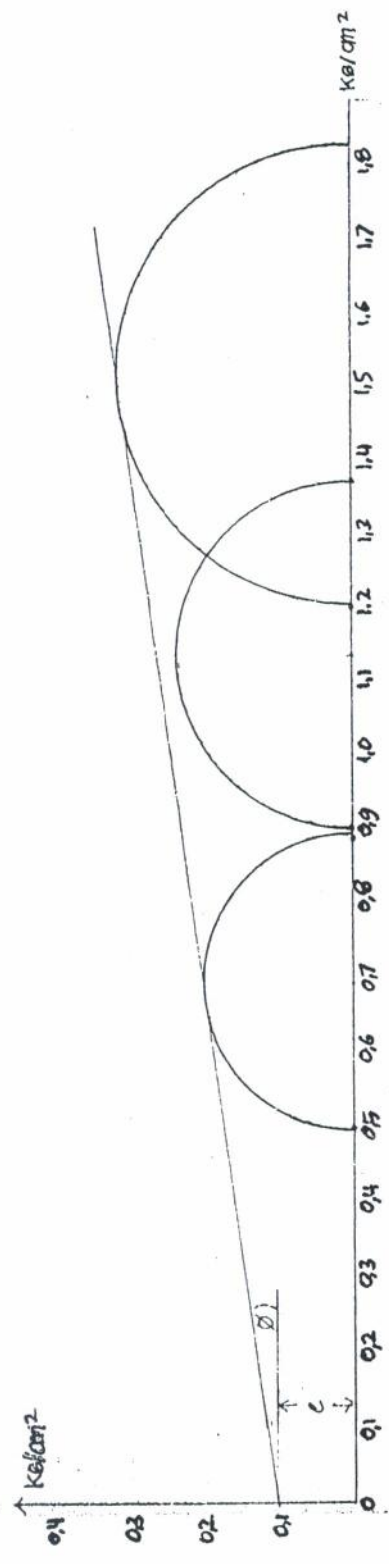
Gambar Lampiran 7. Grafik Mohr-Coulomb Standar ( Rencana Kenaikan Tekanan Sel 25% )

Keterangan :  $C = 0,095 \text{ Kg/Cm}^2$  ;  $\phi = 9,93^\circ$



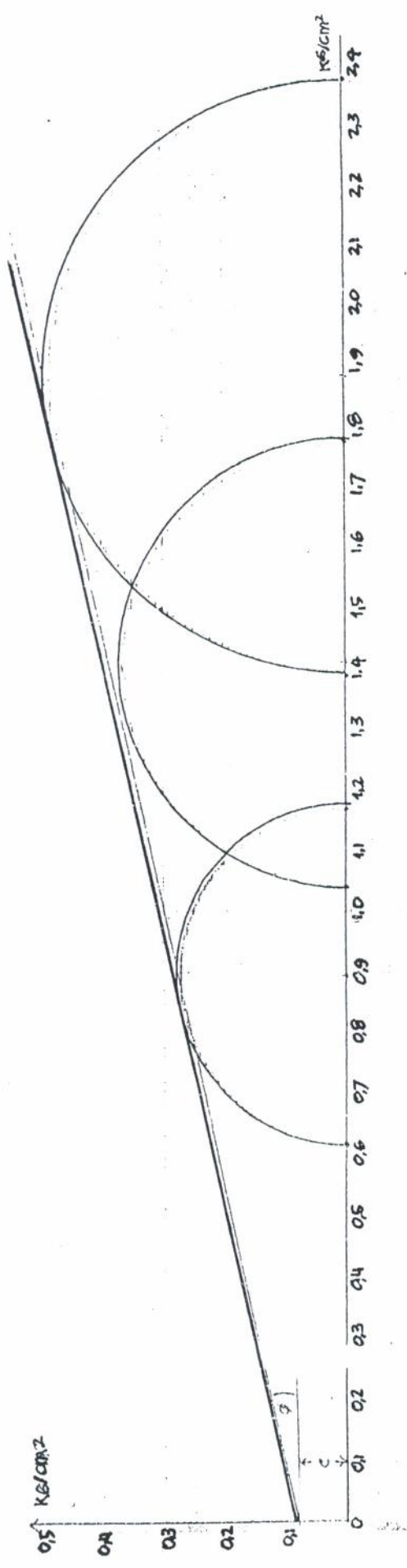
Gambar Lampiran 8. Grafik Mohr-Coulomb Modifikasi Kenaikan Tekanan Sel 25%

Keterangan :  $C^* = 0,075 \text{ Kg/Cm}^2$  ;  $\phi^* = 12,68^\circ$



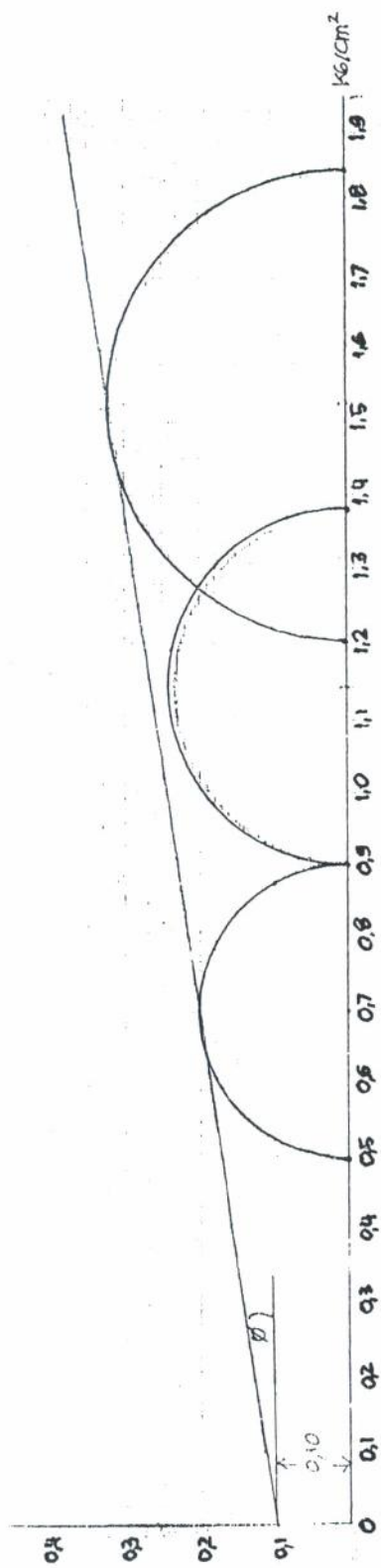
Gambar Lampiran 9. Grafik Mohr-Coulomb Standar ( Rencana Kenaikan Tekanan Sel 30% )

Keterangan :  $C = 0,105 \text{ Kg/Cm}^2$  ;  $\phi = 5,57^\circ$



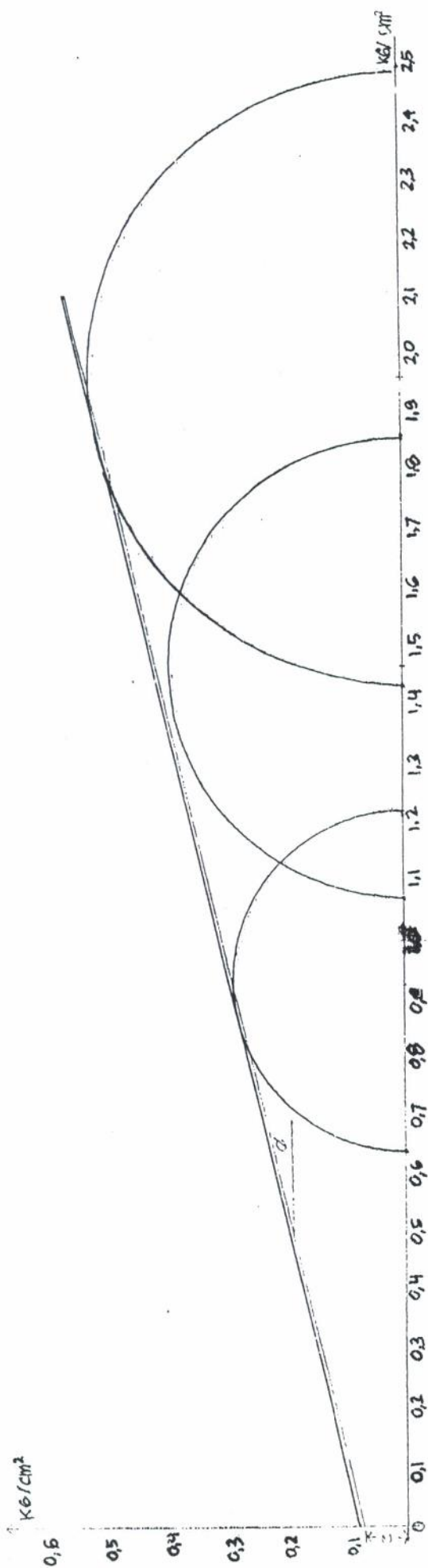
Gambar Lampiran 10. Grafik Mohr-Coulomb Modifikasi Kenaikan Tekanan Sel 30%

Keterangan :  $C^* = 0,08 \text{ Kg/Cm}^2$  ;  $\phi^* = 9,69^\circ$



Gambar Lampiran 11. Grafik Mohr-Coulomb Standar ( Rencana Kenaikan Tekanan Sel 35% )

Keterangan :  $C = 0,098 \text{ Kg/Cm}^2$  ;  $\phi = 7,97^\circ$



Gambar Lampiran 12. Grafik Mohr-Coulomb Modifikasi Kenaikan Tekanan Sel 35%

Keterangan :  $C^* = 0,07 \text{ Kg/Cm}^2$  ;  $\phi^* = 13,50^\circ$