

**PENGARUH KADAR AIR TANAH EKSPANSIF TERHADAP  
TEGANGAN DAN LENDUTAN TANAH PADA MODEL  
PERKERASAN KAKU**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**EDWARD PAMBUDI  
NIM. 0810610045 - 61**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**JURUSAN SIPIL**

**MALANG**

**2012**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### PENGARUH KADAR AIR TANAH EKSPANSIF TERHADAP TEGANGAN DAN LENDUTAN TANAH PADA MODEL PERKERASAN KAKU

## SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**EDWARD PAMBUDI**  
NIM. 0810610045 - 61

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Dosen Pembimbing I**

**Ir. Harimurti, MT**  
NIP. 19600926 198802 1 001

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Wisnu Murti, MT**  
NIP. 19641207 199002 1 001

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGARUH KADAR AIR TANAH EKSPANSIF TERHADAP TEGANGAN DAN LENDUTAN TANAH PADA MODEL PERKERASAN KAKU

## SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**EDWARD PAMBUDI**  
**NIM. 0810610045 - 61**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 30 Juli 2012

**DOSEN PENGUJI :**

**Ir. Harimurti, MT**  
NIP. 19600926 198802 1 001

**Ir. Wisnu Murti, MT**  
NIP. 19641207 199002 1 001

**Ir. Herlin Indra Wahyuni**  
NIP. 19480818 197603 2 001

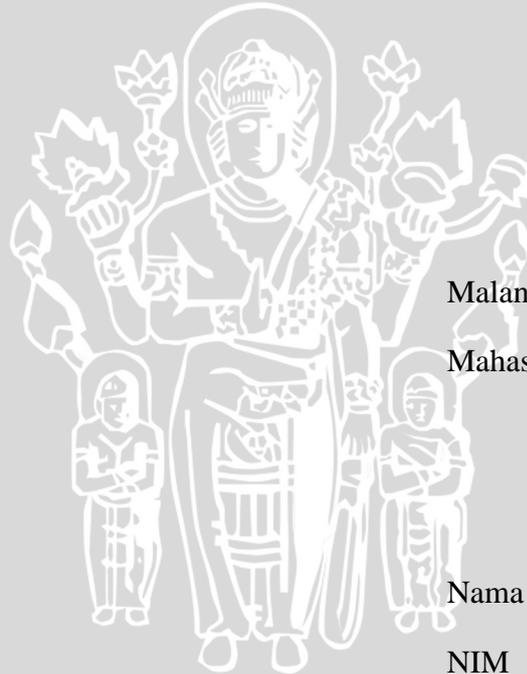
Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Sipil

**Ir. Sugeng Prayitno Budio, M.S.**  
NIP. 19610125 198601 1 001

## LEMBAR ORISINALITAS SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya di dalam naskah SKRIPSI ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi. Dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti bahwa penelitian ini tidak benar dan terdapat unsur PLAGIASI, saya sanggup menerima atau hukuman / sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku. (UU No. 20 Tahun 2003 Pasal 25 Ayat 2 dan Pasal 70).



Malang, Juli 2012

Mahasiswa

Nama : Edward Pambudi

NIM : 0810610045-61

Jurusan : Teknik Sipil

# LEMBAR PERSEMBAHAN

## LEMBAR PERSEMBAHAN

Jika saja waktu itu saya mengetahui betapa banyak yang tidak saya ketahui, saya mungkin tidak akan memulai. Jika saja waktu itu mengetahui betapa sulit prosesnya, saya mungkin tidak akan mulai. Tapi saya senang saya tidak tahu waktu itu, sebab jika saya tahu, saya mungkin tidak akan menjadi Sarjana Teknik Sipil hari ini.

Tentu tak semudah perkataan untuk meraih semua ini tapi juga tak sesulit yang dibayangkan jika kita dapat menikmati itu semua. Terimakasih ya Allah atas semuanya, Engkau memang maha segalanya. Terimakasih juga atas semua orang yang ada disekelilingku, *there's no way I can repay you for all you've done for me. So rather than try. I'm just going to ask you to do something else for me. "Find the joy in your life"*. Dan biarka saya menuliskan lembar persembahan ini. . .

- Mam & Pap terima kasih atas semuanya!! Maaf jika saya sering berbohong, korupsi, KKN dll. Dosaku mungkin sudah unlimited, tapi kalian tetap baik padaku. I love you FULL Mam&Pap.
- Kakak, sodara kembaranku dan saudara-saudaraku yang lainnya, Thanks atas dukungan, ejekan, penghinaan dan segalanya yang engkau berikan padaku. It make me More Strong than before.
- Para dosen TSUB, pak alwafi, pak ruslin, bu devia, pak zainul, pak indra, pak sugeng, dll. . .banyak hal yang saya dapat dari kalian, terimakasih atas semuanya. Semoga dikemudian saya masih dapat belajar dari beliau-beliau. . .
- Untuk pembimbing skripsiku, Pak Hari dan Pak Wisnu. Terima kasih banyak pak, terima kasih bnayk pak, terima kasih banyak pak, terima kasih banyak pak yang sebesar-besarnya atas bimbingannya selama ini. Mohon maaf jika datanya banyak yang aneh. . .hehehe. . .Semoga Pendidikan S3 nya segera kelar pak. Amien. . .
- Para staff TU dan Lab, bu hermin, mas dino, pak sugeng lab, pak ketut, dll. Maaf jika selama ini banyak merepotkan.
- Teman-teman sepenelitian Darma, winda, titin.. .suwun seng akeh rek. Sangat beruntung saya dapat menyelesaikan TA ini dengan kalian walaupun kadang stres.hehe. . .
- Mbag lena, terimakasih atas semuanya walaupun sempat bikin stres seminggu tapi aku menikmatinya. Semoga kelak kita bertemu lagi.qiqiqiqiqi. . . .
- My best friend kost2 san mbag min, Deny, Aziz, Anggi, Ifan . . semoga janji kita Januari 2017 dapat tercapai.Amien
- SPL team, LK & Anggar suwun ren. Kapan2 ayo ngerumpi mane sampek 7 hari 7 malam. Hahaha. .
- Partner SP ku (bli darma), semoga kita dapat sama-sama lari di pagi hari. Hahaha ting (cheers angkat gelas)
- Eka, tedy, eky, dimas, risa, ilham, rndra jahat, ahmam, mas tegar, ponari, pak jhon, dedy, om tegar, agung, dewa, ira, wahyu, aulia, gentong, widya, irawan, andreas, reza, fadkhur, apap dll yang ikut meluangkan waktu sejenak dalam pembacaan dial, saya tidak tahu apa yang terjadi jika dunia tidak ada kalian. Suwun seng uwakeh rek. . . .
- Warga sipolan yang dengan suka cita meluangkan waktu untuk aksi lukis tubuh, awas tunggu pembalasanku (terutama dalang e tigor, eky & itok). Tak arak muteri UB engko yo. . . hahaha. . .
- Semua sipolan & KBMS TSUB. Tak dungakno dadi wong sukses kabeh sesuk. Amien. . .
- Ibu kaftek, maaf bu bila bayarnya sering kelupaan atau ada yang lupa saya. Semoga kaftek makin jaya. . . .
- Dan yang terakhir buat pattinson yang tak lelah menungu dan terus menunggu tanpa lela, maaf lek aku gak tau diri. . . . Semoga jika memang jodoh gak akan lari kemana-mana.
- Terima kasih buat semuanya orang yang ada disekitar ku, ibu kos, arek kos bening dan teman SD, SMP, SMA, kampung, 7 komputer dan yang lain yang belum tersebut. Terima kasih banyak ☺

"Dalam hidup, kadang kita membayar lebih untuk hal yang kurang tapi juga kadang kita membayar kurang untuk hal yang lebih. It's Fair Enough"

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan karunia-Nya, sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “PENGARUH KADAR AIR TANAH EKSPANSIF TERHADAP TEGANGAN DAN LENDUTAN TANAH PADA MODEL PERKERASAN KAKU”. Tugas akhir ini adalah sebagai salah satu syarat kelulusan untuk dapat menyelesaikan proses pembelajaran dalam jenjang Strata 1 pada Fakultas Teknik Jurusan Sipil di Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan dan dorongan dari semua pihak, maka penulisan Tugas Akhir ini tidak akan lancar. Oleh karena itu pada kesempatan ini, izinkanlah penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang Tua beserta Kakak penulis tercinta, yang tak henti-hentinya memberikan semangat dan kasih sayang yang luar biasa kepada penulis
2. Ir. Suroso, Dipl.HE, M.Eng selaku Ketua Kelompok Bidang Studi Geoteknik
3. Ir. Harimurti, MT dan Ir. Wisnu Murti, MT selaku Dosen Pembimbing yang penuh kesabaran memberikan bimbingan, pengarahan dan motivasi yang sangat berharga untuk kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini.
4. Ir. M. Zainul, MT selaku Dosen Pembimbing Akademik yang selalu memberikan motivasi, informasi dan nasihat demi kebaikan penulis dalam segala hal.
5. Teman-teman dan Semua pihak yang telah memberikan bantuan, dorongan dan peran serta dalam penyusunan Tugas Akhir ini

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mohon kritik, saran dan masukan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan dimasa yang akan datang. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini dapat di gunakan sebagai mana mestinya serta berguna bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca yang berminat pada umumnya.

Malang, Juli 2012

Penulis

**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>ABSTRAK</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Identifikasi Masalah .....	3
1.3. Rumusan Masalah .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Tujuan Penelitian .....	4
1.6. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1. Tanah Ekspansif .....	5
2.1.1. Pengertian tanah ekspansif .....	5
2.1.2. Parameter tanah ekspansif .....	5
2.1.3. Penelitian sifat fisik tanah .....	8
2.1.4. Uji proctor standart .....	10
2.1.5. Identifikasi kerusakan di atas tanah ekspansif .....	11
2.2. Perkerasan Jalan .....	13
2.2.1. Teknik kontruksi di atas tanah ekspansif .....	13
2.2.2. Desain perkerasan kaku .....	16
2.2.3. Pembebanan pada perkerasan jalan .....	17
2.2.4. Analisis desain struktur pada perubahan volume tanah .....	19
2.3. Teori Pemodelan .....	20
2.3.1. Model dengan the <i>first order similarity</i> .....	22
2.3.2. Model perkuatan beton .....	22
2.4. Lendutan dan Tegangan Pada Tanah .....	24
2.4.1. Lendutan tanah .....	24
2.4.2. Tegangan tanah .....	25



<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1 Rencana penelitian .....	27
3.2 Pekerjaan persiapan.....	27
3.3 Pemodelan Penelitian .....	27
3.3.1 Pemodelan perkerasan dan penempatan alat uji .....	27
3.3.2 Pemodelan perilaku pembebanan pada perkerasan dan kondisi tanah .....	30
3.4 Pekerjaan Laboratorium .....	31
3.4.1 Percobaan penelitian .....	31
3.4.2 Pengumpulan data .....	31
3.5 Metode Penelitian .....	32
3.5.1 Uji dasar .....	32
3.5.2 Uji perilaku .....	32
3.6 Analisis Data .....	33
3.7 Bagan Alir Pengujian .....	34
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>36</b>
4.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah .....	36
4.1.1 Pengujian analisis distribusi butiran .....	36
4.1.2 Pengujian batas konsistensi tanah .....	48
4.1.3 Pengujian free swell .....	40
4.1.4 Pengujian minerologi tanah .....	41
4.2 Pengujian Pemadatan Standart .....	42
4.3 Pengujian Sifat Mekanik Tanah .....	43
4.3.1 Lendutan tanah .....	45
4.3.2 Tegangan tanah .....	52
4.4 Hubungan Kepadatan Tanah Dengan Besarnya Lendutan dan Tegangan .....	56
4.5 Pembahasan.....	58
4.5.1 Karakteristik jenis tanah ekspansif dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ..	58
4.5.2 Hubungan antara kadar air tanah dengan besarnya lendutan dan tegangan yang terjadi pada tanah .....	61
4.5.3 Hubungan antara kepadatan tanah dengan besarnya lendutan dan tegangan yang terjadi pada tanah .....	63
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>65</b>
5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran.....	66



**DAFTAR TABEL**

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Kadar Colloid .....	6
Tabel 2.2	Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan % Lolos Sarngan No. 200 dan Batas Cair .....	6
Tabel 2.3	Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Linear Shrinkage dan Shrinkage Limit .....	7
Tabel 2.4	Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SL .....	7
Tabel 2.5	Kriteria Pengembangan Berdasarkan IP .....	7
Tabel 2.6	Hal-hal yang Perlu Dipertimbangkan Dalam Pemilihan Metode Konstruksi ..	13
Tabel 2.7	Hubungan Antara Kelas Jalan Dengan Beban Gandar .....	19
Tabel 2.8	Skala Geometri Pada Pemodelan .....	21
Tabel 2.9	Ringkasan faktor skala model beton bertulang.....	23
Tabel 3.1	Rancangan penelitian dengan menggunakan variasi tanah dan perilaku pola pembebanan .....	30
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Analisis Saringan Tanah Lempung .....	37
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Analisis Hidrometer Tanah Lempung.....	37
Tabel 4.3	Fraksi Butiran Tanah Lempung .....	48
Tabel 4.4	Pengujian Batas Plastis.....	39
Tabel 4.5	Pengujian Batas Susut ( <i>Shrinkage Limit</i> ) .....	40
Tabel 4.6	Pengujian Pengujian <i>Free Swell</i> .....	41
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Proctor Standart .....	42
Tabel 4.8	Kondisi Tanah Awal (Kering Oven) .....	44
Tabel 4.9	Kondisi Permukaan Tanah Setelah 24 Jam Penambahan Air 15% .....	44
Tabel 4.10	Kondisi Permukaan Tanah Setelah 24 Jam Penambahan Air 30% .....	44
Tabel 4.11	Kondisi Permukaan Tanah Setelah 24 Jam Penambahan Air 40% .....	45
Tabel 4.12	Kondisi Permukaan Tanah Setelah 24 Jam Rendaman (Jenuh Air).....	45
Tabel 4.13	Penurunan Tanah Terhadap Kadar Air Yang Berubah Akibat Beban Yang Bekerja.....	46
Tabel 4.14	Besar Perubahan Ketinggian Air Pada Pipa Dengan Variasi Penambahan Kadar Air Dalam Tanah .....	53
Tabel 4.15	Tegangan Tanah Yang Terjadi Pada Tiap-tiap Variasi Penambahan Kadar Air.....	54



Tabel 4.16	Hubungan Antara Kepadatan Dengan Lendutan Dan Tegangan Yang Terjadi Pada Tanah.....	56
Tabel 4.17	Penurunan Tanah Terhadap Penambahan Kadar Air Yang Berubah Akibat Beban Yang Bekerja Dari Rata-Rata Tiap Lintasan Dan Posisi Beban .....	61
Tabel 4.18	Kadar Air Pada Permukaan Tanah Setelah Penambahan Air Selama 24 Jam.....	61



## DAFTAR GAMBAR

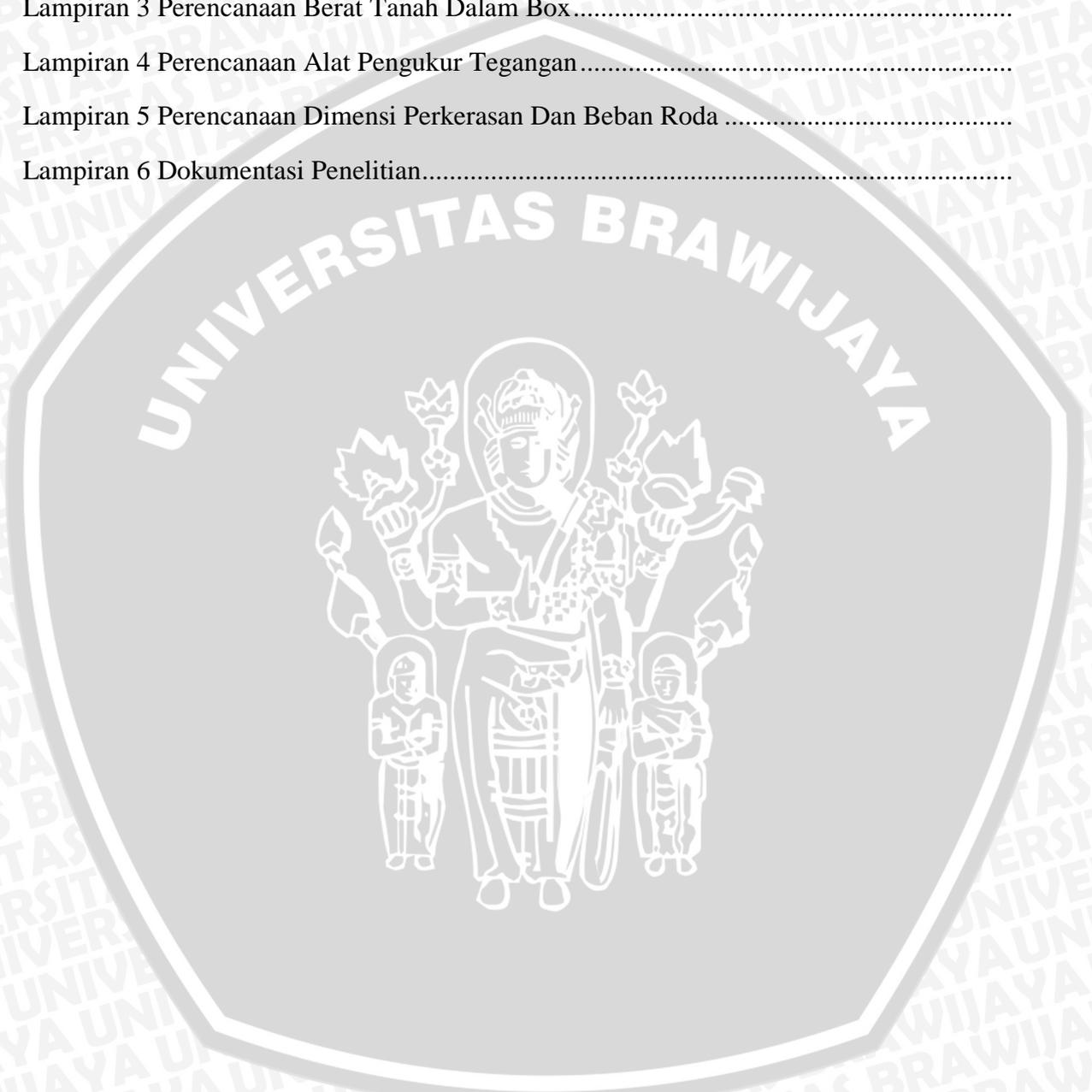
No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1	Kondisi jalan di Paron Kabupaten Ngawi.....	1
Gambar 2.1	Grafik klasifikasi tanah berdasarkan tekstur (USDA) .....	8
Gambar 2.2	Batas-Batas <i>atterberg</i> . ( Hery Christady H ) .....	9
Gambar 2.3	Distribusi beban pada perkerasan kaku .....	17
Gambar 2.4	Desain axle load standard. axle load = 80 KN = 8,16 ton .....	18
Gambar 2.5	Variasi penghalang vertikal perkerasan kaku .....	20
Gambar 2.6	Hubungan tegangan-regangan antara model dan prototipe .....	22
Gambar 2.7	Perbandingan model dan prototipe antara beton dan beton dengan perkuatan.....	23
Gambar 2.8	Profil penurunan segera dan tekanan pada bidang sentuh pada lempung ; (a) pondasi lentur, (b) pondasi kaku .....	25
Gambar 2.9	Peninjauan tegangan efektif untuk suatu tanah jenuh air di dalam tabung tanpa adanya rembesan .....	26
Gambar 3.1	Tampak atas penempatan model dalam box .....	28
Gambar 3.2	Tampak depan penempatan model dalam box.....	28
Gambar 3.3	Detail dimensi perkerasan kaku. a) tampak atas, b) tampak depan .....	29
Gambar 3.4	Perletakan <i>strain gauge</i> pada perkerasan. a) tampak atas, b) tampak depan.....	29
Gambar 3.5	Perletakan alat pengukur tegangan tanah.....	29
Gambar 3.6	Detail beban roda yang akan digunakan .....	31
Gambar 4.1	Grafik analisis butiran.....	37
Gambar 4.2	Grafik hubungan antara pukulan dengan kadar air sampel 1.....	38
Gambar 4.3	Grafik hubungan antara pukulan dengan kadar air sampel 2.....	39
Gambar 4.4	Grafik hasil analisis kualitatif dari difraksi sinar X.....	42
Gambar 4.5	Grafik Hubungan antara Kadar Air dengan Berat Volume Tanah Kering ..	43
Gambar 4.6	Alur pola perilaku pembebanan pada variasi kadar air.....	43
Gambar 4.7	Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik A lintasan I .....	48
Gambar 4.8	Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik B lintasan I .....	48

Gambar 4.9	Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik C lintasan I .....	49
Gambar 4.10	Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik A lintasan II .....	49
Gambar 4.11	Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik B lintasan II .....	50
Gambar 4.12	Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik C lintasan II .....	50
Gambar 4.13	Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik A lintasan III.....	51
Gambar 4.14	Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik B lintasan III.....	51
Gambar 4.15	Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik C lintasan III.....	52
Gambar 4.16	Grafik hubungan antara besar tegangan (yang didasarkan pada ketinggian air) terhadap variasi penambahan air .....	53
Gambar 4.17	Tegangan akibat beban perkerasan terbagi rata berbentuk jalur memanjang.....	54
Gambar 4.18	Grafik hubungan antara besar tegangan tanah (yang didasarkan pada prinsip teori Boussinesq) terhadap variasi penambahan air.....	55
Gambar 4.19	Grafik hubungan antara kepadatan tanah (yang didasarkan pada berat volume kering tanah) dengan lendutan yang terjadi pada tanah.....	56
Gambar 4.20	Grafik hubungan antara kepadatan tanah (yang didasarkan pada berat volume kering tanah) dengan tegangan tanah pada kedalaman 6 cm di bawah perkerasan kaku .....	57
Gambar 4.21	Grafik klasifikasi tanah berdasarkan tekstur.....	58
Gambar 4.22	Grafik klasifikasi tanah sistem <i>unified</i> .....	59
Gambar 4.23	Grafik hubungan penurunan tanah terhadap kadar air yang berubah akibat beban yang bekerja dari rata-rata tiap lintasan dan posisi beban .....	62



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Uji Karakteristik Tanah.....
- Lampiran 2 Hasil Uji Lendutan dan Tegangan Pada Tanah.....
- Lampiran 3 Perencanaan Berat Tanah Dalam Box.....
- Lampiran 4 Perencanaan Alat Pengukur Tegangan.....
- Lampiran 5 Perencanaan Dimensi Perkerasan Dan Beban Roda .....
- Lampiran 6 Dokumentasi Penelitian.....



## RINGKASAN

**Edward Pambudi**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2012, *Pengaruh Kadar Air Tanah Ekspansif Terhadap Tegangan Dan Lendutan Tanah Pada Model Perkerasan Kaku*. Dosen Pembimbing : Ir. Harimurti, MT dan Ir. Wisnu Murti, MT.

Sebagai akses penghubung antara Jawa Tengah dan Jawa Timur prasarana transportasi di Kabupaten Ngawi berperan penting. Sifat kembang-susut yang dimiliki oleh tanah ini merupakan faktor penyebab yang dominan terhadap kejadian kerusakan perkerasan jalan karena dapat mendorong perkerasan jalan ke arah vertikal dan dapat menarik secara lateral. Agar didapatkan desain perkerasan jalan yang baik di atas tanah ekspansif pada ruas jalan paron maka analisis perilaku tanah dasar terhadap perkerasan jalan di atasnya sangat diperlukan. Salah satu cara yang dapat dipakai dalam menganalisis perilaku tersebut adalah dengan melihat dari nilai besaran tegangan dan lendutan yang terjadi pada tanah. Konsep desain perkerasan jalan di atas tanah ekspansif yang dilakukan di Kabupaten Ngawi adalah desain perbaikan perkerasan perkerasan kaku.

Dalam penelitian ini, dilakukan uji lendutan dan tegangan yang terjadi pada tanah. Variasi penambahan air pada tanah adalah sebesar 15%, 30%, 40% dan rendaman berdasarkan dari berat awal kering oven tanah yang digunakan serta pembebanan berupa beban gandar roda sebesar 6,125 kg pada perkerasan kaku. Prilaku pembebanan dilakukan sebanyak 3 lintasan di atas perkerasan kaku. Model perkerasan kaku dibuat dengan menambahkan penghalang vertikal sedlam 5 cm.

Variasi penambahan air yang diberikan pada tanah tidak berbanding lurus terhadap besar kadar air dalam tanah. Akan tetapi dari kondisi kadar air tersebut didapatkan bahwa semakin besar kadar air tanah maka penurunan yang terjadi pada tanah di bawah perkerasan akibat beban roda juga akan semakin besar, namun untuk tanah yang berada pada jarak 15 cm di samping perkerasan pergerakannya cenderung turun pada penambahan kadar air 15%, 30% dan 40% dan mengalami kenaikan pada kadar air rendaman. Sedangkan untuk tegangan tanah yang terjadi, kadar air ini tidak secara langsung mempengaruhi tegangan tanah, tetapi kadar air ini mempengaruhi berat volume tanah yang akan berakibat pada besarnya tegangan tanah yaitu dimana semakin besar berat volume tanah maka tegangan yang terjadi juga akan semakin besar.

**Kata Kunci** : Tanah Ekspansif, kadar air, Lendutan, Tegangan, perkerasak kaku, penghalang vertikal

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Tanah ekspansif merupakan bahaya utama dalam bidang geoteknik yang dapat menimbulkan kerusakan parah terhadap kinerja dan umur layanan infrastruktur, salah satu contohnya adalah kerusakan pada jalan raya. Masalah utama yang ditimbulkan tanah ekspansif ini adalah perubahan volume karena mengembang dan menyusutnya tanah, yang dapat mengakibatkan penurunan tidak seragam dan rangkak; penurunan daya dukung tanah; rawan terhadap erosi sangat tinggi ketika dilakukan penggalian dan kondisi pengerjaan yang sulit (Yitagezu et al, 2008). Banyak kasus kerusakan perkerasan jalan raya yang dicurigai kerusakannya diakibatkan oleh perilaku tanah ekspansif seperti pada propinsi Jawa Timur Kabupaten Ngawi ruas jalan Paron, Padas, Caruban dan Jambangan.

Kabupaten Ngawi merupakan perbatasan antara propinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur yang aksesibilitasnya dan mobilitasnya cukup tinggi. Hal ini memberikan pengaruh besar terhadap Kabupaten ngawi sebagai modal dasar pengembangan wilayahnya sehingga perlu didukung prasarana jalan raya yang baik. Namun pada kenyataannya jalan raya di Kabupaten Ngawi khususnya pada Kecamatan Paron masih jauh dari jalan yang baik. Padahal telah diperbaiki beberapa kali namun tetap saja terjadi kerusakan yang sama.



**Gambar 1.2** Kondisi jalan di Paron Kabupaten Ngawi

Jika hal tersebut terus dibiarkan maka secara tidak langsung akan menyebabkan kerugian yang besar bagi dunia konstruksi Indonesia dan khususnya bagi para pemakai jalan tersebut. Maka dari itu perlu adanya penanganan khusus untuk mendesain perkerasan jalan raya di atas tanah ekspansif, agar anggaran yang dikeluarkan dari APBN (Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara) yang asalnya dari masyarakat juga tidak disia-siakan karena desain jalan yang kurang tepat dan efektif.

Agar didapatkan desain perkerasan jalan yang baik di atas tanah ekspansif pada ruas jalan paron maka analisis perilaku tanah dasar terhadap perkerasan jalan di atasnya sangat diperlukan. Salah satu cara yang dapat dipakai dalam menganalisis perilaku tersebut adalah dengan melihat dari nilai besaran tegangan dan lendutan yang terjadi pada tanah. Beberapa konsep desain perkerasan jalan di atas tanah ekspansif yang dilakukan di Kabupaten Ngawi adalah desain perbaikan perkerasan jalan dengan perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Namun kebanyakan untuk jalan yang melayani lalu lintas yang padat seperti jalan ring road desain jalannya menggunakan perkerasan kaku. Akan tetapi, karena perubahan volume tanah ekspansif ini sangat signifikan jika terjadi perubahan kadar air maka diperlukan suatu konstruksi agar dapat menjaga kadar air pada tanah dasar (*subgrade*) tetap stabil.

Pada penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan oleh Jayadi, mengenai “Pengaruh Pemadatan Tanah pada Kadar Air yang Berbeda terhadap Swelling Tanah Ekspansif” membahas masalah perbedaan kadar air pada pemadatan yang berpengaruh terhadap pengembangan (*swelling*) yang terjadi pada tanah ekspansif. Dalam penelitian ini didapatkan hasil bahwa semakin kecil nilai kadungan kadar air yang terdapat didalam tanah maka akan semakin tinggi pengembangannya, dan semakin besar kadar airnya maka akan semakin rendah nilai pengembangannya. Dengan sifat tanah tersebut, peneliti disini ingin mengetahui tegangan dan lendutan pada tanah jika menggunakan perkerasan kaku dengan penghalang vertikal.

Dari dasar tersebutlah maka penyusun akan mengangkat topik dalam penelitian Tugas Akhir ini dengan Judul : “**Pengaruh Kadar Air Tanah Ekspansif Terhadap Tegangan dan Lendutan Tanah Pada Model Perkerasan Kaku**”. Hasil dari analisis tegangan dan lendutan tanah ekspansif terhadap model perkerasan kaku yang terjadi akan dipakai sebagai dasar pertimbangan untuk menentukan pilihan desain perbaikan jalan yang paling tepat diterapkan pada ruas jalan Paron-Ngawi.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Mengidentifikasi besarnya tegangan dan lendutan yang terjadi pada tanah ekspansif di Paron, Ngawi terhadap perkerasan kaku dengan adanya pengaruh variasi kadar air tanah ekspansif sangat penting. Identifikasi masalah tersebut antara lain sebagai berikut :

1. Semakin besar penambahan kadar air pada tanah, maka kadar air dalam tanah akan semakin besar dan kepadatan suatu tanah akan semakin rendah.
2. Semakin rendah kepadatan suatu tanah, maka besar tegangan dan lendutan yang terjadi pada tanah terhadap perkerasan kaku akibat adanya beban akan semakin kecil.

## 1.3 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang masalah diatas penelitian yang akan dibahas dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik tanah ekspansif pada ruas jalan Paron-Ngawi ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan kadar air tanah pada perilaku tegangan dan lendutan tanah terhadap model perkerasan kaku di Paron-Ngawi ?
3. Bagaimana hubungan antara kepadatan tanah dengan besarnya tegangan dan lendutan tanah ?

## 1.4 Batasan Masalah

Agar tercapai tujuan yang diinginkan pada penelitian ini, maka pembatasan masalah diberikan sebagai berikut :

1. Pemodelan struktur perkerasan kaku terbuat dari beton dengan skala geometri 1:20 dan campuran 1PC : 3Psr.
2. Dimensi pada perkerasan kaku langsung ditentukan dan direncanakan.
3. Penambahan variasi kadar air dalam tanah dilakukan dengan cara penyiraman air dari atas permukaan tanah.
4. Tidak membahas tentang *swelling* tanah akibat penambahan air.
5. Perilaku pembebanan pada model struktur perkerasan kaku menggunakan analisis beban statik dengan perilaku pembebanan yang telah ditentukan pada **Tabel 3.1**.
6. Model perkerasan kaku dibuat sebatas analisis plastis.

7. Tanah dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung bersifat ekspansif buatan (*remolded*).
8. Pemodelan struktur perkerasan kaku mengacu berdasarkan model *Adequate*.
9. Pembahasan lendutan tanah dibatasi hanya pada titik atau dial no 3,4,6 dan 7 (**Gambar 3.1**) dengan beban roda 6,125 kg.
10. Hasil dari tegangan dan lendutan didasarkan pada interaksi perkerasan jalan dengan tanah dasar (*subgrade*) dari tanah ekspansif saja.

### 1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi karakteristik tanah dasar (*subgrade*) jalan pada ruas jalan Paron-Ngawi.
2. Mengetahui pengaruh penambahan kadar air tanah pada perilaku tegangan dan lendutan tanah terhadap model perkerasan kaku.
3. Mengetahui hubungan kepadatan tanah dengan lendutan dan tegangan yang terjadi pada tanah.

### 1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Manfaat Praktis
  - Memberikan kontribusi Kepada pemerintah Kabupaten Ngawi khususnya pada Kecamatan Paron, sebagai salah satu acuan untuk menentukan alternatif desain perbaikan struktur perkerasan jalan untuk mengatasi kerusakan jalan.
  - Sebagai informasi karakteristik tanah ekspansif di Kecamatan Paron, Kabupaten Ngawi Jawa Timur
2. Manfaat Teoritis
  - Memberikan kontribusi yang dapat dipakai sebagai acuan penelitian tentang perilaku tegangan tanah ekspansif terhadap perkerasan kaku.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tanah Ekspansif

##### 2.1.1 Pengertian tanah ekspansif

Tanah ekspansif adalah tanah yang mempunyai sifat kembang-susut tinggi akibat adanya perubahan kadar air, sehingga daya dukungnya sangat dipengaruhi perubahan kadar air. Tanah ekspansif ini mengandung mineral Montmorillonite dan Wire. Oleh beberapa pihak, khususnya orang teknik sipil dipandang sebagai sesuatu yang berbahaya. Hal ini disebabkan oleh sifat kembang susutnya yang terlalu besar. Pada umumnya tanah ekspansif merupakan tanah berbutir halus sebagai koloid-koloid yang terdiri dari butiran tanah lempung ( $2\mu$ ) dengan jumlah kandungan lempungnya bervariasi antara 50 % sampai 70 %, dan biasanya mempunyai tekanan kembang yang tinggi bila berinteraksi dengan air. Berdasarkan pengamatan di lapangan diketahui bahwa tanah setempat mempunyai perilaku alam seperti nilai kembang dan susutnya sangat tinggi dan mengakibatkan tanah menjadi pecah-pecah serta terjadi pergerakan ke arah vertikal sehingga akan membahayakan suatu konstruksi bangunan.

##### 2.1.2 Parameter tanah ekspansif

Sistem kalsifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok pemakaiannya. Sebagian besar sistem kalsifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas. Sistem klasifikasi tanah tersebut ada bermacam-macam tetapi tidak ada satupun yang memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat tanah yang bervariasi ( *M. Das. Braja, 1995, Hal 64* ).

Sifat-sifat indeks tanah yang biasanya digunakan untuk mengklasifikasikan tanah ekspansif adalah sebagai berikut :

### 2.1.2.1 Uji klasifikasi teknik

Hasil pengujian *liquid limit* dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif. Berdasarkan beberapa ahli untuk menentukan derajat pengembangan adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.1** Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Kadar Colloid

Data Indeks Properties			% Total Volume Change	Degree Of Ekspansion
Colloid (<0,00 mm)	LiquidLimit (%)	Standart Penetration		
> 15	> 35	< 11	> 30	Very High
20 – 13	25 – 41	7 – 12	20 – 30	High
13 – 23	15 -28	10 – 16	10 – 20	Medium
< 15	< 28	> 15	< 10	Low

Sumber : Holtz & Gibbs (1956) dalam Joseph E. (1989)

**Tabel 2.2** Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan % Lolos Sarangan No. 200 dan Batas Cair

Laboratory And Field Data			% Total Volume Change	Degree Of Ekspansion
Persen Passing No. 200	LiquidLimit (%)	Standart Penetration		
> 95	> 65	> 30	> 10	Very High
60 – 95	40 – 60	20– 30	3 – 10	High
30 – 60	30 - 40	10 – 20	1 – 5	Medium
< 30	< 30	< 20	< 1	Low

Sumber : Chen (1965) dalam dalam Joseph E. (1989)

### 2.1.2.2 Uji terhadap batas – batas atterberg

- Kriteria Altmeyer (1955) dalam Altmeyer (1955)

Kriteria ini menggunakan persen dari tanah lempung karena menurut Altmeyer beberapa laboratorium mekanika tanah tidak menyertakan analisa hidrometer. Dalam menggolongkan tanah ekspansif menggunakan *linear shrinkage* dan *shrinkage limit* (SL).

**Tabel 2.3** Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Linear Shrinkage dan Shrinkage Limit

Linear Shrinkage	SL (%)	Probable Swell	Degree Of Ekspansion
< 5	> 12	< 0,5	Non Critical
5 – 8	10 – 12	0,5 – 1,5	Marginal
> 8	< 12	> 1,5	Critical

Sumber : Altmeyer (1955) dalam Joseph E. (1989)

- Kriteria Raman (1967)

Kriteria Raman ini menggolongkan batas – batas Atterberg pada tanah ekspansif dengan menggunakan dua parameter yaitu PI (*Plasticity Index*) dan SL (*Shrinkage Limit*).

**Tabel 2.4** Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SL

Plasticity Index (%)	Shrinkage Limit (%)	Degree Of Ekspansion
< 12	< 15	Low
12 – 23	15 – 30	Medium
23 - 30	30 – 40	High
> 30	> 40	Very High

Sumber : Raman (1967) dalam Joseph E. (1989)

- Kriteria Chen (1988)

Pada kriteria Chen nilai *swelling potensial* pada tanah ekspansif hanya didasarkan pada parameter PI (*Plasticity Index*) saja.

**Tabel 2.5** Kriteria Pengembangan Berdasarkan IP

Plasticity Index (%)	Swelling Potensial
0 – 15	Low
10 – 35	Medium
10 – 35	High
> 35	Very High

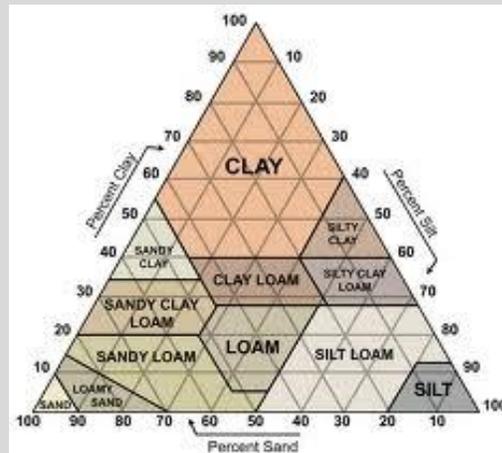
Sumber : Chen (1988) dalam Joseph E. (1989)

### 2.1.3 Penelitian sifat fisik tanah

#### 2.1.3.1 Klasifikasi tanah berdasarkan tekstur (USDA)

Beberapa sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah telah dikembangkan sejak dulu oleh berbagai organisasi untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri, beberapa dari system tersebut masih tetap dipakai untuk saat ini. Gambar 2.2. menunjukkan system klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). System ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah, yaitu :

- Pasir : butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm
- Lanau : butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm
- Lempung : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm

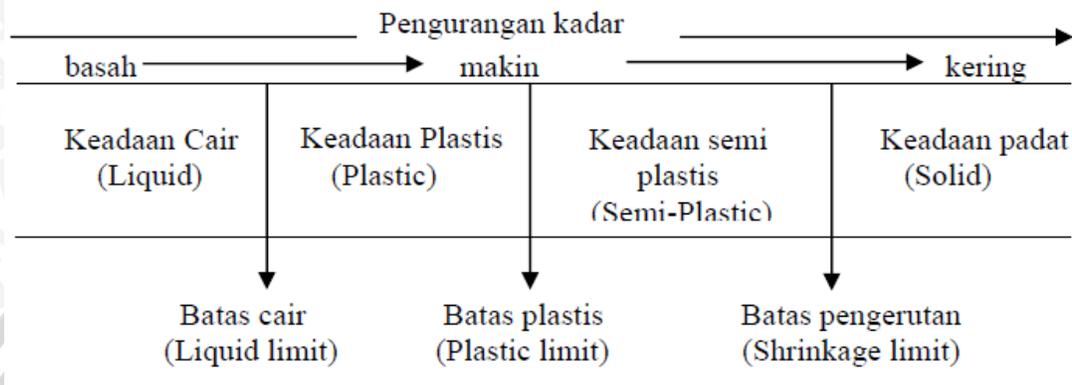


**Gambar 2.1** Grafik klasifikasi tanah berdasarkan tekstur (USDA)

#### 2.1.3.2 Batas-batas konsistensi tanah

Apabila tanah berbutir halus mengandung mineral lempung, maka tanah tersebut dapat diremas-remas (*remolded*) tanpa menimbulkan retakan. Sifat kohesif ini disebabkan karena adanya air yang terserap ( *absorbed water* ) dikelilingi partikel lempung. Seorang ilmuwan dari Swedia bernama Atterberg mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Bila kadar airnya ( *w* ) tinggi, campuran tanah dan air menjadi sangat lembek seperti cairan. Atas dasar air yang didukung tanah, tanah dapat dipisahkan kedalam empat keadaan dasar yaitu; padat, semi padat, plastis, dan cair, seperti dalam **Gambar 2.2**.

Kadar air dinyatakan dalam persen, dimana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi padat didefinisikan sebagai batas susut ( *shrinkage limit* ). Kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi plastis dinamakan batas plastis ( *plastic limit* ) dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair ( *liquid limit* ).



**Gambar 2.2** Batas-batas atterberg. ( *Hery Christady H* )

1. Batas Cair / *Liquid Limit* (LL)  
 Batas cair didefinisikan sebagai kadar air pada kondisi dimana tanah mulai berubah dari plastis menjadi cair atau sebaliknya yaitu batas antara keadaan cair dan keadan plastis.
2. Batas plastis / *plastic Limit* (PL)  
 Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.
3. Batas susut / *shringkage limit* (SL)  
 Batas susut didefinisiksn sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya yidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Batas susut dinyakan dalam persamaan:

$$SL = \left( \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\% \right) - \left( \frac{v_1 - v_2}{m_2} \times \gamma_w \right) \times 100\%$$

Dengan :

m1 = berat tanah basah (gr)

m2 = berat tanah kering oven (gr)

V1 = volume tanah basah (cm<sup>3</sup>)

V2 = volume tanah kering oven (cm<sup>3</sup>)

$$\gamma_w = \text{berat jenis air (gr/cm}^3\text{)}$$

#### 4. Indeks Plastisitas/ *Plasticity Index* (IP)

Indeks plastisitas tanah adalah selisih antara batas cair dan batas plastis atau perbedaan antara batas cair dan batas palstis suatu tanah. Indeks palstisitas didapat berdasarkan rumus:

$$IP = LL - PL$$

dengan: IP = indeks plastisitas

LL = batas cair

PL = batas plastis

#### 2.1.4 Uji proctor standart

Pemadatan adalah suatu usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanik untuk menghasilkan pemampatan partikel. Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering. Diperlukan suatu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai nilai berat volume kering maksimumnya. Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya. Hubungan berat volume kering ( $\gamma_d$ ) dengan berat volume basah ( $\gamma_b$ ) dan kadar airnya ( $w$ ) dinyatakan :

$$\gamma_d = \left( \frac{\gamma_b}{1 + w} \right)$$

Dalam pengujian pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Selanjutnya digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya.

Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum. Kadar air pada keadaan ini disebut kadar air optimum (*Optimum Moisture Content, OMC*), pada nilai kadar air yang rendah, untuk kebanyakan tanah, tanah cenderung bersifat kaku dan sulit dipadatkan. Setelah kadar air ditambah, tanah menjadi lebih lunak. Pada kadar air yang tinggi, berat volume kering berkurang. Bilah seluruh udara didalam tanah dapat dipaksa

keluar pada waktu pemadatan tanah akan berada pada keadaan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum.

### **2.1.5 Identifikasi kerusakan di atas tanah ekspansif**

Kerusakan perkerasan jalan diatas tanah ekspansif umumnya adalah retak memanjang dan atau ambles/penurunan badan jalan. yang diperkirakan adanya kembang susut yang terjadi dibawah perkerasan. Pada musim hujan kadar air tinggi tanah mengembang. Apabila lapisan bawah ini tidak cukup kuat mendukung perkerasan akan terjadi kerusakan ambles atau penurunan dan pada musim panas dimana kadar air berkurang terjadi penyusutan akan terjadi retak. Memperhatikan tingkah laku tanah ekspansif tersebut, penanganan kerusakan dilakukan dengan menjaga agar perubahan kadar air lapisan tanah seminimum mungkin dan/atau mengubah karakteristik tanah sehingga potensi pengembangan rendah.

Dikenal beberapa metode penanganan untuk daerah tanah ekspansif seperti penggantian material ekspansif, memperbaiki karakteristik material ekspansif secara mekanis dan atau kimiawi, counterweight, pemasangan geomembran horisontal dan atau vertikal. Berdasarkan pengamatan lapangan badan jalan relatif stabil pada daerah seperti adanya pemukiman/perumahan di kiri kanan jalan, adanya lapisan aspal pada bahu jalan dan bahu yang cukup lebar, adanya tembok penahan tanah pada tepi badan jalan. Hal ini diperkirakan karena tanah dengan kadar air tetap (seimbang) badan jalan akan relatif stabil sedangkan pada tanah dasar dengan kadar air berubah-ubah naik turun badan jalan akan tidak stabil, terjadi perubahan volume, terjadi retakan ketika kering dan mengembang ketika terkena air.

Kerusakan jalan yang diakibatkan oleh perilaku tanah ekspansif dapat dilihat dengan ciri-ciri seperti di bawah ini :

#### **a. Retakan**

Retak pada perkerasan terjadi akibat penyusutan maupun pengembangan tanah. Retak ini merupakan retak memanjang yang dimulai dari tepi bahu jalan menuju ke tengah perkerasan. Lebar retakan bervariasi mulai dari retak rambut sampai retak berbentuk celah hingga mencapai 10 cm. Kedalaman retakan bervariasi mulai dari 1,0 cm sampai dengan

kedalaman 50 cm. Retakan memanjang arah jalan disebabkan oleh retak yang terjadi pada tanah dasar, dan secara refleksi menjalar ke struktur perkerasan yang berada di atasnya dimulai dari samping perkerasan jalan.

#### b. Pengangkatan Tanah

Pengangkatan tanah atau cembungan perkerasan jalan dapat diakibatkan oleh mengembangnya tanah ekspansif yang berada di bawah perkerasan. Cembungan ini dapat mempengaruhi struktur perkerasan sehingga menyebabkan permukaan jalan bergelombang. Pada saat-saat tertentu cembungan terjadi pada tepi perkerasan akibat pemompaan tanah dasar yang lunak oleh repetisi roda kendaraan.

#### c. Deformasi (Penurunan)

Penurunan permukaan perkerasan jalan dapat terjadi akibat berubahnya sifat tanah dasar menjadi tanah lunak atau terjadinya pengecilan volume akibat proses penyusutan. Penurunan permukaan yang terjadi dapat mencapai kedalaman 30 cm sehingga mengganggu kelancaran pengguna jalan.

#### d. Longsoran

Air permukaan yang berada di atas perkerasan dapat masuk ke dalam celah yang besar, sehingga tanah menjadi jenuh air dan kadar air di dalamnya meningkat. Dengan adanya peningkatan kadar air pada tanah ekspansif, maka kuat geser tanah semakin berkurang dan akan mencapai kuat geser kritisnya. Semakin berkurangnya kuat geser tanah akan berakibat semakin berkurang pula daya dukungnya, sehingga pada saat faktor keamanan mendekati satu, tanah dasar tidak mampu lagi menahan beban di atasnya dan longsoran pun tidak dapat dihindari.

## 2.2 Perkerasan Jalan

### 2.2.1 Teknik kontruksi di atas tanah ekspansif

Penanganan konstruksi jalan di atas tanah ekspansif pada prinsipnya adalah menjaga agar perubahan kadar air tidak terlalu tinggi atau dengan mengubah sifat tanah lempung ekspansif menjadi tidak ekspansif. Metode penanganan tanah ekspansif difokuskan ke dalam dua hal, yaitu perencanaan konstruksi jalan baru dan perbaikan konstruksi jalan lama. Usaha penanganan yang paling penting adalah mengupayakan agar tanah lempung tidak menimbulkan kerusakan pada struktur perkerasan jalan. Oleh karena itu penanganan harus dilakukan dengan beberapa alternatif, untuk mengetahui sifat tanah lempung yang akan dicegah atau diubah sifatnya. Beberapa alternatif metode-metode konstruksi di atas tanah ekspansif antaralain yaitu penggantian material, manajemen air, stabilisasi, membran, pembebanan. Dari beberapa metode tersebut ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan, hal-hal tersebut antaralain yakni.

**Tabel 2.6** Hal-hal yang Perlu Dipertimbangkan Dalam Pemilihan Metode Konstruksi

No	Metode Kontruksi	Hal-hal yang perlu dipertimbangkan
1.	Penggantian Material	<ol style="list-style-type: none"> <li>a. Material pengganti yang digunakan harus bersifat non ekspansif serta tidak lolos air.</li> <li>b. Tanah tersebut harus dipadatkan melebihi kepadatan tanah ekspansif untuk mendapatkan daya dukung yang tinggi.</li> <li>c. Jika menggunakan material granular, maka perlu dilakukan kontrol pengaliran air dari timbunan agar tidak berkumpul pada material ini.</li> <li>d. Penggalian harus mencapai kedalaman yang dianggap stabil serta dilindungi dengan menggunakan membran.</li> </ol>
2.	Stabilisasi dengan kapur	<ol style="list-style-type: none"> <li>a. Persentase kapur yang diberikan sebesar 2 – 10 % umumnya dapat digunakan.</li> </ol>

Tabel 2.6 (Lanjutan)

		<ul style="list-style-type: none"> <li>b. Harus dilakukan pengujian awal terhadap tanah yang akan distabilisasi untuk menentukan reaksi kapur dan persentase kapur yang dibutuhkan.</li> <li>c. Kedalaman pencampuran terbatas antara 30 – 45 cm, tergantung pada peralatan pencampurnya.</li> <li>d. Kapur dapat digunakan dalam bentuk kering maupun encer (slurry), tetapi penambahan air harus tetap dilakukan.</li> <li>e. Pengawasan kualitas sangat penting dilakukan selama penggemburan, pencampuran dan pemadatan.</li> <li>f. Stabilisasi dengan kapur harus dilindungi dari air permukaan dan air tanah karena air tersebut dapat mengeluarkan kapur dari dalam campuran sehingga tanah akan kehilangan kekuatan akibat jenuh air.</li> </ul>
3.	Stabilisasi dengan semen	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Tipe semen yang digunakan adalah semen Portland dengan persentase 4 – 6%, dengan tujuan mengurangi potensi perubahan volume.</li> <li>b. Pelaksanaan stabilisasi dengan semen sama dengan yang dilakukan pada stabilisasi dengan kapur.</li> <li>c. Penggunaan stabilisasi dengan semen tidak seefektif stabilisasi dengan kapur untuk tanah lempung berplastisitas tinggi.</li> </ul>
4.	Pelat Beton	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Trotoar yang terbuat dari pelat beton sebaiknya diberikan tulangan.</li> <li>b. Sambungan lentur harus dapat menghubungkan trotoar dengan fondasinya.</li> <li>c. Harus sering dilakukan pemeriksaan terhadap retak dan kebocoran.</li> </ul>

**Tabel 2.6 (Lanjutan)**

5.	Aspal	a. Membran menerus harus ditempatkan di sepanjang tanah dasar dan saluran samping apabila aspal digunakan pada konstruksi jalan raya.
6.	Membran Horisontal	<p>a. Membran horisontal harus diperpanjang hingga cukup jauh dari perkerasan jalan atau fondasi untuk mencegah pergerakan air secara horisontal ke dalam tanah pondasi.</p> <p>b. Dibutuhkan kehati-hatian pada saat memasang membran di atas fondasi, merekatkan sambungan, serta memiringkan membran hingga berada di bawah dan jauh dari struktur.</p> <p>c. Bahan membran harus tahan lama dan terbuat dari bahan yang tidak mudah terdegradasi.</p> <p>d. Sambungan yang menghubungkan membran dengan struktur harus kuat dan tidak tembus air.</p> <p>e. Dibutuhkan kemiringan yang cukup untuk mengalirkan drainase permukaan langsung dari ujung-ujung membran.</p>
7.	Membran Vertikal	<p>a. Membran harus dipasang sedalam mungkin sesuai dengan peralatan yang digunakan.</p> <p>b. Kedalaman pemasangan minimum yang digunakan adalah setengah dari kedalaman zona aktif.</p> <p>c. Tanah timbunan yang digunakan untuk mengisi parit harus kedap air.</p>
8.	Membran Pembungkus Lapisan Tanah	<p>a. Setiap sambungan harus tertutup rapat.</p> <p>b. Material yang digunakan harus tahan lama dan kuat terhadap urugan pasir.</p> <p>c. Penempatan lapisan pertama di atas membran bawah harus diawasi untuk mencegah kerusakan.</p>

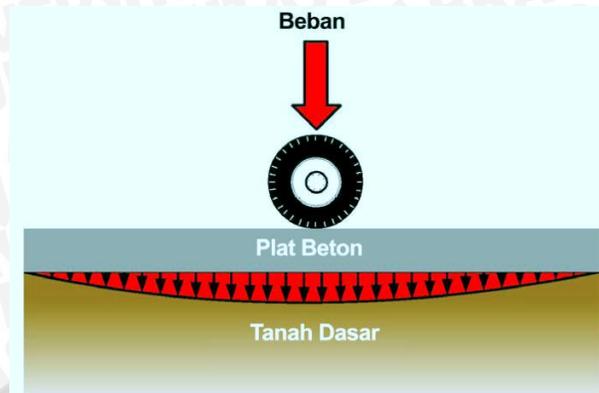
**Tabel 2.6** (Lanjutan)

9.	Pembebanan	<ol style="list-style-type: none"> <li>a. Apabila tekanan mengembang relatif rendah serta deformasinya masih dapat ditolerir, maka penggunaan metode pembebanan ini cukup efektif.</li> <li>b. Diperlukan pengujian tanah untuk menentukan kedalaman zona aktif dan besarnya tekanan mengembang maksimum yang akan dibebani.</li> <li>c. Pengawasan drainase sangat diperlukan selama pembebanan berlangsung untuk mencegah pengaliran air baik pada arah vertikal maupun horisontal.</li> </ol>
----	------------	--

### 2.2.2 Desain perkerasan kaku

Perkerasan dimaksudkan untuk memberikan permukaan yang halus dan aman di segala cuaca, serta tebal dari setiap lapisan harus cukup untuk menjamin bahwa beban yang bekerja tidak merusakkan perkerasan atau lapisan di bawahnya. Perkerasan atau struktur perkerasan didefinisikan sebagai struktur yang terdiri dari satu lapisan atau lebih dari bahan-bahan yang diproses.

Perkerasan kaku adalah perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikat. Beton dengan tulangan atau tanpa tulangan diletakkan di atas lapis pondasi bawah atau langsung di atas tanah dasar yang sudah disiapkan, dengan atau tanpa lapisan aspal sebagai lapis permukaan. Kekuatan perkerasan kaku ditentukan oleh kekuatan lapisan beton itu sendiri, sedangkan kekuatan tanah dasar tidak begitu menentukan. Kekuatan plat beton yang tinggi dapat memikul sebagian besar beban lalu lintas sehingga pengaruh pada daya dukung tanah dasar kecil. Gambar distribusi beban pada perkerasan kaku terdapat pada Gambar 2.7. Karena kekakuan pelat beton yang relatif tinggi sehingga dapat menyebarkan beban pada bidang yang luas. Tegangan yang timbul pada lapis pondasi bawah relatif kecil karena beban telah disebarkan oleh pelat beton.



**Gambar 2.3** Distribusi beban pada perkerasan kaku

Perkerasan beton mempunyai kekakuan atau modulus elastisitas yang tinggi dari perkerasan lentur. Beban yang diterima akan disebarkan ke lapisan dibawahnya sampai ke lapis tanah dasar. Dengan kekakuan beton yang tinggi, maka beban yang disalurkan tersebut berkurang tekanannya karena makin luasnya areal yang menampung tekanan beban sehingga mampu dipikul oleh lapisan dibawah (tanah dasar) sesuai dengan kemampuan CBR. Dalam perkerasan kaku, tebal plat beton didesain agar mampu memikul tegangan yang ditimbulkan oleh beban roda kendaraan, perubahan suhu dan kadar air, serta perubahan volume yang terjadi pada lapisan dibawahnya. Untuk memikul repetisi/pengulangan pembebanan lalu lintas sesuai dengan konfigurasi sumbu dan bebannya, dalam perhitungan tebal plat beton diterapkan kelelahan (fatigue). Pada prinsipnya, perkerasan kaku didesain atas dasar:

1. Kekuatan tanah dasar yang dinyatakan dalam modulus reaksi tanah dasar ( $k$ ).
2. Tebal dan jenis lapisan pondasi bawah yang salah satunya untuk mendapatkan keseragaman daya dukung di bawah pelat.
3. Kekuatan beton yang dinyatakan dalam kekuatan lentur tarik mengingat keruntuhan pada perkerasan beton berupa retakan oleh tegangan lentur tarik yang berlebihan.

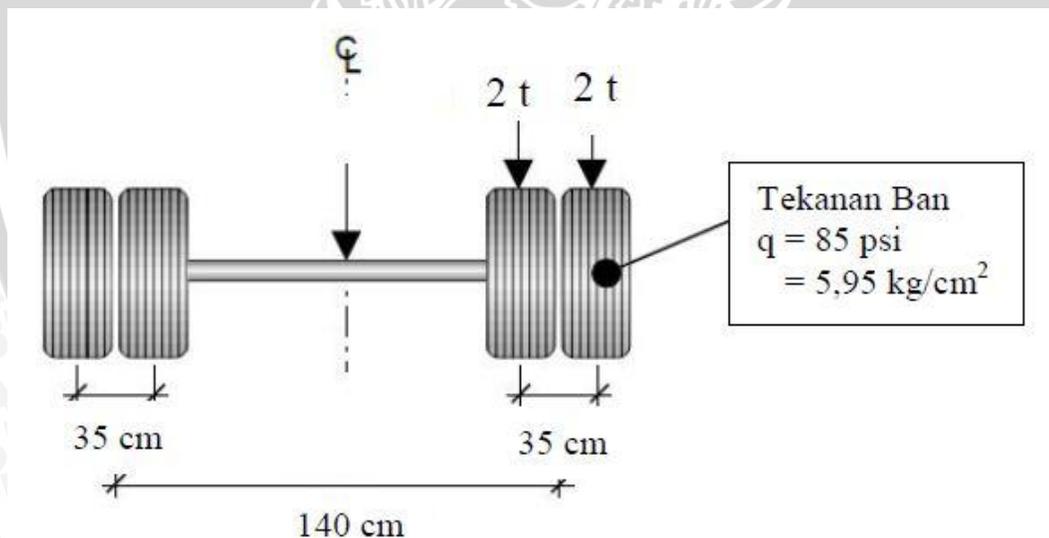
### 2.2.3 Pembebanan pada perkerasan jalan

Penyebab terjadinya kerusakan dini pada ruas-ruas jalan di Indonesia masih menjadi bahan perdebatan diantara para ahli dan pakar jalan. Tetapi disinyalir banyak pihak bahwa kerusakan-kerusakan dini tersebut kemungkinan disebabkan oleh : (1) Akibat adanya pelanggaran batas muatan maksimum yang diperkenankan; (1) Pelaksanaan pekerjaan yang

tidak sesuai dengan perencanaan; dan, (3) Kurangnya pengetahuan tentang pembuatan jalan sehingga banyak faktor yang mempengaruhi perencanaan diabaikan.

Standar perencanaan Bina Marga saat ini membedakan kekuatan jalan berdasarkan beban maksimum yang lewat yakni muatan sumbu terpusat (MST) 8 ton dan 10 ton, sedangkan menurut AASHTO perencanaan tebal perkerasan berdasarkan jumlah total faktor kerusakan (*damage factor*) yang umumnya dapat dinyatakan dalam EAL (*equivalent Axle Load*). AASHTO (1972), menetapkan beban gandar standar adalah sebesar 18000 kips (8,16 ton). Beban-beban as kendaraan lainnya kemudian dikorelasikan kepada beban gandar standar untuk mendapatkan EAL dari beban tersebut. Harga EAL ini pulalah yang menunjukkan harga *damage factor* dari beban gandar kendaraan yang bersangkutan. Bila *damage factor* bagi beban gandar standar 8,16 ton melintas satu kali adalah sebesar 1 (satu), (Mochtar, 1998).

AASHTO (2003) mengatakan bahwa jumlah retak melintang di sepanjang perkerasan meningkat dengan menurunnya jarak pada ban terluar dengan jarak terluar pada perkerasan (sambungan longitudinal) disepanjang jalan yang dilalui oleh truk.



**Gambar 2.4 :** Desain axle load standard. axle load = 80 KN = 8,16 ton

### 2.2.3.1 Beban gandar kendaraan

Beban gandar kendaraan adalah beban total kendaraan yang didistribusikan pada gandar masing-masing kendaraan dan ditanggung sepenuhnya oleh roda kendaraan. Bina Marga (1987), dalam PPPLJR dengan Metode Analisa Komponen, SKBI-2.3.26.1987,

menyebutkan komposisi gandar kendaraan yaitu : (1) MP 1.1 (2 ton) dengan distribusi beban 1 ton + 1 ton, (2) Bus 1.2 (8ton) dengan distribusi beban 3 ton + 5 ton, (3) Truk 1,2 L (13ton) dengan distribusi beban 5 ton + 8 to, (4) truk 1.22 (20ton) dengan distribusi beban 6 ton + 14 ton, dan (5) truk 1.22 + 2.2 (30ton) dengan distribusi beban 6 ton + 14 ton + 5 ton + 5ton.

Sedangkan Klasifikasi jalan berdasarkan beban ganda yang diijinkan lewat adalah seperti yang termuat dalam Peraturan Pemerintah tentang Lalu Lintas Nasional (PPLLN) no. 5 tahun 1964. Tabel 1 menunjukkan hubungan antara Kelas Jalan dengan Beban Gandar Maksimum yang diijinkan lewat. Kelas jembatan disesuaikan dengan kelas jalan, dan dalam pelaksanaannya kelas jembatan ditetapkan setingkat lebih tinggi dari pada kelas jalannya.

**Tabel 2.7 :** Hubungan Antara Kelas Jalan Dengan Beban Gandar

Kelas Jalan	Beban Gandar Maksimum (Tonf)
I	7,0
II	5,0
III	3,5
IIIA	2,75
IV	2,0
V	1,5

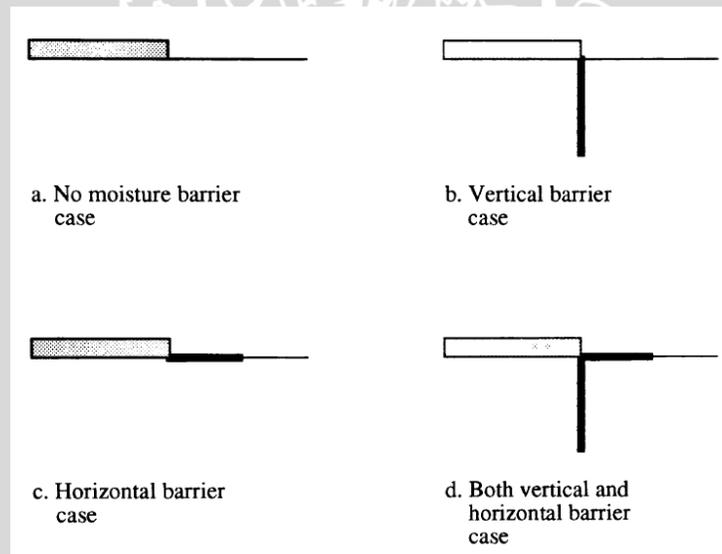
#### 2.2.4 Analisis desain struktur pada perubahan volume tanah

Perbedaan gaya mengembang yang dimiliki oleh tanah liat dapat menyebabkan perubahan besar pada nilai gaya geser dan momen dalam struktur pondasi. Pada Perkerasan kaku dengan pengaku (slabe-on-grade), perbedaan gaya mengembang tadi dapat meningkatkan kemungkinan kerusakan struktur. Jika kondisi lingkungan menyebabkan gangguan kadar air tanah maka kerusakan struktural dapat lebih cepat lagi terjadi atau kerusakan struktural ini dapat berkembang secara perlahan selama bertahun-tahun sampai terjadi kerusakan.

Aplikasi perkerasan kaku pada tanah dasar ekspansif harus mampu menahan tekanan pengembangan yang bekerja di bawah pelat. Menurut Surat-2011 Pengembangan tanah ekspansif dapat dicegah melalui pemberian beban yang cukup besar untuk menahan tekanan mengembang. Pergerakan tanah bergantung pada kandungan airnya. Energi yang

dihasilkan oleh perilaku ekspansif mampu merusak struktur jalan maka penambahan gelagar atau grade pada bagian bawah pelat (perkerasan kaku) merupakan solusi agar pelat menjadi lebih kaku lagi, kokoh dan kuat yang diharapkan bisa menahan perilaku ekspansif tanah. Ketika terjadi kenaikan kadar air akibat hujan di tepi perkerasan, bagian ini mengembang dan cenderung mengangkat pelat ke atas. Gaya ini ditahan oleh gelagar. Kekakuan pelat akibat adanya gelagar menyebabkan pelat perkerasan cenderung tetap rata. Agar efektif dan efisien tentunya berbagai variasi gelagar perlu dicoba dan diteliti sehingga ditemukan model yang tepat guna untuk mengatasi perilaku tanah ekspansif.

Dari pengamatan yang dilakukan oleh Zekai Angin mengenai “*Estimating Structural Design Parameters For Slab-On-Grade Supported Residential And Light Comercial Structur From Fundamental Soil Moisture Changes*” dalam kasus penghalang vertikal, didapat bahwa besarnya perpindahan tanah diferensial berkurang jauh dengan bertambahnya penghalang vertikal mendalam. Variasi penghalang vertikal tersebut seperti ditunjukkan pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5 :** Variasi penghalang vertikal perkerasan kaku

### 2.3 Teori Pemodelan

Secara umum model struktur dibagi menjadi 3, yakni *true model*, *adequate model* dan *distorted model*. Berikut adalah penjelasan singkat mengenai model-model tersebut :

- True model* adalah dimana persyaratan similaritas model tersebut dipenuhi semua berdasarkan prototipe yang biasa disebut complete similarity.

- b. *Adequate model*. Model jenis ini hanya “*the first order similarity*“ yang dipenuhi sedangkan “*the second order similarity* “ tidak dipenuhi. Karena pengaruh “*the second order similarity*” relatif sangat kecil, maka hasil eksperimen masih cukup akurat.
- c. *Distorted model*. Model jenis ini, salah satu atau lebih variable yang termasuk “*the first order*”, persyaratan similaritasnya tidak dipenuhi. Model jenis ini tidak disarankan dipakai.

Setiap model struktur tertentu yang dibangun didalam laboratorium memiliki faktor skala optimal geometris. Model yang terlalu kecil akan mendapatkan kesulitan yang besar pula dalam pembuatan dan instrumentasi. Sedangkan untuk model yang besar lebih mudah untuk pembuatannya tetapi juga membutuhkan peralatan beban jauh lebih berat. Pada umumnya faktor skala geometri pada pemodelan dapat dilihat pada tabel berikut.

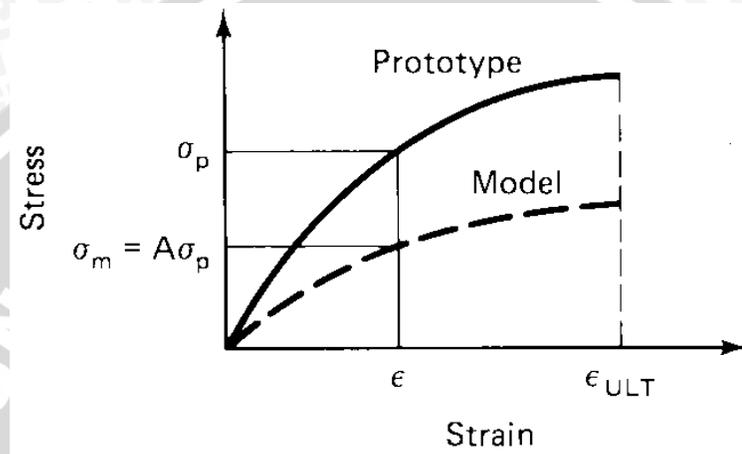
**Tabel 2.8** Skala Geometri Pada Pemodelan

Type of Structure	Elastic Models	Strength Models
Shell roof	$\frac{1}{200}$ to $\frac{1}{50}$	$\frac{1}{30}$ to $\frac{1}{10}$
Highway bridge	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{20}$ to $\frac{1}{4}$
Reactor vessel	$\frac{1}{100}$ to $\frac{1}{50}$	$\frac{1}{20}$ to $\frac{1}{4}$
Beam/slab structures	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{10}$ to $\frac{1}{4}$
Dams	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{75}$
Wind effects	$\frac{1}{300}$ to $\frac{1}{50}$	Not applicable

Sumber : Harry G. and Gajanan M. dalam Structural Modeling and Experimental Techniques

### 2.3.1 Model dengan *the first order similarity*

Model dengan *the first order similarity* didefinisikan sebagai derajat model untuk kesamaan prototipe sehingga beberapa nilai dapat diabaikan. Dengan kata lain  $\phi_p / \phi_m$  dapat disama dengan satu, atau misalnya seperti perbedaan perilaku antara beban seragam dan pola diskrit diterapkan maka muatan dapat diabaikan. Hubungan antara model dengan prototipe dalam nilai tegangan dan regangan dapat digambarkan seperti gambar



**Gambar 2.6** Hubungan tegangan-regangan antara model dan prototipe

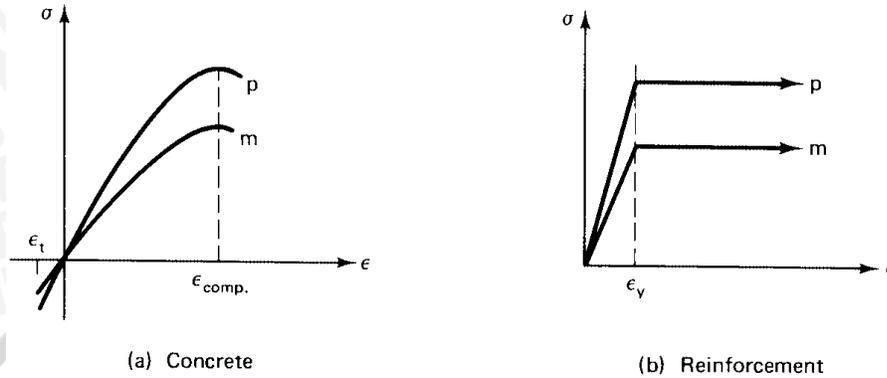
Sumber : Harry G. and Gajanan M. dalam *Structural Modeling and Experimental Techniques*

### 2.3.2 Model perkuatan beton

Tidak mudah untuk memodelkan perilaku dari elastisitas struktur beton bertulang. Kesulitan terdapat pada sifat beton bertulang yang elastis dan mempunyai kekuatan tarik dan tekan cukup besar. Kesulitan lainnya adalah dalam fase memperkuatnya, antara kekuatan material dan karakteristik kekasaran permukaan harus benar-benar diperhatikan. Karena pemodelan struktur beton bertulang biasanya mencakup pemberian beban sampai menghancurkan model maka kriteria kehancuran untuk model beton bertulang yang mengalami tegangan multiaksial harus juga indentik dengan dengan beton prototipe. Tidak adanya kriteria kegagalan yang jelas biasanya menyebabkan orang untuk menghiraukan persyaratan ini, seperti diuraikan di bawah ini :

- Kurva tegangan-regangan harus geometris serupa dalam model dan prototipe untuk beton baik tegangan *unaxial* dan kuat tekannya.
- $\epsilon_m = \epsilon_p$  pada kondisi beton hancur akibat tekanan *unaxial* dan kuat tekannya.

Untuk membuat agar kurva tegangan dan regangan menjadi identik antara model dan prototipe kelihatannya memang tidak mungkin untuk dilakukan sehingga faktor berat jenis bahan dapat diabaikan.



**Gambar 2.7** Perbandingan model dan prototipe antara beton dan beton dengan perkuatan  
 Sumber : Harry G. and Gajanan M. dalam Structural Modeling and Experimental Techniques

**Tabel 2.9** Ringkasan faktor skala model beton bertulang

(1)	Quantity (2)	Dimension (3)	True Model (4)	Practical True Model (5)	Distorted Model, Case 1 (Figure 2.7) (6)	Distorted Model, Case 3 (Figure 2.8) (7)
Material-Related Property	Concrete stress, $\sigma_c$	$FL^{-2}$	$S_\sigma$	1	$S_\sigma$	$S_\sigma$
	Concrete strain, $\epsilon_c$	—	1	1	$S_\epsilon$	$S_\epsilon$
	Modulus of concrete, $E_c$	$FL^{-2}$	$S_\sigma$	1	$S_\sigma/S_\epsilon$	$S_\sigma/S_\epsilon$
	Poisson's ratio, $\nu_c$	—	1	1	1	1
	Specific weight, $\gamma_c$	$FL^{-3}$	$S_\sigma/S_l$	$1/S_l$	$S_\sigma/S_l$	$S_\sigma/S_l$
	Reinforcing stress, $\sigma_r$	$FL^{-2}$	$S_\sigma$	1	$S_\sigma$	$S_\sigma$
	Reinforcing strain, $\epsilon_r$	—	1	1	$S_\epsilon$	$S_\epsilon$
	Modulus of reinforcing, $E_r$	$FL^{-2}$	$S_\sigma$	1	1	1
	Bond stress, $u$	$FL^{-2}$	$S_\sigma$	1	$S_\sigma$	<sup>a</sup>
Geometry	Linear dimension, $l$	$L$	$S_l$	$S_l$	$S_l$	$S_l$
	Displacement, $\delta$	$L$	$S_l$	$S_l$	$S_\epsilon S_l$	$S_\epsilon S_l$
	Angular displacement, $\beta$	—	1	1	$S_\epsilon$	$S_\epsilon$
	Area of reinforcement, $A_r$	$L^2$	$S_l^2$	$S_l^2$	$S_l^2$	$S_\sigma S_l^2/S_\epsilon$
Loading	Concentrated load, $Q$	$F$	$S_\sigma S_l^2$	$S_l^2$	$S_\sigma S_l^2$	$S_\sigma S_l^2$
	Line load, $w$	$FL^{-1}$	$S_\sigma S_l$	$S_l$	$S_\sigma S_l$	$S_\sigma S_l$
	Pressure, $q$	$FL^{-2}$	$S_\sigma$	1	$S_\sigma$	$S_\sigma$
	Moment, $M$	$FL$	$S_\sigma S_l^3$	$S_l^3$	$S_\sigma S_l^3$	$S_\sigma S_l^3$

<sup>a</sup> Function of choice of distorted reinforcing area.

Sumber : Harry G. and Gajanan M. dalam Structural Modeling and Experimental Techniques

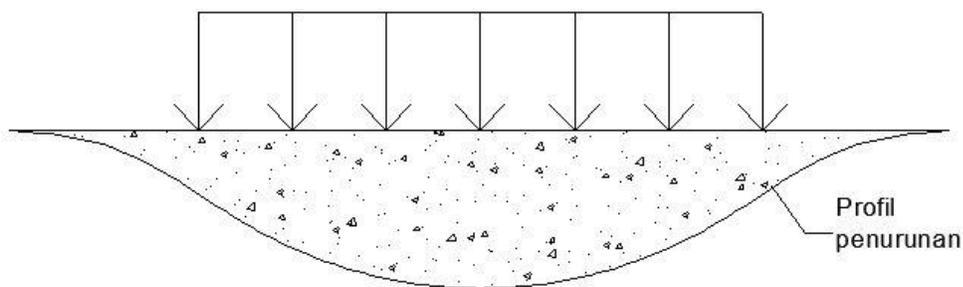
## 2.4 Lendutan dan Tegangan Pada Tanah

### 2.4.1 Lendutan tanah

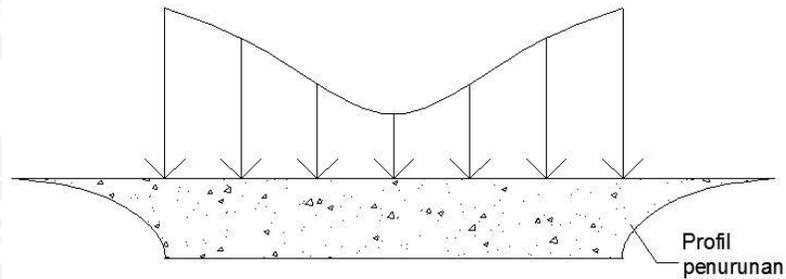
Jika lapisan tanah mengalami pembebanan maka lapisan tanah akan mengalami regangan atau penurunan (*settlement*). Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengaruh rongga pori atau air didalam rongga tersebut. Jumlah dari regangan sepanjang lapisan merupakan penurunan total tanahnya. Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*). ( *Hardiyatmo,1994, Hal 93* ).

Jadi jika perkerasan jalan mengalami lendutan yang disebabkan oleh beban yang bekerja di atasnya maka secara tidak langsung tanah dasar (*subgrade*) yang berada di bawah perkerasan juga kan mengalami lendutan. Lendutan perkerasan yang terjadi di perkerasan ini nilainya bisa dianggap sama dengan penurunan yang terjadi pada tanah yang berada di bawahnya jika regangan yang terjadi pada perkerasan terutama pada perkerasan kaku diabaikan (sangat kecil sekali).

Suatu pondasi lentur yang memikul beban merata dan terletak di atas material yang elastis (seperti lempung yang jenuh) akan mengalami penurunan elastis yang berbentuk cekung seperti yang ditunjukkan dalam **gambar 2.8.a**. Akan tetapi, apabila pondasi tersebut kaku dan berada di atas material yang elastis seperti lempung, maka tanah yang berada di bawah pondasi itu akan mengalami penurunan yang merata dan tekanan pada bidang sentuh akan mengalami pendistribusian ualang (**gambar 2.8.b**).



(a)



(b)

**Gambar 2.8** Profil penurunan segera dan tekanan pada bidang sentuh pada lempung ; (a) pondasi lentur, (b) pondasi kaku

### 2.4.1 Tegangan tanah

Tanah adalah sistem yang berfase banyak. Dalam suatu tanah dengan volume tertentu, butiran pori tersebut berhubungan satu sama lain hingga merupakan suatu saluran seperti kemampuan memampat dari tanah, daya dukung pondasi, kestrabilan timbunan, dan tekanan tanah horisontal pada konstruksi dinding penahan tanah, kita perlu mengetahui perilaku dari distribusi tegangan sepanjang suatu penampang tanah. Kita dapat memulai analisis dengan menganggap suatu tanah jenuh air tanpa rembesan.

**Gambar 2.9** menunjukkan suatu massa tanah jenuh air di dalam suatu tabung tanpa adanya rembesan air dalam segala arah. Tegangan total pada titik A dapat dihitung dari berat volume air di atasnya. Jadi

$$\sigma = H \cdot \gamma_w + (H_A - H) \cdot \gamma_{sat}$$

di mana :

$\sigma$  = tegangan total pada titik A

$\gamma_w$  = berat volume air

$\gamma_{sat}$  = berat volume tanah jenuh air

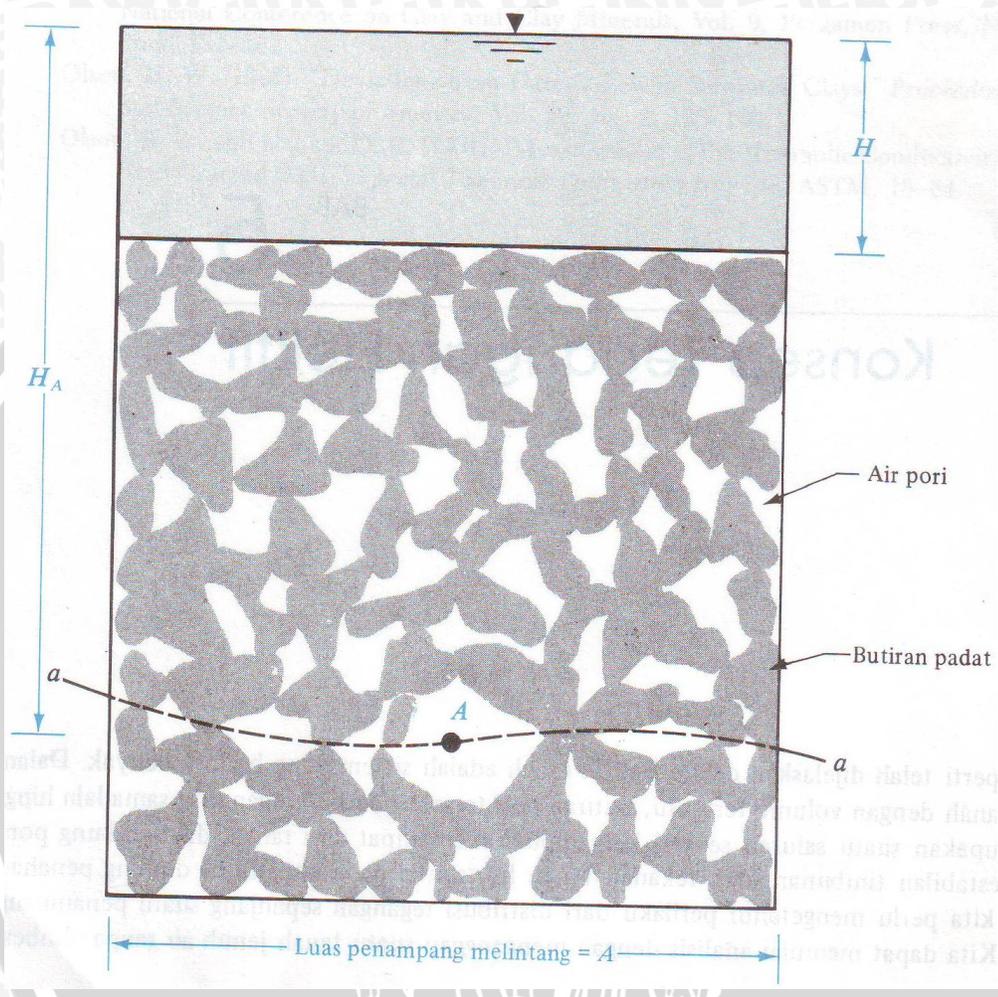
H = tinggi muka air diukur dari permukaan tanah di dalam tabung

$H_A$  = jarak antara titik A dan muka air.

Tegangan total yang diberikan pada persamaan di atas dapat dibagi dalam dua bagian :

- a. Bagian yang diterima oleh air di dalam ruang pori yang menerus. Tegangan ini bekerja ke segala arah sama besar.

- b. Sisa dari tegangan total dipikul oleh butiran tanah padat pada titik-titik sentuhnya. Penjumlahan komponen vertikal dari gaya-gaya yang terbentuk pada titik-titik sentuh butiran tanah tersebut per satuan luas penampang melintang massa tanah dinamakan tegangan efektif (*effective stress*).



**Gambar 2.9** Peninjauan tegangan efektif untuk suatu tanah jenuh air di dalam tabung tanpa adanya rembesan

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Rencana Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam Tiga tahapan, yaitu pekerjaan persiapan, pemodelan penelitian dan pekerjaan laboratorium. Perencanaan penelitian penting dilakukan agar pelaksanaan penelitian dapat berjalan dengan baik sehingga mendapatkan hasil sesuai yang diinginkan serta tepat waktu.

#### 3.2 Pekerjaan Persiapan

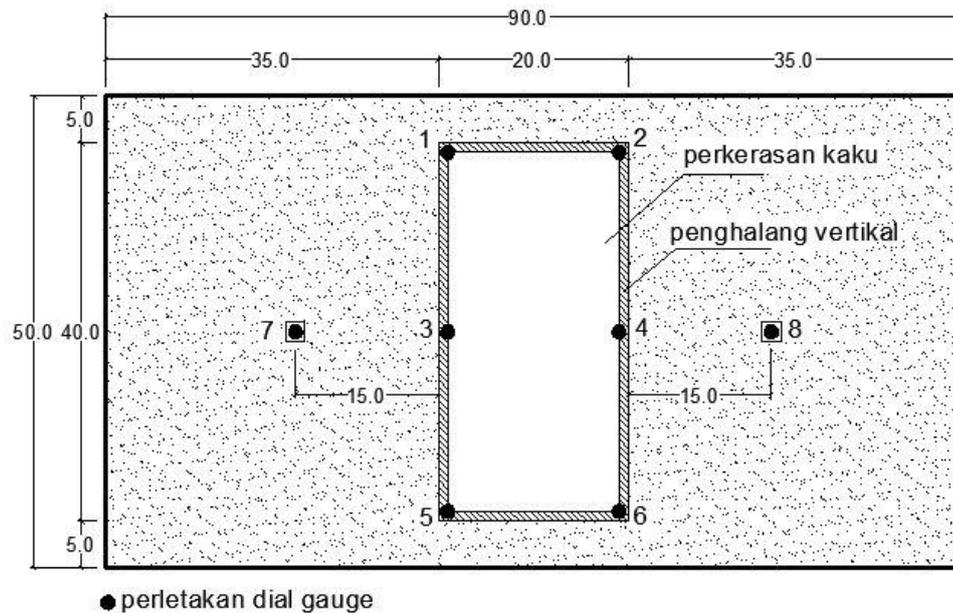
Pekerjaan persiapan merupakan pekerjaan awal sebagai rangkaian pelaksanaan. Tahap pelaksanaan meliputi studi pendahuluan, konsultasi dengan beberapa nara sumber, pengajuan proposal, mengurus perijinan penelitian dan koordinasi untuk pekerjaan lapangan dan pekerjaan laboratorium.

#### 3.3 Pemodelan Penelitian

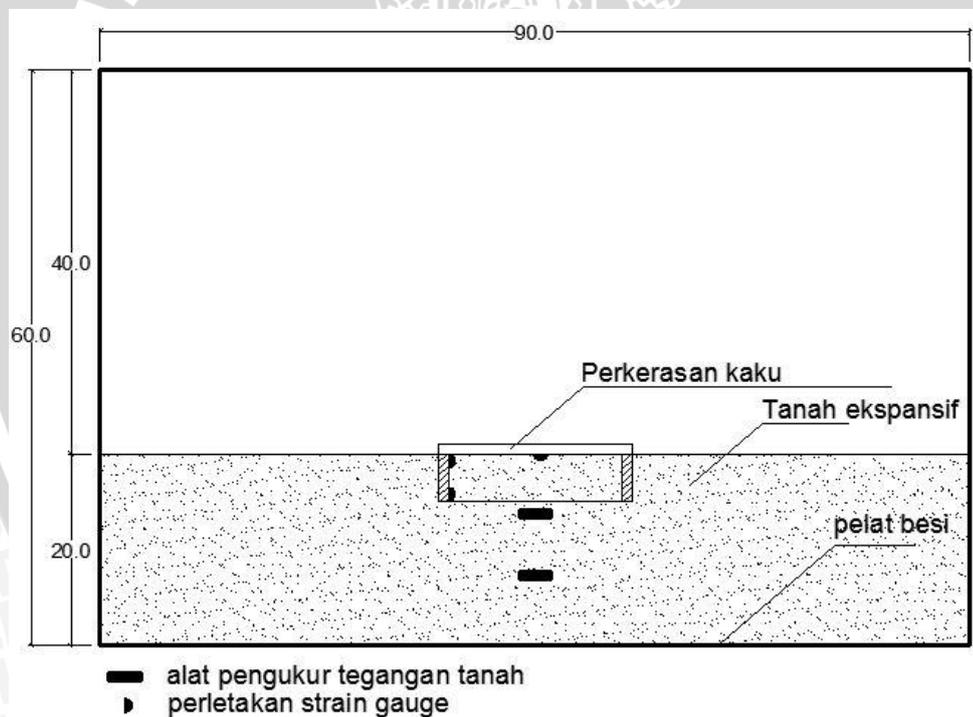
##### 3.3.1 Pemodelan perkerasan dan penempatan alat uji

Pemodelan perkerasan ini dilakukan untuk membuat model perkerasan kaku dari prototype jalan yang direncanakan. Model perkerasan kaku ini terbuat dari beton campuran 1PC : 3 Psr dengan skala geometri 1:20. Sedangkan untuk kondisi tanah yang digunakan sebagai pondasi bawah (*subgrade*) adalah jenis tanah yang bersifat terganggu (*disturb soil*).

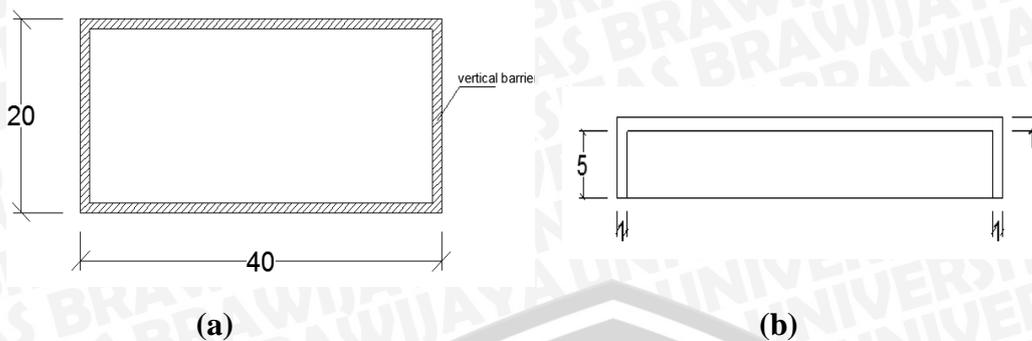
Kondisi model dari perkerasan kaku ini dapat diilustrasikan seperti **gambar 3.1-3.5**. Dari gambar tersebut model perkerasan kaku di ditempatkan pada box dengan pelat besi sebagai tanah dasar dan tanah ekspansif dengan variasi kondisi kadar air sebagai *subgrade*.



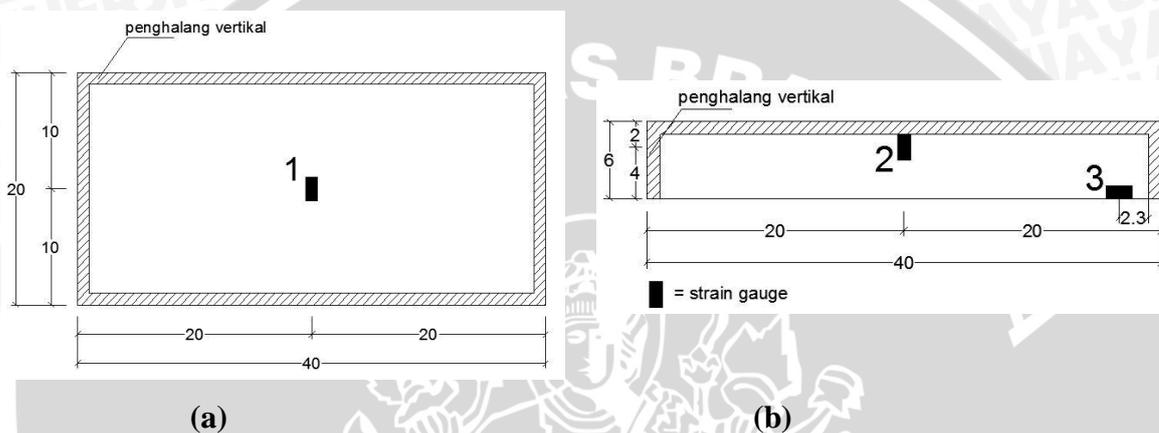
Gambar 3.1 Tampak atas penempatan model dalam box



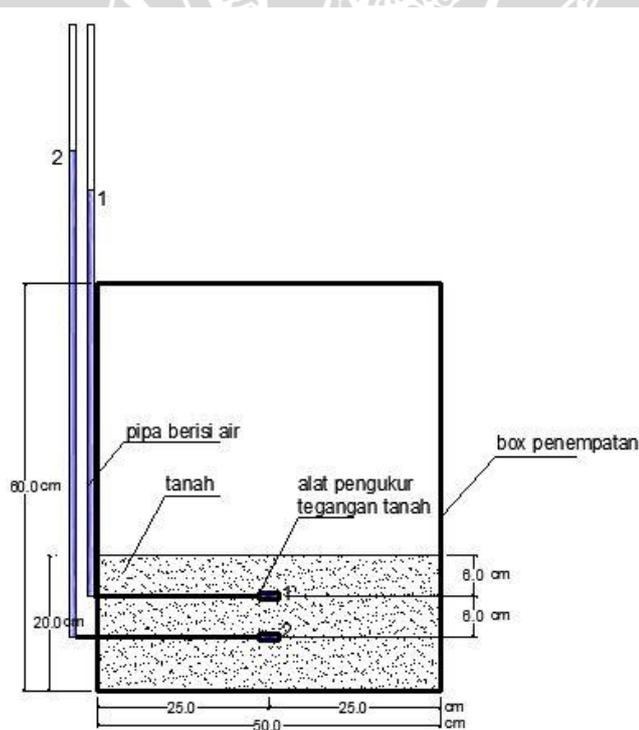
Gambar 3.2 Tampak depan penempatan model dalam box



**Gambar 3.3** Detail dimensi perkerasan kaku. a) tampak atas, b) tampak depan



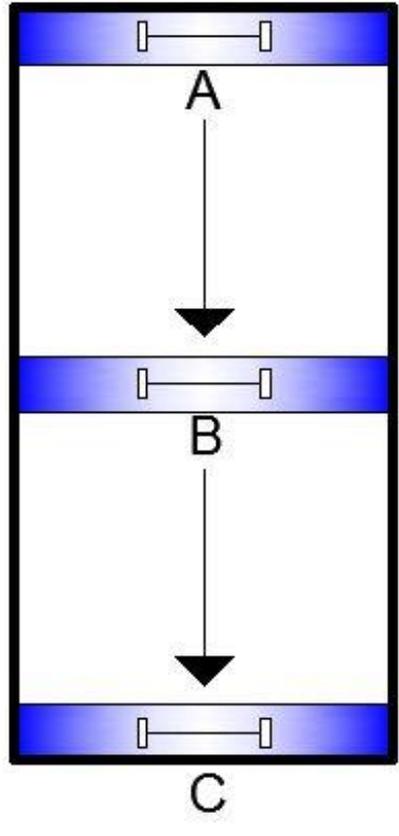
**Gambar 3.4** Perletakan *strain gauge* pada perkerasan. a) tampak atas, b) tampak depan



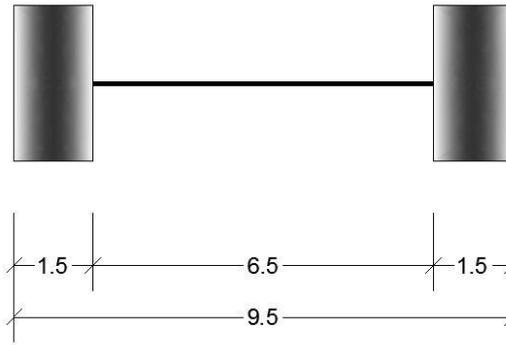
**Gambar 3.5** Perletakan alat pengukur tegangan tanah

## 3.3.2 Pemodelan perilaku pembebanan pada perkerasan dan kondisi tanah

**Tabel 3.1** Rancangan penelitian dengan menggunakan variasi tanah dan perilaku pola pembebanan

Penambahan Kadar air tanah (%)	Berat beban (kg)	Pola pembebanan
15	3.75	
	5	
	6.125	
30	3.75	
	5	
	6.125	
40	3.75	
	5	
	6.125	
rendaman	3.75	
	5	
	6.125	

Pola pembebanan yang dilakukan pada perkerasan ini dilakukan dengan kondisi pada tabel 3.1. diatas yaitu dengan banyak lintasan pertipe pembebanan sebanyak 3 kali dan waktu yang dibutuhkan perlintasan 40 detik. Dengan asumsi perlintasan pembebanan ada tiga titik, dimasing-masing titik memerlukan waktu 10 detik untuk pemberhentian beban dan pembacaan alat uji. Dari titik satu menuju titik lain diasumsikan membutuhkan waktu 5 detik. Pergerakan beban roda dimulai dari titik A ke titik B dan diakhiri sampai titik C.



**Gambar 3.6** Detail beban roda yang akan digunakan

### 3.4 Pekerjaan Laboratorium

#### 3.4.1 Percobaan penelitian

Percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

- Percobaan penelitian pada tanah :
  1. Analisa Saringan basah (*Wet Sieving*)
  2. Uji Hydrometer
  3. Pemeriksaan Batas Konsistensi (*Atterberg Limit*)
  4. Uji swelling dengan *Free swell*
  5. Uji pemadatan standart
  6. Uji minerologi tanah
- Percobaan penelitian pada model :
  1. Uji perilaku tegangan dan lendutan tanah dengan pola pembebanan yang telah ditentukan
  2. Uji kadar air dan berat volume tanah tiap variasi kadar air

#### 3.4.2 Pengumpulan data

Data yang digunakan pada studi ini berasal dari data primer yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan di laboratorium dan data sekunder yang diperoleh dari data lapangan.

### 3.5 Metode Penelitian

#### 3.5.1 Uji dasar

Sebelum melakukan penelitian, dilakukan uji dasar terlebih dahulu terhadap tanah yang akan dipakai dan bahan model perkerasan yang akan digunakan.

Berikut metode pengujian fisik dan mekanis tanah:

- a. Pemeriksaan analisis saringan dengan metode basah
- b. Pemeriksaan kadar air
- c. Uji *Free Swell*
- d. Uji Hydrometer
- e. Uji pemadatan standart
- f. Uji minerologi tanah

#### 3.5.2 Uji perilaku

Untuk mengetahui pengaruh variasi kondisi kadar air tanah terhadap tegangan dan lendutan tanah ekspansif terhadap perkerasan kaku maka dilakukan uji perilaku yaitu:

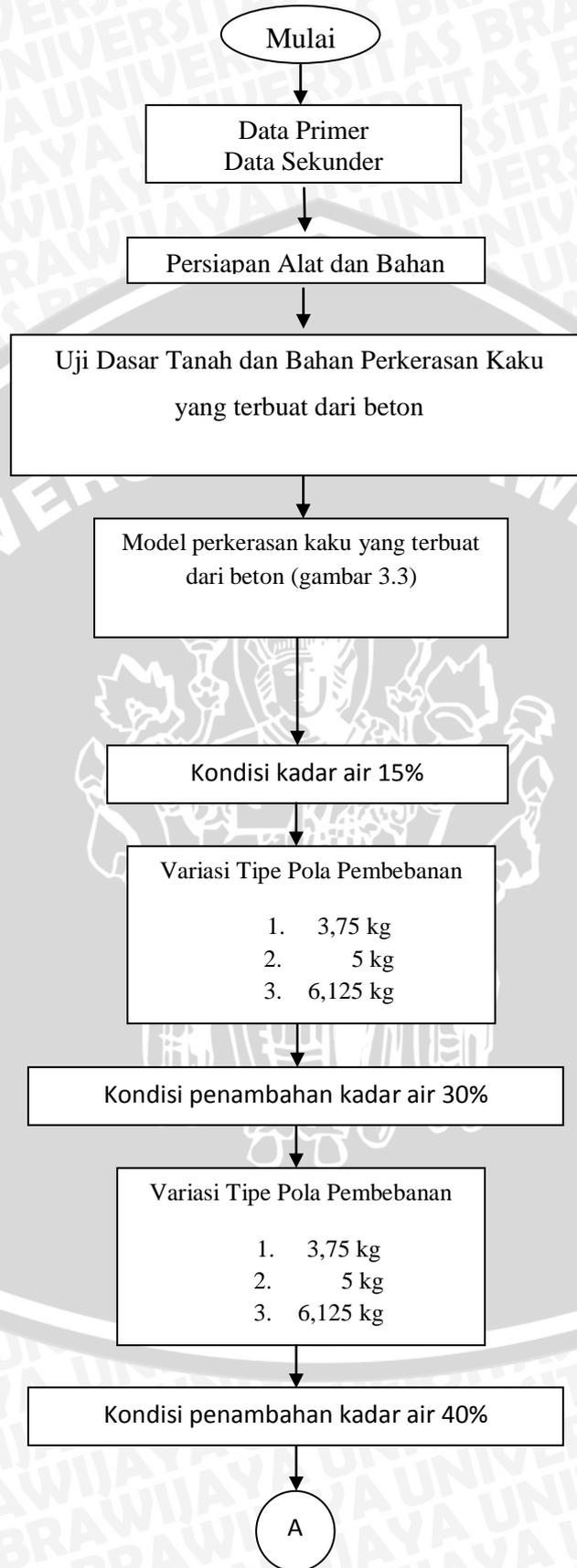
- a. Siapkan tanah ekspansif dengan kondisi tanah kering oven dengan berat 107,1 kg di dalam box. Kemudian pasang alat pengukur tegangan tanah pada tengah luasan tanah ekspansif dengan kedalaman 6 cm dan 12 cm seperti gambar 3.5.
- b. Model perkerasan kaku terbuat dari beton dengan dimensi seperti gambar 3.1.
- c. Tempatkan model perkerasan kaku yang telah terpasang *strain gauge* seperti pada gambar 3.4 diatas tanah ekspansif yang telah disiapkan dengan kondisi tanah ekspansif tersebut sebagai tanah dasar (*subgrade*) dari model perkerasan kaku
- d. Pasang alat *dial gauge* pada model perkerasan kaku dan tanah.
- e. Setelah tanah telah dikondisikan dan alat uji telah dipasang maka dilakukan pemberian air sebanyak 15% dari berat tanah awal dan didiamkan selama 2 jam untuk dicatat pengembangan tanah baik itu di bawah permukaan perkerasan maupun di atas tanah melalui dial gauge.

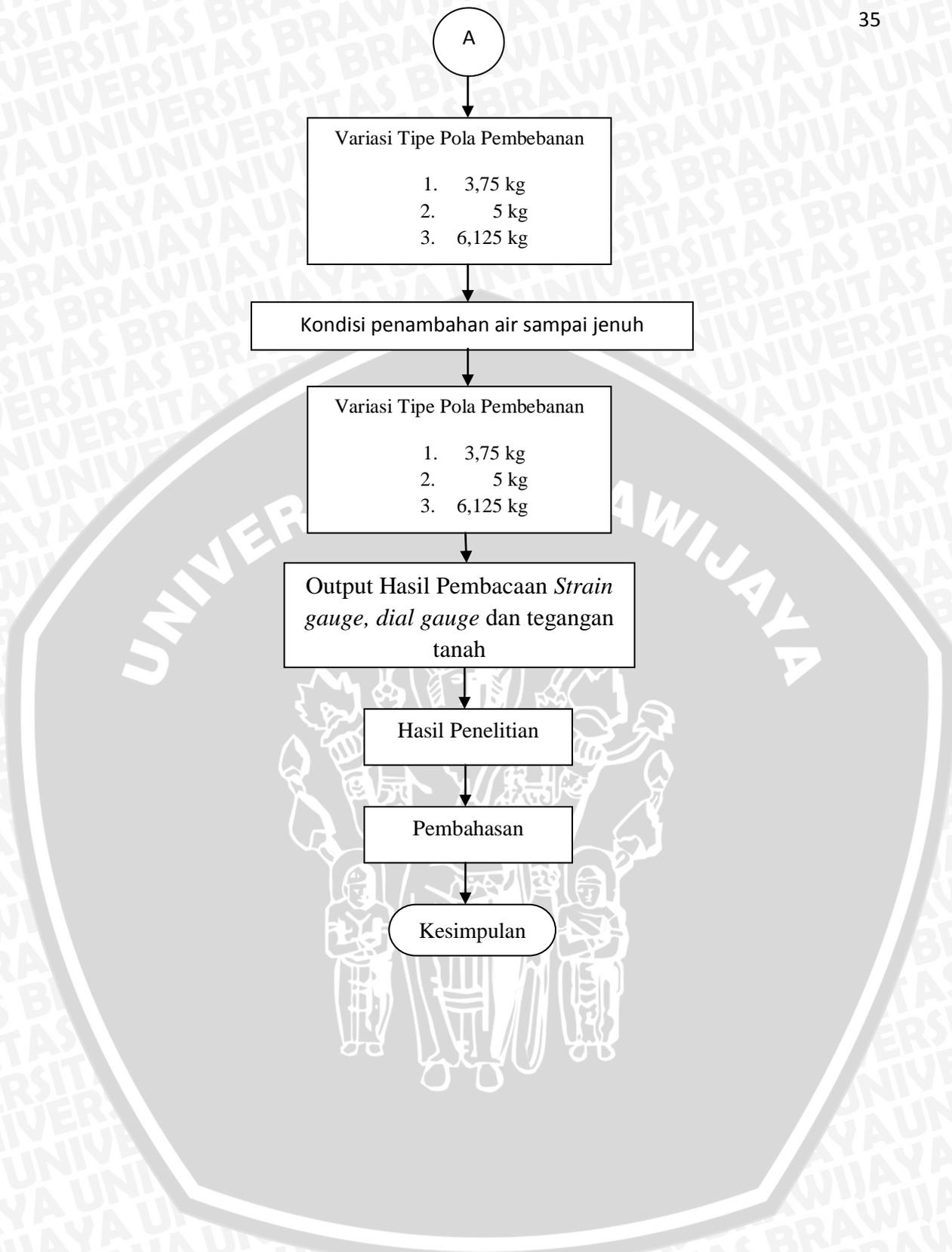
- f. Setelah 2 jam, diberikan beban pada model perkerasan kaku dengan variasi pola pembebanan sesuai dengan kondisi seperti pada tabel 3.1. Pada tahap ini pencatatan dari *strain meter*, alat pengukur tegangan dan *dial gauge* dilakukan.
- g. Setelah pemberian beban dilakukan maka proses selanjutnya yaitu mencatat hasil pengembangan tanah dan pengukur tegangan tanah selama 24 jam dihitung mulai dari penambahan air.
- h. Setelah 24 jam, perkerasan kaku kembali diuji lagi pola pembebanan seperti langkah f.
- i. Kondisi tanah yang telah diberi beban pada langkah h maka dilakukan pengambilan sampel dalam ring untuk mengetahui berat volume dan kadar air dari kondisi tanah tersebut. Setelah itu tanah disekeliling perkerasan dipadatkan dan diambil sampel dalam ring lagi.
- j. Setelah langkah i selesai, tambahkan kadar air sebesar 15% dari kondisi tanah awal atau kering oven tadi dan ulangi langkah e sampai langkah i hingga penambahan kadar air total mencapai 40% dari berat awal kering oven tanah.
- k. Ketika langkah h dan i selesai dengan kadar air 40% maka selanjutnya dilakukan penambahan air sampai jenuh pada permukaan tanah ekspansif dan dicatat hasil dari pengembangan tanah dan tegangan tanah selama 24 jam. Kemudian diuji lagi dengan pola pembebanan seperti langkah f. dan setelahnya dilakukan lagi pengambilan sampel dalam ring.

### 3.6 Analisis Data

Setelah diperoleh data hasil percobaan dengan menggunakan *strain gauge*, *dial gauge*, dan alat untuk mengukur tegangan tanah maka dilakukan analisis data untuk memperoleh nilai tegangan dan lendutan tanah. Dari hasil nilai tegangan dan lendutan tersebut barulah akan dianalisis bagaimana perilaku tanah ekspansif terhadap perencanaan perkerasan kaku.

### 3.7 Bagan Alir Pengujian





## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas mengenai hasil penelitian yang dilakukan di dalam laboratorium mekanika tanah, Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Dari hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil dengan menggunakan tanah ekspansif yang diambil di daerah Kabupaten Paron, Ngawi, Jawa Timur, diperoleh hasil yang meliputi sifat fisik dan mekanik tanah

Sifat-sifat mekanik yang diperoleh adalah hasil dari pengujian simulasi pembebanan roda kendaraan yang dilakukan pada perkerasan kaku dengan tanah ekspansif sebagai *subgradenya*. Pengujian meliputi pemvariasian kadar air pada subgrade dengan pola pembebanan yang telah ditentukan pada perkerasan. Hasil dari pengujian akan dipaparkan dalam bentuk tabel dan grafik, berupa tegangan dan lendutan baik itu pada tanah maupun pada model perkerasan.

#### 4.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Pengujian sifat fisik tanah ini menjadi 3 bagian, yaitu pengujian analisis distribusi butiran, batas konsistensi tanah (*atterberg limits*), *free swell* dan *X ray Difraction*. Pengujian tersebut adalah sebagai berikut :

##### 4.1.1 Pengujian analisis distribusi butiran

Uji analisis butiran terbagi menjadi dua bagian pengujian, yaitu uji analisis saringan (dengan metode basah) dan uji analisis hidrometer. Analisis hidrometer berperan dalam menentukan distribusi ukuran butir-butir untuk tanah yang mengandung butir tanah lolos saringan no. 200. Sedangkan uji analisis saringan untuk menentukan distribusi ukuran butir-butir tanah yang tertahan saringan 200. Karena tanah lempung cukup sulit dalam proses pengayakan, maka uji analisis saringan dilakukan dengan metode basah (*Wet Sieve Analysis*), sehingga hasil ukuran butiran yang diperoleh lebih valid.

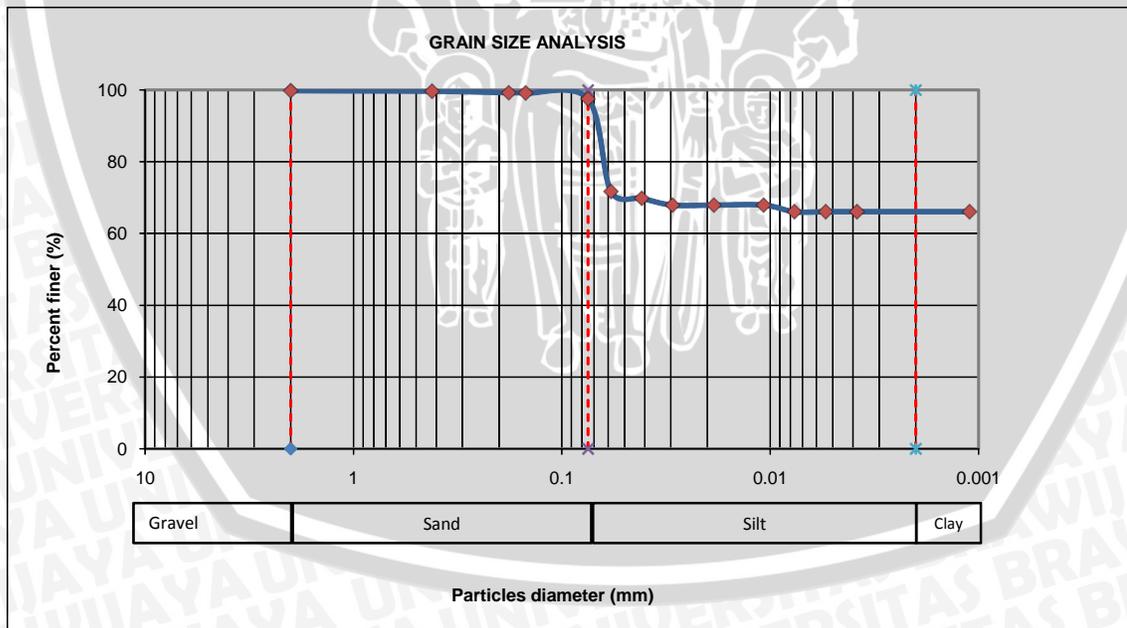
Hasil pengujian analisis saringan dapat dilihat pada **Tabel 4.1.**, sedangkan hasil pengujian analisis hidrometer dapat dilihat pada **Tabel 4.2.** Grafik yang menunjukkan distribusi ukuran butiran tanah lempung tercantum pada **Gambar 4.1.**

**Tabel 4.1** Hasil Pengujian Analisis Saringan Tanah Lempung

No Saringan	Diameter Saringan ( mm )	Berat tertahan ( gr )			
			Jumlah Tertahan	Presentase Tertahan %	Presentasi Lolos %
No. 10	2	0.80	0.8	0.20	99.8
No. 40	0.42	0.80	1.60	0.40	99.60
No. 80	0.18	1.50	3.10	0.78	99.23
No. 100	0.149	0.40	3.50	0.88	99.13
No. 200	0.075	6.30	9.80	2.45	97.55
PAN		390.20	400.00		

**Tabel 4.2** Hasil Pengujian Analisis Hidrometer Tanah Lempung

Waktu T (menit)	Pembacaan Hydrometer Ra	Composite Correction	Pembacaan Hydrometer terkoreksi R	Temperatur (C)	Kedalaman L ( cm )	Konstanta K	Diameter Butiran D ( mm )	Berat Lebih Kecil P %
0.5	1.02500	0.006	1.01900	31	9.7	0.01321	0.05813	71.713
1	1.02450	0.006	1.01850	30	9.8	0.01321	0.04138	69.825
2	1.02400	0.006	1.01800	30	10.0	0.01321	0.02946	67.938
5	1.02400	0.006	1.01800	30	10.0	0.01321	0.01863	67.938
15	1.02400	0.006	1.01800	30	10.0	0.01321	0.01076	67.938
30	1.02350	0.006	1.01750	30	10.1	0.01321	0.00766	66.051
60	1.02350	0.006	1.01750	30	10.1	0.01321	0.00541	66.051
120	1.02350	0.006	1.01750	30	10.1	0.01321	0.00383	66.051
1440	1.02350	0.006	1.01750	28	10.1	0.01321	0.00111	66.051



**Gambar 4.1** Grafik analisis butiran

**Tabel 4.3** Fraksi Butiran Tanah Lempung

Finer #200	97,55%	D10 (mm)	
Gravel	0%	D30 (mm)	
Sand	2,25%	D60 (mm)	
Silt	31,5%	Cu = D60/D10	
Clay	66,051%	Cc = D30 <sup>2</sup> /(D10xD60)	
		D50 (mm)	

Dari grafik yang didapatkan di atas, tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini memiliki prosentase distribusi butiran sebagai berikut :

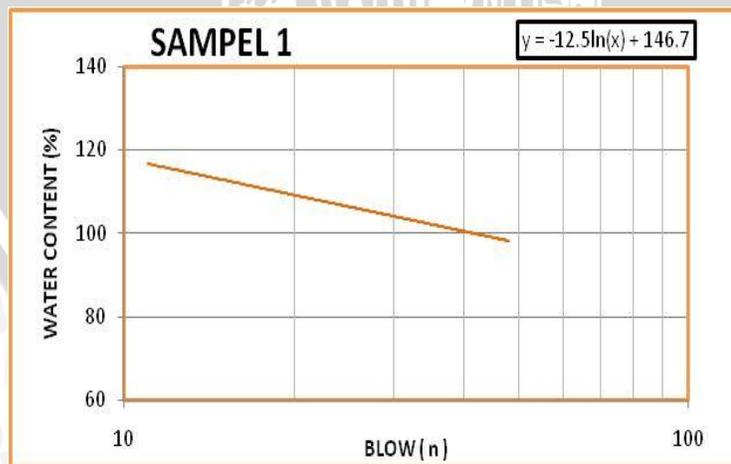
- Pasir sebesar 2,25 %
- Lanau sebesar 31,5 %
- Lempung sebesar 66,051%

4.1.2 Pengujian batas konsistensi tanah

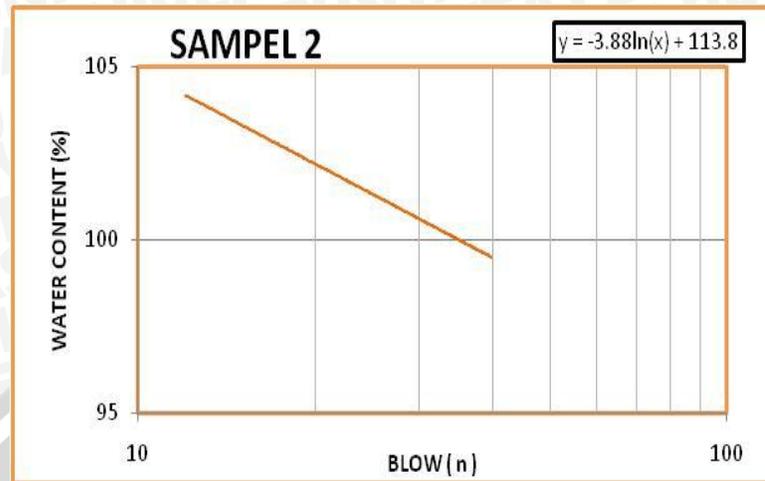
Pengujian batas-batas konsistensi atau biasa disebut Atteberg Limit terdiri dari tiga penelitian yaitu sebagai berikut :

4.1.2.1 Pengujian batas cair (*Liquid Limit*)

Pengujian batas cair memiliki tujuan untuk menentukan batas cair suatu tanah dan mengetahui jenis serta sifat-sifat tanah dengan ukuran butir lolos saringan no.40. Hasil dari pengujian yang telah didapatkan adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.2** Grafik hubungan antara pukulan dengan kadar air sampel 1



**Gambar 4.3** Grafik Hubungan antara Pukulan dengan Kadar Air Sampel 2

Dari grafik yang diperoleh di atas, untuk ketukan ke 25 dimasukkan nilai  $x = 25$  pada persamaan yang diperoleh, sehingga diperoleh pada sampel 1  $LL = 106.464\%$  dan pada sampel 2  $LL = 101.311\%$ . Maka nilai batas cair untuk tanah dari daerah paron Kabupaten Ngawi adalah sebesar  $103.887\%$ .

#### 4.1.2.2 Pengujian Batas Plastis (*Plastic Limit*) dan Indeks Plastis

Pengujian batas plastis bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi plastis. Hasil dari pengujian yang didapatkan adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.4** Pengujian Batas Plastis

No. cawan		1	2
Berat cawan	gr	4.2	5.6
Berat cawan + t. basah	gr	10.8	10.2
Berat cawan + t. kering	gr	8.7	8.7
Berat air	gr	2.1	1.5
Berat tanah kering	gr	4.5	3.1
Kadar air	%	46.667	48.387

Dari data yang diperoleh di atas, didapatkan batas plastis (PL) rata-rata untuk tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini adalah sebesar  $47.527\%$ , sehingga Indeks Plastis yang diperoleh adalah:

$$\begin{aligned}
 IP &= LL - PL \\
 &= 103.887 - 47.527 \\
 &= 56.3605 \%
 \end{aligned}$$

#### 4.1.2.3 Pengujian Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Pengujian batas susut memiliki tujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat. Dan hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.5** Pengujian Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

no. cetakan	1	2	3	4
berat cetakan	14.8	14.6	30.1	16.6
berat cetakan + tanah basah	52.4	50.1	48.1	50.9
berat cetakan + tanah kering	33.2	32	38.9	33.3
berat tanah basah	37.6	35.5	18	34.3
berat tanah kering	18.4	17.4	8.8	16.7
berat air	19.2	18.1	9.2	17.6
isi tanah basah	27.5	26.5	13.5	25
isi tanah kering	10	10	5	9
kadar air (%)	104.3478	104.023	104.5455	105.3892
SL (%)	9.23913	9.195402	7.954545	9.580838
SL rata2 (%)	8.992479128			

Dari data yang diperoleh di atas, menunjukkan bahwa batas susut untuk tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi adalah sebesar 8,992 %.

#### 4.1.3 Pengujian *free swell*

Pada uji pengembangan bebas (*free swell test*), (Gibbs and Holtz, 1956) yang telah dilakukan di laboratorium mekanika tanah Universitas Brawijaya didapatkan hasil sebagai berikut :

**Tabel 4.6** Pengujian Pengujian *Free Swell*

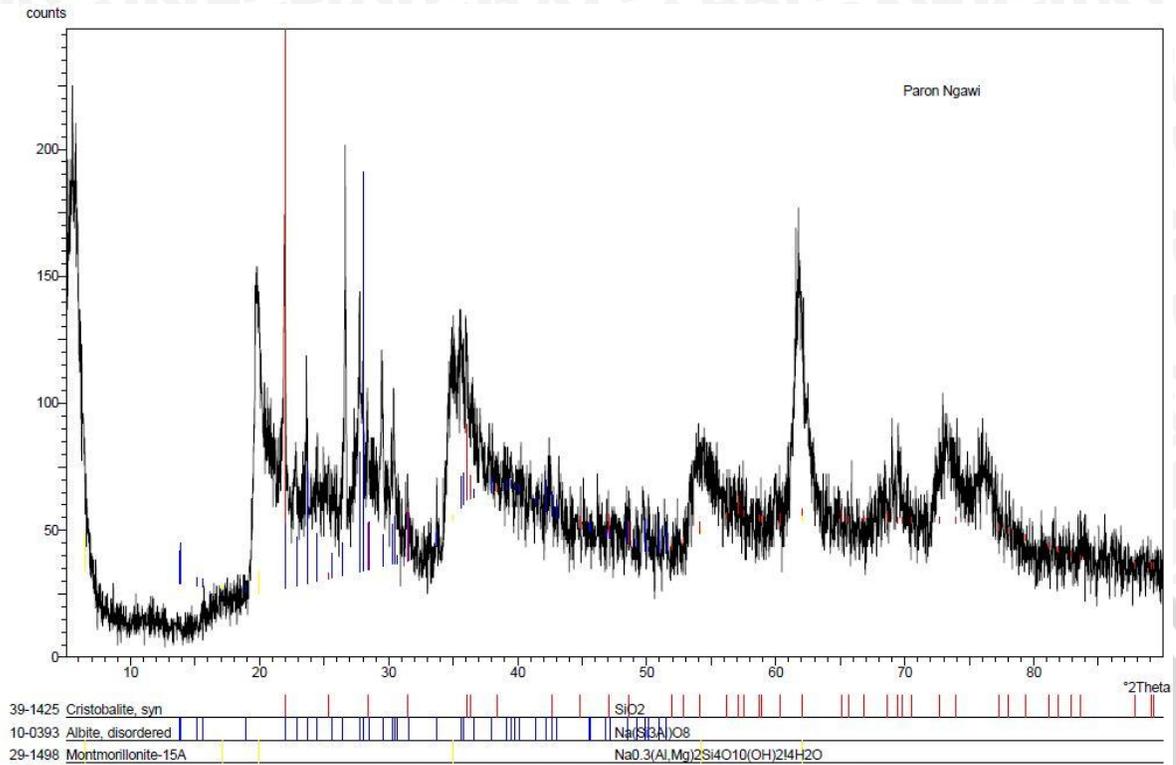
Waktu (menit)	Volume Sampel 1 (ml)	Volume Sampel 2 (ml)
0	10	10
5	27	30
10	27	30
20	27	30
30	27	30
<b>Rata-rata</b>	<b>28,5</b>	

$$\begin{aligned}
 \text{Pengembangan Bebas} &= \frac{\text{Volume Akhir} - \text{Volume Awal}}{\text{Volume Awal}} \times 100\% \\
 &= \frac{28,5 - 10}{10} \times 100\% \\
 &= 185\%
 \end{aligned}$$

Pada pengujian pengembangan bebas yang telah dilakukan di laboratorium mekanika tanah universitas brawijaya ini, diperoleh hasil pengembangan yang terjadi adalah sebesar 185 %.

#### 4.1.4 Pengujian minerologi tanah

Pada pengujian kandungan minerologi tanah ini dilakukan dengan metode difraksi sinar X (*X-Ray Diffraction*) atau yang sering dikenal dengan XRD, adalah merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit. Pengujian berupa identifikasi kristalit (kualitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X. Pengujian ini dilakukan pada tanggal 22 juni 2012 di laboratorium Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 4.4**. Didapatkan bahwa komposisi susunan bentuk tanah ini adalah berupa kelompok montmorillonite  $\text{Na}_{0.3}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .



Gambar 4.4 Grafik hasil analisis kualitatif dari difraksi sinar X

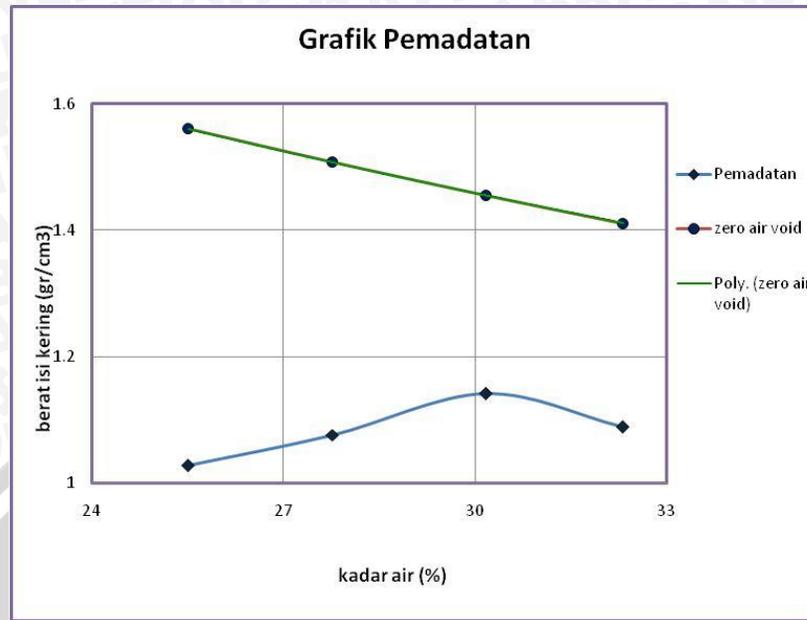
#### 4.2 Pengujian Pemadatan Standart

Pengujian Proctor standart memiliki tujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan dengan cara memadatkan suatu sampel tanah dalam silinder berukuran tertentu menggunakan cetakan, sampel tanah yang digunakan adalah tanah yang lolos saringan no. 4.

Selain itu uji proctor standar juga memiliki tujuan untuk mencari nilai kepadatan maksimum (*Maximum Dry Density*) dari suatu sampel tanah. Pada pengujian proctor standar didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Proctor Standart

Percobaan		1	2	3	4
kadar air (w)	%	25.50657543	27.7679231	30.168935	32.3086452
berat isi kering (γd)	gr/cm <sup>3</sup>	1.027183874	1.07651751	1.14157461	1.088172
berat jenis zero air void (γzav)	gr/cm <sup>3</sup>	1.584842968	1.53000926	1.47579489	1.43061918

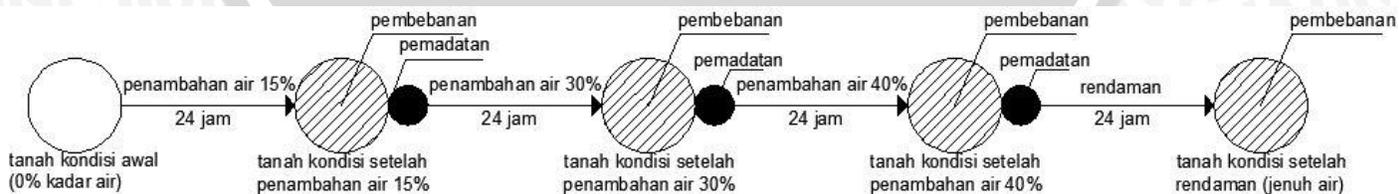


**Gambar 4.5** Grafik Hubungan antara Kadar Air dengan Berat Volume Tanah Kering

Dari kurva yang didapatkan di atas, dapat diketahui bahwa tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini memiliki nilai kadar air optimum (OMC) sebesar 30,169 % dengan berat volume kering maksimum ( $\gamma_d$  maks) sebesar 1,142  $\text{gr/cm}^3$ .

### 4.3 Pengujian Sifat Mekanik Tanah

Pada pengujian dilakukan dengan pemberian beban roda pada model perkerasan dengan tujuan mencari besarnya penurunan dan tegangan pada tanah akibat beban yang bekerja dan variasi kadar air yang berbeda-beda. Pembahasan dari hasil pengujian ini dibatasi hanya pada penurunan titik atau dial 3, 4, 7, dan 8 (**Gambar 3.1**) dan pola pembebanan 6,125 kg pada durasi waktu 24 jam setelah penambahan air (alur penelitian yang telah dijelaskan pada **sub bab 3.5.2.**)



**Gambar 4.6** Alur pola perilaku pembebanan pada variasi kadar air

Dari tiap-tiap kondisi tanah pada **Gambar 4.6**, dilakukan pengujian berat volume dan kadar air dalam tanah. Hasil dari pengujian tersebut dapat ditunjukkan pada tabel berikut :

**Tabel 4.8** Kondisi Tanah Awal (Kering Oven)

sampel	1	2	3
berat cawan (gram)	5.7	5.7	4.2
berat cawan + tanah basa (gram)	27.6	31.5	27.3
berat cawan + tanah kering (gram)	25	28.5	24.6
berat air (gram)	2.6	3	2.7
kadar air (%)	13.47	13.16	13.24
<b>kadar air rata-rata</b>	<b>13.29</b>		

**Tabel 4.9** Kondisi Permukaan Tanah Setelah 24 Jam Penambahan Air 15%

sampel	1	2
volume ring (cm <sup>3</sup> )	<b>10.38</b>	
berat ring (gram)	18.4	18.4
berat ring + tanah basa (gram)	34.7	35
berat ring + tanah kering (gram)	27.5	27.1
berat air (gram)	7.2	7.9
kadar air (%)	79.12	90.80
$\gamma$ (gram/cm <sup>3</sup> )	1.57	1.60
$\gamma_d$ (gram/cm <sup>3</sup> )	0.88	0.84
<b>kadar air rata-rata</b>	<b>84.963</b>	
<b><math>\gamma</math></b>	<b>1.585</b>	
<b><math>\gamma_d</math></b>	<b>0.857</b>	

**Tabel 4.10** Kondisi Permukaan Tanah Setelah 24 Jam Penambahan Air 30%

sampel	1	2
volume ring (cm <sup>3</sup> )	<b>10.38</b>	
berat ring (gram)	18.4	18.6
berat ring + tanah basa (gram)	34.7	34.8
berat ring + tanah kering (gram)	28	28
berat air (gram)	6.7	6.8
kadar air (%)	69.79	72.34
$\gamma$ (gram/cm <sup>3</sup> )	1.57	1.56
$\gamma_d$ (gram/cm <sup>3</sup> )	0.92	0.91
<b>kadar air rata-rata</b>	<b>71.066</b>	
<b><math>\gamma</math></b>	<b>1.566</b>	
<b><math>\gamma_d</math></b>	<b>0.915</b>	

**Tabel 4.11** Kondisi Permukaan Tanah Setelah 24 Jam Penambahan Air 40%

sampel	1	2
volume ring (cm <sup>3</sup> )	<b>10.38</b>	
berat ring (gram)	18.6	18.6
berat ring + tanah basa (gram)	35.7	33.3
berat ring + tanah kering (gram)	29.7	28.4
berat air (gram)	6	4.9
kadar air (%)	54.05	50.00
$\gamma$ (gram/cm <sup>3</sup> )	1.65	1.42
$\gamma_d$ (gram/cm <sup>3</sup> )	1.07	0.94
<b>kadar air rata-rata</b>	<b>52.027</b>	
<b><math>\gamma</math></b>	<b>1.532</b>	
<b><math>\gamma_d</math></b>	<b>1.007</b>	

**Tabel 4.12** Kondisi Permukaan Tanah Setelah 24 Jam Rendaman (Jenuh Air)

sampel	atas	
	1	2
volume ring (cm <sup>3</sup> )	<b>10.38</b>	
berat ring (gram)	18.4	18.4
berat ring + tanah basa (gram)	34	34.2
berat ring + tanah kering (gram)	27	27.1
berat air (gram)	7	7.1
kadar air (%)	81.40	81.61
$\gamma$ (gram/cm <sup>3</sup> )	1.50	1.52
$\gamma_d$ (gram/cm <sup>3</sup> )	0.83	0.84
<b>kadar air rata-rata</b>	<b>81.502</b>	
<b><math>\gamma</math></b>	<b>1.512</b>	
<b><math>\gamma_d</math></b>	<b>0.833</b>	

#### 4.3.1 Lendutan tanah

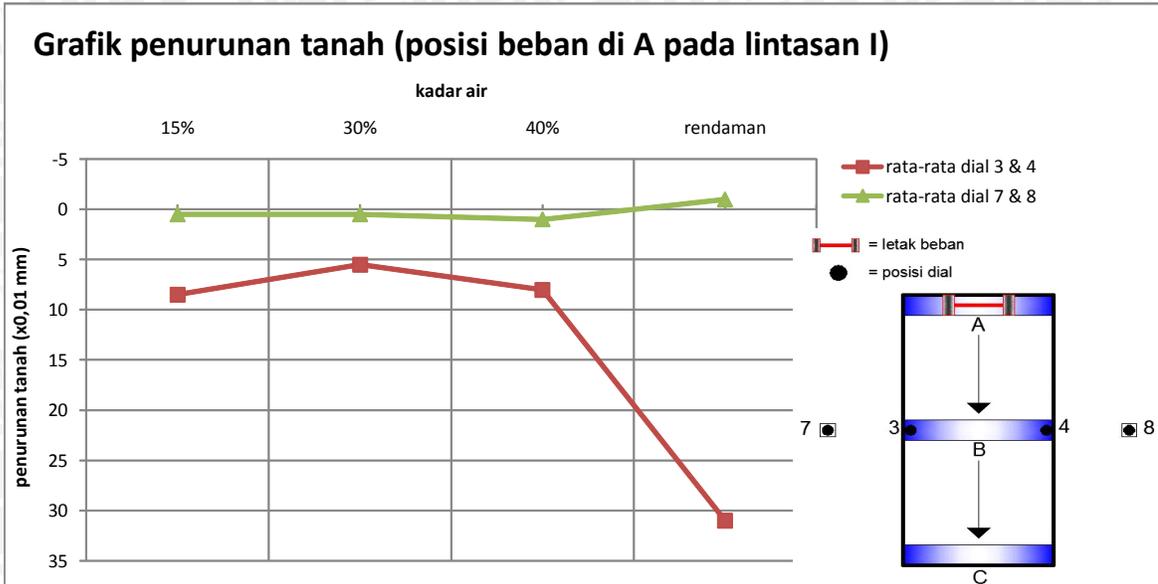
Pada pengujian ini hasil dari lendutan didapatkan dari penurunan permukaan pada perkerasan kaku jalan yang diakibatkan oleh beban roda kendaraan yang bekerja di atasnya. Besar nilai penurunan yang terjadi pada perkerasan dapat dianggap sama dengan penurunan yang terjadi pada tanah di bagian bawah. Hal tersebut dapat terjadi dengan menganggap tidak ada perpempendekan yang dialami oleh perkerasan kaku. Hasil dari pengujian lendutan atau penurunan yang terjadi pada tanah adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.13** Penurunan Tanah Terhadap Kadar Air Yang Berubah Akibat Beban Yang Bekerja

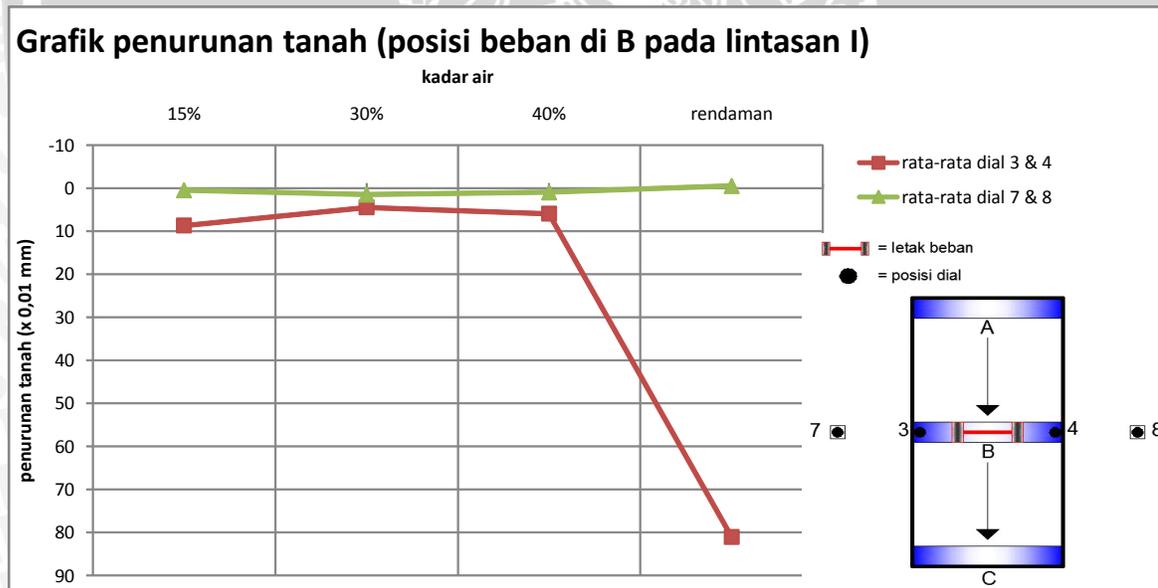
Lintasan Ke	Posisi Beban	Dial No.	Penurunan Tanah (x 0,01 mm) Pada Penambahan Kadar air :			
			15%	30%	40%	rendaman
I	A	3	10	6	6	13
		4	7	5	10	49
		<b>rata-rata 3 &amp; 4</b>	<b>8.5</b>	<b>5.5</b>	<b>8</b>	<b>31</b>
		7	0	0	2	-1
		8	1	1	0	-1
		<b>rata-rata 7 &amp; 8</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>
	B	3	10	4	4	87
		4	7.5	5	8	75
		<b>rata-rata 3 &amp; 4</b>	<b>8.75</b>	<b>4.5</b>	<b>6</b>	<b>81</b>
		7	0	0	2	-1
		8	1	3	0	0
		<b>rata-rata 7 &amp; 8</b>	<b>0.5</b>	<b>1.5</b>	<b>1</b>	<b>-0.5</b>
	C	3	8	2	2	50
		4	6	7	6.5	33
		<b>rata-rata 3 &amp; 4</b>	<b>7</b>	<b>4.5</b>	<b>4.25</b>	<b>41.5</b>
		7	-1	0	2	-1
		8	1	3	1	-1
		<b>rata-rata 7 &amp; 8</b>	<b>0</b>	<b>1.5</b>	<b>1.5</b>	<b>-1</b>
II	A	3	13	7	7	65
		4	9	5	10	68
		<b>rata-rata 3 &amp; 4</b>	<b>11</b>	<b>6</b>	<b>8.5</b>	<b>66.5</b>
		7	-1	0	3	-1
		8	1	3	1	-1
		<b>rata-rata 7 &amp; 8</b>	<b>0</b>	<b>1.5</b>	<b>2</b>	<b>-1</b>

Tabel 4.13 (Lanjutan)

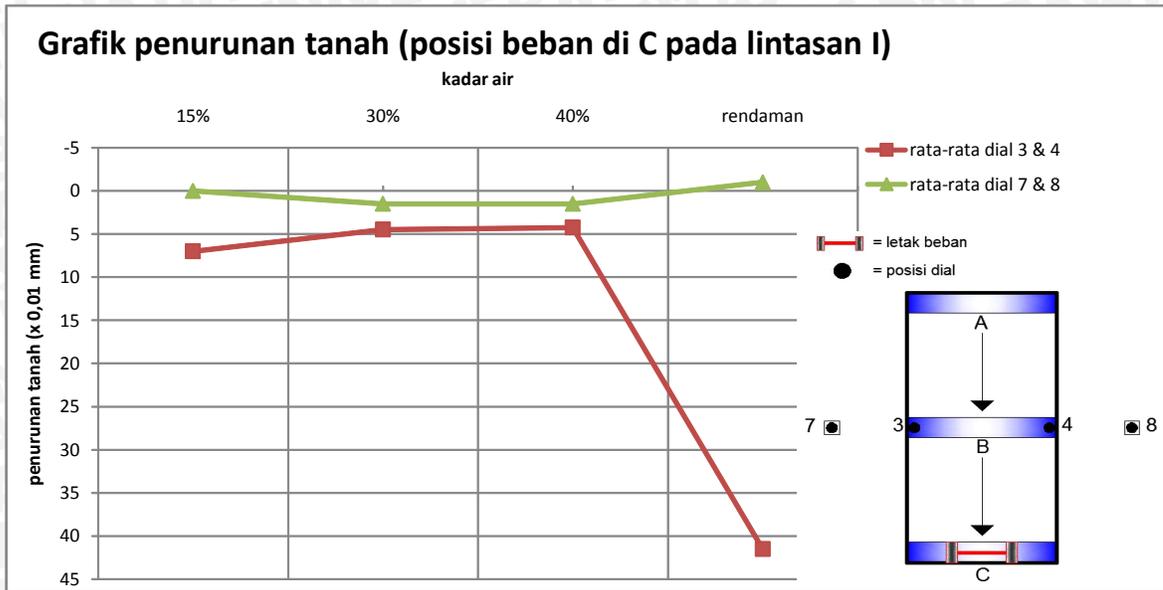
Lintasan Ke	Posisi Beban	Dial No.	Penurunan Tanah (x 0,01 mm) Pada Penambahan Kadar air :			
			15%	30%	40%	rendaman
II	B	3	13	6	6	65
		4	9	5	10	98
		<b>rata-rata 3 &amp; 4</b>	<b>11</b>	<b>5.5</b>	<b>8</b>	<b>81.5</b>
		7	-1	0	3	-1
		8	1	3	1	-2
		<b>rata-rata 7 &amp; 8</b>	<b>0</b>	<b>1.5</b>	<b>2</b>	<b>-1.5</b>
	C	3	10	3	3	70
		4	8	1	7	52
		<b>rata-rata 3 &amp; 4</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>61</b>
		7	-1	0	3	-5
		8	1	3	0.5	0
		<b>rata-rata 7 &amp; 8</b>	<b>0</b>	<b>1.5</b>	<b>1.75</b>	<b>-2.5</b>
III	A	3	15	7	7	112
		4	11	6	12	102
		<b>rata-rata 3 &amp; 4</b>	<b>13</b>	<b>6.5</b>	<b>9.5</b>	<b>107</b>
		7	-1	0	3	-5
		8	1	4	0.5	-2
		<b>rata-rata 7 &amp; 8</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>1.75</b>	<b>-3.5</b>
	B	3	15	6	6	60
		4	11	6	10.5	30
		<b>rata-rata 3 &amp; 4</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>8.25</b>	<b>45</b>
		7	-1	0	3	-5
		8	1	3	1	-1
		<b>rata-rata 7 &amp; 8</b>	<b>0</b>	<b>1.5</b>	<b>2</b>	<b>-3</b>
	C	3	12	4	4	84
		4	9.5	6	9.5	92
		<b>rata-rata 3 &amp; 4</b>	<b>10.75</b>	<b>5</b>	<b>6.75</b>	<b>88</b>
		7	-1	0	3	-5
		8	1	2	0.5	-1
		<b>rata-rata 7 &amp; 8</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1.75</b>	<b>-3</b>



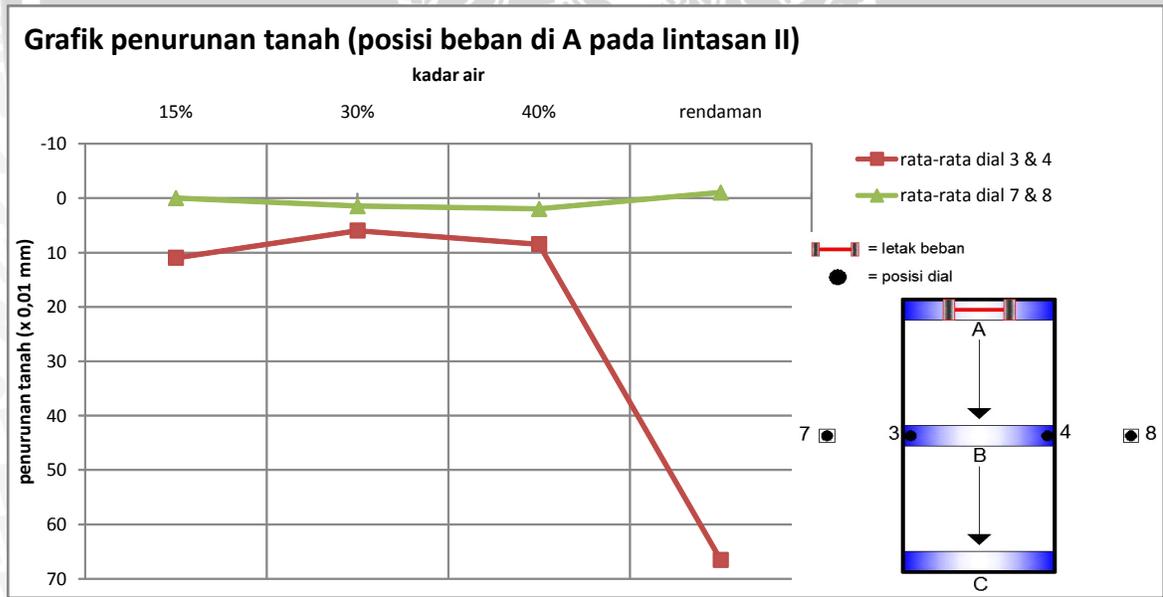
**Gambar 4.7** Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik A lintasan I



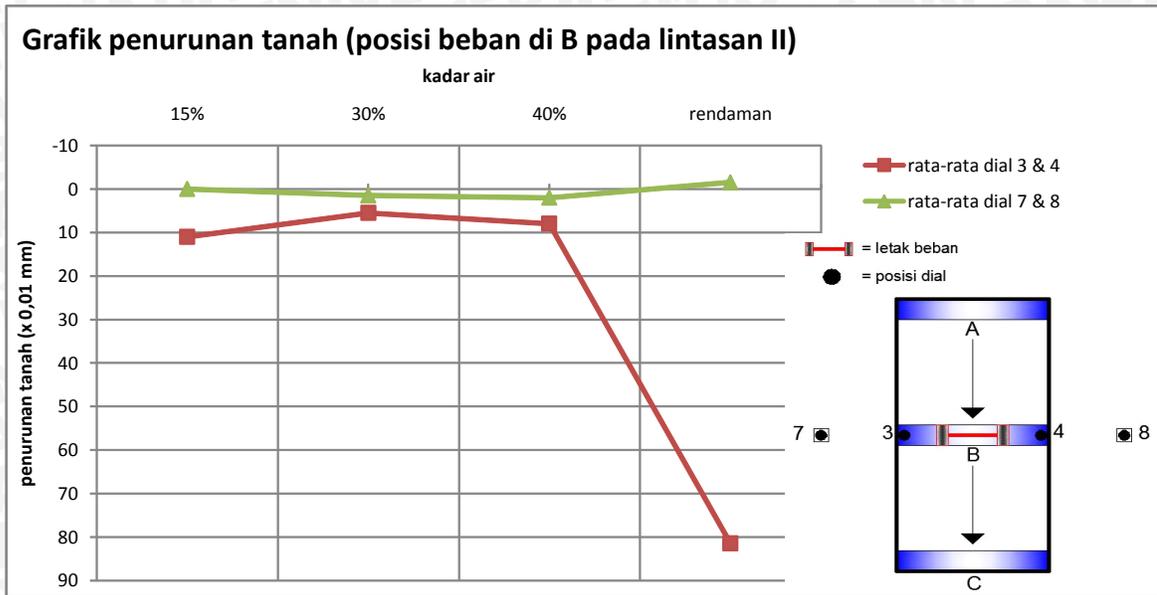
**Gambar 4.8** Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik B lintasan I



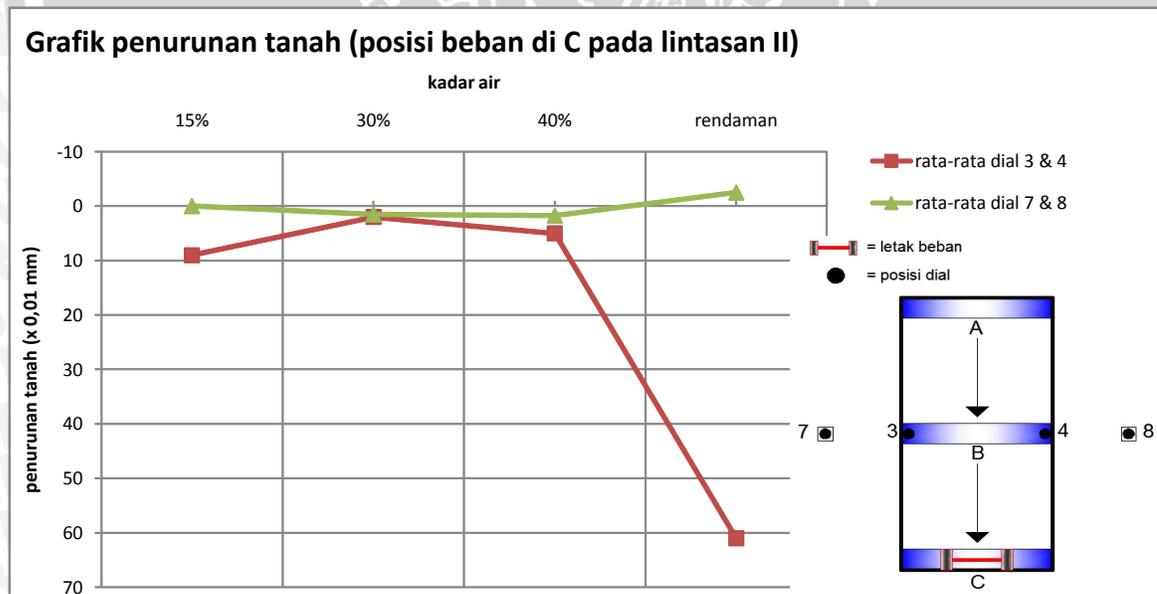
**Gambar 4.9** Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik C lintasan I



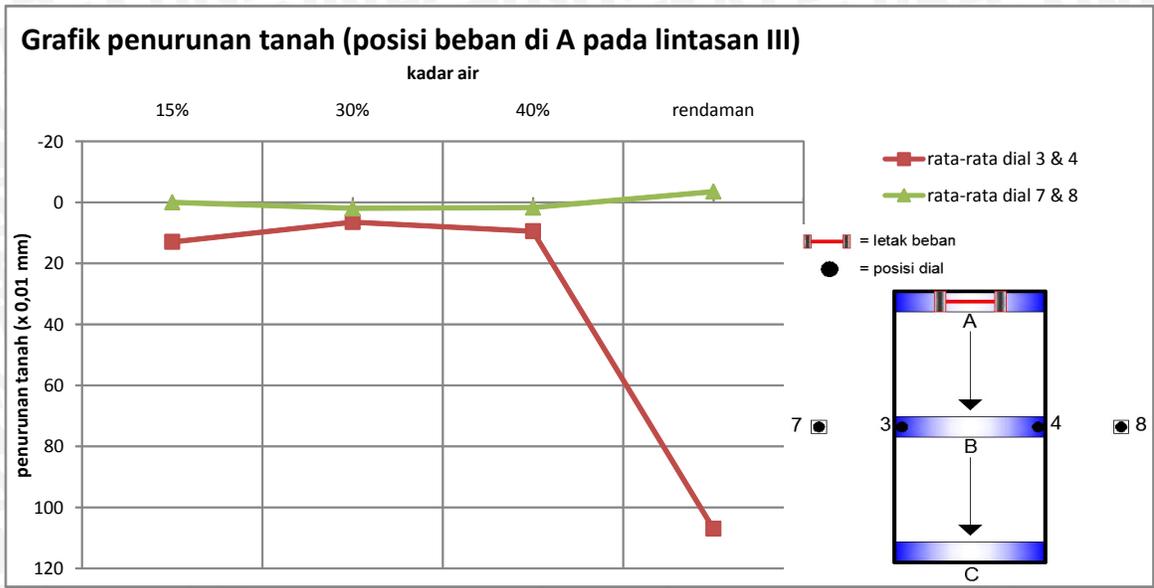
**Gambar 4.10** Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik A lintasan II



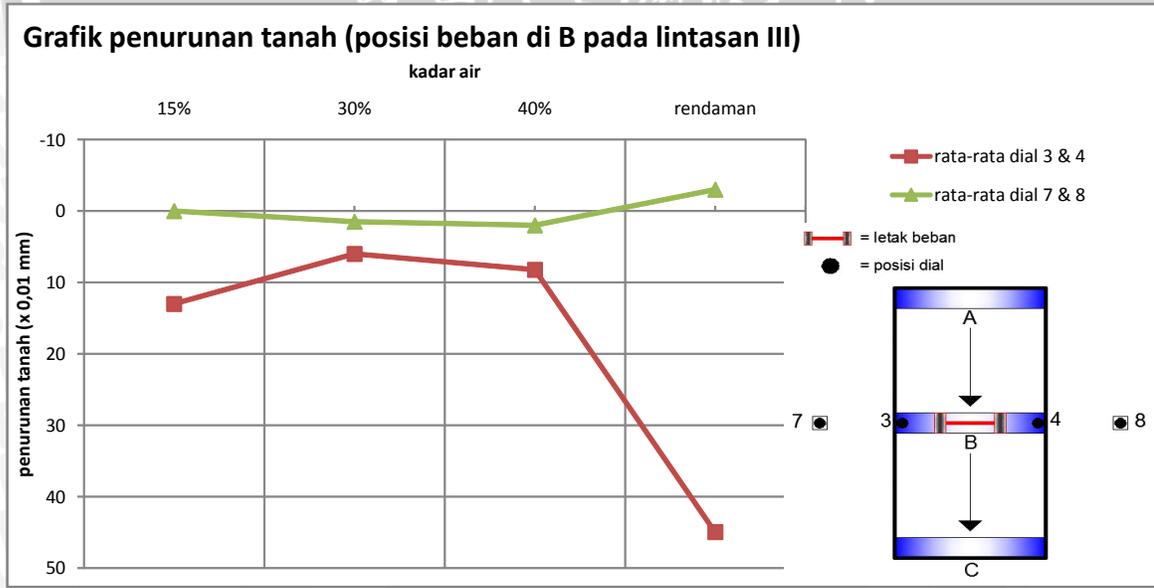
**Gambar 4.11** Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik B lintasan II



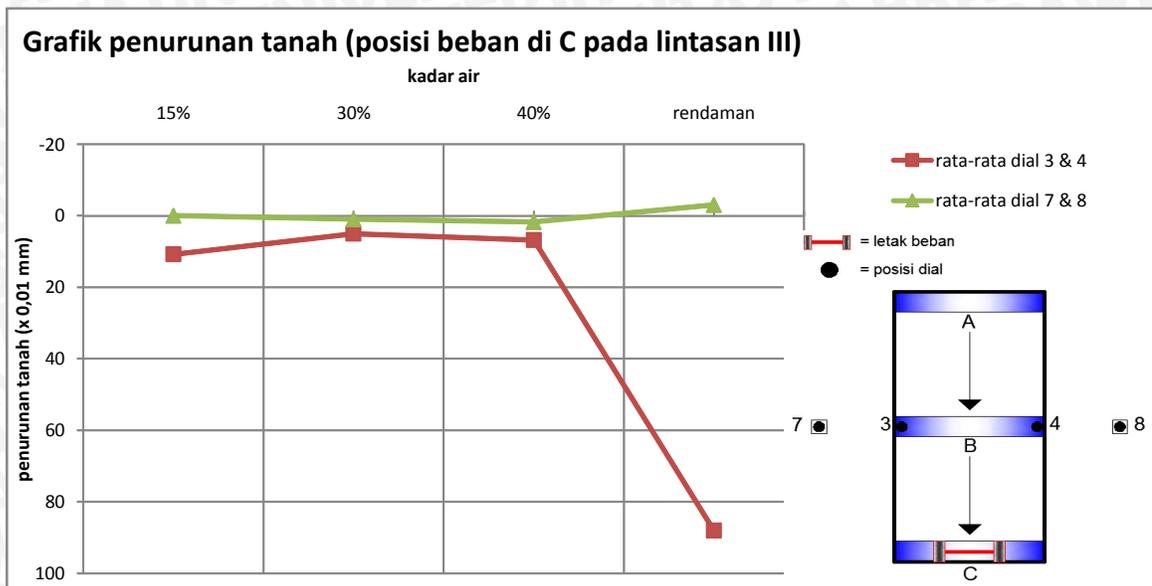
**Gambar 4.12** Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik C lintasan II



**Gambar 4.13** Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik A lintasan III



**Gambar 4.14** Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik B lintasan III



**Gambar 4.15** Grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air pada tanah akibat pembebanan di titik C lintasan III

Dari grafik hubungan penurunan dan penambahan kadar air terhadap pola pembebanan yang terjadi di atas dapat diketahui bahwa, pada dial 3 dan 4 penurunan tanah yang paling kecil terdapat pada kadar air 30% dan penurunan tanah paling besar terdapat pada kadar air tanah rendaman. Sedangkan untuk pergerakan tanah yang diwakili oleh dial 7 dan 8, pergerakannya mengalami penurunan pada kadar air 15%, 30% dan 40% dan mengalami kenaikan pada kadar air rendaman.

#### 4.3.2 Tegangan tanah

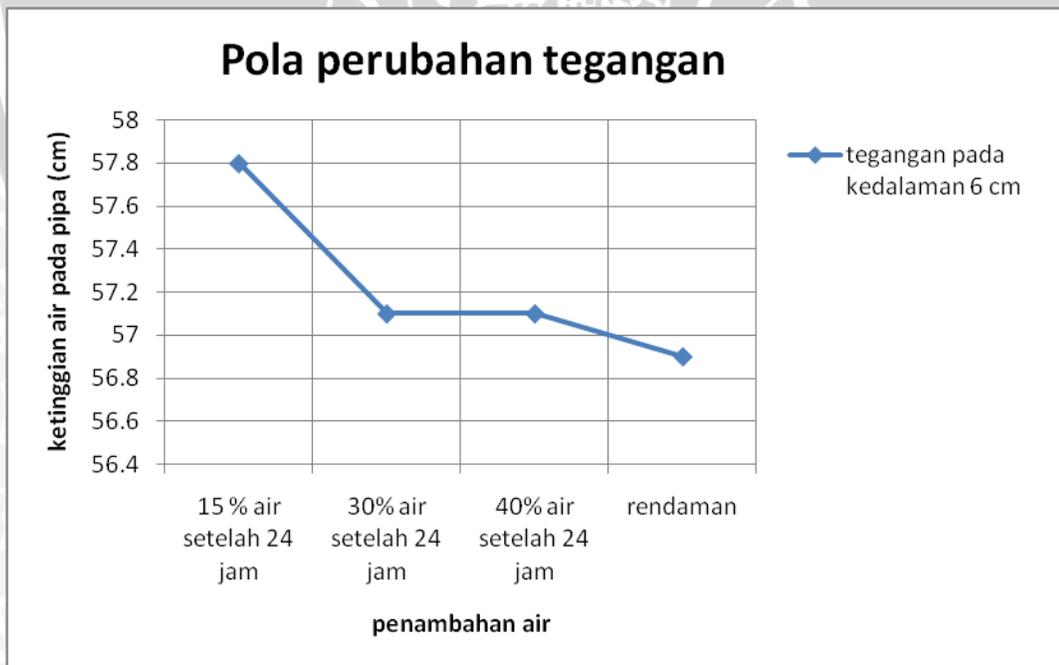
Pada penelitian ini hasil dari tegangan yang terjadi pada tanah ditampilkan dalam 2 hasil, yaitu tegangan aktual tanah yang dibaca melalui alat pengukur tegangan (detail pada lampiran 4) dan tegangan tanah secara teoritis. Untuk masing-masing pembacaan tegangan dilakukan pengambilan data pada saat kondisi tanah 24 jam setelah pemberian variasi kadar air 15%, 30%, 40% dan rendaman pada kedalaman tanah 6 cm dari permukaan.

4.3.2.1 Tegangan tanah aktual

Besarnya nilai tegangan yang didapat dari pembacaan alat pengukur tegangan ini didasarkan pada perubahan ketinggian air yang terjadi pada pipa dengan anggapan bahwa jika air pada pipa turun dari ketinggian awal maka tegangan juga akan mengecil begitu pula sebaliknya (detail konsep alat pada lampiran 4). Tetapi dalam penelitian ini besarnya tegangan yang didasarkan pada perubahan ketinggian pada pipa, nilainya hanya sebatas menunjukkan tegangan pada kondisi tersebut lebih besar atau kecil dari tegangan sebelumnya. Sehingga hasil dari pengukuran tegangan ini hanya diketahui pola perubahan tegangan saja. Hasil dari pembacaan tegangan ini adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.14** Besar Perubahan Ketinggian Air Pada Pipa Dengan Variasi Penambahan Kadar Air Pada Tanah

No.	kadar air %	besar perubahan ketinggian air
1	15 % air setelah 24 jam	57.8
2	30% air setelah 24 jam	57.1
3	40% air setelah 24 jam	57.1
4	rendaman	56.9



**Gambar 4.16** Grafik hubungan antara besar tegangan (yang didasarkan pada ketinggian air) terhadap variasi penambahan air

Dari Grafik pola besarnya tegangan yang terjadi diatas dapat diketahui bahwa semakin besar penambahan air yang diberikan maka semakin kecil tegangan yang terjadi.

4.3.2.2 Tegangan tanah teoritis

Perhitungan tegangan tanah disini dihitung menurut teori Boussinesq dengan anggapan bahwa kondisi tanah homogen ( $\gamma$  pada tiap lapisan sama nilainya). Hasil dari perhitungan ini adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.15** Tegangan Tanah Yang Terjadi Pada Tiap-tiap Variasi Penambahan Kadar Air

No.	Kadar air	$\gamma$ (gram/cm <sup>3</sup> )	$\sigma_1$ (gram/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_2$ (gram/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (gram/cm <sup>2</sup> )
1	15%	1.585	3.507	2.841	6.348
2	30%	1.566	3.393	2.841	6.234
3	40%	1.532	3.189	2.841	6.030
4	rendaman	1.512	3.074	2.841	5.915

Dengan :

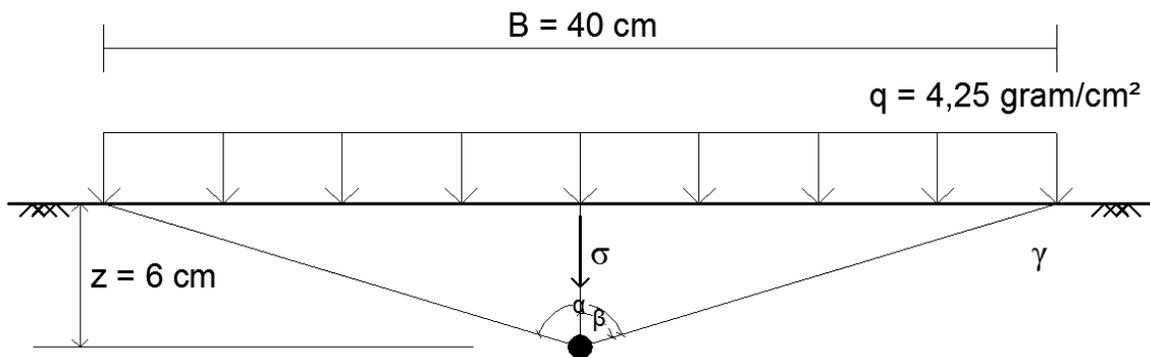
$\gamma$  = berat volume tanah yang dianggap sama tiap lapisan tanah (gram/cm<sup>3</sup>)

$\sigma_1$  = tegangan akibat berat tanah sendiri (gram/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_2$  = tegangan akibat perkerasan kaku (gram/cm<sup>2</sup>)

$\sigma$  = tegangan total yang terjadi akibat berat perkerasan dan tanah (gram/cm<sup>2</sup>)

Contoh perhitungan :



**Gambar 4.17** Tegangan akibat beban perkerasan terbagi rata berbentuk jalur memanjang

$q$  = 4,25 gram/cm<sup>2</sup> (berat sendiri perkerasan kaku)

$B$  = 40 cm (panjang perkerasan kaku)

$\alpha$  = 146,6° = 2,559 radian

$$\beta = 73,3^\circ$$

Kondisi kadar air 15%

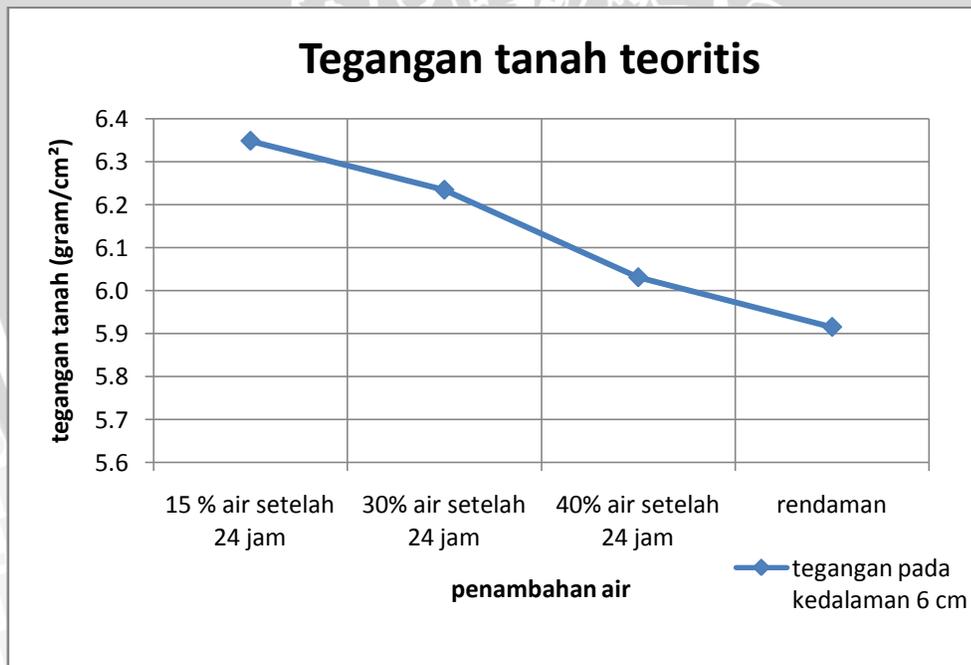
Tegangan akibat berat tanah sendiri ( $\sigma_1$ )

$$\sigma_1 = z \times (\gamma - 1) = 6 \times (1,585 - 1) = 3,507 \text{ gram/cm}^2$$

Tegangan akibat perkerasan kaku ( $\sigma_2$ )

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= q/\pi (\alpha + \sin \alpha \cos 2\beta) \\ &= 4,25/\pi (2,559 + \sin 146,6 \cos (2 \times 73,3)) \\ &= 2,841 \text{ gram/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan total yang terjadi akibat berat tanah dan perkerasan } (\sigma) &= \sigma_1 + \sigma_2 \\ &= 6,348 \text{ gram/cm}^2 \end{aligned}$$



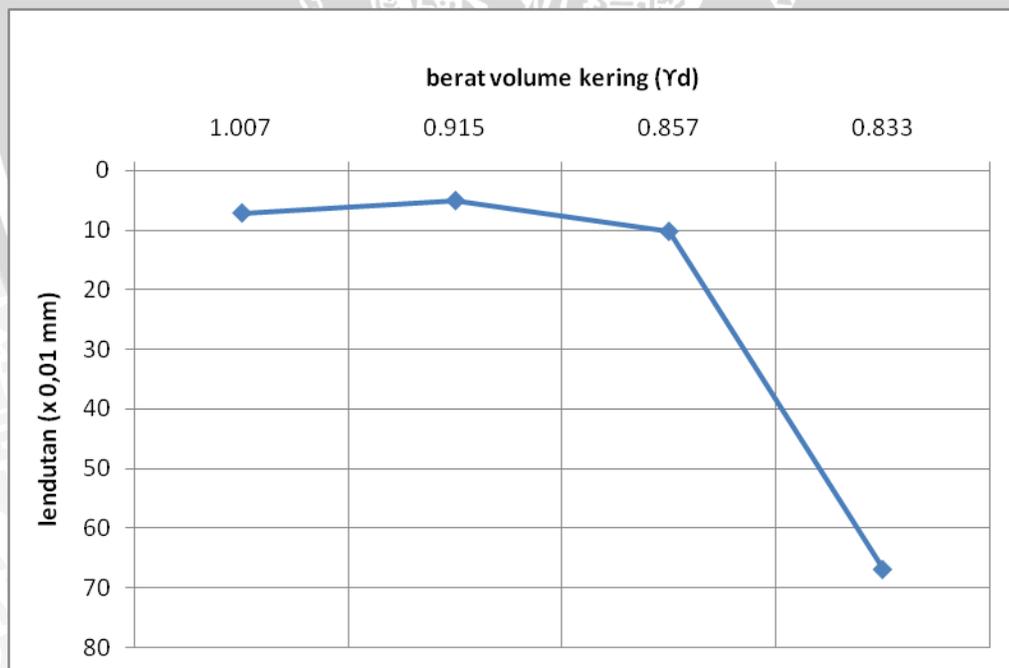
**Gambar 4.18** Grafik hubungan antara besar tegangan tanah (yang didasarkan pada prinsip teori Boussinesq) terhadap variasi penambahan air

#### 4.4 Hubungan Kepadatan Tanah Dengan Besarnya Lendutan dan Tegangan

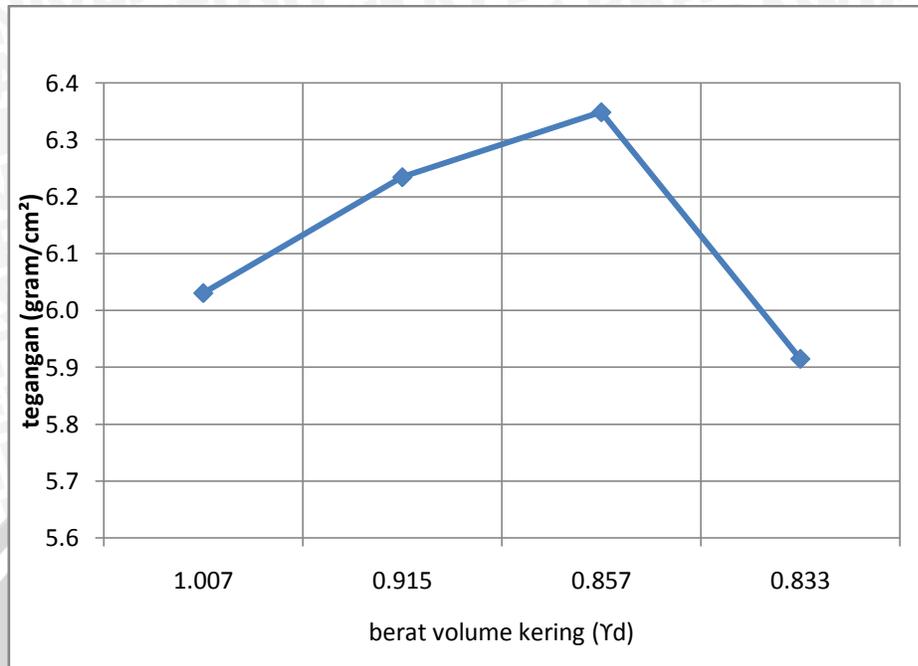
Pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan hubungan antara kepadatan tanah terhadap besarnya lendutan dan tegangan yang terjadi pada tanah di bawah perkerasan. Kepadatan tanah disini dapat diukur melalui besar berat volume kering ( $\gamma_d$ ) suatu tanah tersebut, semakin besar nilai dari  $\gamma_d$  maka tanah akan semakin padat begitu pula sebaliknya. Untuk hasil dari besarnya lendutan disini didapatkan dari rata-rata perubahan penurunan tanah pada tiap kondisi beban dengan lintasan dan hanya pada dial 3 dan 4. Sedangkan hasil dari tegangan yang terjadi diambil dari tegangan teoritis yang telah diperhitungkan pada sub bab 4.3.2.2. Hasil dari data kepadatan, lendutan dan tegangan tanah adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.16** Hubungan Antara Kepadatan Dengan Lendutan Dan Tegangan Yang Terjadi Pada Tanah

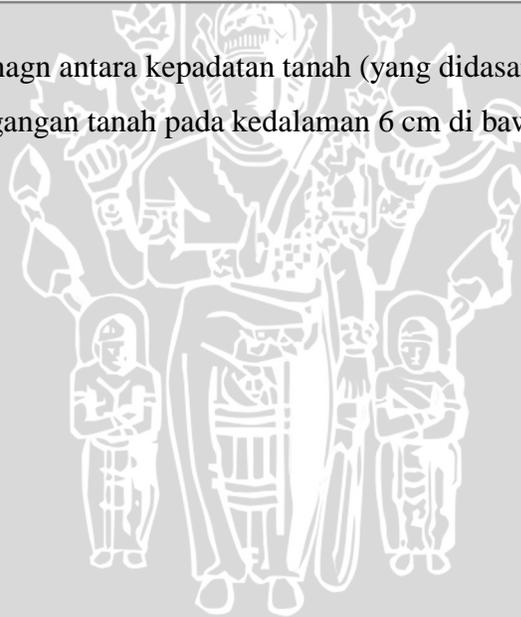
No.	$\gamma_d$ (gram/cm <sup>3</sup> )	lendutan (x 0,01mm)	tegangan (gram/cm <sup>2</sup> )	kondisi
1	1.007	7.1	6.0	40% air setelah 24 jam
2	0.915	5.1	6.2	30% air setelah 24 jam
3	0.857	10.2	6.3	15 % air setelah 24 jam
4	0.833	66.9	5.9	rendaman



**Gambar 4.19** Grafik hubungan antara kepadatan tanah (yang didasarkan pada berat volume kering tanah) dengan lendutan yang terjadi pada tanah



**Gambar 4.20** Grafik hubungan antara kepadatan tanah (yang didasarkan pada berat volume kering tanah) dengan tegangan tanah pada kedalaman 6 cm di bawah perkerasan kaku



## 4.5 Pembahasan

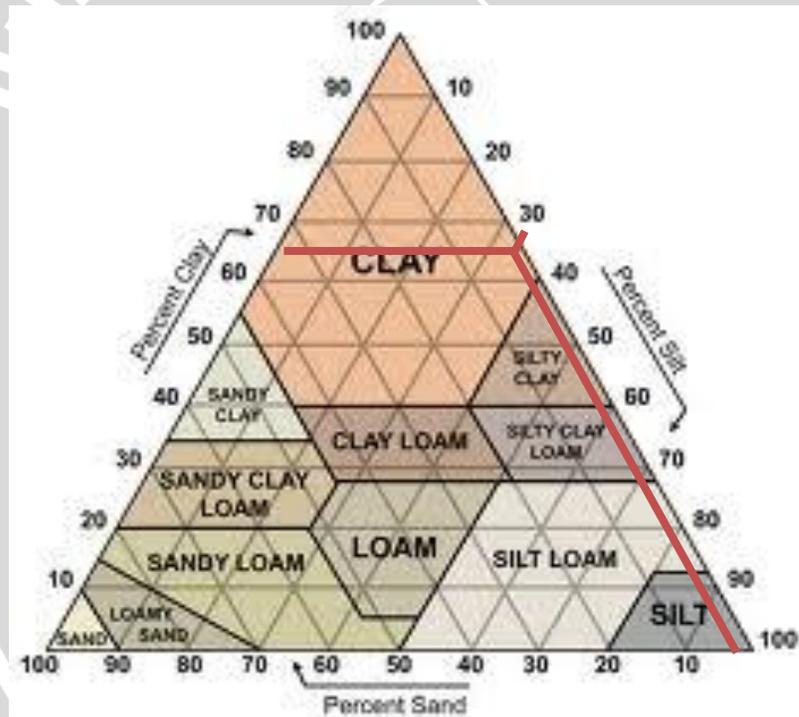
### 4.5.1 Karakteristik jenis tanah ekspansif dari daerah Paron Kabupaten Ngawi

#### 4.5.1.1 Analisis distribusi butiran

Dari hasil pengujian analisis butiran saringan dapat diketahui tanah yang berasal dari daerah Kecamatan Paron, Kabupaten Ngawi mengandung :

- Pasir sebesar 2,25 %
- Lanau sebesar 31,5 %
- Lempung sebesar 66,051 %

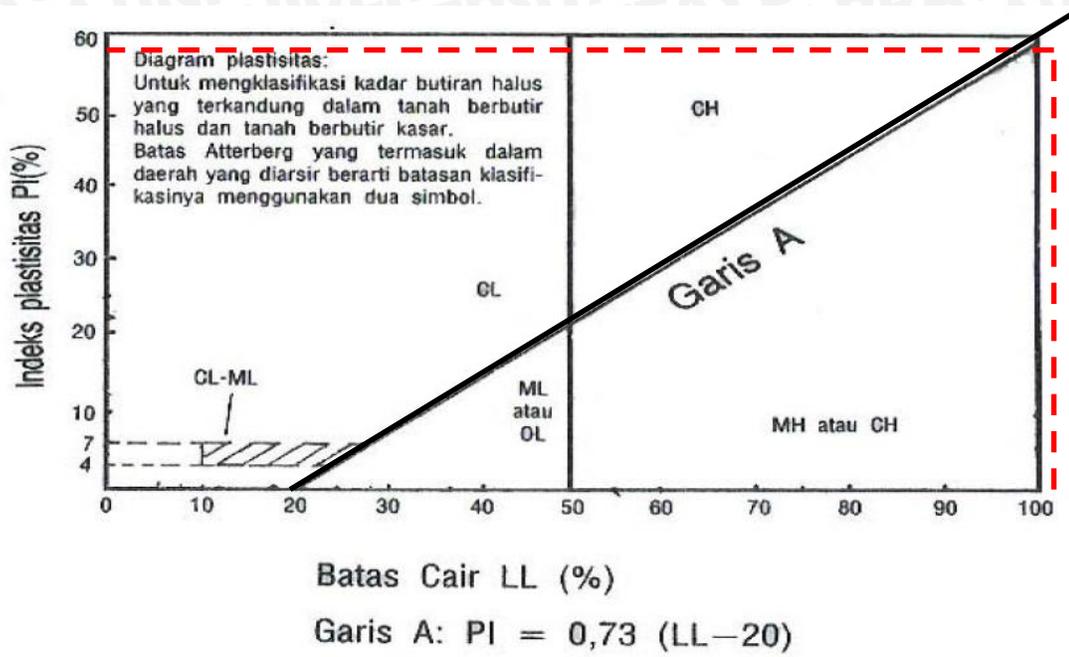
Dari hasil pengujian distribusi pembagian butir tanah kemudian diplotkan berdasarkan klasifikasi tekstur tanah USDA sehingga dapat diketahui jenis tanah yang akan diuji, seperti pada **Gambar 4.21** berikut ini.



**Gambar 4.21** Grafik klasifikasi tanah berdasarkan tekstur

Dari penelitian berdasarkan tekstur tanah USDA dapat disimpulkan bahwa tanah yang bersifat ekspansif di daerah Kecamatan Paron, Kabupaten Ngawi termasuk dalam tanah lempung (*clay*).

Berdasarkan klasifikasi tanah sistem Unified adalah sebagai berikut :



**Gambar 4.22** Grafik Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

Dengan nilai LL yang diperoleh yaitu sebesar 103.887 %, maka  $PI = 0,73 (103.887 - 20) = 61,237 \%$  , sehingga tanah lempung dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong tanah MH.

#### 4.5.1.2 Berdasarkan batas-batas atterberg

Berdasarkan terhadap batas-batas atterberg terdapat beberapa parameter dalam penentuan jenis tanah, dengan data yang telah diperoleh yaitu :

LL	= 103.887 %
PL	= 47.527 %
IP	= 56.3605 %
SL	= 8,992 %
Probable Swell	= 185 %

Dan untuk mengetahui jenis tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini, sesuai dengan **Tabel 2.3** dengan hasil penelitian yang diperoleh yaitu SL sebesar 8,992 % dengan Potensi mengembang (*Probable Swell*) sebesar 1,85 maka tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong dalam tanah ekspansif tingkat kritis.

Berdasarkan **Tabel 2.4** dengan nilai Indeks Plastis yang diperoleh dalam penelitian yaitu sebesar 56,3605 % maka tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong tanah ekspansif tingkat sangat tinggi (*Very high*), namun menurut Raman tanah dengan SL 8,992% tergolong tanah ekspansif tingkat rendah, hal tersebut bertolak belakang dengan Altmeyer yang menyatakan kebalikannya.

Sama halnya dengan Raman, menurut Chen (**Tabel 2.5**) tanah dengan nilai Indeks Plastis sebesar 56,3605 % > 35 % tergolong dalam tanah ekspansif dengan potensi mengembang yang sangat tinggi.

#### 4.5.1.3 Berdasarkan uji klasifikasi teknik

Berdasarkan **Tabel 2.1** Sesuai data yang telah didapatkan dalam penelitian yaitu besarnya colloid < 0,002mm adalah 66,051% > 15%, batas cair (LL) sebesar 103.887 % > 35 %, serta perubahan volume sebesar 180% > 30% maka tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong tanah ekspansif tingkat sangat tinggi.

Dari hasil penelitian yang telah didapatkan, jumlah prosentase tanah lolos saringan 200 adalah sebesar 97,55 % > 95 %, dengan nilai batas cair (LL) sebesar 103.887 % > 30 %, serta perubahan volume sebesar 180% > 10%, maka menurut ketentuan Chen (**Tabel 2.2**) tanah dari daerah Paron Kabupaten Ngawi ini tergolong dalam tanah ekspansif tingkat sangat tinggi.

Dari beberapa ulasan di atas tentang klasifikasi tanah dengan beberapa parameter yang telah ditentukan oleh para ahli, maka dapat disimpulkan bahwa tanah lempung ekspansif dari daerah Paron Kabupaten Ngawi Jawa Timur ini merupakan tanah lempung ekspansif dengan tingkat ekspansif yang sangat tinggi dengan potensi pengembangan yang sangat tinggi pula.

#### 4.5.1.4 Berdasarkan hasil tes dengan difraksi sinar X

Berdasarkan hasil pengujian minerologi tanah dengan metode difraksi sinar X didapatkan bahwa komposisi susunan bentuk tanah ini adalah berupa kelompok montmorillonite  $\text{Na}_0.3(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Montmorillonite merupakan kelompok lempung yang mudah *swelling*.

#### 4.5.2 Hubungan antara penambahan kadar air tanah dengan besarnya lendutan dan tegangan yang terjadi pada tanah

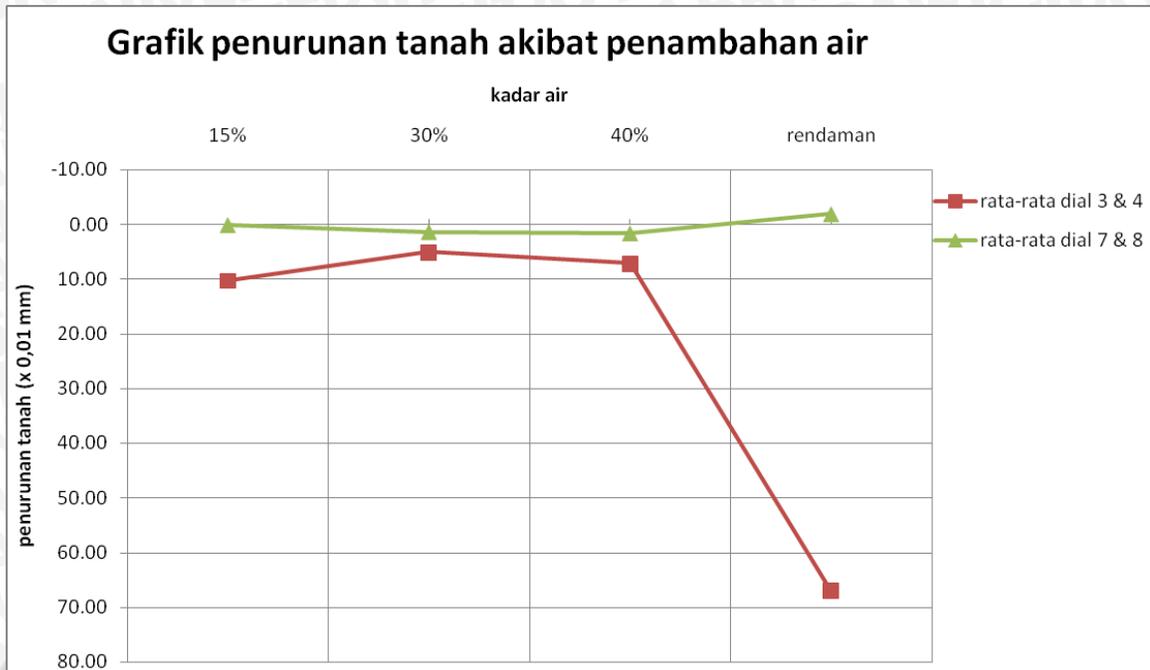
Hubungan antara besarnya lendutan dengan penambahan air yang dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 4.7-4.15**. Pola grafik pada gambar tersebut sama, sehingga jika di rata-rata pada setiap lintasan dan titik tempat beban hasilnya ditunjukkan pada **Tabel 4.16**. Sedangkan kadar air aktual yang terjadi pada permukaan tanah setelah penambahan air selama 24 jam ditunjukkan pada **Tabel 4.17** (detail pada **Tabale 4.9-4.12**).

**Tabel 4.17** Penurunan Tanah Terhadap Penambahan Kadar Air Yang Berubah Akibat Beban Yang Bekerja Dari Rata-Rata Tiap Lintasan Dan Posisi Beban

Dial No.	Penurunan Tanah (x 0,01 mm) Pada Kadar air :			
	15%	30%	40%	rendaman
rata-rata 3 & 4	10.22	5.06	7.14	66.94
rata-rata 7 & 8	0.11	1.39	1.64	-1.89

**Tabel 4.18** Kadar Air Pada Permukaan Tanah Setelah Penambahan Air Selama 24 Jam

No.	Penambahan air	Kadar air tanah (%)
1	15 % air setelah 24 jam	78.97
2	30% air setelah 24 jam	71.82
3	40% air setelah 24 jam	52.03
4	rendaman	81.50



**Gambar 4.23** Grafik hubungan penurunan tanah terhadap kadar air yang berubah akibat beban yang bekerja dari rata-rata tiap lintasan dan posisi beban

Berdasarkan **Tabel 4.18** didapatkan bahwa kadar air tertinggi terletak pada kondisi tanah rendaman yaitu sebesar 81,5%, sedangkan kondisi kadar air terendah terletak pada penambahan kadar air 40% yaitu sebesar 52,03%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan variasi kadar air tidak berbanding lurus dengan kadar air yang terjadi dalam tanah, hal ini dapat terjadi karena daya serap yang tinggi pada tanah ekspansif sehingga penyebaran air tidak dapat merata ke semua lapisan tanah jika besar air yang diberikan lebih kecil dari pada daya serap tanah. Gejala tersebut dapat dibuktikan pada penambahan air 30% dan 40% yang kadar airnya semakin kecil dibandingkan dengan penambahan air 15%.

**Dari Tabel 4.17** diketahui bahwa untuk posisi tanah pada dial 3 dan 4, penurunan rata-rata tanah tertinggi terletak pada keadaan air rendaman sebesar 0,6694 mm dan penurunan tanah terendah terletak pada kadar air 30% sebesar 0,0506 mm. Dengan demikian, besar penurunan tanah yang terjadi cenderung semakin besar dengan bertambahnya kadar air. Sedangkan posisi tanah yang diwakili oleh dial 7 dan 8 (15 cm dari samping perkerasan) mengalami penurunan pada kadar air 15%, 30% dan 40% dan

megalami kenaikan pada kadar air rendaman. Penurunan pada posisi dial 7 dan 8 ini disebabkan akibat efek dari penurunan tanah pada perkerasan akibat beban yang bekerja, sedangkan kenaikan pada kadara air rendaman disebabkan oleh efek swelling pada lempung masih terus bekerja karena adanya air.

Jika ditinjau dari besarnya kadar air tanah terhadap lendutan atau penurunan yang terjadi pada tanah berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa semakin besar kadar air dalam tanah maka penurunan yang terjadi pada tanah di bawah perkerasan akibat beban roda juga akan semakin besar karena berdasarkan penelitian Dwi Ratna dengan jenis tanah yang sama didapatkan bahwa semakin tinggi kandungan air pada tanah yang dipadatkan maka semakin rendah nilai daya dukung tanah tersebut. Selain itu terjadi perbedaan penurunan yang besar pada tanah akibat penambahan air antara 15%, 30%, 40% denga rendaman, hal tersebut menunjukkan pengaruh tanah ekspansif yang terjadi, sehingga pada akhirnya nanti karena perbedaan penurunan yang besar akibat kadar air yang berubah dapat menyebabkan terjadinya efek fatik yang dapat mempercepat kerusakan perkerasan jalan.

Pada hubungan antara besarnya penambahan kadar air terhadap nilai tegangan yang terjadi, berdasarkan hasil dari **Gambar 4.16** dan **4.18** didapatkan hasil bahwa semakin besar penambahan air yang diberikan pada tanah maka akan semakin kecil nilai tegangannya. Walaupun kadar air aktual yang terjadi pada tanah tidak berbanding lurus pada penambahan air yang dilakukan, akan tetapi nilai dari tegangan ini dipengaruhi dari berat perubahan berat volume tanah ( $\gamma$ ) yang terjadi. Dimana berat volume tanah ( $\gamma$ ) tersebut semakin kecil seiring penambahan air yang diberikan seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.14**.

#### **4.5.3 Hubungan antara kepadatan tanah dengan besarnya lendutan dan tegangan yang terjadi pada tanah**

Hubungan antara kepadatan tanah dengan besarnya lendutan dan tegangan yang terjadi pada tanah dapat dilihat pada **Gambar 4.19** dan **4.20**. Dari hasil grafik pada gambar tersebut, untuk lendutan yang terjadi cenderung nilainya semakin besar seiring dengan berkurangnya kepadatan suatu tanah. Hasil ini menunjukkan hasil yang sama dengan

hipotesa semula, yaitu dengan semakin rendah kepadatan suatu tanah maka besar lendutan yang terjadi pada tanah terhadap perkerasan kaku akibat adanya beban akan semakin kecil. Hal ini terjadi karena semakin tinggi kepadatan tanah maka kuat geser tanah juga akan semakin tinggi sehingga pada akhirnya nanti kuat geser yang lebih tinggi ini lah yang membuat lendutan pada tanah akan kecil.

Sedangkan pada hubungan antara besarnya tegangan tanah pada kedalaman 6 cm dengan kepadatan tanah didapatkan hasil bahwa, pada kepadatan berat volume kering  $1,007 \text{ gram/cm}^2$  (penambahan air 40%) tegangannya lebih kecil dibandingkan dengan kepadatan berat volume kering  $0,915 \text{ gram/cm}^2$  (penambahan air 30%) dan  $0,857 \text{ gram/cm}^2$  (penambahan air 15%) seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.15**. Hasil ini menunjukkan hasil yang berbeda dengan hipotesa semula, yaitu dengan semakin rendah kepadatan suatu tanah maka besar tegangan yang terjadi pada tanah terhadap perkerasan kaku akibat adanya beban akan semakin kecil. Hal ini mengindikasikan penghalang vertikal pada perkerasan jalan sepanjang 5 cm tertanam dalam tanah ikut mempengaruhi kondisi tanah yang ada. Dengan kata lain kemungkinan air yang seharusnya menyebar ke dalam tanah tidak dapat menyebar secara optimal karena terhalang oleh penghalang vertikal, sehingga kepadatan pada tanah tidak merata. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan kadar air rendaman yang nilai tegangannya paling kecil dengan kepadatan paling kecil, artinya karena kondisi tanah mengalami rendaman maka air disini karena pertambahan waktu dapat menyebar secara optimal yang akhirnya dapat memperkecil tegangan.

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

- 1 Tanah dari Kecamatan Paron, Kabupaten Ngawi berdasarkan tekstur tanah USDA termasuk dalam tanah lempung (clay) sedangkan menurut USCS diklasifikasikan ke dalam MH, yaitu tanah lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi.

Tanah lempung ini memiliki data-data sebagai berikut :

- Batas Cair (LL) : 103,887 % ;
- Indeks Plastisitas (IP) : 56,3605% ;
- Probable Swell : 185% ;
- Activity : 1,0055

Dengan data tersebut di atas, menurut *Chen (1988) dan Atterberg* tanah dari Kecamatan Paron ini digolongkan sebagai tanah lempung ekspansif dengan tingkat ekspansif yang sangat tinggi dan potensi pengembangan yang sangat tinggi pula. Sedangkan berdasarkan hasil uji minerologi melalui difraksi sinar X diketahui kandungan tanah ekspansif ini adalah Monmorillonite.

- 2 Berdasarkan hasil pengukuran lendutan tanah dibawah perkerasan dan tegangan tanah pada kedalaman 6 cm akibat dari variasi penambahan air, didapatkan hasil bahwa besar penambahan air yang dilakukan terhadap tanah tidak berbanding lurus terhadap besar kadar air dalam tanah, dimana kadar air terendah terjadi pada penambahan kadar air 40% sedangkan kadar air tertinggi terjadi pada kondisi tanah rendaman. Hasil ini menunjukkan hasil yang berbeda dengan hipotesa semula, yaitu semakin besar variasi penambahan kadar air pada tanah maka kadar air dalam tanah juga akan semakin besar. Akan tetapi dari kondisi kadar air tersebut didapatkan bahwa semakin besar kadar air tanah maka penurunan yang terjadi pada tanah di bawah perkerasan akibat beban roda juga akan semakin besar, namun untuk tanah yang berada pada jarak 15 cm di samping perkerasan pergerakannya cenderung turun pada penambahan kadar air 15%, 30% dan 40% dan mengalami kenaikan pada kadar air rendaman. Sedangkan untuk tegangan tanah yang terjadi, kadar air ini

tidak secara langsung mempengaruhi tegangan tanah, tetapi kadar air ini mempengaruhi berat volume tanah yang akan berakibat pada besarnya tegangan tanah yaitu dimana semakin besar berat volume tanah maka tegangan yang terjadi juga akan semakin besar.

- 3 Dari hasil hubungan kepadatan dengan lendutan tanah yang terjadi di bawah perkerasan didapatkan bahwa lendutan yang terjadi cenderung nilainya semakin besar seiring dengan berkurangnya kepadatan suatu tanah. Sedangkan dari hasil hubungan kepadatan tanah dengan tegangan tanah pada kepadatan berat volume kering  $1,007 \text{ gram/cm}^2$  (penambahan air 40%) tegangannya lebih kecil dibandingkan dengan kepadatan berat volume kering  $0,915 \text{ gram/cm}^2$  (penambahan air 30%) dan  $0,857 \text{ gram/cm}^2$  (penambahan air 15%). Hasil ini menunjukkan hasil yang berbeda dengan hipotesa semula, yaitu dengan semakin rendah kepadatan suatu tanah maka besar tegangan yang terjadi pada tanah terhadap perkerasan kaku akibat adanya beban akan semakin kecil. Hal ini mengindikasikan penghalang vertikal pada perkerasan jalan sepanjang 5 cm tertanam dalam tanah ikut mempengaruhi kondisi tanah yang ada.

## 5.2 Saran

- 1 Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi campuran tanah yang lebih variatif dan ditambah dengan bahan additif lain seperti, limbah keramik, fly ash, kapur, semen, dan lain-lainnya.
- 2 Dial pengukur pergerakan tanah perlu diganti dengan alat yang lebih canggih.
- 3 Alat pengukur tegangan tanah perlu dikalibrasi dan disempurnakan.
- 4 Perlu dilakukan variasi model perkerasan jalan.
- 5 Pengambilan sampel berat volume tanah perlu dilakukan dari lapisan tengah dan bawah.
- 6 Perlu dilakukan penelitian pembanding dengan menggunakan tanah lempung yang lain

## DAFTAR PUSTAKA

- Angin, Zekai. 1993. *Estimating Structural Design Parameters For Slab-On-Grade Supported Residential And Light Commercial Structures From Fundamental Soil Moisture Changes*. Unpublished Disertation. Texas: Texas Tech University.
- Asiyanto. 2010. *Metode Konstruksi Proyek Jalan*. Jakarta: UI-Press.
- Austrroads . 2004. *Technical Basis of Austrroads Pavement Design Guide: Part 2*. Sydney: Austrroads Incorporated.
- Bowles, Joseph E. 1989. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Jakarta : Erlangga.
- Das, Braja M. 1985. *Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis. Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Ditjen Bina Marga. 1987. *PPPLJR dengan Metode Analisa Komponen. SKBI-2.3.26*. Jakarta: Ditjen Bina Marga.
- Ditjen Bina Marga. 2005. *Pedoman Kontruksi Bangunan Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan*. Jakarta : Ditjen Bina Marga.
- Harris, Harry G. and Gajanan M. Sabnis. *Structural Modeling and Experimental Techniques*. 1999. United States: CRC Press LLC
- Hardiyatmo. 1994. *Mekanika Tanah 2*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama
- Jayadi. 2008. *Pengaruh Pemadatan Tanah pada Kadar Air yang Berbeda Terhadap Swelling Tanah Ekspansif. Skripsi Tidak Dipublikasikan*. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia.
- Liu, Cheng and Event, Jack B. 1981. *Soil and Foundations, USA* : Prentice-Hall

Ratna, D. 2012. Pengaruh Variasi Kadar Air Terhadap Pengembangan ( Swelling ) dan Daya Dukung Tanah Ekspansif di Kecamatan Paron Kabupaten Ngawi. Malang : Universitas Brawijaya.

Surat. 2011. Analisis Struktur Perkerasan Jalan di Atas Tanah Ekspansif (Studi Kasus: Ruas Jalan Purwodadi-Blora). *Tesis tidak dipublikasikan*. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



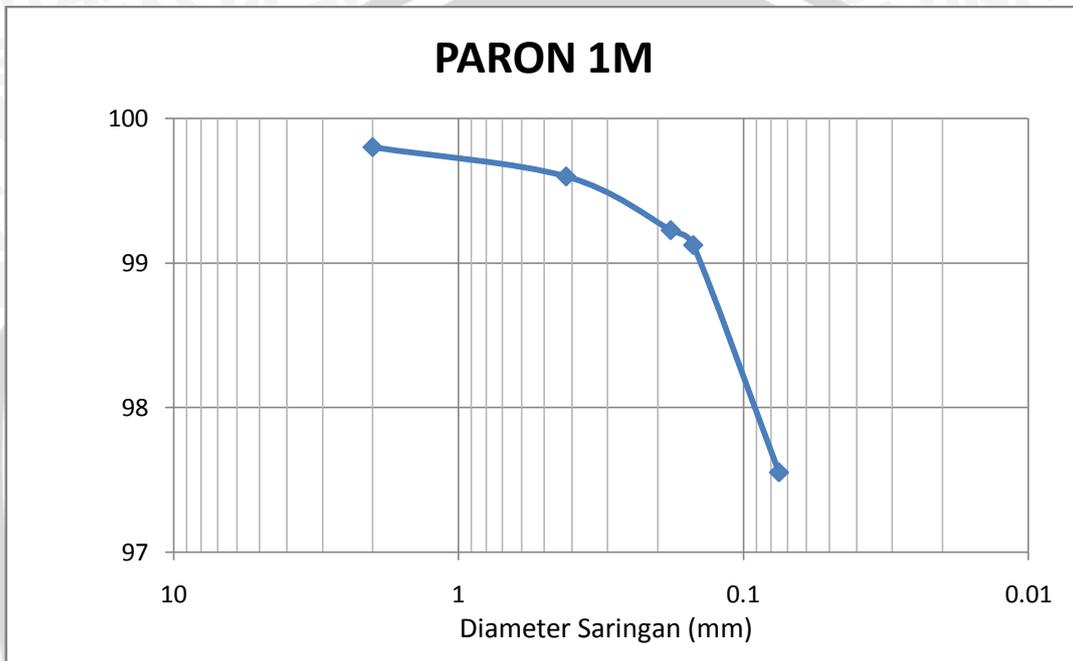
## LAMPIRAN 1

### UJI KARAKTERISTIK TANAH



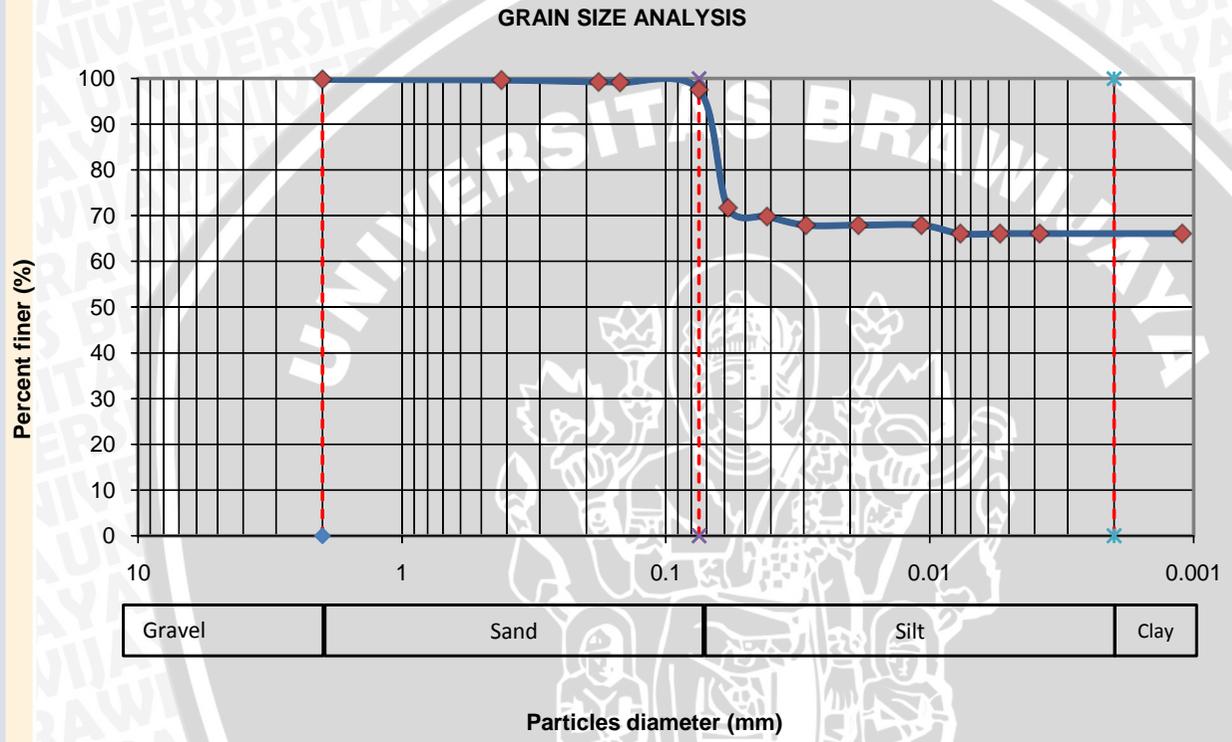
## Analisa Saringan Metode Basah

NO Saringan	tertahan (gr)	prosentase tertahan	presentase lolos	Diameter Saringan
10	0.8	0.2	99.8	2
40	0.8	0.2	99.6	0.42
80	1.5	0.375	99.225	0.18
100	0.4	0.1	99.125	0.15
200	6.3	1.575	97.55	0.075
pan	390.2	97.55	0	
total	400			



## Metode Hidrometer

Time of reading	Waktu T (menit)	Pembacaan Hydrometer Ra	Composite Correction	Pembacaan Hydrometer terkoreksi R	Temperatur (C)	Kedalaman L (cm)	Konstanta K	Diameter Butiran D (mm)	Berat Lebih Kecil P %
	0.5	1.02500	0.006	1.01900	31	9.7	0.01321	0.05813	71.713
	1	1.02450	0.006	1.01850	30	9.8	0.01321	0.04138	69.825
	2	1.02400	0.006	1.01800	30	10.0	0.01321	0.02946	67.938
	5	1.02400	0.006	1.01800	30	10.0	0.01321	0.01863	67.938
	15	1.02400	0.006	1.01800	30	10.0	0.01321	0.01076	67.938
	30	1.02350	0.006	1.01750	30	10.1	0.01321	0.00766	66.051
	60	1.02350	0.006	1.01750	30	10.1	0.01321	0.00541	66.051
	120	1.02350	0.006	1.01750	30	10.1	0.01321	0.00383	66.051
	1440	1.02350	0.006	1.01750	28	10.1	0.01321	0.00111	66.051



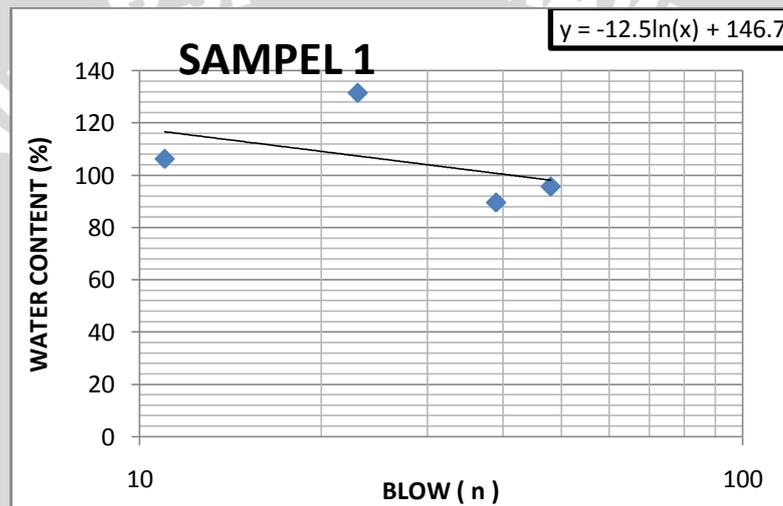
Finer #200	97,55%	D10 (mm)	
Gravel	0%	D30 (mm)	
Sand	2,25%	D60 (mm)	
Silt	31,5%	Cu = D60/D10	
Clay	66,051%	Cc = D30 <sup>2</sup> /(D10xD60)	
		D50 (mm)	

## Atterberg Limit

### ⊕ Sampel 1

LL (Liquid Limit)

Can no.	I	II	III	III
Mass of wet soil + can	15.6	14.1	11.3	19.4
Mass of dry soil + can	10.5	9.5	8.7	12.7
Mass of can	5.7	6	5.8	5.7
Mass of dry soil	4.8	3.5	2.9	7
Mass of moisture	5.1	4.6	2.6	6.7
Water content, w %	106.25	131.4286	89.65517	95.71429
No. of blows N	11	23	39	48



Dari persamaan di atas diperoleh LL = 106,4641 %

PL (Plastic Limit)

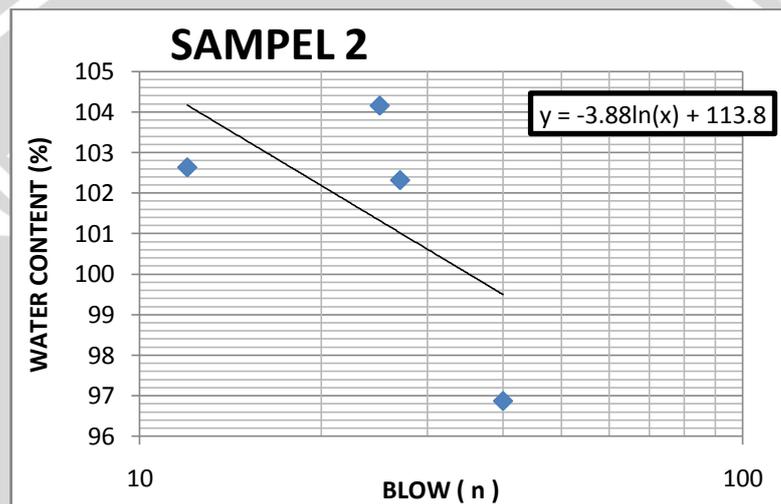
Banyaknya pukulan		
No. cawan		1
Berat cawan	gr	4.2
Berat cawan + t. basah	gr	10.8
Berat cawan + t. kering	gr	8.7
Berat air	gr	2.1
Berat tanah kering	gr	4.5
Kadar air	%	46.667

IP = LL-PL = 106,4641 – 46,667 = 59,797 %

⊕ Sampel 2

LL (Liquid Limit)

Can no.	I	II	III	III
Mass of wet soil + can	13	10.7	14.7	12.5
Mass of dry soil + can	9.1	8.2	10.3	9.4
Mass of can	5.3	5.8	6	6.2
Mass of dry soil	3.8	2.4	4.3	3.2
Mass of moisture	3.9	2.5	4.4	3.1
Water content, w %	102.6316	104.1667	102.3256	96.875
No. of blows N	12	25	27	40



Dari persamaan di atas diperoleh LL = 101,3108 %

PL (Plastic Limit)

Banyaknya pukulan		
No. cawan		2
Berat cawan	gr	5.6
Berat cawan + t. basah	gr	10.2
Berat cawan + t. kering	gr	8.7
Berat air	gr	1.5
Berat tanah kering	gr	3.1
Kadar air	%	48.387

$$IP = LL - PL = 101,3108 - 48,387 = 52,924 \%$$

$$IP \text{ rata-rata} = 56,3605 \%$$

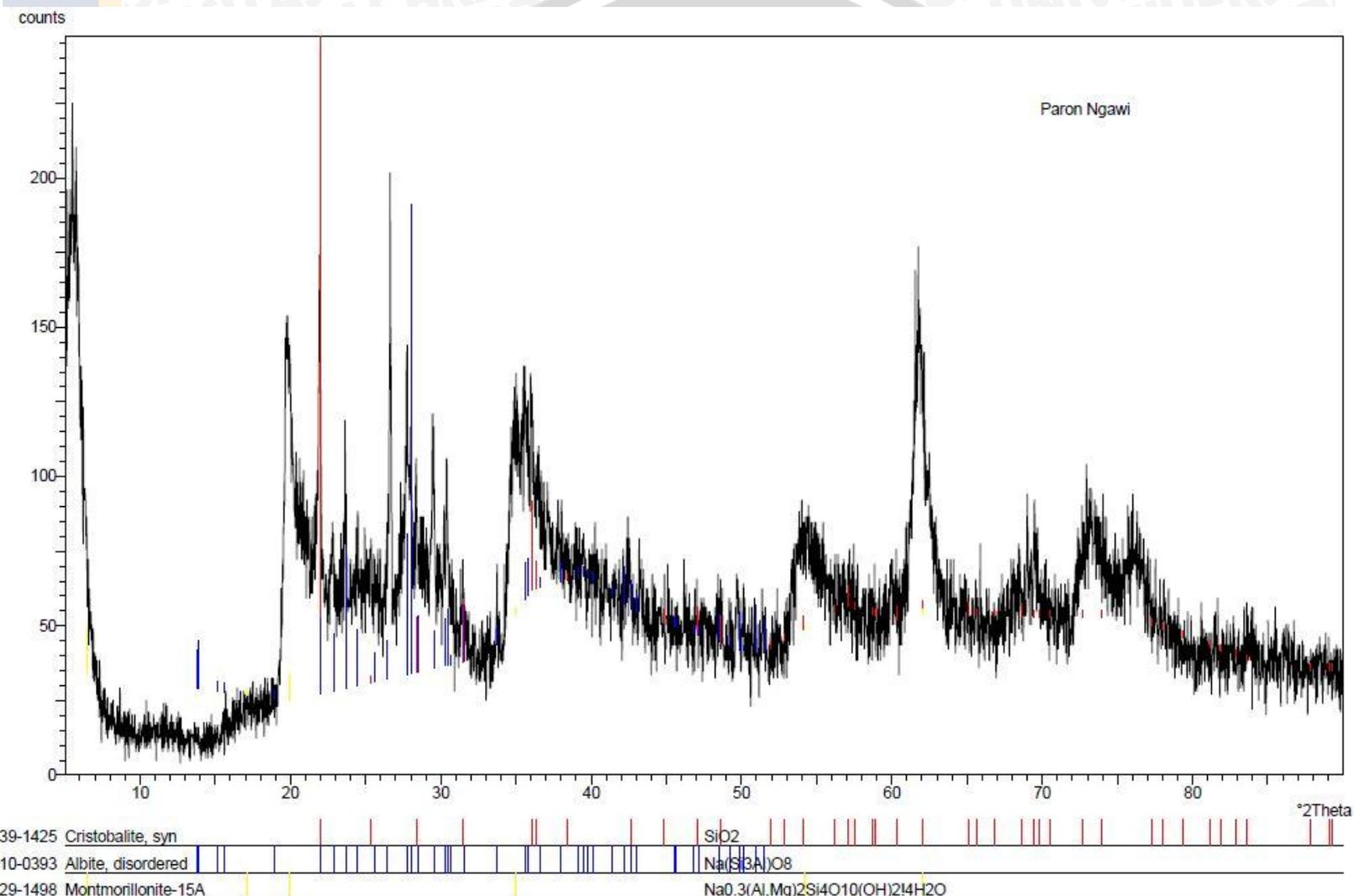
⊕ SL (Shrinkage Limit)

no. cetakan	1	2	3	4
berat cetakan	14.8	14.6	30.1	16.6
berat cetakan + tanah basah	52.4	50.1	48.1	50.9
berat cetakan + tanah kering	33.2	32	38.9	33.3
berat tanah basah	37.6	35.5	18	34.3
berat tanah kering	18.4	17.4	8.8	16.7
berat air	19.2	18.1	9.2	17.6
isi tanah basah	27.5	26.5	13.5	25
isi tanah kering	10	10	5	9
kadar air	104.3478	104.023	104.5455	105.3892
SL	9.23913	9.195402	7.954545	9.580838
SL rata2	8.992479128			

Kadar Air

Sampel	1	2	3
berat cawan	5.7	5.7	4.2
berat cawan + tanah basah	25.9	38.4	28.4
berat cawan + tanah kering	20.3	28.9	21.2
berat air	5.6	9.5	7.2
berat tanah kering	14.6	23.2	17
kadar air	38.356	40.948	42.353
Kadar air rata-rata	40.552		

Difraksi sinar – X (X-ray Difraktion)



LAMPIRAN 2

HASIL UJI LENDUTAN DAN TEGANGAN PADA TANAH



### kondisi tanah awal (kering oven)

berat awal tanah total dalam box = 107,1 kg

sampel	1	2	3
berat cawan (gram)	5.7	5.7	4.2
berat cawan + tanah basa (gram)	27.6	31.5	27.3
berat cawan + tanah kering (gram)	25	28.5	24.6
berat air (gram)	2.6	3	2.7
kadar air (%)	13.47	13.16	13.24
<b>kadar air rata-rata</b>	<b>13.29</b>		

### Kondisi penambahan air 15%

kondisi permukaan tanah setelah 24 jam penambahan air 15%

sampel	1	2
volume ring (cm <sup>3</sup> )	<b>10.38</b>	
berat ring (gram)	18.4	18.4
berat ring + tanah basa (gram)	34.7	35
berat ring + tanah kering (gram)	27.5	27.1
berat air (gram)	7.2	7.9
kadar air (%)	79.12	90.80
$\gamma$ (gram/cm <sup>3</sup> )	1.57	1.60
$\gamma_d$ (gram/cm <sup>3</sup> )	0.88	0.84
<b>kadar air rata-rata</b>	<b>84.963</b>	
<b><math>\gamma</math></b>	<b>1.585</b>	
<b><math>\gamma_d</math></b>	<b>0.857</b>	

Pembacaan *strain meter* dan alat pengukur tegangan

#### titik awal starin meter 3,75 kg

1 : 7168  
2 : 6761  
3 : 7305

#### titik awal starin meter 6,125 kg

1 : 5493  
2 : 6732  
3 : 7112

#### titik awal starin meter 5 kg

1 : 7301  
2 : 7170  
3 : 7301

#### titik awal tegangan

atas : 57.8 cm  
bawah : 62.5 cm

Hasil pembacaan *strainmeter*, lendutan dan tegangan tanah (setelah penambahan 15% air selama 24 jam)

BEBAN (kg)	NO	POSISI BEBAN	STRAIN METER			PENURUNAN DIAL (x 0,01 mm)								TEGANGAN (cm)	
			1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	atas	bawa
3.75	1	A	7170	6762	7303	6	11	5	4	0	0	1	0	57.8	62.5
	2	B	7168	6765	7303	6	10	5	4.5	0	0	1	0	57.8	62.5
	3	C	7172	6764	7302	6	8	4	4	3	1.5	1	0	57.8	62.5
	4	A	7171	6763	7303	8	12	6	4.5	2	0.5	2	0	57.8	62.5
	5	B	7169	6767	7304	8	12	6	6	2	1	2	-0.5	57.8	62.5
	6	C	7171	6763	7303	6	8	5	5	4	1.5	2	-0.5	57.8	62.5
	7	A	7172	6763	7303	9	15	6.5	5.5	2	0.5	2	-0.5	57.8	62.5
	8	B	7170	6767	7305	8.5	13	7	5	2	0.5	2	-0.5	57.8	62.5
	9	C	7173	6763	7303	6	9	5	5	4	1	2	-1	57.8	62.6
5	10	A	7172	6763	7302	12	14	6	3.5	0	0.5	3	1	57.8	62.6
	11	B	7169	6768	7302	10	11	6	4.5	2	1.5	3	2	57.8	62.6
	12	C	7172	6763	7301	5	5	5	3.5	5	4	2	2	57.8	62.6
	13	A	7173	6764	7301	15	15	8	5	2	0.5	3	2.5	57.9	62.6
	14	B	7169	6769	7304	11	12	7	5	3	1	3	2.5	57.9	62.6
	15	C	7173	6763	7302	7	7	6	4.5	5	4	3	2.5	57.9	62.6
	16	A	7173	6764	7302	15	17	8	5.5	2	1	3	2.5	57.9	62.6
	17	B	7170	6769	7304	12	13	8	6	2	1.5	3	2.5	57.9	62.6
	18	C	7174	6764	7303	6	7	6	5	6	4	3	2.5	57.9	62.6
6.125	19	A	7174	6765	7302	20	20	10	7	-2	-2	0	1	57.9	62.6
	20	B	7169	6771	7304	15	15	10	7.5	-1	-1	0	1	57.9	62.6
	21	C	7174	6766	7302	7	7	8	6	-7	3	-1	1	57.9	62.6
	22	A	7174	6765	7302	23	22	13	9	1	-2	-1	1	57.9	62.6
	23	B	7169	6771	7305	17	17	13	9	2	-0.5	-1	1	57.9	62.6
	24	C	7174	6765	7303	8	9	10	8	8	3	-1	1	57.9	62.6
	25	A	7175	6766	7302	26	25	15	11	0	-2.5	-1	1	57.9	62.6
	26	B	7169	6771	7304	21	21	15	11	4	0	-1	1	57.9	62.6
	27	C	7172	6764	7302	10	11	12	9.5	7	3.5	-1	1	57.9	62.6

### Kondisi penambahan air 30%

kondisi permukaan tanah setelah 24 jam penambahan air 30%

sampel	1	2
volume ring (cm <sup>3</sup> )	10.38	
berat ring (gram)	18.4	18.6
berat ring + tanah basa (gram)	34.7	34.8
berat ring + tanah kering (gram)	28	28
berat air (gram)	6.7	6.8
kadar air (%)	69.79	72.34
$\gamma$ (gram/cm <sup>3</sup> )	1.57	1.56
$\gamma_d$ (gram/cm <sup>3</sup> )	0.92	0.91
<b>kadar air rata-rata</b>	<b>71.066</b>	
<b><math>\gamma</math></b>	<b>1.566</b>	
<b><math>\gamma_d</math></b>	<b>0.915</b>	

Pembacaan *strain meter* dan alat pengukur tegangan

#### titik awal starin meter 3,75 kg

1	:	6659
2	:	6678
3	:	7315

#### titik awal starin meter 6,125 kg

1	:	8435
2	:	6619
3	:	7314

#### titik awal starin meter 5 kg

1	:	8390
2	:	6640
3	:	7312

#### titik awal tegangan

atas	:	57.1	cm
bawah	:	62.3	cm

Hasil pembacaan *strainmeter*, lendutan dan tegangan tanah (setelah penambahan 30% air selama 24 jam)

BEBAN (kg)	NO	POSISI BEBAN	STRAIN METER			PENURUNAN DIAL (x 0,01 mm)								TEGANGAN (cm)	
			1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	atas	bawa
3.75	1	A	6659	6666	7315	6	9	3	0	-4	-2	0	-1	57.1	62.3
	2	B	6665	6663	7313	5	9	3	0	-2	-2	0	1	57.1	62.3
	3	C	6671	6660	7312	2	5	1	0	1	1	0	0	57	62.3
	4	A	6672	6657	7312	8	12	3	0	-4	-2	0	-1	57	62.3
	5	B	6665	6658	7313	7	11	3	2	-1	-1	0	-1	57	62.3
	6	C	6659	6653	7312	2	6	2	3	2	1	0	-1	57	62.3
	7	A	6658	6651	7312	8	13	3	3	-4	-2	0	-1	57	62.3
	8	B	6659	6661	7314	7	11	4	2	0	0	0	2	57	62.3
	9	C	6659	6652	7312	3	7	2	2	2	1	0	2	57	62.3
5	10	A	8389	6638	7312	10	12	4	0	-4	-2	-1	1	57	62.3
	11	B	8390	6639	7315	9	11	4	0	0	2	0	5	57	62.3
	12	C	8405	6637	7316	0	2	4	0	2	5	0	6	57	62.3
	13	A	8408	6641	7317	14	16	5	0	-5	-5	0	10	57	62.3
	14	B	8409	6643	7320	9	11	4	0	2	1	0	6	57.1	62.3
	15	C	8415	6635	7319	1	3	2	0	2.5	3	0	6	57.1	62.3
	16	A	8413	6632	7318	13	17	5	0	-5	-3	0	6	57.1	62.3
	17	B	8416	6635	7321	9	12	4	0	-1	-1	0	6	57.1	62.3
	18	C	8424	6632	7320	2	5	3	0	3	2	0	6	57.1	62.3
6.125	19	A	8444	6621	7317	18	18	6	5	-6	3	0	1	57.1	62.3
	20	B	8440	6625	7317	11	16	4	5	-1	-1	0	3	57.15	62.3
	21	C	8462	6622	7316	0	1	2	7	6	-8	0	3	57.15	62.3
	22	A	8466	6620	7317	19	20	7	5	-7	-5	0	3	57.2	62.3
	23	B	8468	6626	7319	11	12	6	5	-1	0	0	3	57.1	62.3
	24	C	8497	6621	7318	1	3	3	1	6	1	0	3	57.1	62.3
	25	A	8501	6620	7319	20	20	7	6	-7	5	0	4	57.1	62.3
	26	B	8497	6626	7321	12	13	6	6	-1	0	0	3	57.1	62.3
	27	C	8504	6620	7320	2	3	4	6	7	8	0	2	57.1	62.3

### Kondisi penambahan air 40%

kondisi permukaan tanah setelah 24 jam penambahan air 40%

sampel	1	2
volume ring (cm <sup>3</sup> )	10.38	
berat ring (gram)	18.6	18.6
berat ring + tanah basa (gram)	35.7	33.3
berat ring + tanah kering (gram)	29.7	28.4
berat air (gram)	6	4.9
kadar air (%)	54.05	50.00
$\gamma$ (gram/cm <sup>3</sup> )	1.65	1.42
$\gamma_d$ (gram/cm <sup>3</sup> )	1.07	0.94
<b>kadar air rata-rata</b>	<b>52.027</b>	
<b><math>\gamma</math></b>	<b>1.532</b>	
<b><math>\gamma_d</math></b>	<b>1.007</b>	

Pembacaan *strain meter* dan alat pengukur tegangan

#### titik awal strain meter 3,75 kg

1 :	7290
2 :	7108
3 :	7158

#### titik awal strain meter 6,125 kg

1 :	7293
2 :	7110
3 :	7083

#### titik awal strain meter 5 kg

1 :	7292
2 :	7108
3 :	7110

#### titik awal tegangan

atas :	57.1	cm
bawah :	62.6	cm

Hasil pembacaan *strainmeter*, lendutan dan tegangan tanah (setelah penambahan 40% air selama 24 jam)

BEBAN (kg)	NO	POSISI BEBAN	STRAIN METER			PENURUNAN DIAL (x 0,01 mm)								TEGANGAN (cm)	
			1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	atas	bawa
3.75	1	A	7291	7106	7162	14	14	1	2	-8	-7	0	0	57.1	62.6
	2	B	7289	7108	7140	11	11	0.5	5	-3	-2	0	-1	57.1	62.6
	3	C	7291	7107	7136	-1	0	0	4	-6	-3	0	-1.5	57.1	62.6
	4	A	7293	7107	7139	14	18	0	4	-8	-6	0	-1.5	57.1	62.6
	5	B	7290	7110	7138	9	11	-1	4	-3	-2	0	-1	57.1	62.6
	6	C	7293	7109	7131	-2	0	-2	4	-8	-2.5	1	-1	57.1	62.6
	7	A	7291	7107	7126	16	-3	-2	-6	-8	-7	2	-1.5	57.1	62.6
	8	B	7288	7109	7121	8	-3	4	-5	-2	-0.5	2	-1	57.1	62.6
	9	C	7291	7106	7118	-2	3	2	-4	8	8	2	-1.5	57.1	62.6
5	10	A	7293	7107	7107	21	3	4	5.5	-12	-11.5	2.5	0	57.1	62.7
	11	B	7292	7113	7107	11	3	4	7	-3	-3	2.5	1	57.1	62.7
	12	C	7293	7109	7103	-4	2	4	5	10	12	2.5	1	57.1	62.7
	13	A	7293	7107	7102	23	2	5	7	-12	-11	3	1	57.1	62.7
	14	B	7289	7110	7099	10	3	4	7	-3	-2	3	1	57.1	62.7
	15	C	7292	7108	7094	-5	1	2	5	12	3	3	1	57.1	62.7
	16	A	7294	7108	7094	23	2	5	7.5	-12	-10	3	1	57.1	62.7
	17	B	7291	7113	7093	12	2.5	4	8	-3	-2	3	1	57.1	62.7
	18	C	7294	7110	7089	-4	1	3	7	11	11.5	3	1	57.1	62.7
6.125	19	A	7295	7109	7080	33	7	6	10	-19	-17	2	0	57.1	62.7
	20	B	7293	7114	7080	16	7	4	8	-3	-3	2	0	57.1	62.7
	21	C	7296	7112	7077	-8	5	2	6.5	18	19	2	1	57.1	62.7
	22	A	7297	7109	7079	35	8	7	10	-20	-15	3	1	57.1	62.7
	23	B	7294	7116	7079	17	8	6	10	-5	-3	3	1	57.1	62.7
	24	C	7296	7112	7075	-7	7	3	7	20	9	3	0.5	57.1	62.7
	25	A	7296	7109	7074	34	9	7	12	-21	-16	3	0.5	57.1	62.7
	26	B	7293	7116	7075	17	8	6	10.5	-4.5	-2	3	1	57.1	62.7
	27	C	7297	7112	7071	-6	7	4	9.5	18	21	3	0.5	57.1	62.7

## Kondisi air rendaman

kondisi permukaan tanah setelah 24 jam rendaman air

sampel	atas	
	1	2
volume ring (cm <sup>3</sup> )	10.38	
berat ring (gram)	18.4	18.4
berat ring + tanah basa (gram)	34	34.2
berat ring + tanah kering (gram)	27	27.1
berat air (gram)	7	7.1
kadar air (%)	81.40	81.61
$\gamma$ (gram/cm <sup>3</sup> )	1.50	1.52
$\gamma_d$ (gram/cm <sup>3</sup> )	0.83	0.84
<b>kadar air rata-rata</b>	<b>81.502</b>	
<b><math>\gamma</math></b>	<b>1.512</b>	
<b><math>\gamma_d</math></b>	<b>0.833</b>	

Pembacaan *strai meter* dan alat pengukur tegangan

### titik awal strain meter 3,75 kg

1 : 7315  
2 : 7318  
3 : rusak

### titik awal strain meter 6,125 kg

1 : 7322  
2 : 7230  
3 : rusak

### titik awal strain meter 5 kg

1 : 7318  
2 : 7229  
3 : rusak

### titik awal tegangan

atas : 56.9 cm  
bawah : 62.4 cm

Hasil pembacaan *strainmeter*, lendutan dan tegangan tanah (setelah rendaman air selama 24 jam)

BEBAN (kg)	NO	POSISI BEBAN	STRAIN METER			PENURUNAN DIAL (x 0,01 mm)								TEGANGAN (cm)	
			1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	atas	bawa
3.75	1	A	7317	7224	rusak	125	145	10	18	15	13	0	0	56.9	62.4
	2	B	7316	7226		115	110	19	27	75	70	0	-1	56.9	62.45
	3	C	7318	7225		-58	-85	18	19	170	150	6	-1	56.8	62.4
	4	A	7320	7224		78	98	15	40	-85	-78	4	-2	56.9	62.4
	5	B	7319	7227		38	30	41	50	120	113	4	-2.5	56.9	62.45
	6	C	7319	7225		-55	-70	32	37	180	105	6	-2.5	56.85	62.4
	7	A	7321	7224		98	118	30	57	-166	-164	4	-4	56.85	62.4
	8	B	7318	7224		62	58	54	62	116	114	4	-4	56.9	62.4
	9	C	7319	7225		-48	-65	44	46	199	185	4	-4	56.85	62.35
5	10	A	7319	7227		240	262	30	28	-220	-199	0	0	56.95	62.5
	11	B	7318	7228		158	148	58	32	158	142	-1	0	56.95	62.5
	12	C	7319	7228		-120	-142	32	12	290	278	-1	0	56.9	62.45
	13	A	7320	7226		240	260	53	57	-250	-235	-1	0	56.9	62.4
	14	B	7319	7227		185	168	87	60	180	182	-1	0	56.9	62.4
	15	C	7318	7227		-90	-120	53	40	215	210	-1	0	56.95	62.5
	16	A	7320	7229		260	284	64	75	-250	-230	-1	0	56.9	62.45
	17	B	7319	7231		205	195	95	84	95	95	-1	0	56.95	62.5
	18	C	7319	7230		70	-108	71	50	225	218	-1	0	56.9	62.5
6.125	19	A	7323	7227	360	323	13	49	-350	305	-1	-1	56.95	62.5	
	20	B	7321	7227	262	268	87	75	290	100	-1	-1	56.9	62.5	
	21	C	7324	7230	-118	-110	50	33	250	305	-1	-1	56.9	62.55	
	22	A	7326	7228	410	373	65	68	-435	435	-1	-1	56.9	62.55	
	23	B	7324	7231	312	290	65	98	350	335	-1	2	57	62.6	
	24	C	7325	7231	-110	-108	70	52	250	258	-5	0	56.95	62.5	
	25	A	7328	7231	450	392	112	102	-510	-570	-5	-2	56.95	62.5	
	26	B	7325	7233	318	298	60	30	390	360	-5	-1	56.95	62.55	
	27	C	7326	7232	-82	-90	84	92	250	275	-5	-1	56.95	62.5	

LAMPIRAN 3

PERENCANAAN BERAT TANAH DALAM BOX



## PENENTUAN BERAT VOLUME TANAH PADA KEADAAN KERING OVEN

cawan	1	2	3
berat cawan + air (volume cm <sup>3</sup> )	53.5	53.5	53.5
berat cawan + tanah (gram)	65.1	63.5	62.9
$\gamma$ (gram/cm <sup>3</sup> )	1.22	1.19	1.18
$\bar{\gamma}$ rata-rata	1.19		

## PERHITUNGAN BERAT TANAH YANG AKAN DIMASUKKAN DALAM BOX

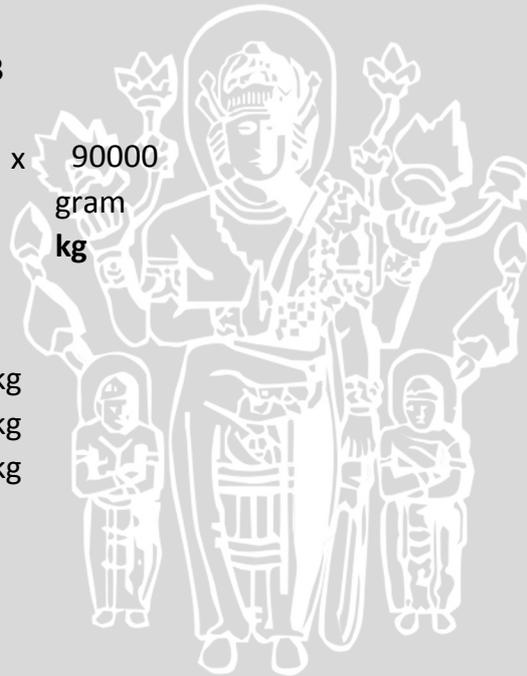
ukuran box

panjang : 90 cm  
lebar : 50 cm  
tinggi : 20 cm  
volume : **90000** cm<sup>3</sup>

$\gamma$  : **1.19** gram/cm<sup>3</sup>

berat tanah = 1.19 x 90000  
= 107100 gram  
= **107.1** kg

berat penambahan air :  
15% : 16.065 kg  
30% : 32.13 kg  
40% : 42.84 kg  
rendaman

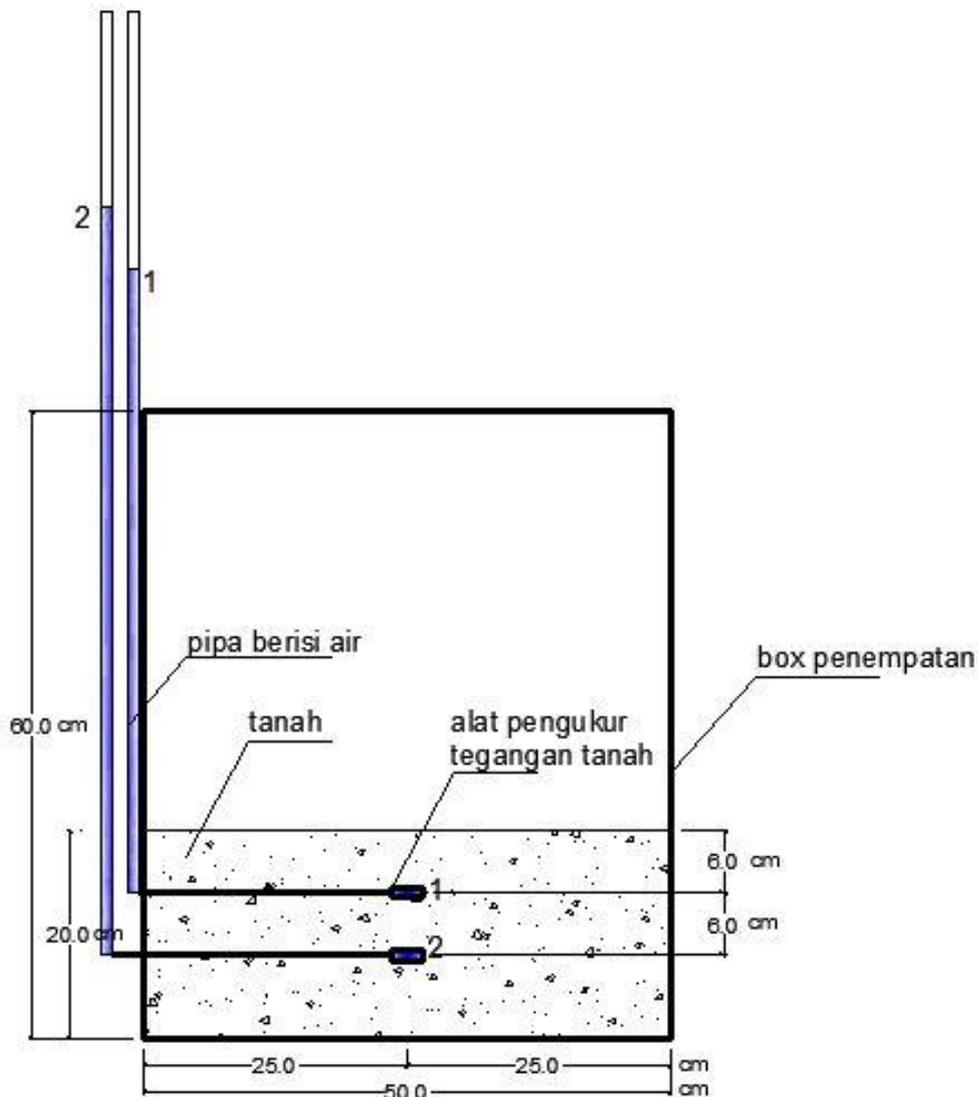


LAMPIRAN 4

PERENCANAAN ALAT PENGUKUR TEGANGAN



## PERENCANAAN ALAT PENGUKUR TEGANGAN TANAH



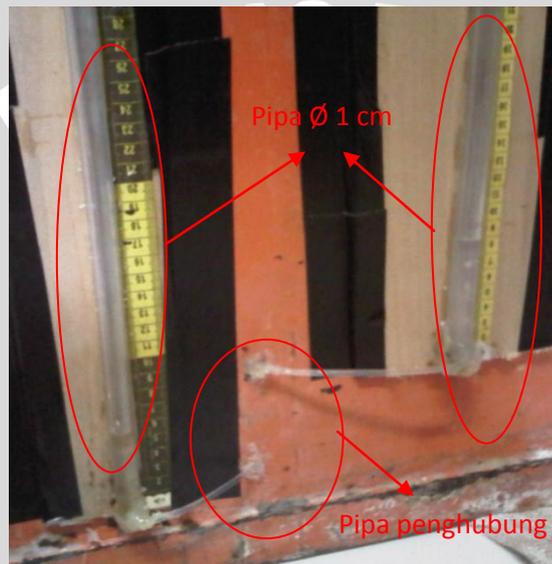
**Gambar 1** Perencanaan alat pengukur tegangan

### A. Spesifikasi alat yang digunakan

Alat pengukur tegangan ini direncanakan terbuat dari sebuah cawan bulat dengan diameter 1 inch yang di atasnya tertutup oleh membran karet yang elastis. Cawan tersebut dihubungkan ke pipa berdiameter 1 cm dengan menggunakan pipa kecil. Pada akhirnya nanti direncanakan cawan yang terhubung dengan pipa diameter 1 cm terisi air penuh dengan asumsi tidak ada rongga udara yang masuk sampai ketinggian air tertentu dalam pipa.



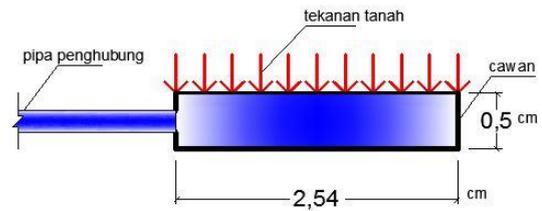
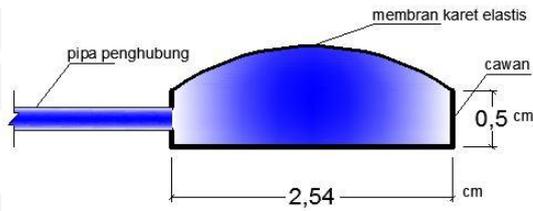
**Gambar 2** cawan diameter 1 inch yang diatasnya tertutup membran karet dan pipa penghubung.



**Gambar 3** pipa diameter 1 cm yang terhubung dengan cawan.

**B. Prinsip kerja dari alat**

Pipa dan cawan yang sebelumnya telah terisi air di tanam dalam tanah, kemudian dihitung ketinggian air yang diperlukan pada pipa Ø 1 cm agar tekanan air ke atas (permukaan karet yang elastis) sama dengan tekanan tanah yang berada di atas cawan. Sehingga ketika keadaan tekanan tanah dan tekanan air sudah seimbang maka jika terjadi perubahan tegangan yang terjadi pada tanah maka diharapkan tegangan yang berubah terbaca dengan asumsi pergerakan air dalam pipa.



a)

b)

**Gambar 4** a) cawan sebelum ditanam dalam tanah, b) cawan sesudah ditanam dalam tanah

### C. Perhitungan ketinggian air yang diperlukan

Data-data yang diketahui :

$\gamma_{\text{tanah}}$  : 1,6 gram/cm<sup>3</sup> (asumsi)

$\gamma_{\text{air}}$  : 1 gram/cm<sup>3</sup>

$\emptyset$  cawan : 2,54 cm

h cawan : 0,5 cm

$\emptyset$  pipa pengukur air : 1 cm

Kedalaman alat : alat 1 = 6 cm (dari permukaan tanah)

alat 2 = 12 cm (dari permukaan tanah)

$$\text{luas cawan} = A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \emptyset^2$$

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 2,54^2$$

$$= 5,067 \text{ cm}^2$$

$$\text{Pipa } \emptyset 1 \text{ cm} = A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \emptyset^2$$

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 1^2$$

$$= 0,785398 \text{ cm}^2$$

### perhitungan ketinggian air yang diperlukan untuk alat 1

kedalaman alat (h) = 6 cm

tekanan yang diberikan tanah pada alat =  $\gamma_{\text{tanah}} \times h \times A_{\text{cawan}}$

$$= 1,6 \times 6 \times 5,067$$

$$= 48,6432 \text{ gram}$$

$$\gamma_{\text{air}} = 1 \text{ gram/cm}^3 \longrightarrow \gamma = \frac{G}{V}$$

$$V = \frac{48,6432}{1} = 48,6432 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air pada pipa (v)} &= A_{\text{pipa}} \times h_{\text{pipa}} \\ h_{\text{pipa}} &= \frac{V}{A} = \frac{48,6432}{0,785398} = 61,93 \text{ cm} \end{aligned}$$

jadi ketinggian air yang diperlukan untuk mengimbangi tekanan tanah pada pipa alat 1 adalah 61,93 cm

**perhitungan ketinggian air yang diperlukan untuk alat 2**

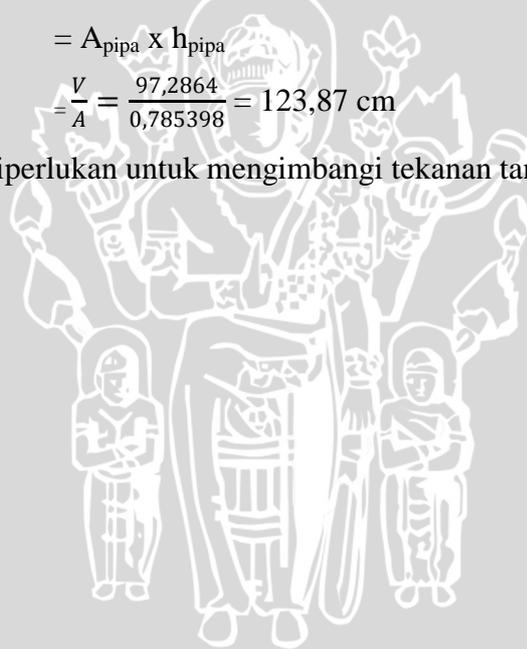
kedalaman alat (h) = 12 cm

$$\begin{aligned} \text{tekanan yang diberikan tanah pada alat} &= \gamma_{\text{tanah}} \times h \times A_{\text{cawan}} \\ &= 1,6 \times 12 \times 5,067 \\ &= 97,2864 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{air}} = 1 \text{ gram/cm}^3 &\longrightarrow \gamma = \frac{G}{V} \\ V &= \frac{97,2864}{1} = 97,2864 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air pada pipa (v)} &= A_{\text{pipa}} \times h_{\text{pipa}} \\ h_{\text{pipa}} &= \frac{V}{A} = \frac{97,2864}{0,785398} = 123,87 \text{ cm} \end{aligned}$$

jadi ketinggian air yang diperlukan untuk mengimbangi tekanan tanah pada pipa alat 2 adalah 123,87 cm



LAMPIRAN 5

PERENCANAAN DIMENSI PERKERASAN DAN BEBAN RODA



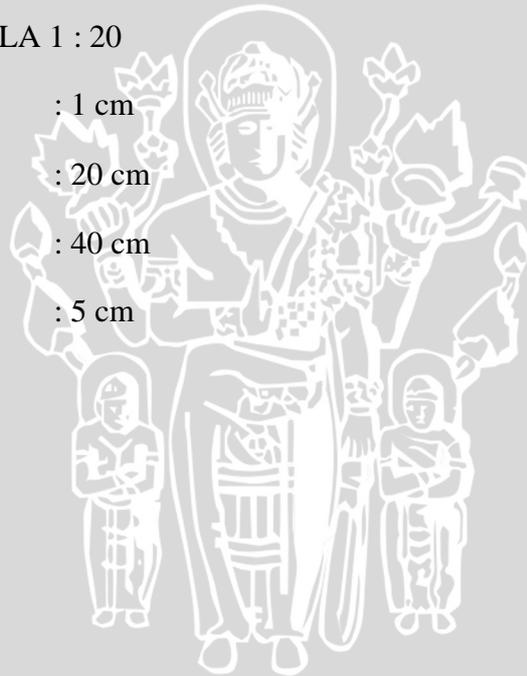
PERENCANAAN DIMENSI PERKERASAN KAKU  
(BETON BERSAMBUNG DENGAN TULANGAN)

PROTOTYPE

Tebal pelat beton	: 20 cm
Lebar pelat	: $2 \times 4 \text{ m} = 8 \text{ m}$
Panjang pelat	: 15 m
Vertikal barier	: 1 m (tebal 20 cm)

MODEL DENGAN SKALA 1 : 20

Tebal pelat beton	: 1 cm
Lebar pelat	: 20 cm
Panjang pelat	: 40 cm
Penghalang vertikal	: 5 cm



Dalam perencanaan beban yang akan digunakan dalam model perkerasan kaku, ada tiga beban yang akan diuji dalam penelitian, yaitu :

Beban	Beban Prototype	Beban Model
1	2,75 ton	6,125 kg
2	2 ton	5 kg
3	1,5 ton	3,125 kg

**Tabel 1.** Ringkasan Faktor Skala Model Beton Bertulang

(1)	Quantity (2)	Dimension (3)	True Model (4)	Practical True Model (5)	Distorted Model, Case 1 (Figure 2.7) (6)	Distorted Model, Case 3 (Figure 2.8) (7)
Material-Related Property	Concrete stress, $\sigma_c$	$FL^{-2}$	$S_\sigma$	1	$S_\sigma$	$S_\sigma$
	Concrete strain, $\epsilon_c$	—	1	1	$S_\epsilon$	$S_\epsilon$
	Modulus of concrete, $E_c$	$FL^{-2}$	$S_\sigma$	1	$S_\sigma/S_\epsilon$	$S_\sigma/S_\epsilon$
	Poisson's ratio, $\nu_c$	—	1	1	1	1
	Specific weight, $\gamma_c$	$FL^{-3}$	$S_\sigma/S_l$	$1/S_l$	$S_\sigma/S_l$	$S_\sigma/S_l$
	Reinforcing stress, $\sigma_r$	$FL^{-2}$	$S_\sigma$	1	$S_\sigma$	$S_\sigma$
	Reinforcing strain, $\epsilon_r$	—	1	1	$S_\epsilon$	$S_\epsilon$
	Modulus of reinforcing, $E_r$	$FL^{-2}$	$S_\sigma$	1	1	1
	Bond stress, $u$	$FL^{-2}$	$S_\sigma$	1	$S_\sigma$	<sup>a</sup>
Geometry	Linear dimension, $l$	$L$	$S_l$	$S_l$	$S_l$	$S_l$
	Displacement, $\delta$	$L$	$S_l$	$S_l$	$S_\epsilon S_l$	$S_\epsilon S_l$
	Angular displacement, $\beta$	—	1	1	$S_\epsilon$	$S_\epsilon$
	Area of reinforcement, $A_r$	$L^2$	$S_l^2$	$S_l^2$	$S_l^2$	$S_\sigma S_l^2/S_\epsilon$
Loading	Concentrated load, $Q$	$F$	$S_\sigma S_l^2$	$S_l^2$	$S_\sigma S_l^2$	$S_\sigma S_l^2$
	Line load, $w$	$FL^{-1}$	$S_\sigma S_l$	$S_l$	$S_\sigma S_l$	$S_\sigma S_l$
	Pressure, $q$	$FL^{-2}$	$S_\sigma$	1	$S_\sigma$	$S_\sigma$
	Moment, $M$	$FL$	$S_\sigma S_l^3$	$S_l^3$	$S_\sigma S_l^3$	$S_\sigma S_l^3$

<sup>a</sup> Function of choice of distorted reinforcing area.

Untuk mendapatkan beban model sesuai dengan beban pada prototype nya dapat dirumuskan sebagai berikut :

- Beban dirumuskan sebagai concentrated load (Q).
- Beban sebenarnya ditulis sebagai (Qp) dan beban pada prototype ditulis sebagai (Qm)

Dari tabel diatas, maka dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{Q_p}{Q_m} = S_l^2$$

$$Q_m = \frac{Q_p}{S_l^2}$$

Skala yang kita inginkan adalah skala 1 : 20 sehingga didapatkan :

$$S_l = \frac{U_p}{U_m} = 20$$

Contoh perhitungan :

1. Beban 2,75 ton = 2750 kg, maka :

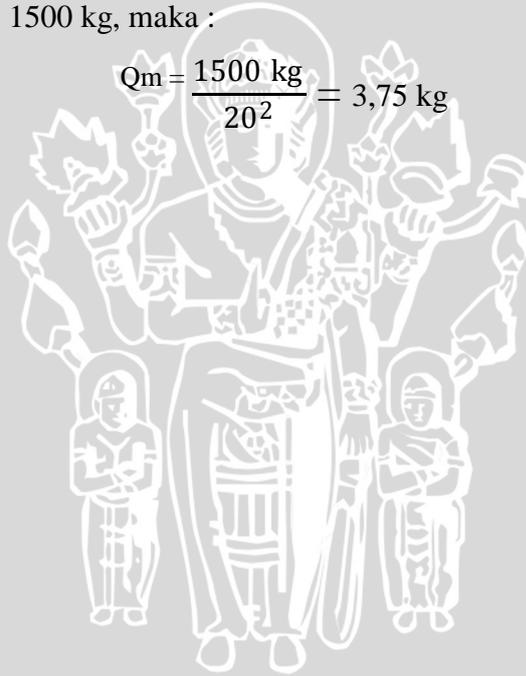
$$Q_m = \frac{2750 \text{ kg}}{20^2} = 6,125 \text{ kg}$$

2. Beban 2 ton = 2000 kg, maka :

$$Q_m = \frac{2000 \text{ kg}}{20^2} = 5 \text{ kg}$$

2. Beban 1,5 ton = 1500 kg, maka :

$$Q_m = \frac{1500 \text{ kg}}{20^2} = 3,75 \text{ kg}$$



LAMPIRAN 6

DOKUMENTASI PENELITIAN





Kerusakan disepanjang jalan Kec. Paron Kab. Ngawi



Kerusakan disepanjang jalan Kec. Paron Kab. Ngawi



Pengambilan sampel tanah di daerah Paron Kab. Ngawi



Pengambilan sampel tanah di daerah Paron Kab. Ngawi



Pengambilan sampel tanah di daerah Paron Kab. Ngawi



Percobaan Hidrometer



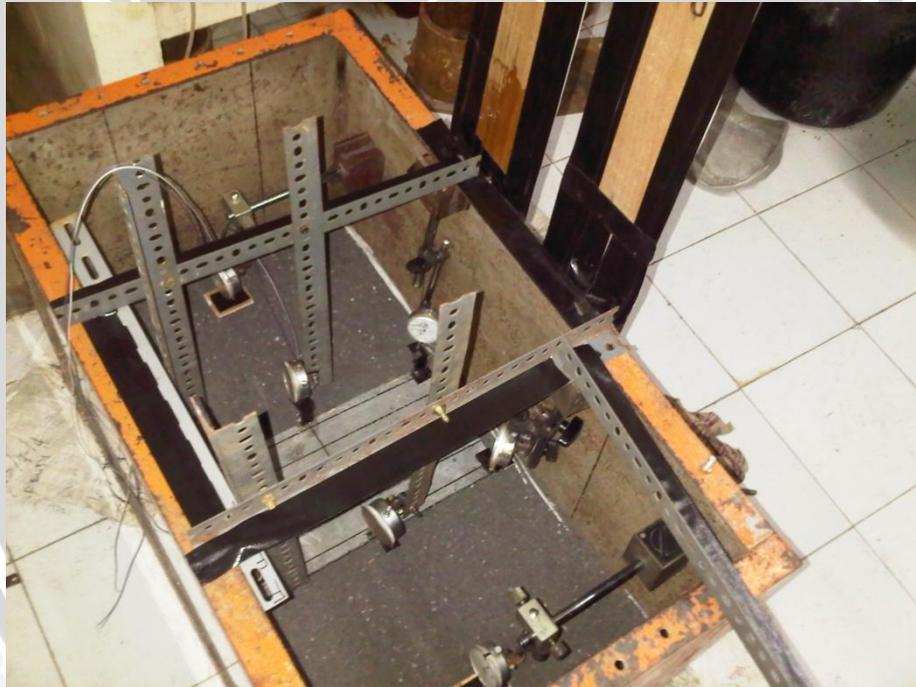
Uji pembebanan pada perkerasan



Perletakan alat pengukur tegangan dalam tanah



Pemasangan *straingauge* pada perkerasan



Pengondisian perkerasan dan alat yang digunakan



Kondisi tanah setelah penambahan variasi air