

**PENGARUH PENAMBAHAN GELAGAR PENGAKU
PADA PERKERASAN KAKU TERHADAP
PERILAKU TANAH EKSPANSIF**

(STUDI KASUS RUAS JALAN KECAMATAN PARON KABUPATEN NGAWI)

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**GEDE NGURAH DARMAJAYA
NIM : 0810613009**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN SIPIL
MALANG
2012**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH PENAMBAHAN GELAGAR PENGAKU
PADA PERKERASAN KAKU TERHADAP
PERILAKU TANAH EKSPANSIF**

(STUDI KASUS RUAS JALAN KECAMATAN PARON KABUPATEN NGAWI)

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

GEDE NGURAH DARMAJAYA

NIM : 0810613009

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Harimurti, MT

NIP. 19600926 198802 1 001

Ir. Widodo Suyadi, M Eng

NIP. 19490101 197408 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN GELAGAR PENGAKU PADA PERKERASAN KAKU TERHADAP PERILAKU TANAH EKSPANSIF

(STUDI KASUS RUAS JALAN KECAMATAN PARON KABUPATEN NGAWI)

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

GEDE NGURAH DARMAJAYA
NIM. 0810613009 - 61

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

DOSEN PENGUJI :

Ir. Harimurti, MT

NIP. 19600926 198802 1 001

Ir. Widodo Suyadi, M Eng

NIP. 19490101 197408 1 001

Dr. Eng Yulvi Zaika, MT

NIP. 19680707 199304 2 002

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, Februari 2012

Mahasiswa

Nama : GEDE NGURAH DARMAJAYA

NIM : 0810613009-61

Jurusan : Teknik Sipil

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan YME, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga pada akhirnya dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Penambahan Gelagar Pengaku pada Perkerasan Kaku terhadap Perilaku Tanah Ekspansif (Studi Kasus Ruas Jalan Kecamatan Paron Kabupaten Ngawi)”. 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 yang selalu memberikan semangat kepada penulis dan membimbing putra-putrinya untuk menjadi orang yang sukses dan berguna
2. Ir. Suroso, Dipl.HE, M.Eng selaku Ketua Kelompok Bidang Studi Geoteknik
3. Ir. Harimurti, MT dan Ir. Widodo Suyadi, M. Eng selaku Dosen Pembimbing yang penuh kesabaran memberikan bimbingan, pengarahan dan motivasi yang sangat berharga untuk kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini
4. Ir. Indra Cahya selaku Dosen Pembimbing Akademik yang 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 menerima kritik, saran dan masukan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan dimasa yang akan datang. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini dapat digunakan sebagai mana mestinya serta bermanfaat bagi penulis, pihak terkait dan bagi para pembaca.

Malang, Juli 2012

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	xi
ABSTRAK	xii
BAB I PENDAHULUAN	
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
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tanah Ekspansif	6
2.1.1 Pengertian Tanah Ekspansif.....	6
2.1.2 Parameter Tanah Ekspansif	6
2.1.3 Penelitian Sifat Fisik Tanah.....	10
2.1.4 Uji Free Swell.....	11
2.2 Identifikasi Kerusakan Jalan Akibat Tanah Ekspansif.....	11
2.3 Teknik Konstruksi di Atas Tanah Ekspansif.....	12
2.4 Perkerasan Kaku	15
2.4.1 Teori Perkerasan Kaku	15
2.4.2 Struktur Perkerasan Kaku	16
2.4.3 Metode Pelaksanaan	19
2.5 Pemodelan Perkerasan Kaku pada Tanah Ekspansif.....	22
2.5.1 Pemodelan Perkuatan Beton	22
2.5.2 Pemodelan Struktur	23
2.6 Pembebanan Perkerasan Jalan.....	24
2.6.1 Beban gandar kendaraan.....	24

2.7	Gelagar Pengaku pada Perkerasan Kaku	25
2.8	Lendutan dan Tegangan pada Tanah	28
2.8.1	Lendutan Tanah	28
2.8.2	Tegangan Tanah.....	30
2.9	Regangan Struktur	31

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Rencana penelitian.....	32
3.2	Pekerjaan persiapan	32
3.3	Bagan Alir Pengujian	32
3.4	Pemodelan Penelitian	33
3.4.1	Pemodelan Perkerasan	33
3.4.2	Penempatan Alat Uji.....	34
3.4.3	Pemodelan Pembebanan	36
3.5	Pekerjaan Laboratorium	37
3.5.1	Percobaan Penelitian.....	37
3.5.2	Pengumpulan Data.....	37
3.6	Metode Penelitian.....	37
3.6.1	Uji Dasar	37
3.6.2	Uji Perilaku.....	37
3.7	Analisis Data	39

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Pengujian Sifat Fisik Tanah.....	40
4.1.1	Pengujian Kadar Air	40
4.2	Pengujian <i>Free Swell</i> (Uji Pengembangan).....	41
4.3	Pengujian Sifat Mekanik Tanah	42
4.3.1	Lendutan Tanah	44
4.3.2	Tegangan Tanah.....	45
4.3.3	Regangan pada Perkerasan <i>Flat</i> dan Perkerasan <i>Barrier</i> Akibat Perilaku Subgrade Tanah Ekspansif	49
4.4	Pembahasan	50
4.4.1	Perbandingan swelling akibat interaksi subgrade dengan pelat perkerasan flat dan barrier.....	50

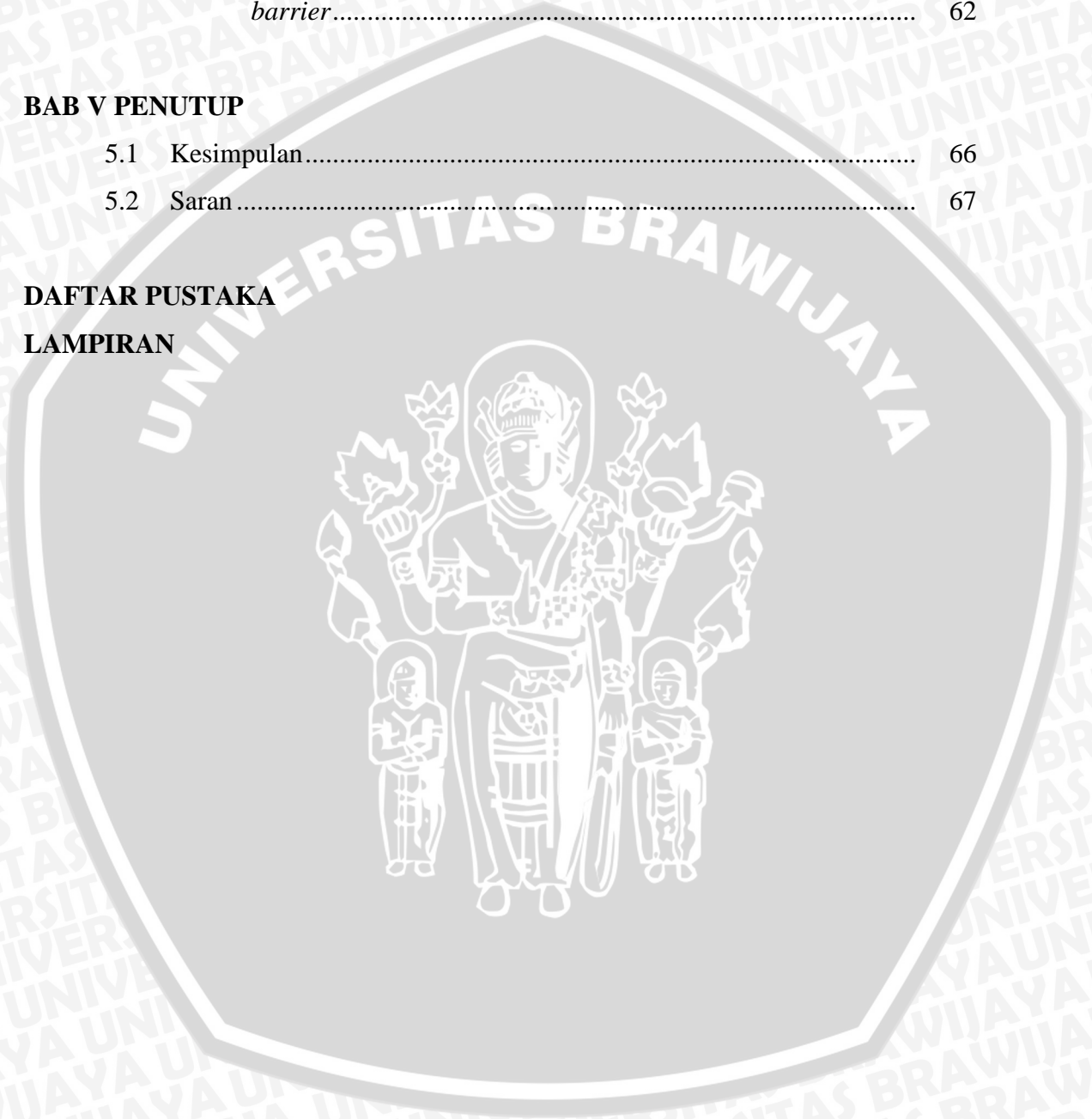
4.4.2	Perbandingan penurunan pada subgrade perkerasan flat dan barrier.....	52
4.4.3	Perbandingan tegangan pada pelat perkerasan <i>flat</i> dan <i>barrier</i>	60
4.4.4	Perbandingan regangan pada pelat perkerasan <i>flat</i> dan <i>barrier</i>	62

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	66
5.2	Saran.....	67

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Hubungan Aktifitas dan Kandungan Mineral	7
Tabel 2.2	Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Kadar Colloid	7
Tabel 2.3	Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Persen Lolos Saringan No. 200 dan Batas Cair	8
Tabel 2.4	Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Linear Shrinkage dan Shrinkage Limit	8
Tabel 2.5	Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SL	9
Tabel 2.6	Kriteria pengembangan berdasarkan IP	10
Tabel 2.7	Hal-Hal yang Perlu Dipertimbangkan dalam Pemilihan Metode Konstruksi.	13
Tabel 2.8	Ukuran Dowel terhadap Tebal Pelat	18
Tabel 2.9	Ringkasan Faktor Skala Model Beton Bertulang	23
Tabel 2.10	Skala Geometri pada Pemodelan	24
Tabel 2.11	Hubungan Antara Kelas Jalan dengan Beban Gandar	25
Tabel 3.1	Model Perkerasan Kaku	34
Tabel 3.2	Kondisi Perilaku Pembebanan pada Perkerasan Kaku	36
Tabel 4.1	Pembacaan Kadar Air Kondisi Tanah Awal (Kering Oven)	40
Tabel 4.2	Pembacaan Swelling pada Penambahan Kadar Air 15% (<i>Flat</i>)	41
Tabel 4.3	Pembacaan Swelling pada Penambahan Kadar Air 30% (<i>Flat</i>)	41
Tabel 4.4	Pembacaan Swelling pada Penambahan Kadar Air 15% (<i>Barrier</i>)	41
Tabel 4.5	Pembacaan Swelling pada Penambahan Kadar Air 30% (<i>Barrier</i>)	42
Tabel 4.6	Pembacaan Parameter Perkerasan <i>Flat</i> pada Penambahan Kadar Air 15%	42

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.7	Pembacaan Parameter Perkerasan <i>Flat</i> pada Penambahan Kadar Air 30%	43
Tabel 4.8	Pembacaan Parameter Perkerasan <i>Barrier</i> pada Penambahan Kadar Air 15%	43
Tabel 4.9	Pembacaan Parameter Perkerasan <i>Barrier</i> pada Penambahan Kadar Air 30%	43
Tabel 4.10	Penurunan Rata-Rata Dial 1-2 Perkerasan <i>Flat</i> dan <i>Barrier</i> pada Penambahan Kadar Air 15%	44
Tabel 4.11	Penurunan Rata-Rata Dial 5-6 Perkerasan <i>Flat</i> dan <i>Barrier</i> pada Penambahan Kadar Air 15%	44
Tabel 4.12	Penurunan Rata-Rata Dial 1-2 Perkerasan <i>Flat</i> dan <i>Barrier</i> pada Penambahan Kadar Air 30%	45
Tabel 4.13	Penurunan Rata-Rata Dial 5-6 Perkerasan <i>Flat</i> dan <i>Barrier</i> pada Penambahan Kadar Air 30%	45
Tabel 4.14	Ketinggian Air pada Alat dengan Variasi Penambahan Kadar Air Tanah	46
Tabel 4.15	Tegangan Tanah Teoritis Perkerasan <i>Flat</i>	46
Tabel 4.16	Tegangan Tanah Teoritis Perkerasan <i>Barrier</i>	47
Tabel 4.17	Regangan pada Perkerasan <i>Flat</i> pada Penambahan Kadar Air 30%	49
Tabel 4.18	Regangan Rata-Rata Perkerasan <i>Flat</i> pada Penambahan Kadar Air 30%	50
Tabel 4.19	Regangan pada Perkerasan dengan <i>Barrier</i> pada Penambahan Kadar Air 30%	50
Tabel 4.20	Regangan Rata-Rata Perkerasan dengan <i>Barrier</i> pada Penambahan Kadar air 30%	50

DAFTAR GAMBAR

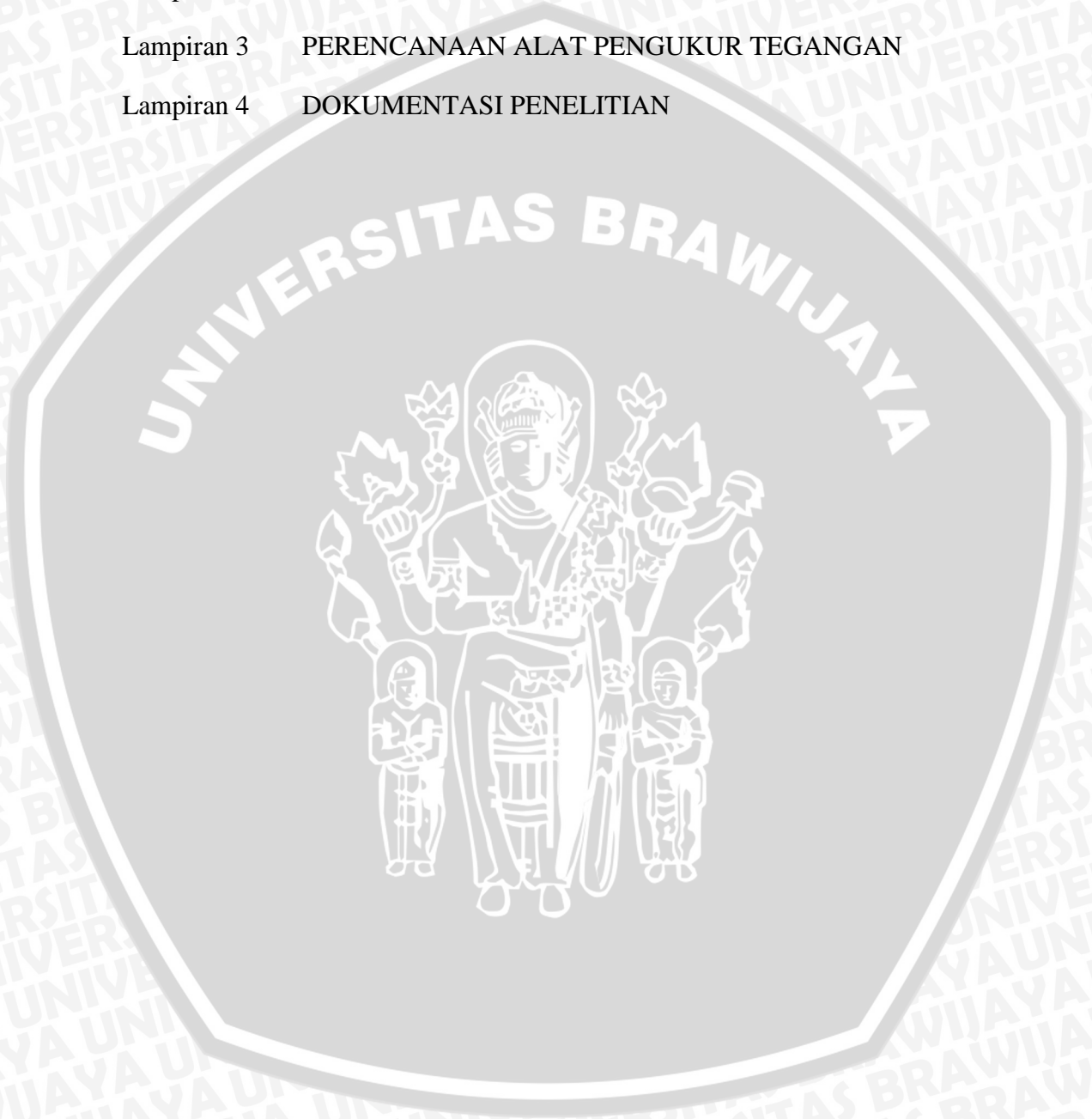
No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Hubungan prosentase lempung dan aktivitas	9
Gambar 2.2	Diagram Fase Tanah	10
Gambar 2.3	Distribusi beban pada perkerasan kaku	15
Gambar 2.4	Struktur sambungan perlemahan	17
Gambar 2.5	Sambungan pengembangan	17
Gambar 2.6	Struktur sambungan konstruksi	19
Gambar 2.7	Bekisting prototype sambungan konstruksi	20
Gambar 2.8	Posisi penulangan <i>wiremesh</i>	21
Gambar 2.9	Perbandingan tegangan regangan model dan prototype beton	23
Gambar 2.10	Modifikasi koperan	26
Gambar 2.11	Empat jenis kondisi <i>barrier</i> pada pelat jalan	27
Gambar 2.12	Distribusi perpindahan vertikal (a) pada lempung (b) pada pasir	28
Gambar 2.13	Profil penurunan segera dan tekanan pada bidang sentuh pada lempung; (a) pondasi lentur, (b) pondasi kaku	29
Gambar 2.14	Peninjauan tegangan efektif untuk suatu tanah jenuh air di dalam tabung tanpa adanya rembesan	30
Gambar 2.15	Pola tekanan yang terjadi di bawah perkerasan kaku: (a) lempung (b) pasir	30
Gambar 2.16	Alat pengukur regangan elektrik (<i>strain gauges</i>)	31
Gambar 3.1	Tampak atas penempatan dial dan model dalam Box	34
Gambar 3.2	Perletakan <i>strain gauge</i> pada perkerasan kaku <i>flat</i>	35
Gambar 3.3	Perletakan <i>strain gauge</i> pada perkerasan kaku dengan gelagar pengaku (<i>barrier</i>)	35
Gambar 3.4	Tampak depan penempatan model dalam box	35
Gambar 3.5	Perletakan alat pengukur tegangan tanah	36
Gambar 3.6	Detail beban roda	37
Gambar 4.1	Alur pola perilaku pembebanan pada variasi kadar air	42

No.	Judul	Halaman
Gambar 4.2	Tegangan akibat beban perkerasan <i>flat</i> terbagi rata berbentuk jalur memanjang	47
Gambar 4.3	Tegangan akibat beban perkerasan <i>barrier</i> terbagi rata berbentuk jalur memanjang	48
Gambar 4.4	Perbandingan swelling dengan waktu pada dial 9 akibat penambahan air 15%	51
Gambar 4.5	Perbandingan swelling dengan waktu pada dial 9 akibat penambahan air 30%	51
Gambar 4.6	Perbandingan penurunan tanah dial 1-2 akibat pola pembebanan (Lintasan I)	52
Gambar 4.7	Perbandingan penurunan tanah dial 1-2 akibat pola pembebanan (Lintasan II)	52
Gambar 4.8	Perbandingan penurunan tanah dial 1-2 akibat pola pembebanan (Lintasan III)	53
Gambar 4.9	Perbandingan penurunan tanah rata-rata dial 1-2 dengan berbagai pola pembebanan	53
Gambar 4.10	Perbandingan penurunan tanah dial 5-6 akibat pola pembebanan (Lintasan I)	54
Gambar 4.11	Perbandingan penurunan tanah dial 5-6 akibat pola pembebanan (Lintasan II)	54
Gambar 4.12	Perbandingan penurunan tanah dial 5-6 akibat pola pembebanan (Lintasan III)	55
Gambar 4.13	Perbandingan penurunan tanah rata-rata dial 5-6 dengan berbagai pola pembebanan	55
Gambar 4.14	Perbandingan penurunan tanah dial 1-2 akibat pola pembebanan (Lintasan I)	56
Gambar 4.15	Perbandingan penurunan tanah dial 1-2 akibat pola pembebanan (Lintasan II)	56
Gambar 4.16	Perbandingan penurunan tanah dial 1-2 akibat pola pembebanan (Lintasan III)	57
Gambar 4.17	Perbandingan penurunan tanah rata-rata dial 1-2 akibat berbagai pola pembebanan.	57
Gambar 4.18	Perbandingan penurunan tanah dial 5-6 akibat pola pembebanan (Lintasan I)	58

No.	Judul	Halaman
Gambar 4.19	Perbandingan penurunan tanah dial 5-6 akibat pola pembebanan (Lintasan II)	58
Gambar 4.20	Perbandingan penurunan tanah dial 5-6 akibat pola pembebanan (Lintasan III)	59
Gambar 4.21	Perbandingan penurunan tanah rata-rata dial 5-6 akibat berbagai pola pembebanan	59
Gambar 4.22	Hubungan besar tegangan aktual (didasarkan pada ketinggian air) terhadap variasi penambahan air pada perkerasan <i>barrier</i>	60
Gambar 4.23	Hubungan besar tegangan aktual (didasarkan pada ketinggian air) terhadap variasi penambahan air pada perkerasan <i>flat</i>	60
Gambar 4.24	Hubungan besar tegangan tanah (didasarkan pada prinsip teori Boussinesq) terhadap variasi penambahan air pada perkerasan <i>flat</i>	61
Gambar 4.25	Hubungan besar tegangan tanah (didasarkan pada prinsip teori Boussinesq) terhadap variasi penambahan air pada perkerasan <i>barrier</i>	62
Gambar 4.26	Perbandingan regangan pelat arah y akibat berbagai pola pembebanan (lintasan I)	62
Gambar 4.27	Perbandingan regangan pelat arah y akibat berbagai pola pembebanan (lintasan II)	63
Gambar 4.28	Perbandingan regangan pelat arah y akibat berbagai pola pembebanan (lintasan III)	63
Gambar 4.29	Perbandingan regangan rata-rata pelat arah y akibat berbagai pola pembebanan.	64
Gambar 4.30	Perbandingan regangan di <i>barrier</i> akibat berbagai pola pembebanan dan lintasan.	64

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	PERENCANAAN BERAT TANAH DALAM BOX
Lampiran 2	PERENCANAAN BEBAN
Lampiran 3	PERENCANAAN ALAT PENGUKUR TEGANGAN
Lampiran 4	DOKUMENTASI PENELITIAN



repository.ub.ac.id

ABSTRAK HASIL PENELITIAN TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL – FT UB
Semester Genap (2011/2012)

Judul	: PENGARUH PENAMBAHAN GELAGAR PENGAKU PADA PERKERASAN KAKU TERHADAP PERILAKU TANAH EKSPANSIF (STUDI KASUS RUAS JALAN KECAMATAN PARON KABUPATEN NGAWI)
Nama / NIM	: Gede Ngurah Darmajaya / 0810613009-61
Pembimbing	: Ir. Harimurti, MT & Ir. Widodo Suyadi, M.Eng
Bidang Keilmuan	: Geoteknik

ABSTRAK

Kata Kunci : Ekspansif, Kadar Air, *Barrier*, *Flat*, Tegangan, Regangan, Lendutan

Kasus kerusakan perkerasan jalan raya yang diakibatkan perilaku tanah ekspansif contohnya di propinsi Jawa Timur Kabupaten Ngawi ruas jalan Paron. Beberapa kali diperbaiki namun tetap saja terjadi kerusakan akibat sifat tanah dasar yang ekspansif. Tanah ekspansif memiliki potensi mengembang dan menyusut yang tinggi. Perubahan volume terjadi ekstrim seiring dengan perubahan kadar air tanah. Dalam penelitian ini penulis melakukan uji laboratorium dengan variasi penambahan kadar air sebesar 15%; 30%; 40% dan rendaman pada *subgrade* penelitian.

Penulis mencari alternatif solusi menggunakan perkerasan kaku. Mengidentifikasi perilaku pada tanah ekspansif di Paron, Ngawi antara perkerasan *flat* dengan *barrier* pada perkerasan kaku. Benda uji dimodelkan dengan mortar (1:3) dan skala 1:20. Hasil dari perilaku tanah ekspansif terhadap penambahan gelagar pengaku yang terjadi dipakai sebagai pertimbangan menentukan desain perkerasan jalan yang tepat diterapkan pada ruas jalan Paron. Aplikasi perkerasan kaku harus mampu menahan tekanan pengembangan yang bekerja di bawah pelat. Tinjauan dilakukan dari hasil *swelling*, tegangan dan lendutan *subgrade* di bawah perkerasan kaku *barrier* dibandingkan dengan perkerasan *flat*. Regangan struktur juga diamati. Pengujian awal diketahui bahwa tanah Paron memiliki kadar air 14,27%, yang selanjutnya ditetapkan sebagai kadar air awal. Beban skala sebesar 6,125 kg dengan tiga kali lintasan.

Dari pengamatan diketahui lendutan akibat perilaku tanah ekspansif di bawah perkerasan kaku *barrier* lebih kecil dibandingkan perkerasan *flat*, berlaku untuk kedua variasi penambahan kadar air, 15% dan 30%. Diketahui juga bahwa penurunan *linier* dengan penambahan kadar air. Pada kondisi penambahan 30% air, penurunan *subgrade* lebih besar dibanding pada kondisi penambahan 15%. Penurunan *subgrade* di bawah perkerasan kaku bergelagar pengaku akibat berbagai pola pembebanan cenderung datar. Penurunan *subgrade* di bawah perkerasan kaku flat tidak stabil, naik turun pada saat posisi beban berpindah-pindah, sifat *swelling* pada *subgrade* tanah ekspansif lebih dapat diatasi dengan perkerasan kaku *barrier* dibanding perkerasan kaku *flat*. Tegangan meningkat pada penambahan kadar air 15%, setelah itu mengecil setelah penambahan air selanjutnya. Regangan pelat arah y perkerasan *barrier* lebih besar dibandingkan regangan pada perkerasan *flat*. Dari pengamatan di dapatkan hasil bahwa dengan bertambahnya jumlah lintasan menimbulkan regangan yang semakin besar juga. Disimpulkan penambahan gelagar pengaku pelat perkerasan jalan berpengaruh positif dan bisa menjadi alternatif solusi mengatasi perilaku *subgrade* tanah ekspansif.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Jalan merupakan suatu bagian dari sistem transportasi darat yang berperan penting sebagai penghubung dalam mendukung kehidupan masyarakat di segala bidang, baik ditinjau dari sisi ekonomi, sosial budaya, lingkungan dan sendi kehidupan lainnya di masyarakat. Secara nasional jalan dikembangkan agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah, membangun persatuan nasional, memantapkan pertahanan juga keamanan serta dalam mewujudkan pembangunan nasional. Secara lebih spesifik dipaparkan bahwa jalan adalah “sebidang tanah yang diratakan dengan kelandaian tertentu, kemiringan tertentu dan diperkeras permukaannya, untuk dapat melayani kendaraan yang lewat di atasnya dengan kuat dan aman” (Asiyanto, 2010:81).

Tanah ekspansif merupakan tanah yang bisa mengembang dan menyusut secara ekstrim. Tanah lempung ekspansif merupakan jenis tanah berbutir halus yang terbentuk dari mineral ekspansif. Mineral ekspansif diantaranya adalah montmorillonite, illite dan kaolinite. Tanah ekspansif sangat sensitif terhadap pengaruh musim. Sifat tanah dan kondisi lingkungan juga merupakan faktor utama yang dapat mempengaruhi perilaku susut dan kembang tanah ekspansif. Proyek pembangunan jalan di Indonesia beberapa dilakukan di atas tanah ekspansif dengan plastisitas dan kembang susut tinggi. Jalan yang dibangun pada kondisi tanah demikian lapisan perkerasannya mudah berubah karena air. Air menyebabkan perubahan volume. Pemuaiian terjadi ketika kadar air bertambah dan penyusutan terjadi ketika kadar air berkurang. Pengembangan dan penyusutan yang terjadi secara ekstrim dan berulang mengakibatkan kerusakan pada struktur. Badan jalan bisa bergelombang dan retak-retak bahkan rusak berat yang tidak hanya mengganggu kenyamanan tetapi juga dapat membahayakan pengguna jalan.

Banyak kasus kerusakan perkerasan jalan raya yang diakibatkan oleh perilaku tanah ekspansif contohnya di propinsi Jawa Timur Kabupaten Ngawi ruas jalan Paron, Padas, Caruban dan Jambangan. Kabupaten Ngawi adalah daerah perbatasan antara provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur. Untuk menunjang aksesibilitas antar kedua provinsi tersebut prasarana jalan raya yang baik sangat diperlukan. Secara geografis karena terletak di antara dua propinsi besar, wilayah ini sebenarnya sudah memiliki modal dasar untuk berkembang sehingga perlu didukung prasarana jalan raya yang baik. Kondisi di lapangan saat ini jalan raya di Kabupaten Ngawi khususnya pada Kecamatan

Paron ternyata masih jauh dari harapan. Meskipun telah diperbaiki beberapa kali namun tetap saja terjadi kerusakan akibat sifat tanah dasar yang ekspansif .

Stabilisasi tanah (kapur, *fly ash*, geosta, dsb), penggantian tanah dasar, pemasangan membran, maupun *rigid pavement* merupakan beberapa solusi untuk menangani permasalahan akibat tanah ekspansif terhadap struktur jalan. Berkaca dari seringnya kerusakan yang terjadi pada perkerasan lentur maka perkerasan kaku dapat dijadikan solusi mengatasi dampak tanah ekspansif pada jalan raya ini. Dari proyek-proyek yang telah ada penggunaan perkerasan kaku jarang terdengar mengalami kegagalan, sangat berbeda dengan jalan yang menggunakan perkerasan lentur. “Bahkan banyak penggunaan struktur perkerasan kaku diputuskan untuk mengatasi kegagalan struktur jalan *flexible pavement*, di beberapa tempat. Terutama di tempat-tempat yang kondisi tanah dasarnya jelek, dan atau kondisi drainasenya jelek” (Asiyanto, 2010:173). Meskipun menghasilkan suara bising dan cepat menghabiskan ban kendaraan, perkerasan kaku banyak diminati investor karena biaya pemeliharannya rendah, material sepenuhnya juga menggunakan material lokal sehingga membantu perekonomian nasional.

Aplikasi perkerasan kaku pada tanah dasar ekspansif harus mampu menahan tekanan pengembangan yang bekerja di bawah pelat. Sejalan dengan pendapat Surat (2011:83), pengembangan tanah ekspansif dapat dicegah melalui pemberian beban yang cukup besar untuk menahan tekanan mengembang. Pergerakan tanah bergantung pada kandungan airnya. Contoh kasus di Paron bahwa energi yang dihasilkan oleh perilaku ekspansif ini 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 dasar tersebutlah maka penyusun mengangkat topik dalam penelitian Tugas Akhir ini dengan Judul: “Pengaruh Penambahan Gelagar Pengaku Pada Perkerasan Kaku Terhadap Perilaku Tanah Ekspansif” (Studi Kasus Ruas Jalan Kecamatan Paron Kabupaten Ngawi). Hasil dari perilaku tanah ekspansif terhadap penambahan gelagar pengaku model perkerasan kaku yang terjadi akan dipakai sebagai dasar pertimbangan

untuk menentukan pilihan desain perkerasan jalan yang paling tepat diterapkan pada ruas jalan Paron-Ngawi.

1.2. Identifikasi masalah

Mengidentifikasi perbandingan perilaku pada tanah ekspansif di Paron, Ngawi anantara perkerasan *flat* dengan perkerasan bergelagar pengaku (*barrier*) pada perkerasan kaku sangat penting. Identifikasi masalah tersebut antara lain sebagai berikut:

1. Subgrade tanah ekspansif yang terletak di bawah perkerasan kaku bergelagar pengaku (*barrier*) memiliki lendutan lebih kecil dibandingkan dengan perkerasan *flat* konvensional.
2. Sifat *swelling* pada *subgrade* tanah ekspansif lebih dapat diatasi dengan perkerasan kaku bergelagar pengaku dibanding dengan perkerasan kaku *flat*.
3. Tegangan pada subgrade tanah ekspansif di bawah perkerasan kaku *berbarrier* lebih besar dibanding perkerasan kaku *flat*.
4. Regangan pada perkerasan kaku pelat dengan *barrier* lebih kecil dibandingkan dengan pelat *flat* pada *subgrade* tanah ekspansif.

1.3. Rumusan masalah

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan di atas, maka dapat dirumuskan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbandingan perilaku lendutan *subgrade* tanah ekspansif ruas jalan Paron-Ngawi pada perkerasan kaku bergelagar pengaku dengan perkerasan kaku *flat* (konvensional)?
2. Bagaimana perbandingan perilaku tegangan *subgrade* tanah ekspansif ruas jalan Paron-Ngawi pada perkerasan kaku bergelagar pengaku dengan perkerasan kaku *flat* (konvensional)?
3. Bagaimana perbandingan perilaku regangan perkerasan kaku bergelagar pengaku dengan perkerasan kaku *flat* (konvensional) pada *subgrade* tanah ekspansif ruas jalan Paron-Ngawi ?

1.4. Batasan masalah

Untuk memperjelas ruang lingkup penelitian, maka pembatasan masalah diberikan sebagai berikut:

1. Benda uji berupa pemodelan dengan ketentuan sebagai berikut :
 - a. Terbuat dari campuran mortar dengan skala geometri 1:20.
 - b. Dimensi pada perkerasan kaku langsung ditentukan dan direncanakan (pelat maupun gelagar pengaku).

- c. Mengacu berdasarkan model *Adequate*.
- d. Dibuat sebatas analisis plastis.
2. Kondisi tanah dasar (*subgrade*) pada perkerasan kaku ditentukan dengan keadaan awal kadar air 15% kemudian dilakukan penambahan kadar air 15% sampai kadar air dalam tanah mencapai 60%.
3. Pembebanan pada model struktur perkerasan kaku menggunakan analisis beban statik dengan beban standar perencanaan jalan yang sudah diskala dan perilaku pembebanan yang telah ditentukan pada tabel 3.3.
4. Tanah dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung bersifat ekspansif buatan (*remolded*).
5. Analisis lendutan, tegangan dan regangan dibatasi hanya pada titik/dial, lintasan dan beban tertentu sekiranya logis dan akan dijelaskan di masing-masing sub pembahasan.
6. Pada pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang.

1.5. Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui perbandingan perilaku lendutan *subgrade* tanah ekspansif ruas jalan Paron-Ngawi pada perkerasan kaku bergelagar pengaku dengan perkerasan kaku *flat* (konvensional).
2. Mengetahui perbandingan perilaku tegangan *subgrade* tanah ekspansif ruas jalan Paron-Ngawi pada perkerasan kaku bergelagar pengaku dengan perkerasan kaku *flat* (konvensional).
3. Mengetahui perbandingan perilaku regangan perkerasan kaku bergelagar pengaku dengan perkerasan kaku *flat* (konvensional) pada *subgrade* tanah ekspansif ruas jalan Paron-Ngawi.
4. Memilih perkerasan kaku yang efektif diterapkan pada *subgrade* tanah ekspansif ruas jalan Paron-Ngawi.

1.6. Manfaat penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

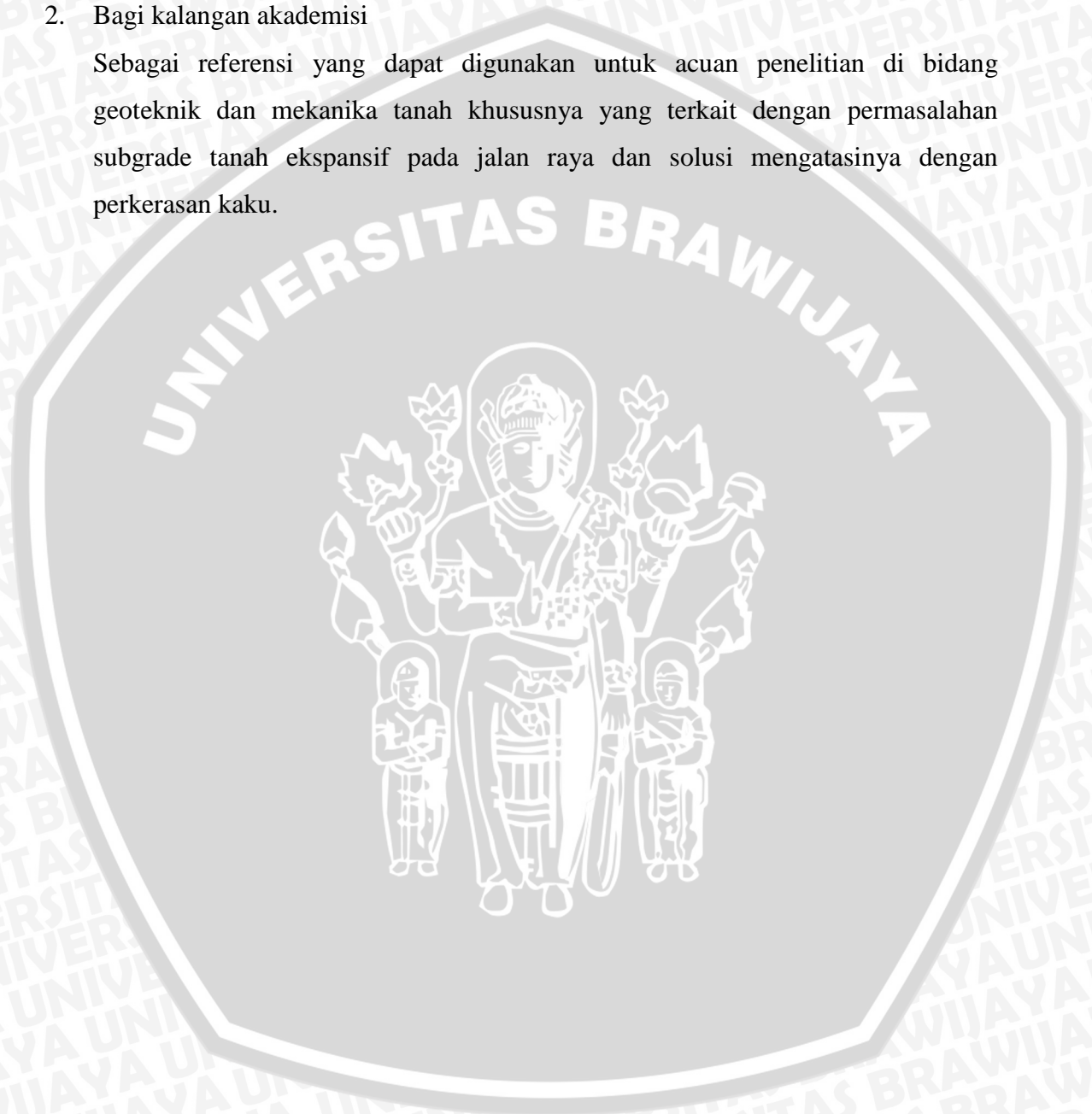
1. Bagi praktisi lapangan
 - a. Memberikan solusi kepada pemerintah Kabupaten Ngawi khususnya Kecamatan Paron, untuk mengatasi permasalahan kerusakan jalan yang

berulang akibat tanah ekspansif di daerah tersebut dengan alternatif perkerasan kaku.

- b. Diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan instansi terkait dalam menentukan langkah, guna mengatasi permasalahan kerusakan jalan raya di Ngawi secara tepat dan efisien.

2. Bagi kalangan akademisi

Sebagai referensi yang dapat digunakan untuk acuan penelitian di bidang geoteknik dan mekanika tanah khususnya yang terkait dengan permasalahan subgrade tanah ekspansif pada jalan raya dan solusi mengatasinya dengan perkerasan kaku.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Ekspansif

2.1.1 Pengertian tanah ekspansif

Tanah ekspansif merupakan tanah yang bisa mengembang dan menyusut secara ekstrim. Tanah ekspansif merupakan jenis tanah berbutir halus terbentuk dari mineral ekspansif. Mineral ekspansif diantaranya adalah montmorillonite, illite dan kaolinite. Tanah ekspansif sensitif terhadap pengaruh musim. Sifat tanah dan kondisi lingkungan juga merupakan faktor yang dapat mempengaruhi perilaku susut dan kembang tanah ekspansif. Umumnya tanah ekspansif merupakan tanah berbutir halus sebagai koloid-koloid yang terdiri dari butiran tanah lempung dengan jumlah kandungan lempungnya bervariasi antara 50 % sampai 70 %, dan mempunyai tekanan kembang yang tinggi bila berinteraksi dengan air. Diketahui bahwa perilaku ekspansif mengakibatkan tanah menjadi pecah-pecah serta terjadi pergerakan ke arah vertikal sehingga akan membahayakan suatu konstruksi, bisa bergelombang dan retak-retak bahkan rusak berat yang tidak hanya mengganggu kenyamanan tetapi juga dapat membahayakan pengguna jalan.

2.1.2 Parameter tanah ekspansif

Identifikasi dan klasifikasi tanah ekspansif secara empiris dilakukan dengan menggunakan parameter hasil dari uji indeks. Uji indeks yang diperlukan adalah kadar air (SNI 03-1965-1990), batas cair (SNI 03-1967-1990), batas plastis (SNI 03-1966-1990), batas susut (SNI 03-3422-1994) dan analisis hidrometer (SNI 03-3423-1994). Umumnya tanah dengan indeks plastisitas (PI) kurang dari 15 persen tidak akan memperlihatkan perilaku pengembangan. Untuk tanah dengan PI lebih besar dari 15 persen, kandungan kadar lempung harus dievaluasi di samping nilai-nilai batas Atterberg.

Klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda tetapi mempunyai sifat serupa kedalam kelompok dan subkelompok pemakaiannya. Sebagian besar sistem klasifikasi 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 (Braja,1985:64). Adapun beberapa metode yang biasanya digunakan untuk pengidentifikasian tanah ekspansif, diantaranya:

a. Uji klasifikasi teknik

Hasil pengujian *indeks properties* dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif. Dari harga indeks plastisitas dan sifat perubahan volume tanah yang berhubungan dengan jumlah partikel yang lebih kecil dari 0,0001 mm, yaitu yang sifatnya tergantung dari gaya permukaan dan bukan gaya gravitasi, Skempton (1953) mengemukakan bahwa dari parameter aktifitas (Ac) sebagai berikut:

$$\text{Aktifitas (A)} = \frac{\text{Indeks Plastisitas}}{C-10}$$

Dimana:

C = persentase fraksi lempung < 0,002

A > 1,25 = tanah aktif dan bersifat ekspansif

1,25 < A < 0,75 = tanah normal

A < 0,75 = tanah tidak aktif

Tabel 2.1 Hubungan Aktifitas dan Kandungan Mineral

Mineral	Aktifitas
Kaolinite	0,33 – 0,46
Illite	0,99
Montmorillonite (Ca)	1,5
Montmorillonite (Na)	7,2

Sumber : Skempton (1953) dalam Ratna (2012:18)

Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Kadar Colloid

Colloid (<0,00 mm)	Data Indeks Properties		% Total Volume Change	Degree Of Ekspansion
	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 Ratna (2012:19)

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Persen Lolos Saringan 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 Chen (1988) dalam Ratna (2012:19)

b. Uji terhadap batas – batas Atterberg

1. 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 2.4 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 Altmeyer (1955) dalam Ratna (2012:20)

2. Kriteria Raman

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

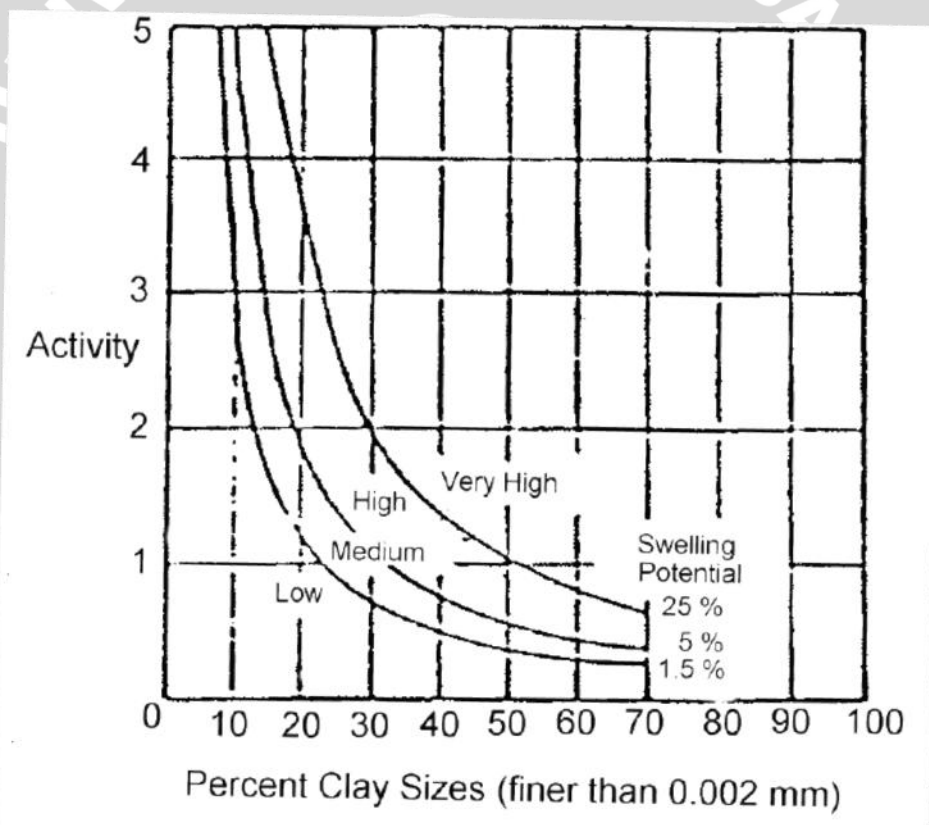
Tabel 2.5 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SL

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 Ratna (2012:20)

3. Kriteria Seed

Pada kriteria Seed ilai *swelling potensial* pada tanah ekspansif ditentukan dengan grafik antara jumlah tanah lempung dalam persen dengan parameter aktivitas (A).



Gambar 2.1 Hubungan prosentase lempung dan aktivitas

4. Kriteria Chen

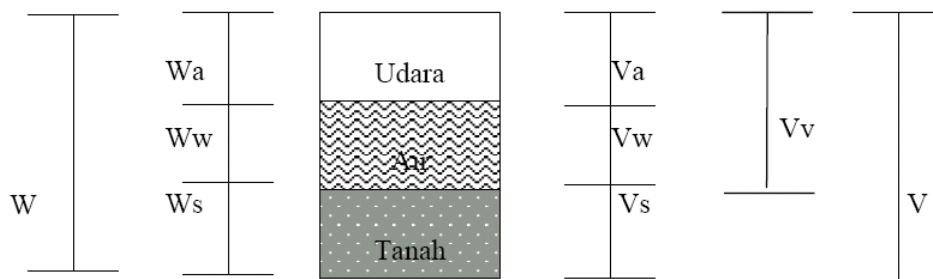
Pada kriteria Chen nilai *swelling potensial* pada tanah ekspansif hanya didasarkan pada parameter PI (Plasticity Index) saja.

Tabel 2.6 Kriteria pengembangan berdasarkan IP

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

Sumber : Chen (1988) dalam Ratna (2012:18)

2.1.3 Penelitian Sifat Fisik Tanah



Gambar 2.2 Diagram Fase Tanah (HC Hadyatmo, 1994)

Pada segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, hanya akan terdapat dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh terdapat dua bagian yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. bagian-bagian tersebut dapat kita gambarkan dalam diagram fase, seperti gambar 2.2 dari gambar tersebut dapat kita bentuk persamaan berikut:

$$W = W_s + W_w$$

$$V = V_s + V_w + V_a$$

$$V_v = V_w - V_a$$

Dengan:

W_s = berat butiran padat

W_w = berat cair

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

Berat udara (W_a) dianggap sama dengan nol.



Istilah istilah umum yang dipakai untuk hubungan berat adalah kadar air (*moisture content*) dan berat volume (*unit weight*). Definisi dari istilah-istilah tersebut antara lain:

- a. Kadar air (w), didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki, dinyatakan dalam persen.

$$w (\%) = 100 \times W_s \times W_w$$

dengan: w = kadar air ; W_w = berat air ; W_s = berat butiran

- b. Berat Volume Tanah (γ) adalah berat tanah per satuan volume, dengan rumus dasar:

$$\gamma = W_s / V$$

dengan : γ = berat volume ; V = volume tanah

- c. Berat jenis (*Specific Gravity, G_s*) adalah perbandingan antara volume butiran tanah dengan volume air.

$$G_s = (W_s \times G_w) / (W_s - W_b)$$

Dengan : G_w = berat jenis air ; W_b = berat tanah basah

Berat jenis tidak mempunyai satuan.

2.1.4 Uji Free Swell

Uji pengembangan bebas didefinisikan sebagai peningkatan volume tanah dari bentuk bubuk kering longgar ketika dituangkan ke dalam air, dan dinyatakan dalam persentase dari volume aslinya.

Tanah dengan nilai pengembangan kurang dari 50% tidak mungkin untuk menunjukkan sifat ekspansif. nilai 100% atau lebih yang berhubungan dengan tanah liat yang bisa mengembang jauh ketika dibasahi, terutama di bawah beban ringan. tanah dengan potensi pengembangan yang tinggi seperti bentonit mungkin memiliki nilai pengembangan bebas hingga 200%.

2.2 Identifikasi Kerusakan Jalan Akibat Tanah Ekspansif

Menurut Pedoman Kontruksi Bangunan Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan-PU (2005) bahwa tanah ekspansif dapat mengakibatkan kerusakan jalan yang dibangun di atasnya seperti retakan, penurunan, pengangkatan tanah dan longsor. 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. 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.

c. 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.

d. Longsor

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 longsor pun tidak dapat dihindari.

2.3 Teknik Kontruksi di Atas Tanah Ekspansif

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 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 antara lain yakni.

Tabel 2.7 Hal-Hal yang Perlu Dipertimbangkan dalam Pemilihan Metode Konstruksi.

No	Metode Kontruksi	Hal-hal yang perlu dipertimbangkan	
1.	Penggantian Material	a.	Material pengganti yang digunakan harus bersifat non ekspansif serta tidak lolos air.
		b.	Tanah tersebut harus dipadatkan melebihi kepadatan tanah ekspansif untuk mendapatkan daya dukung yang tinggi.
		c.	Jika menggunakan material granular, maka perlu dilakukan kontrol pengaliran air dari timbunan agar tidak berkumpul pada material ini.
		d.	Penggalian harus mencapai kedalaman yang dianggap stabil serta dilindungi dengan menggunakan membran.
2.	Stabilisasi dengan kapur	a.	Persentase kapur yang diberikan sebesar 2 – 10 % umumnya dapat digunakan.
		b.	Harus dilakukan pengujian awal terhadap tanah yang akan distabilisasi untuk menentukan reaksi kapur dan persentase kapur yang dibutuhkan.
		c.	Kedalaman pencampuran terbatas antara 30 – 45 cm, tergantung pada peralatan pencampurnya.
		d.	Kapur dapat digunakan dalam bentuk kering maupun encer (<i>slurry</i>), tetapi penambahan air harus tetap dilakukan.
		e.	Pengawasan kualitas sangat penting dilakukan selama penggemburan, pencampuran dan pemadatan.
		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.

3.	Stabilisasi dengan semen	a.	Tipe semen yang digunakan adalah semen Portland dengan persentase 4 – 6%, dengan tujuan mengurangi potensi perubahan volume.
		b.	Pelaksanaan stabilisasi dengan semen sama dengan yang dilakukan pada stabilisasi dengan kapur.
		c.	Penggunaan stabilisasi dengan semen tidak seefektif stabilisasi dengan kapur untuk tanah lempung berplastisitas tinggi
4.	Pelat Beton	a.	Trotoar yang terbuat dari pelat beton sebaiknya diberikan tulangan.
		b.	Sambungan lentur harus dapat menghubungkan trotoar dengan fondasinya.
		c.	Harus sering dilakukan pemeriksaan terhadap retak dan kebocoran.
5.	Aspal	a.	Membran menerus harus ditempatkan di sepanjang tanah dasar dan saluran samping apabila aspal digunakan pada konstruksi jalan raya.
6.	Membran Horisontal	a.	Membran horisontal harus diperpanjang hingga cukup jauh dari perkerasan jalan atau fondasi untuk mencegah pergerakan air secara horisontal ke dalam tanah pondasi.
		b.	Dibutuhkan kehati-hatian pada saat memasang membran di atas fondasi, merekatkan sambungan, serta memiringkan membran hingga berada di bawah dan jauh dari struktur.
		c.	Bahan membran harus tahan lama dan terbuat dari bahan yang tidak mudah terdegradasi.
		d.	Sambungan yang menghubungkan membran dengan struktur harus kuat dan tidak tembus air.
		e.	Dibutuhkan kemiringan yang cukup untuk mengalirkan drainase permukaan langsung dari ujung-ujung membran.
7.	Membran Vertikal	a.	Membran harus dipasang sedalam mungkin sesuai dengan peralatan yang digunakan.
		b.	Kedalaman pemasangan minimum yang digunakan adalah setengah dari kedalaman zona aktif.
		c.	Tanah timbunan yang digunakan untuk mengisi parit harus kedap air.
8.	Membran	a.	Setiap sambungan harus tertutup rapat.

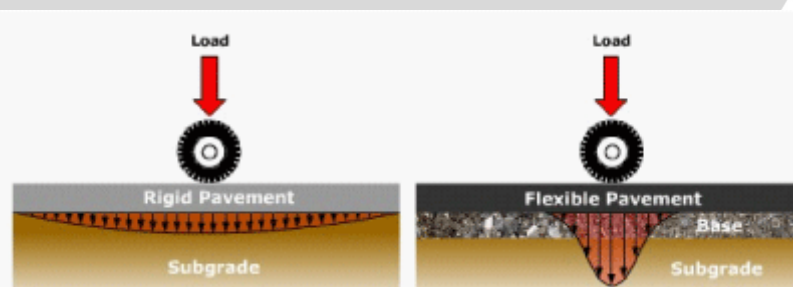
	Pembungkus Lapisan Tanah	b.	Material yang digunakan harus tahan lama dan kuat terhadap urugan pasir.
		c.	Penempatan lapisan pertama di atas membran bawah harus diawasi untuk mencegah kerusakan.
9.	Pembebanan	a.	Apabila tekanan mengembang relatif rendah serta deformasinya masih dapat ditolerir, maka penggunaan metode pembebanan ini cukup efektif.
		b.	Diperlukan pengujian tanah untuk menentukan kedalaman zona aktif dan besarnya tekanan mengembang maksimum yang akan dibebani.
		c.	Pengawasan drainase sangat diperlukan selama pembebanan berlangsung untuk mencegah pengaliran air baik pada arah vertikal maupun horisontal.

Sumber: Surat (2011:84)

2.4 Perkerasan Kaku

2.4.1 Teori perkerasan kaku

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 pelat beton yang tinggi dapat memikul sebagian besar beban lalu lintas sehingga pengaruh pada daya dukung tanah dasar kecil. 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

Sumber: DPU (2005)

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:

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

2.4.2 Struktur perkerasan kaku

Menurut Asiyanto (2010:177) sebagian besar bahan (rumus, tabel, grafik) dari metode perencanaan tebal perkerasan beton, diambil dari metode *National Association of Australia State Road Authorities* (NAASRA), metode ini merupakan pengembangan dari metode *Portland Cement Association* (PCA) dari Amerika Serikat. Dipilihnya metode ini dengan asumsi bahwa kondisi di Australia tidak jauh berbeda dengan kondisi lapangan di Indonesia.

Menurut (AUSTROADS, 2004:22). Dalam perencanaan metode ini, dibutuhkan 5 faktor input desain, yaitu:

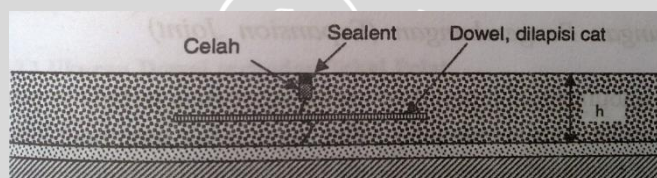
- a. Modulus reaksi tanah dasar
- b. Kuat tekan beton
- c. Jenis konfigurasi beban sumbu
- d. mekanisme transfer beban pada sendi atau retak, yaitu dowelled sendi.
- e. Dimasukkannya atau kelalaian dari bahu beton.

Pada struktur perkerasan kaku ada 3 macam sambungan yang umum dilaksanakan di lapangan, yaitu : sambungan perlemahan (*dummy contraction*

joint), sambungan pengembangan (*expansion joint*) dan sambungan konstruksi (*construction joint*).

a. Sambungan Perlemahan (*Dummy Construction Joint*)

Dengan membuat celah-celah pada permukaan beton sebenarnya bukanlah sambungan dalam arti sebenarnya tetapi tampilan seakan-akan adalah sambungan. Tujuan membuat perlemahan agar keretakan akibat proses penyusutan (*shrinkage*) yang tidak dapat dihindari pada bahan beton dilokalisasi ke tempat perlemahan tersebut. Di bawah celah dapat dipasang tulangan (*dowel*) yang dilapisi dengan cat agar tidak terikat sempurna. Sambungan ini dapat melintang maupun memanjang arah perkerasan. Menurut (Asiyanto, 2010:179). Jarak adanya sambungan selanjutnya biasanya sebesar 24 sampai 25 kali tebal pelat.



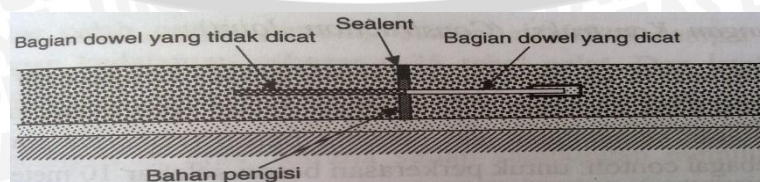
Gambar 2.4 Struktur sambungan perlemahan

Sumber : Asiyanto (2011: 179)

Ukuran celah umumnya dengan kedalaman seperempat tebal pelat dan lebar bukaan sebesar 6 sampai 10 mm. Celah yang sudah dibuat akan ditutup dengan sealent, agar jika ada air di permukaan tidak merembes ke tanah dasar.

b. Sambungan Pengembangan (*Expasion Joint*)

Sambungan ini bertujuan mengatasi pemuaian beton ke arah memanjang pelat, agar tidak terjadi kerusakan struktur khususnya untuk daerah yang memiliki perbedaan temperatur tinggi antara siang dan malam. Sambungan ini menyediakan ruang gerak perpanjangan.



Gambar 2.5 Sambungan pengembangan

Sumber : Asiyanto (2011: 181)

Lebar dilatasi pemuaian sebesar 19 mm yang ditutup dengan bahan pengisi dan di atasnya sedalam seperempat tebal pelat ditutup dengan bahan penutup (*sealant*). Pada sambungan ini dilengkapi dengan tulangan (*dowel*) yang berfungsi sebagai alat *transfer load devices* dan *sliding devices*. Sebagai *transfer load devices*, tulangan berfungsi memikul roda lalu lintas yang melalui celah pada sambungan beton. Sebagai *sliding devices*, *dowel* berfungsi untuk menyediakan sarana gerakan kembang susut beton ke arah memanjang perkerasan. Ukuran dan jarak *dowel* berupa baja tulangan polos (*plain bar*) secara umum dapat diambil sesuai dengan tabel (Yoder and Witczak, 1975 dalam Asiyanto, 2010:181).

Tabel 2.8 Ukuran Dowel terhadap Tebal Pelat

Tebal pelat (mm)	Diameter Dowel (mm)	Panjang Dowel (mm)	Jarak Dowel (mm)
200	25	450	300
225	32	450	300
250	32	450	300
275	32	450	300
300	38	450	300
325	38	450	300
350	38	450	300

Sumber : Asiyanto (2011: 181)

c. Sambungan konstruksi (*Construction Joint*)

Sambungan ini ada karena proses pengecoran yang terkadang tidak selesai dilakukan dalam satu tahap karena keterbatasan kemampuan alat maupun pertimbangan lain. Contoh untuk perkerasan beton selebar 10 meter, dicor dalam 2 tahap selebar 5 meter karena kemampuan alat *concrete paver* hanya 5 meter, untuk keadaan ini diperlukan sambungan konstruksi.

Sambungan ini ke arah memanjang jalan. Untuk sambungan melintang jalan juga dibutuhkan pada pemberhentian pengecoran ke arah melintang jalan. Pada sambungan ini membutuhkan tulangan (*tie bar*), berfungsi sebagai *rotation devices* dan *unsliding devices*. *Rotation devices* terkondisikan apabila *tie bar* bekerja memegang dua pelat beton, kanan dan kiri arah melintang, yang cenderung akan melengkung ke atas saat siang hari akibat panas dan melengkung ke bawah saat malam atau istilahnya *wrapping*. *Tie bar* tidak berfungsi sebagai sarana gerakan kembang susut karena gerakan ini terjadi ke arah memanjang untuk itu disebut *unsliding devices*.



Gambar 2.6 Struktur sambungan konstruksi

Sumber : Asiyanto (2011: 182)

Penutup sealent mempunyai lebar 6 sampai 10 mm, kedalaman seperempat tebal pelat. Letak dowel atau tie bar ada di tengah-tengah ketebalan pelat.

2.4.3 Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan perkerasan kaku umumnya dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut :

a. Persiapan tanah dasar/subgrade

Tanah dasar selebar struktur perkerasan dibersihkan dari material yang tidak diperlukan. Tanah yang telah bersih dipadatkan untuk memperoleh keseragaman density. Menurut Asiyanto-2010 persyaratan CBR antara 2% sampai dengan 20%. Dilakukan timbunan bila tanah dasar lebih rendah dari elevasi rencana.

Kontrol selalu as dan elevasi rencana dengan pedoman patok ukur yang telah ditetapkan. Subgrade yang sudah disiapkan harus terlindung dari gangguan seperti air hujan sebelum ditutup dengan lapisan berikutnya. Untuk itu pembuatan saluran tepi (drainase) dilakukan terlebih dahulu.

Toleransi elevasi dari subgrade sesuai spesifikasi teknik. Saat subgrae selesai sebelum ketahap selanjutnya dilaksanakan tes kepadatan setiap jarak kurang lebih 50 meter atau sesuai kebutuhan.

b. Lapisan subbase

Fungsi utama dari subbase bukan sebagai struktural tetapi sebagai lantai kerja dan pencegah pumping. Material yang digunakan umumnya adalah lean concrete dengan kuat tekan tidak kurang dari 50 kg/cm^2 pada umur 28 hari. Sirtu yang dipadatkan juga bisa digunakan sebagai lantai kerja. Permukaan sirtu harus ditutup plastik agar air semen dari beton pelat tidak terserap sirtu pada saat pengecoran.

Dari patok as perkerasan dipasang cetakan samping, bila menggunakan lean concrete, 30 cm dari rencana tepi perkerasan kaku (subbase lebih lebar 60 cm dari lebar perkerasan).

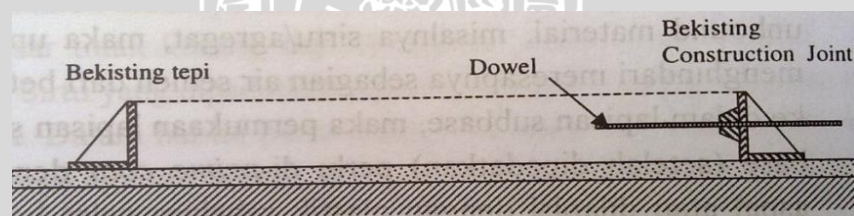
Tinggi cetakan sesuai dengan ketebalan *lean concrete* seperti yang diisyaratkan dalam spesifikasi teknik. Pengecoran dapat menggunakan *concrete mixer*. Dengan *slump* yang agak tinggi antara 5 cm sampai 7 cm. Untuk finishing permukaan dapat dilakukan dengan batang perata (jidar).

Selama masa curing minimum 7 hari, *lean concrete* tidak boleh dilewati kendaraan atau juga peralatan lain. Curing bisa dilakukan dengan menggenangi air atau menutup kain basah.

Jika subbase menggunakan sirtu atau agregat maka untuk menghindari meresapnya air semen dari beton dilakukan prime coat dengan aspal atau dilapisi plastik sebelum pelat beton dihampar.

c. Bekisting samping (*side form*) dan bekisting akhir (*stopper*)

Bekisting samping untuk tepi dipasang sesuai dengan pedoman dan tidak boleh adanya perubahan posisi selama proses pengecoran. Bila alat memadai maka belisting samping bisa langsung dipasang pada tepi pelat beton. Bila pengecoran tidak mencapai lebar total jalan maka bekisting lainnya dibuat membentuk construction joint.



Gambar 2.7 Bekisting tepi dan sambungan konstruksi

Sumber : Asiyanto (2011: 192)

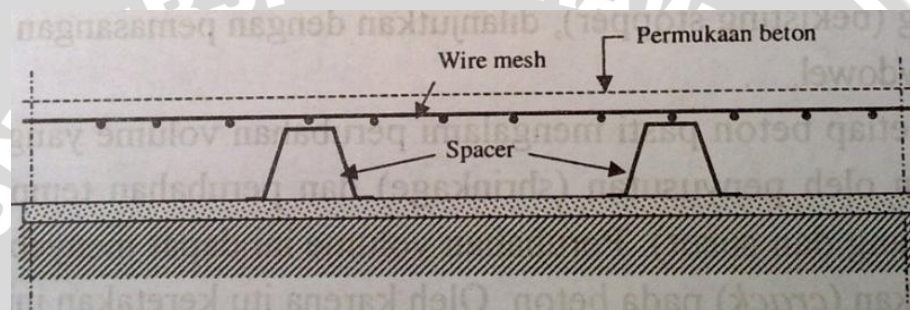
Bekisting akhir (*stopper*) dibuat sedemikian rupa agar kuat menahan beban karena hal ini dapat menimbulkan penurunan elevasi permukaan beton menyebabkan permukaan bergelombang.

d. Sambungan dan penulangan

Untuk mengantisipasi penyusutan (*shrinkage*) dan perubahan temperature pada beton yang dapat menimbulkan keretakan maka dipasang tulangan dan struktur sambungan.

Penulangan yang dimaksud di sini bukan berfungsi struktural seperti pada tulangan balok atau kolom gedung tetapi sebatas untuk mencegah keretakan di permukaan. Ada juga jenis perkerasan kaku yang memang menggunakan tulangan sebagai komponen strukturalnya (beton bertulang) dan ada perkerasan kaku yang memasang tulangan prestress.

Setelah bekisting dipasang, wiremesh diposisikan seperempat ketebalan pelat dari permukaan beton. Untuk menjaga posisi wiremesh dapat ditumpu dengan spacer sebagai kaki. Cara lain dengan mengecor beton tiga perempat bagian kemudian tulangan *wiremesh* diposisikan setelah itu dicor lagi sisa seperempat bagiannya.



Gambar 2.7 Posisi penulangan wiremesh

Sumber : Asiyanto (2011: 194)

Sambungan perlemahan umumnya dibuat pada pelat beton tanpa tulangan (*wiremesh*). Awalnya menurut asiyanto (2010:194) beton pada umur 8 sampai 18 jam digergaji dengan kedalaman minimum seperempat ketebalan pelat beton, dapat juga dengan memasang sekat sebelum pengecoran dilakukan dengan lebar 6 mm sampai 10 mm. Bagian yang membentuk celah diisi dengan joint sealent. Di bawah sambungan perlemahan ini dipasang dowel dengan besi polos.

Sambungan pengembangan (*expansion joint*) dipasang melintang dengan jarak sesuai persyaratan desain dengan tulangan dowel dari besi beton polos. Untuk mengatasi kembang susut sebagian dowel terikat sempurna dan sebagian lagi tidak terikat sempurna dengan cara dilapisi cat.

Sambungan konstruksi merupakan sambungan tepi perkerasan dengan *shoulder* berbesi ulir. Seluruh tulangan terikat sempurna.

e. Lapisan base

Base merupakan bagian lapis permukaan perkerasan kaku. Mutu dari beton lapisan base ini sangat penting. Jika dibandingkan dengan jalan aspal, jalan beton memiliki permukaan yang lebih kasar dan keras.

Langkah awal adalah memeriksa letak tulangan dan instalasi yang tertanam bila ada seperti pipa, kabel, dan instalasi lainnya. Permukaan subbase dibasahi secukupnya agar tidak menyerap air beton saat pengecoran base. Slump juga harus tetap dijaga sesuai prosedur. Beton dihamparkan dapat menggunakan vibrating screed, fix form paver atau slip form paver. Vibrasi dilakukan untuk meratakan agar tidak terjadi segregasi.

f. Finishing

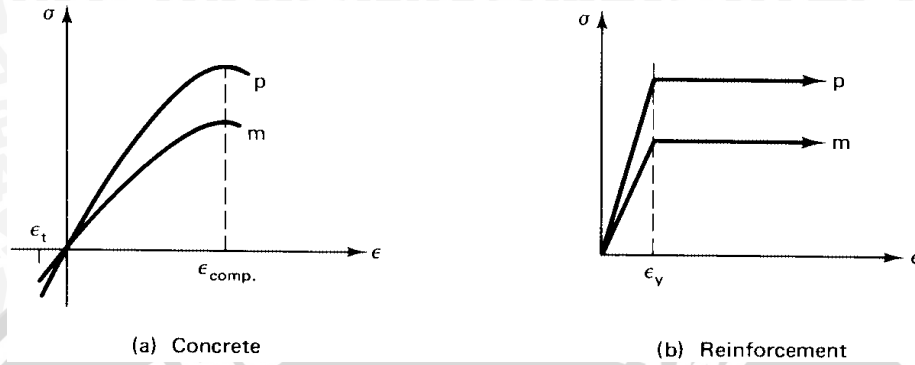
Finishing adalah pekerjaan penyelesaian permukaan perkerasan kaku agar mendapat hasil yang diharapkan, rata dan baik. Sesudah penghamparan beton selesai dilakukan penghalusan dengan papan dengan batang pemegang panjang, untuk alat seperti concrete paver umumnya telah dilengkapi dengan alat perata otomatis. Langkah selanjutnya adalah texturing yang bertujuan untuk menciptakan anti skid. Alat yang digunakan bisa wire broom, plastic brush atau juga grooving tool dengan lebar tidak kurang dari 45 cm. Untuk membuat tepi beton yang bagus dan menghindari serpih maka ditumpulkan dengan menggunakan alat edging tool. Celah-celah sambungan juga harus dibersihkan dan kemudian dilapisi sealent.

2.5 Pemodelan Perkerasan Kaku pada Tanah Ekspansif

2.5.1 Pemodelan perkuatan beton

Hal yang perlu diperhatikan dalam memodelkan perilaku dari elastisitas struktur beton bertulang adalah terdapat pada sifat beton bertulang yang elastis dan mempunyai kekuatan tarik dan tekan cukup besar. Kesulitannya 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.



Gambar 2.9 Perbandingan tegangan regangan model dan prototipe beton

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.

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, σ_c	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ	S_σ
	Concrete strain, ϵ_c	—	1	1	S_ϵ	S_ϵ
	Modulus of concrete, E_c	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ/S_ϵ	S_σ/S_ϵ
	Poisson's ratio, ν_c	—	1	1	1	1
	Specific weight, γ_c	FL^{-3}	S_σ/S_l	$1/S_l$	S_σ/S_l	S_σ/S_l
	Reinforcing stress, σ_r	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ	S_σ
	Reinforcing strain, ϵ_r	—	1	1	S_ϵ	S_ϵ
	Modulus of reinforcing, E_r	FL^{-2}	S_σ	1	1	1
	Bond stress, u	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ	*
Geometry	Linear dimension, l	L	S_l	S_l	S_l	S_l
	Displacement, δ	L	S_l	S_l	$S_\epsilon S_l$	$S_\epsilon S_l$
	Angular displacement, β	—	1	1	S_ϵ	S_ϵ
	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_σ	1	S_σ	S_σ
	Moment, M	FL	$S_\sigma S_l^3$	S_l^3	$S_\sigma S_l^3$	$S_\sigma S_l^3$

* Function of choice of distorted reinforcing area.

Sumber : CRC Press LLC (1999)

2.5.2 Pemodelan struktur

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 2.10 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 : CRC Press LLC (1999)

2.6 Pembebanan Perkerasan Jalan

2.6.1 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 2.12 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 2.11 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

Sumber : PPLLN (1964)

2.7 Gelagar Pengaku pada Perkerasan Kaku

Menurut Angin (1993:108) Gelagar pengaku digunakan untuk meningkatkan kapasitas momen dan geser juga untuk mengurangi lendutan pada pondasi pelat. Kekakuan pelat tambahan dapat diperoleh dengan menempatkan gelagar pengaku di bawah lempengan daripada meningkatkan ketebalan pelat beton. Penggunaan lempengan yang sangat kaku tidak bisa menjadi solusi karena alasan ekonomis. Penggunaan lempengan fleksibel juga tidak bisa menjadi solusi karena deformasi besar dari lantai pelat akibat beban berat. Solusinya adalah untuk merancang sebuah lempengan yang cukup kaku untuk limit deformasi suprastruktur untuk beberapa jumlah diterima. Kekakuan lembaran dan ketahanan terhadap distorsi dapat ditingkatkan dengan meningkatkan momen inersia pelat penampang. Momen inersia dari pelat dapat dihitung dari:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Dimana:

I = momen inersia pelat

b = lebar pelat

h = tebal pelat

$$I_s = \frac{nb_b h_b^3}{12}$$

Dimana:

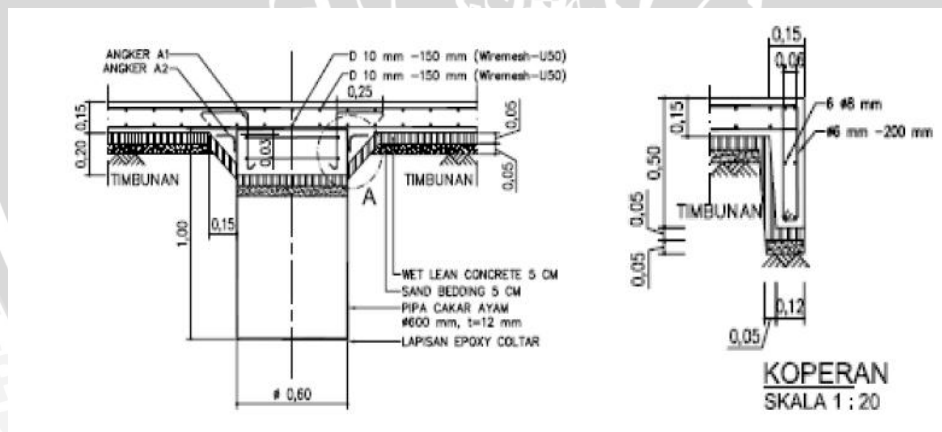
I_s = momen inersia balok atau pengaku

n = jumlah balok

b_b = lebar balok

h_b = tebal balok

Menurut Suhendro (2010:6) manfaat dari penambahan koperan di tepian pelat adalah membuat tepian pelat menjadi kuat dan kaku, dalam jangka panjang mampu mencegah berongganya *interface* antara pelat dengan tanah subbase akibat beban roda kiri kendaraan yang sering kepar masuk pelat saat melaju. Koperan ini juga mampu mengisolir perubahan kadar air pada permukaan sehingga tidak masuk dan merusak tanah dasar.



Gambar 2.10 Modifikasi koperan

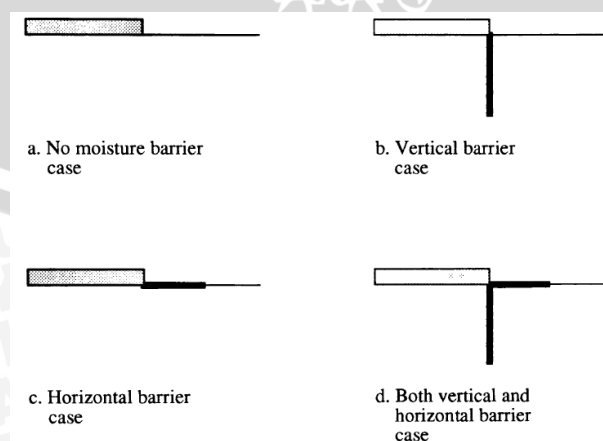
Sumber : Suhendro (2000:6)

Sebagai perkerasan jalan raya cakar ayam telah menunjukkan keberhasilan sebagai akses road sepanjang 13,5 km yang menghubungkan bandara Soekarno Hatta-Jakarta, dan beberapa ruas tol Kampung Kayan – Sitiawan di Malaysia maupun beberapa ruas jalan tol simpang X – Taman Peringgit Jala di Malaka yang tanah dasarnya relatif lunak dan masih berfungsi baik selama 27 tahun. Pipa-pipa beton pada

prinsip cakar ayam ini yang dimodifikasi, diubah menjadi gelagar pengaku dengan kedalaman 1 meter, tebal 20 cm dan berbagai variasi bentuk.

Perbedaan gaya mengembang tanah liat dapat menyebabkan perubahan pada nilai gaya geser dan momen dalam struktur pondasi. Pada Perkerasan kaku dengan pengaku (*slabe-on-grade*), perbedaan gaya mengembang 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 menimbulkan kerusakan. Aplikasi perkerasan kaku pada tanah dasar ekspansif harus mampu menahan tekanan pengembangan yang bekerja di bawah pelat. Sejalan dengan Surat (2011:83), 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 Angin(1993:119) dalam kasus penghalang vertikal, didapat bahwa besarnya perpindahan tanah diferensial berkurang jauh dengan bertambahnya penghalang vertikal mendalam.



Gambar 2.11 Empat jenis kondisi *barrier* pada pelat jalan

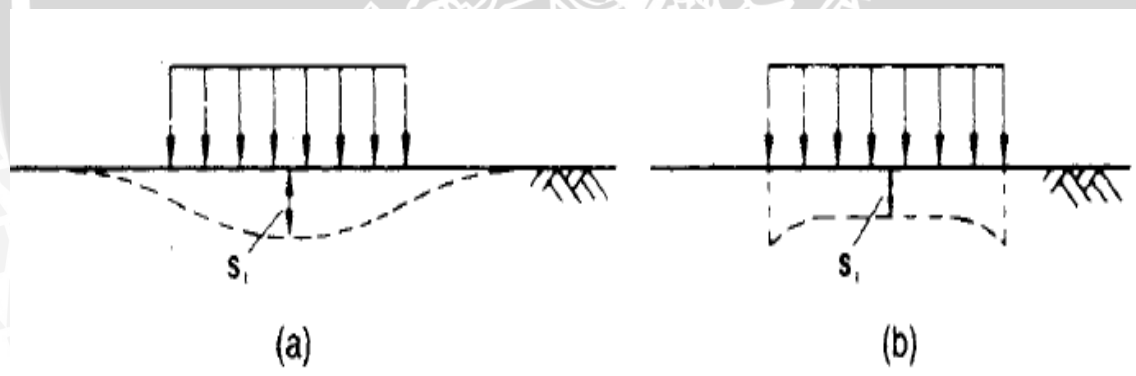
Sumber : Angin (1993:120)

2.8 Lendutan dan Tegangan Pada Tanah

2.8.1 Lendutan tanah

Lapisan tanah yang dibebani akan mengalami penurunan (*settlement*). Penurunan 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. Menurut Hardiyatmo (1994 :93) bahwa penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*).

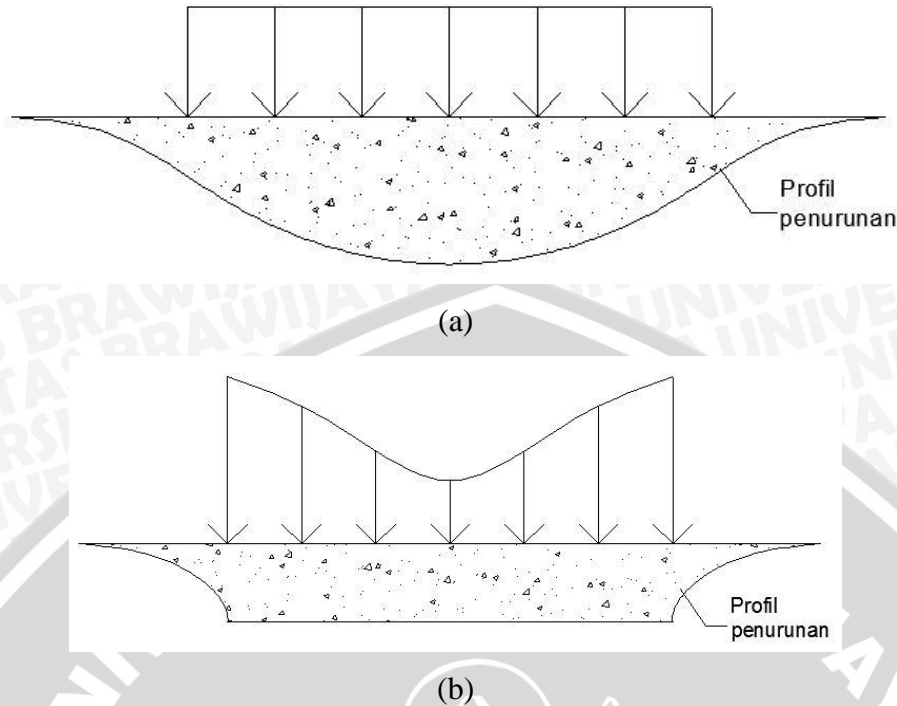
Jadi jika perkerasan jalan mengalami lendutan yang disebabkan oleh beban yang bekerja di atasnya maka secara tidak langsung tanah dasar (*subgrade*) yang berada di bawah perkerasan juga akan mengalami lendutan. Lendutan perkerasan yang terjadi di perkerasan ini nilainya bisa dianggap sama dengan penurunan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



**Gambar 2.12 Distribusi perpindahan vertikal; (a) pada lempung
(b) pada pasir**

Sumber : Craig (2004 :156)

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 2.13 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 ulang (gambar 2.13 b).



Gambar 2.13 Profil penurunan segera dan tekanan pada bidang sentuh pada lempung; (a) pondasi lentur, (b) pondasi kaku

Sumber : Hardiyatmo (1994)

2.8.2 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 2.11 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.

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

di mana :

σ = tegangan total pada titik A

γ_w = berat volume air

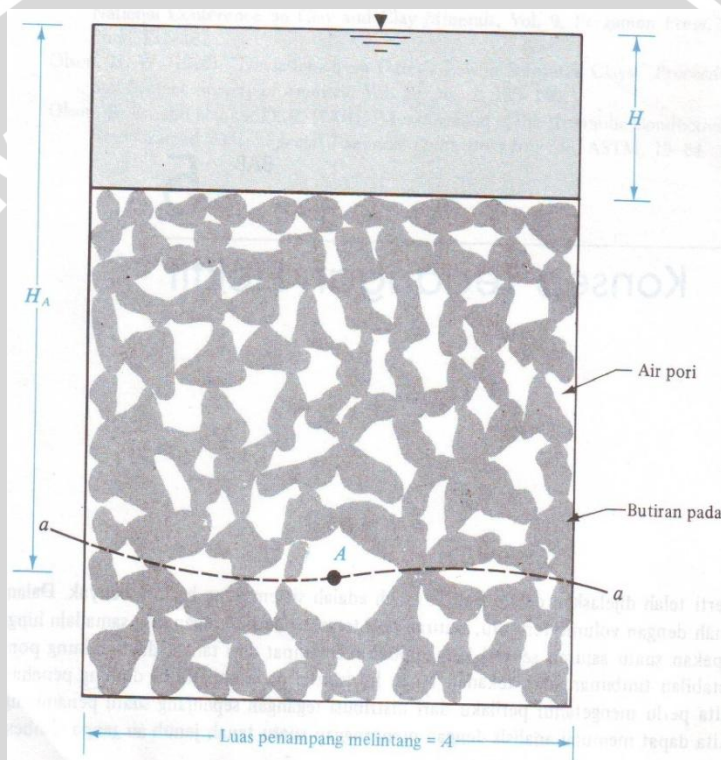
γ_{sat} = berat volume tanah jenuh air

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

H_A = jarak antara titik A dan muka air.

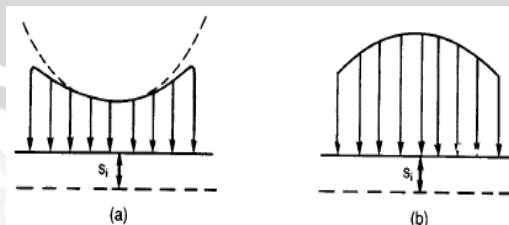
Tegangan total yang diberikan pada persamaan di atas dapat dibagi dalam dua bagian:

- Bagian yang diterima oleh air di dalam ruang pori yang menerus. Tegangan ini bekerja ke segala arah sama besar.
- 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 2.14 Peninjauan tegangan efektif untuk suatu tanah jenuh air di dalam tabung tanpa adanya rembesan

Sumber : Hardiyatmo (1994)



Gambar. 2.15 Pola tekanan yang terjadi di bawah perkerasan kaku:

(a) lempung (b) pasir

Sumber : Craig (2004:157)

2.9 Regangan Struktur

Jika suatu benda ditarik atau ditekan, gaya (F) yang diterima benda mengakibatkan adanya ketegangan antar partikel dalam material yang besarnya berbanding lurus. Perubahan tegangan partikel ini menyebabkan adanya pergeseran struktur material, regangan, yang besarnya juga berbanding lurus. Karena adanya pergeseran, maka terjadilah deformasi bentuk material. Misalnya perubahan panjang menjadi $L + \Delta L$ (atau $L - \Delta L$), dimana L adalah panjang awal benda dan ΔL adalah perubahan panjang yang terjadi. Rasio perbandingan antara ΔL terhadap L inilah yang disebut *strain* (regangan) dan dilambangkan dengan ϵ (epsilon). *Strain* atau regangan diukur untuk mengetahui besarnya deformasi pada saat terjadinya tegangan mekanik sehingga didapat besaran gaya yang terjadi seperti beban ataupun tegangan. Selain itu juga digunakan untuk memperoleh nilai keamanan / kekuatan suatu bahan atau suatu elemen struktural yang mengandung bahan tersebut. Sejumlah cara dapat dilakukan dalam mengukur regangan baik secara mekanikal maupun elektrik, namun yang paling banyak digunakan untuk pengukuran tegangan material ialah *strain gauges*, karena karakter dan kemampuan ukurnya yang jauh mengungguli yang lain. Selain itu *Strain gauge* sangat mudah penggunaannya dan memberikan stabilitas dan akurasi yang tinggi.

Strain gauges (atau *strain gages*) telah digunakan luas dalam pengukuran besaran fisika gaya pada bidang mekanikal, perkapalan, dunia penerbangan, teknik sipil (perancangan dan arsitektur), *automotive*, dunia kedokteran, dan lainnya. Perbandingan antara ΔL dan L adalah sangat kecil dan pembacaannya bernilai 10^{-6} atau biasa ditulis dalam satuan micro-epsilon.

Lawan dari kata regangan adalah penyempitan / himpitan dan diindikasikan dengan lambang minus/*negatif* dalam penulisan angka bilangannya.



Gambar 2.16 Alat pengukur regangan elektrik (*strain gauges*)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

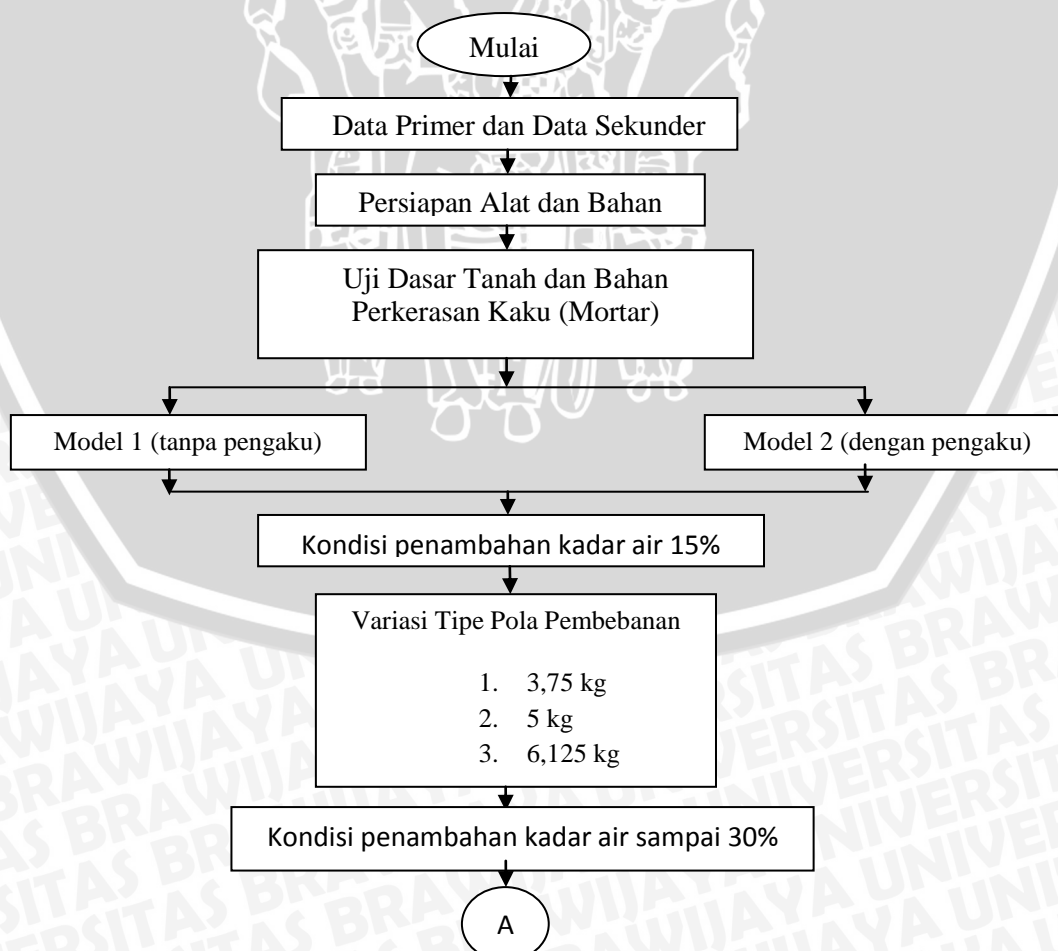
3.1 Rencana Penelitian

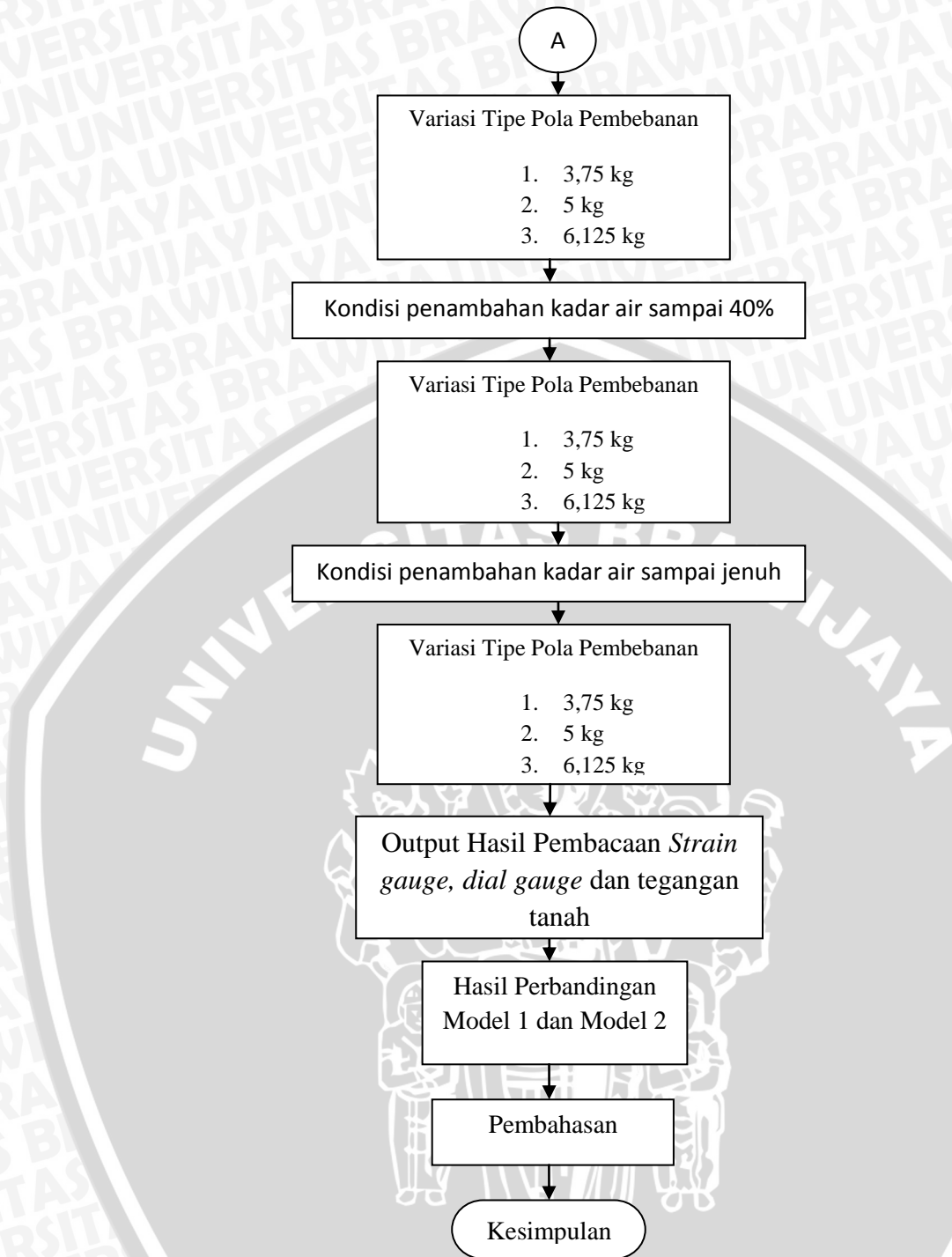
Penelitian ini dilaksanakan dalam tiga tahapan, yaitu pekerjaan persiapan, pemodelan perkerasan kaku dan pekerjaan laboratorium. Perencanaan penelitian penting dilakukan agar pelaksanaan penelitian dapat berjalan dengan baik sehingga mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan serta tepat waktu rencana.

3.2 Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan merupakan pekerjaan awal sebagai rangkaian pelaksanaan penelitian ini. Pelaksanaan meliputi beberapa tahapan seperti studi pendahuluan, konsultasi dengan beberapa nara sumber, pengajuan proposal, pengurusan perijinan penelitian dan koordinasi untuk pekerjaan pengambilan sampel tanah. Sampel tanah yang diambil adalah tanah lempung bersifat ekspansif dari kecamatan Paron, kabupaten Ngawi Jawa Timur, dengan cara pengambilan terganggu (*disturb soil*).

3.3 Bagan Alir Pengujian





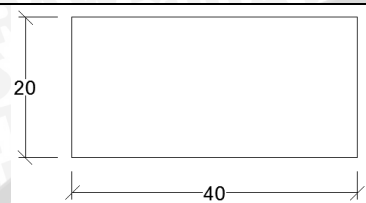
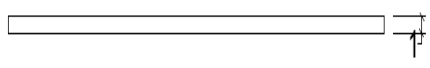
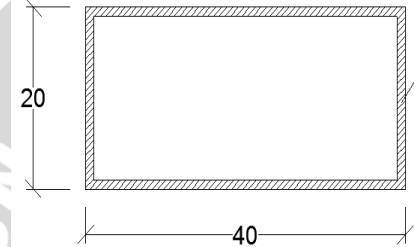
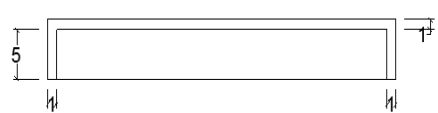
3.4 Pemodelan Penelitian

3.4.1 Pemodelan perkerasan

Pemodelan perkerasan dilakukan untuk membuat pemodelan perkerasan kaku dari jalan yang direncanakan. Model perkerasan kaku ini terbuat dari beton (mortar) campuran semen, pasir dan air dengan skala geometri 1:20. Untuk kondisi tanah yang digunakan sebagai pondasi bawah (*subgrade*) adalah jenis tanah yang bersifat terganggu (*disturb soil*).

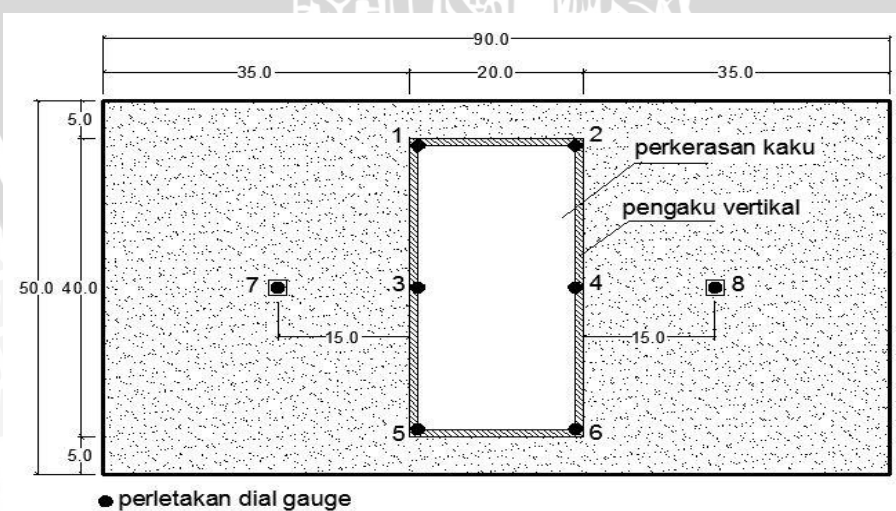
Pada percobaan ini dibuat 2 buah benda uji untuk dibandingkan, yaitu model perkerasan tanpa gelagar pegaku dan dengan gelagar pengaku seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Model Perkerasan Kaku

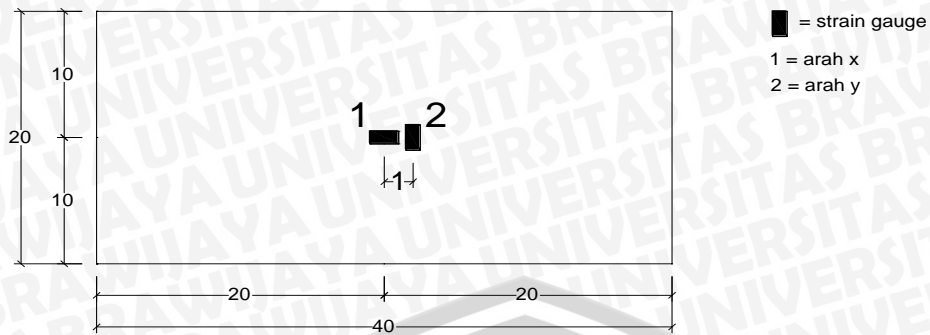
Tipe	Tampak atas (cm)	Tampak samping (cm)
1		
2		

3.4.2 Penempatan alat uji

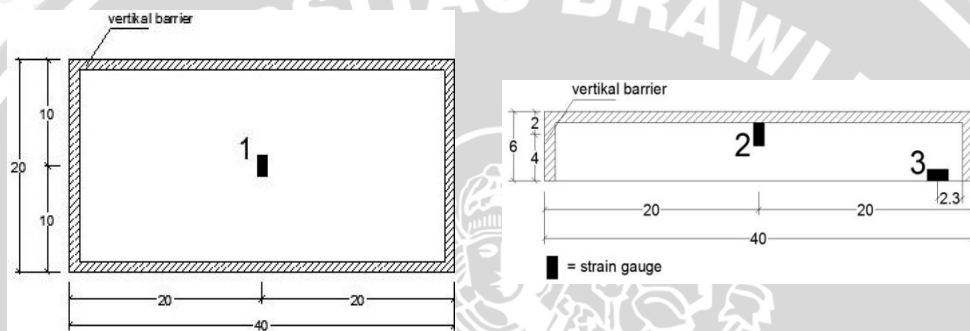
Kondisi penempatan alat uji *strain gaug*, *dial gauge* dan alat pembaca tegangan tanah dari perkerasan kaku ini dapat diilustrasikan seperti gambar 3.1 sampai gambar 3.5. Dari gambar tersebut model perkerasan kaku di ditempatkan pada box dengan pelat besi dan tanah ekspansif sebagai *subgrade*.



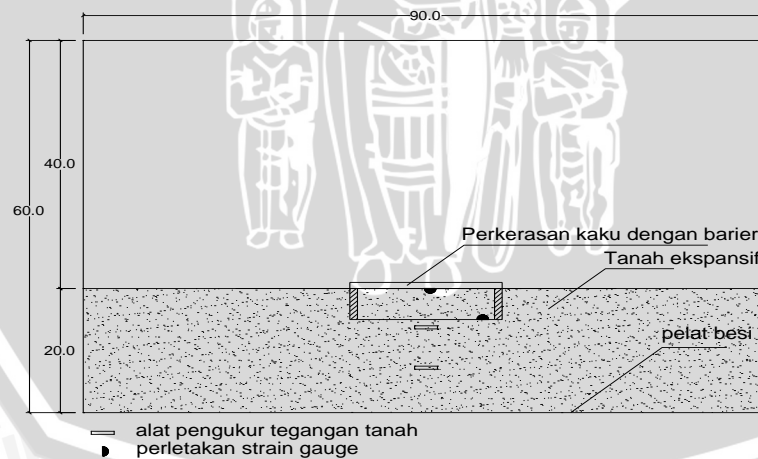
Gambar 3.1 Tampak atas penempatan dial dan model dalam box



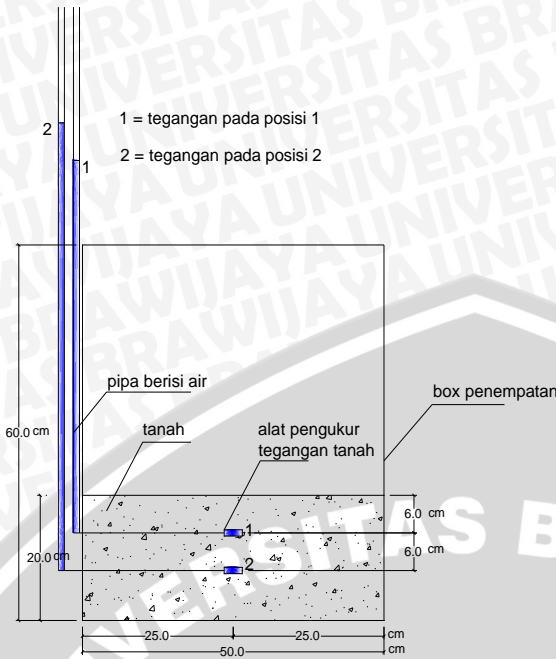
Gambar 3.2 Perletakan *strain gauge* pada perkerasan kaku *flat*



Gambar 3.3 Perletakan *strain gauge* pada perkerasan kaku dengan gelagar pengaku (*barrier*)



Gambar 3.4 Tampak depan penempatan model dalam box



Gambar 3.5 Perletakan alat pengukur tegangan tanah

3.4.3 Pemodelan pembebanan

Pola pembebanan yang dilakukan sesuai dengan kondisi pada tabel 3.2 yaitu dengan banyak lintasan per tipe pembebanan sebanyak 3 kali dan waktu yang dibutuhkan per lintasan 40 detik. Dengan asumsi per lintasan 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 awal ke titik tengah dan selesai pada titik akhir.

Tabel 3.2 Kondisi Perilaku Pembebanan pada Perkerasan Kaku

Kadar air dalam 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	



Gambar 3.6 Detail beban roda

3.5 Pekerjaan laboratorium

3.5.1 Percobaan penelitian

Percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain:

1. Percobaan penelitian pada tanah :
 - a. Pemeriksaan berat isi tanah
 - b. Pemeriksaan kadar air
 - c. Uji Free Swell
2. Percobaan penelitian pada model perkerasan: uji elastisitas bahan

3.5.2 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

3.6 Metode Penelitian

3.6.1 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 berat isi tanah
- b. Pemeriksaan kadar air
- c. Uji Free Swell

Untuk metode pengujian fisik dan mekanis bahan model perkerasan digunakan uji elastisitas bahan.

3.6.2 Uji perilaku

Untuk mengetahui pengaruh penambahan gelagar pengaku pada perkerasan kaku terhadap perilaku tanah ekspansif, maka dilakukan uji perilaku tanah terhadap model perkerasan dan pembebanan:

- a. Siapkan tanah *ekspansif* (kondisi kadar air awal 15%) dengan volume ketebalan 0,2 m dan luasan 0,5 m x 0,9 m atau sesuai dengan kondisi box penempatan yang dipakai. Kemudian gelar 3 lapis pada box penelitian dengan tinggi total 20 cm. Gelar lapis pertama lalu padatkan sampai setinggi 1/3 dari total tujuan, setelah itu alat pengukur tegangan dipasang, lakukan hal yang sama pada lapis kedua dan ketiga, bedanya pada lapis ketiga tidak dipasang alat pengukur tegangan tanah. Sehingga pemasangan alat pengukur tegangan tanah dengan kedalaman 6 cm dan 12 cm seperti gambar 3.5.
- b. Model perkerasan kaku terbuat dari beton (mortar) dengan dimensi seperti gambar 3.1. Pasang strain gauge pada masing-masing tipe perkerasan seperti gambar 3.2 dan 3.3.
- c. Tempatkan model perkerasan kaku diatas tanah ekspansif yang telah disiapkan dengan kondisi tanah ekspansif tersebut sebagai tanah dasar (*subgrade*) dari model perkerasan kaku
- d. Pasang alat *strain meter, dial gauge* pada model perkerasan kaku.
- 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 mengetahui pengembangan yang terjadi sebelum diberi beban dan dicatat perilakunya.
- f. Setelah 2 jam, diberikan beban pada model perkerasan kaku dengan variasi pola pembebanan sesuai dengan kondisi seperti pada tabel 3.2. Pada tahap ini pencatatan dari *strain meter*, alat pengukur tegangan dan *dial gauge* dilakukan.
- g. Kondisi setelah dibebani tadi didiamkan selama 24 jam selanjutnya dicatat hasil pengembangan tanah dan pengukur tegangan tanah (24 jam dihitung mulai dari penambahan air).
- h. Setelah 24 jam, perkerasan kaku kembali diuji lagi seperti langkah f.
- i. Tanah yang telah diberi beban pada langkah h diambil sampelnya dengan ring untuk mengetahui berat volume dan kadar air dari kondisi tanah tersebut. Setelah itu tanah disekeliling perkerasan dipadatkan dan diambil sampel dalam ring untuk kedua kalinya.

- j. Setelah langkah i selesai, tambahkan kadar air sebesar 15% dari kondisi tanah 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% dilakukan penambahan air sampai jenuh dan dicatat hasil dari pengembangan tanah dan tegangan tanah selama 24 jam. Kemudian diuji lagi dengan pola pembebanan seperti langkah f, dan setelahnya pengambilan sampel dengan ring dilakukan.
- l. Tiap-tiap langkah ini berlaku sama pada perkerasan kaku *flat* (konvensional) dan perkerasan kaku dengan gelagar pengaku (*barrier*). Yang membedakan adalah pemasangan *strain gauge* 2 buah pada perkerasan *flat* dan 3 buah pada perkerasan *berbarrier* seperti pada sub pemodelan alat uji.

3.7 Analisis data

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

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 2 tipe perkerasan kaku dengan tanah ekspansif sebagai *subgradenya*. Pengujian meliputi pemvariasian tipe perkerasan, kadar air pada subgrade dan pola pembebanan yang telah ditentukan pada perkerasan. Hasil dari pengujian akan dipaparkan dalam bentuk tabel dan grafik, berupa tegangan, regangan dan lendutan baik itu pada tanah maupun pada model perkerasan.

4.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah

4.1.1 Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air memiliki maksud dan tujuan untuk mengetahui nilai perbandingan antara berat air di dalam tanah dengan berat butiran tanah tersebut dalam satuan persen (%). Adapun hasil pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4.1 Pembacaan Kadar Air Kondisi Tanah Awal (Kering Oven)

sampel	1	2	3
berat cawan (gram)	5,8	5,6	5,7
berat cawan + tanah basah (gram)	27,7	26,5	29,4
berat cawan + tanah kering (gram)	24,9	23,9	26,5
berat air (gram)	2,8	2,6	2,9
berat tanah kering	19,1	18,3	20,8
kadar air (%)	14,66	14,21	13,94
kadar air rata-rata	14,27		

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa tanah lempung pada daerah Paron, Kabupaten Ngawi memiliki kadar air sebesar 14,27 %. Yang untuk selanjutnya ditetapkan sebagai kadar air awal.

4.2 Pengujian *Free Swell* (Uji Pengembangan)

Uji pengembangan bebas (*free swell test*) dilakukan untuk mengetahui interaksi pelat dengan tanah dengan acuan seberapa besar kenaikan *subgrade* setelah dilakukan pembebanan pada perkerasan. Hasil *swelling* hanya sebatas pencatatan perbandingan kenaikan pada *dial* dengan waktu dan yang akan ditinjau dari dial 9 (dial tambahan). Posisi dial 9 tepat ditengah masing-masing tipe perkerasan. Pada uji pengembangan bebas (*free swell test*), yang telah dilakukan di laboratorium mekanika tanah Universitas Brawijaya didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.2 Pembacaan *Swelling* pada Penambahan Kadar Air 15% (*Flat*)

no.	menit	nilai dial 9
1	0	0
2	15	23
3	30	39
4	60	56
5	120	98
6	240	124
7	1440	370

Tabel 4.3 Pembacaan *Swelling* pada Penambahan Kadar Air 30% (*Flat*)

no.	menit	nilai dial 9
1	0	0
2	15	25
3	30	147
4	60	187
5	120	225
6	240	320
7	1440	391

Tabel 4.4 Pembacaan *Swelling* pada Penambahan Kadar Air 15% (*Barrier*)

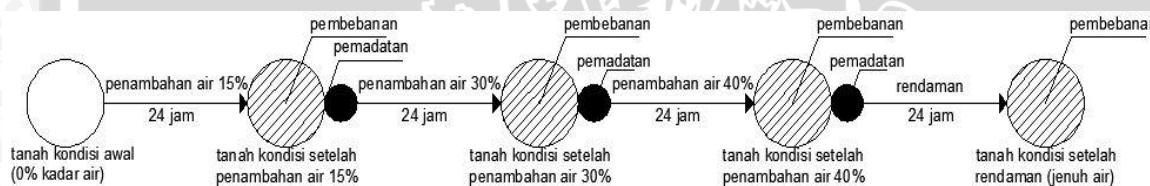
no.	menit	nilai dial 9
1	0	0
2	15	8
3	30	16
4	60	32
5	120	52
6	240	120
7	1440	211

Tabel 4.5 Pembacaan *Swelling* pada Penambahan Kadar Air 30% (*Barrier*)

no.	menit	nilai dial 9
1	0	0
2	15	14
3	30	27
4	60	51
5	120	87
6	240	104
7	1440	231

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 pada kadar air 15% dan 30% pada masing-masing tipe perkerasan, hanya pada penurunan titik atau dial tertentu dan pola pembebanan 6,125 kg pada durasi waktu 24 jam setelah penambahan air.



Gambar 4.1 Alur pola perilaku pembebanan pada variasi kadar air

Dari tiap-tiap kondisi tanah pada Gambar 4.1, dilakukan pencatatan *dial*, *strain gauge* dan alat pembaca tegangan tanah. Hasil dari pengujian tersebut dapat ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4.6 Pembacaan Parameter pada Perkerasan *Flat* pada Penambahan Kadar Air 15%

BEBAN (kg)	NO	LINTASAN		STRAIN METER		PENURUNAN DIAL (mm ⁻²)								TEGANGAN (cm)	
		posisi	titik	vertikal	horisonta	1	2	3	4	5	6	7	8	atas	bawah
6,125	19	tengah	s	10164	6391	73	51	11	-5	-49	-33	1	0	70,1	80,1
	20		m	10217	6383	38	28	22	18	1	-5	1	0	70,1	80,1
	21		f	10173	6389	12	6	22	12	35	23	1	0	70,1	80,1
	22	tengah	s	10163	6391	87	58	18	-3	-60	-73	1	0	70,1	80,1
	23		m	10215	6384	42	31	29	21	8	-1	1	0	70,1	80,1
	24		f	10171	6390	20	10	29	16	40	26	1	0	70,1	80,1
	25	tengah	s	10161	6390	91	62	20	0	-60	-79	1	0	70,1	80,1
26		m	10215	6386	44	32	32	25	12	5	1	0	70,1	80,1	
27		f	10171	6390	22	12	30	18	42	26	1	0	70,1	80,1	

Tabel 4.7 Pembacaan Parameter pada Perkerasan *Flat* pada Penambahan Kadar Air 30%

BEBAN (kg)	NO	LINTASAN		STRAIN METER		PENURUNAN DIAL (mm ²)								TEGANGAN (cm)	
		posisi	titik	vertikal	horisontal	1	2	3	4	5	6	7	8	atas	bawah
6,125	19	tengah	s	9215	6471	423	433	-80	-67	-568	-626	0	0	69	78
	20		m	9238	6467	112	118	33	-137	540	-63	1	0	69	78
	21		f	9223	6466	-355	-330	-45	-187	370	132	1	0	69	78
	22	tengah	s	9214	6472	413	442	-84	-62	-581	-621	1	0	69	78
	23		m	9236	6471	132	145	41	-134	555	-73	1	0	69	78
	24		f	9220	6473	-352	-322	-48	-192	380	125	1	0	69	78
	25	tengah	s	9211	6477	438	464	-82	-65	-568	-627	1	0	69	78
	26		m	9234	6472	138	162	35	-136	565	-64	1	0	69	78
	27		f	9214	6474	-348	-318	-45	-195	385	116	1	0	69	78

Tabel 4.8 Pembacaan Parameter pada Perkerasan *Barrier* pada Penambahan Kadar Air 15%

BEBAN (kg)	NO	LINTASAN		STRAIN METER			PENURUNAN DIAL (mm ²)								TEGANGAN (cm)	
		posisi	titik	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	atas	bawah
6,125	19	tengah	s	7174	6765	7302	20	20	10	7	-2	-2	0	1	57,9	62,6
	20		m	7169	6771	7304	15	15	10	8	-1	-1	0	1	57,9	62,6
	21		f	7174	6766	7302	7	7	8	6	-7	3	-1	1	57,9	62,6
	22	tengah	s	7174	6765	7302	23	22	13	9	1	-2	-1	1	57,9	62,6
	23		m	7169	6771	7305	17	17	13	9	2	-1	-1	1	57,9	62,6
	24		f	7174	6765	7303	8	9	10	8	8	3	-1	1	57,9	62,6
	25	tengah	s	7175	6766	7302	26	25	15	11	0	-3	-1	1	57,9	62,6
	26		m	7169	6771	7304	21	21	15	11	4	0	-1	1	57,9	62,6
	27		f	7172	6764	7302	10	11	12	10	7	4	-1	1	57,9	62,6

Tabel 4.9 Pembacaan Parameter pada Perkerasan *Barrier* pada Penambahan Kadar Air 30%

BEBAN (kg)	NO	LINTASAN		STRAIN METER			PENURUNAN DIAL (mm ²)								TEGANGAN (cm)	
		posisi	titik	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	atas	bawah
6,125	19	tengah	s	8444	6621	7317	18	18	6	5	-6	3	0	1	57	76
	20		m	8440	6625	7317	11	16	4	5	-1	-1	0	3	57	77
	21		f	8462	6622	7316	0	1	2	7	6	-8	0	3	57	78
	22	tengah	s	8466	6620	7317	19	20	7	5	-7	-5	0	3	57	79
	23		m	8468	6626	7319	11	12	6	5	-1	0	0	3	57	80
	24		f	8497	6621	7318	1	3	3	1	6	1	0	3	57	81
	25	tengah	s	8501	6620	7319	20	20	7	6	-7	5	0	4	57	82
	26		m	8497	6626	7321	12	13	6	6	-1	0	0	3	57	83
	27		f	8504	6620	7320	2	3	4	6	7	8	0	2	57	84

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 perpendekan yang dialami oleh perkerasan kaku.

Hasil dari pengujian lendutan atau penurunan yang terjadi pada tanah adalah sebagai berikut:

Tabel 4.10 Penurunan Rata-Rata Dial 1-2 Perkerasan *Flat* dan *Barrier* pada Penambahan Kadar Air 15%

	POSISI BEBAN	PENURUNAN (mm ⁻²)		POSISI BEBAN	PENURUNAN (mm ⁻²)
		dial (1-2)			dial (1-2)
FLAT	awal	62	BARRIER	awal	20
	tengah	33		tengah	15
	akhir	9		akhir	7
	awal	72,5		awal	22,5
	tengah	36,5		tengah	17
	akhir	15		akhir	8,5
	awal	76,5		awal	25,5
	tengah	38		tengah	21
	akhir	17		akhir	10,5

Tabel 4.11 Penurunan Rata-Rata Dial 5-6 Perkerasan *Flat* dan *Barrier* pada Penambahan Kadar Air 15%

	POSISI BEBAN	PENURUNAN (mm ⁻²)		POSISI BEBAN	PENURUNAN (mm ⁻²)
		dial (5-6)			dial (5-6)
FLAT	awal	-41	BARRIER	awal	-2
	tengah	-2		tengah	-1
	akhir	29		akhir	1
	awal	-66,5		awal	-0,5
	tengah	3,5		tengah	0,75
	akhir	33		akhir	5,5
	awal	-69,5		awal	-1,25
	tengah	8,5		tengah	2
	akhir	34		akhir	5,25

Tabel 4.12 Penurunan Rata-Rata Dial 1-2 Perkerasan *Flat* dan *Barrier* pada Penambahan Kadar Air 30%

	POSISI BEBAN	PENURUNAN (mm ⁻²)		POSISI BEBAN	PENURUNAN (mm ⁻²)
		dial (1-2)			dial (1-2)
FLAT	awal	428	BARRIER	awal	18
	tengah	115		tengah	13,5
	akhir	-342,5		akhir	0,5
	awal	427,5		awal	19,5
	tengah	138,5		tengah	11,5
	akhir	-337		akhir	2
	awal	451		awal	20
	tengah	150		tengah	12,5
	akhir	-333		akhir	2,5

Tabel 4.13 Penurunan Rata-Rata Dial 5-6 Perkerasan *Flat* dan *Barrier* pada Penambahan Kadar Air 30%

	POSISI BEBAN	PENURUNAN (mm ⁻²)		POSISI BEBAN	PENURUNAN (mm ⁻²)
		dial (5-6)			dial (5-6)
FLAT	awal	-597	BARRIER	awal	-1,5
	tengah	238,5		tengah	-1
	akhir	351		akhir	-1
	awal	-601		awal	-6
	tengah	241		tengah	-0,5
	akhir	352,5		akhir	3,5
	awal	-597,5		awal	-1
	tengah	250,5		tengah	-0,5
	akhir	350,5		akhir	7,5

4.3.2 Tegangan Tanah

Pembahasan ini membandingkan perilaku tegangan yang terjadi pada *subgrade* tanah ekspansif di bawah perkerasan *flat* dan di bawah perkerasan *barrier* yang dianalisis dengan 2 hasil tegangan, yaitu tegangan aktual tanah yang dibaca melalui alat pengukur tegangan (detail lampiran) dan tegangan tanah secara teoritis sebagai *verifikasi* data aktual. Untuk masing-masing pembacaan tegangan dilakukan pengambilan data pada saat kondisi tanah 24 jam setelah pemberian variasi kadar air 15% dan 30% 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). 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. Perubahan ketinggian air dibaca pada saat satu hari setelah kadar air ditambahkan dan kondisi perkerasan juga telah dibebani, sehingga kenaikan atau penurunan air pada pipa tidak berkaitan langsung akibat penambahan atau pengurangan beban tetapi lebih besar akibat pengaruh penambahan kadar air saja. Hasil dari pembacaan tegangan ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4.14 Ketinggian Air pada Alat dengan Variasi Penambahan Kadar Air Tanah

FLAT	KADAR AIR	PEMBACAAN ALAT	BARRIER	KADAR AIR	PEMBACAAN ALAT
	15%	70 cm		15%	57,8 cm
	30%	69 cm		30%	57,1 cm
	40%	NA		40%	57 cm

4.3.2.2 Tegangan tanah teoritis

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

Tabel 4.15 Tegangan Tanah Teoritis Perkerasan Flat

	kadar air	γ (gram/cm ³)	σ 1 (gram/cm ²)	σ 2 (gram/cm ²)	σ (gram/cm ²)
flat	15%	1,60	3,6	1,465	5,065
	30%	1,53	3,18	1,465	4,645
	40%	1,52	3,12	1,465	4,585

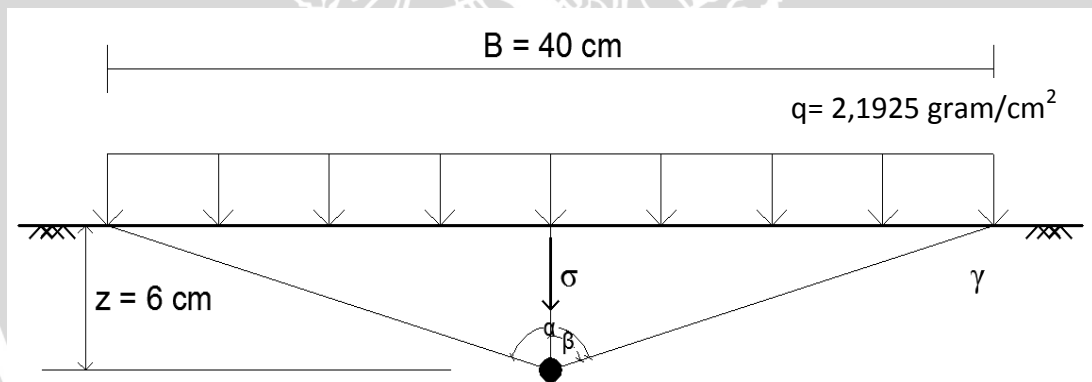
Tabel 4.16 Tegangan Tanah Teoritis Perkerasan *Barrier*

	kadar air	γ (gram/cm ³)	σ_1 (gram/cm ²)	σ_2 (gram/cm ²)	σ (gram/cm ²)
barrier	15%	1,61	3,66	2,84	6,5
	30%	1,54	3,24	2,84	6,08
	40%	1,53	3,18	2,84	6,02

Dengan :

- γ = berat volume tanah yang dianggap sama tiap lapisan tanah (gram/cm³)
- σ_1 = tegangan akibat berat tanah sendiri (gram/cm²)
- σ_2 = tegangan akibat perkerasan kaku (gram/cm²)
- σ = tegangan total yang terjadi akibat berat perkerasan dan tanah (gram/cm²)

Contoh perhitungan tegangan tanah pada perkerasan *flat* :



Gambar 4.2 Tegangan akibat beban perkerasan *flat* terbagi rata berbentuk jalur memanjang

- q = 2,1925 gram/cm² (berat sendiri perkerasan kaku)
- B = 40 cm (panjang perkerasan kaku)
- α = 146,6° = 2,559 radian
- β = 73,3°

Kondisi kadar air 30%

Tegangan akibat berat tanah sendiri (σ_1)

$$\sigma_1 = z \times \gamma' = 6 \times (1,60-1) = 3,6 \text{ gram/cm}^2$$

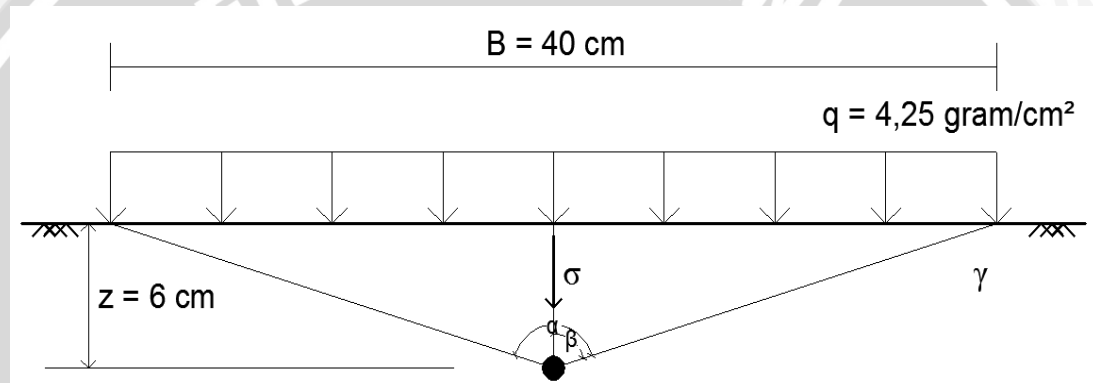
Tegangan akibat perkerasan kaku (σ_2)

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= q/\pi (\alpha + \sin \alpha \cos 2 \beta) \\ &= 2,1925/\pi (2,559 + \sin 146,6 \cos (2 \times 73,3)) \\ &= 1,465 \text{ gram/cm}^2\end{aligned}$$

Tegangan total yang terjadi akibat berat tanah dan perkerasan

$$\begin{aligned}(\sigma) &= \sigma_1 + \sigma_2 \\ &= 5,065 \text{ gram/cm}^2\end{aligned}$$

Contoh perhitungan tegangan tanah pada pekerasan *barrier* :



Gambar 4.3 Tegangan akibat beban perkerasan *barrier* terbagi rata berbentuk jalur memanjang

$$\begin{aligned}q &= 4,25 \text{ gram/cm}^2 \text{ (berat sendiri perkerasan kaku)} \\ B &= 40 \text{ cm (panjang perkerasan kaku)} \\ \alpha &= 146,6^\circ = 2,559 \text{ radian} \\ \beta &= 73,3^\circ\end{aligned}$$

Kondisi kadar air 30%

Tegangan akibat berat tanah sendiri (σ_1)

$$\sigma_1 = z \times \gamma' = 6 \times (1,61-1) = 3,66 \text{ gram/cm}^2$$

Tegangan akibat perkerasan kaku (σ_2)

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= q/\pi (\alpha + \sin \alpha \cos 2 \beta) \\ &= 4,25/\pi (2,559 + \sin 146,6 \cos (2 \times 73,3)) \\ &= 2,84 \text{ gram/cm}^2\end{aligned}$$

Tegangan total yang terjadi akibat berat tanah dan perkerasan

$$\begin{aligned}(\sigma) &= \sigma_1 + \sigma_2 \\ &= 6,5 \text{ gram/cm}^2\end{aligned}$$

4.3.3 Regangan pada Perkerasan *Flat* dan Perkerasan *Barrier* Akibat Perilaku Subgrade Tanah Ekspansif

Besarnya nilai regangan yang didapat dari pembacaan alat pengukur regangan *strain meter*, didasarkan pada pembacaan deformasi yang terjadi pada perkerasan yang dipasang *strain gauge* setelah dikurangi nilai awal pembacaan masing-masing *strain gauge*. Hasil regangan ini hanya ditinjau perparsial artinya pada lokasi pemasangan *strain gauge* (*FEM*) saja dan tidak meninjau regangan pelat secara keseluruhan. Perbandingan hanya bisa dilakukan pada arah y, dan pembahasan sedikit mencakup regangan di *barrier* posisi *strain gauge* nomer 3.

Posisi pemasangan *strain gauge* detailnya sesuai dengan Gambar 3.2 sampai 3.4. Jika nilai *strain meter* yang tercatat setelah dikurangi nilai awal *strain* (regangan awal) bernilai positif maka terjadi penambahan regangan (pelat bawah mengalami tarik), sebaliknya jika nilai yang teranalisis negatif maka terjadi perpendekan regangan (pelat bawah mengalami tekan). Nilai regangan yang terbaca sebatas regangan struktur perkerasan yang diakibatkan oleh perilaku *subgrade* tanah ekspansif pada kadar air 30%. Lebih jauh, analisis dari regangan ini dapat dijadikan acuan untuk mengetahui keadaan yang dialami perkerasan dan analisis penulangan yang untuk bahasan ini tidak termasuk dalam tema penelitian lain. Hasil dari pembacaan regangan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.17 Regangan pada Perkerasan *Flat* pada Penambahan Kadar air 30%

BEBAN (kg)	NO	LINTASAN	POSISI BEBAN	STRAIN METER	
				arah x	arah y
6,125	19	I	awal	-16	5
	20		tengah	7	1
	21		akhir	-8	6
	22	II	awal	-17	6
	23		tengah	5	5
	24		akhir	-11	7
	25	III	awal	-20	11
	26		tengah	3	6
	27		akhir	-17	8

Tabel 4.18 Regangan Rata-Rata Perkerasan *Flat* pada Penambahan Kadar Air 30%

POSISI	RATA-RATA	
	X	Y
AWAL	-17,667	7,33333
TENGAH	5	4
AKHIR	-12	7

Tabel 4.19 Regangan pada Perkerasan dengan *Barrier* pada Penambahan Kadar Air 30%

BEBAN (kg)	NO	LINTASAN	POSISI BEBAN	STRAIN METER (10^{-6} mm)		
				arah y	barrier 2	barrier 3
6,125	19	I	awal	19	2	2
	20		tengah	5	6	3
	21		akhir	27	3	2
	22	II	awal	66	1	3
	23		tengah	33	7	5
	24		akhir	62	2	4
	25	III	awal	66	1	5
	26		tengah	62	7	7
	27		akhir	69	1	6

Tabel 4.20 Regangan Rata-Rata Perkerasan *Barrier* pada Penambahan Kadar air 30%

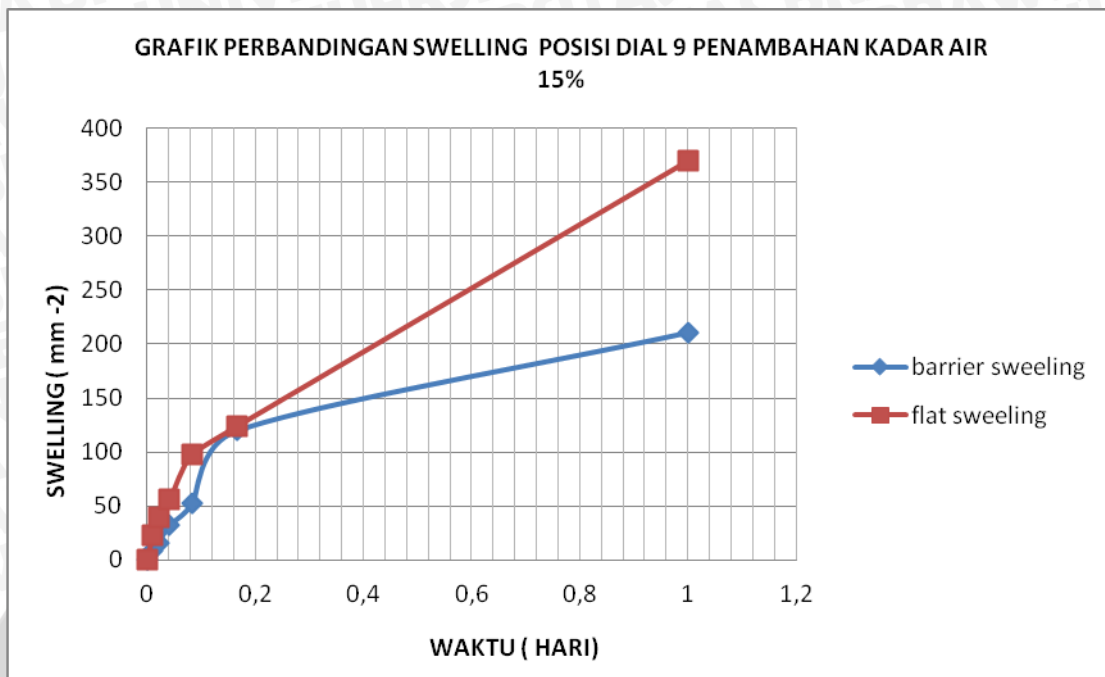
POSISI	RATA-RATA		
	X	BARRIER 2	BARRIER 3
AWAL	1,33333	50,33333	52,6666667
TENGAH	6,66667	33,33333	33,3333333
AKHIR	2	52,66667	50,3333333

4.4 Pembahasan

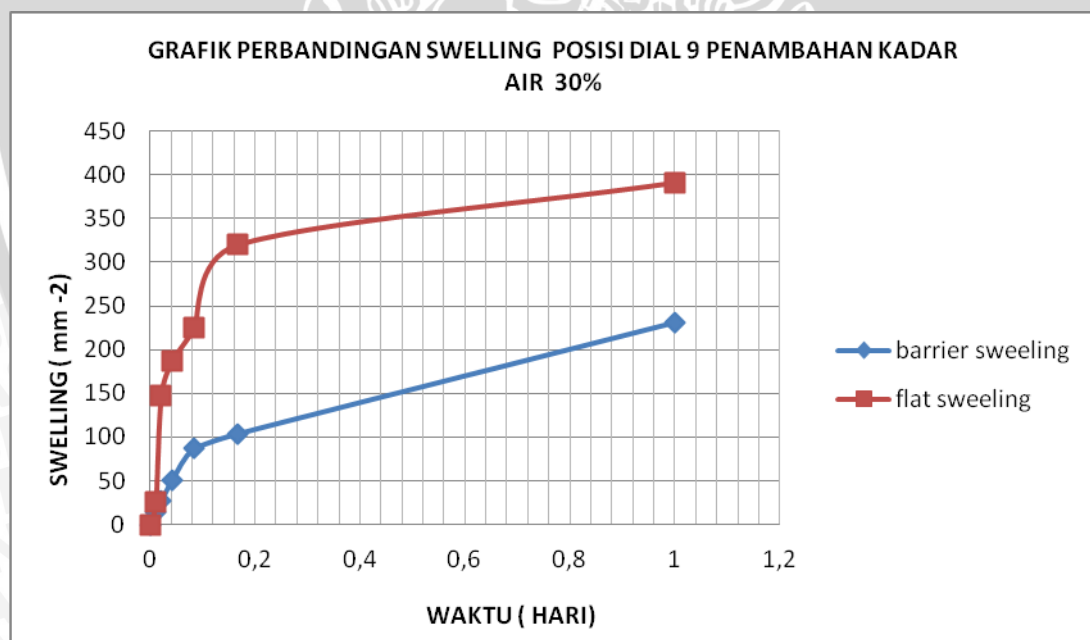
4.4.1 Perbandingan *swelling* akibat interaksi *subgrade* dengan pelat perkerasan *flat* dan *barrier*

Uji pengembangan bebas (*free swell test*) dilakukan untuk mengetahui interaksi pelat dengan tanah dengan acuan seberapa besar kenaikan *subgrade* setelah dilakukan pembebanan pada perkerasan. Hasil *swelling* hanya sebatas pencatatan perbandingan kenaikan pada *dial* dengan waktu dan yang akan

ditinjau dari dial 9, dial 9 diposisikan tepat ditengah masing-masing tipe perkerasan. Grafik uji pengembangan bebas (*free swell test*), sebagai berikut:



Gambar 4.4 Perbandingan *swelling* dengan waktu pada dial 9 akibat penambahan air 15%



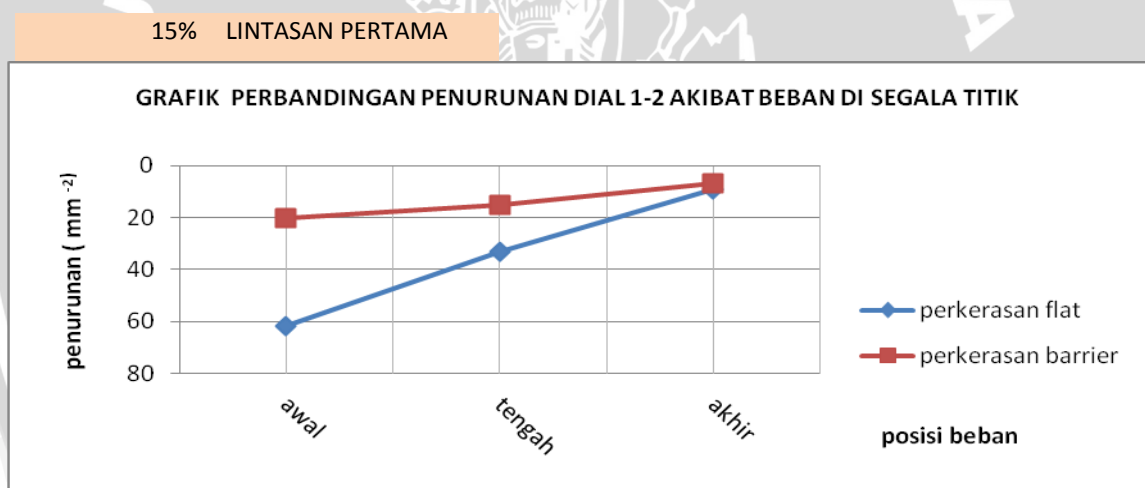
Gambar 4.5 Perbandingan *swelling* dengan waktu pada dial 9 akibat penambahan air 30%

Pada kondisi tanah penambahan kadar air 15% dan 30% terjadi tren yang sama bahwa *swelling* (kenaikan tanah yang tercatat pada *dial*) berbanding lurus dengan waktu. Kenaikan tanah akibat interaksi antara *subgrade* dengan perkerasan *flat* lebih besar bila dibandingkan perkerasan *barrier*, hal ini terjadi

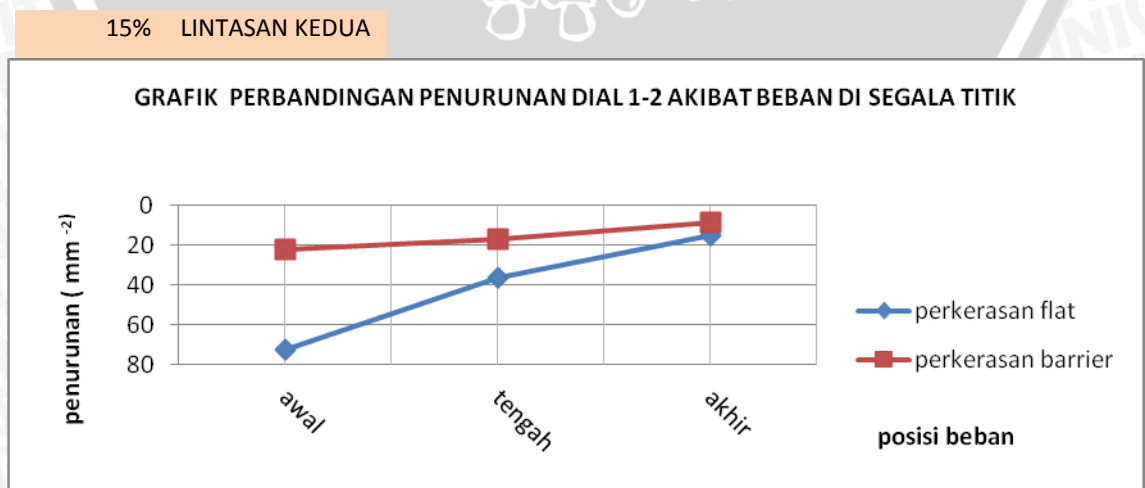
pada kedua kondisi tanah akibat penambahan kadar air 15% dan 30%. Diketahui juga *swelling* berbanding lurus dengan penambahan kadar air, semakin besar penambahan kadar air semakin besar *swelling*, jika maksimum kenaikan yang tercatat akibat penambahan kadar air 15 % sebesar 370 mm^{-2} pada perkerasan *flat* dan 211 mm^{-2} pada perkerasan *barrier* sedangkan pada penambahan kadar air 15 % sebesar 391 mm^{-2} pada perkerasan *flat* dan 231 mm^{-2} pada perkerasan *barrier*.

4.4.2 Perbandingan penurunan pada subgrade perkerasan flat dan barrier

Untuk pembahasan ini, beban yang diujikan 6,125 kg, kadar air 15 % dengan melakukan tiga kali lintasan dan meninjau tiga titik posisi beban (saat beban di awal, tengah dan akhir) dari setiap lintasannya. Lendutan tanah didapatkan dari rata-rata pembacaan dial 1-2 di titik awal, tengah dan akhir. Penurunan tanah terhadap beban dapat dilihat dari grafik berikut ini:

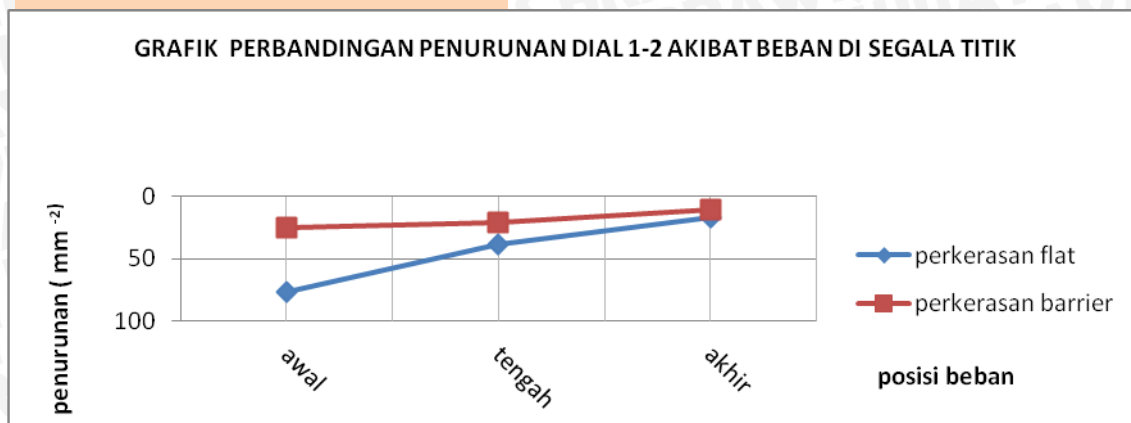


Gambar 4.6 Perbandingan penurunan tanah dial 1-2 akibat pola pembebanan (Lintasan I)



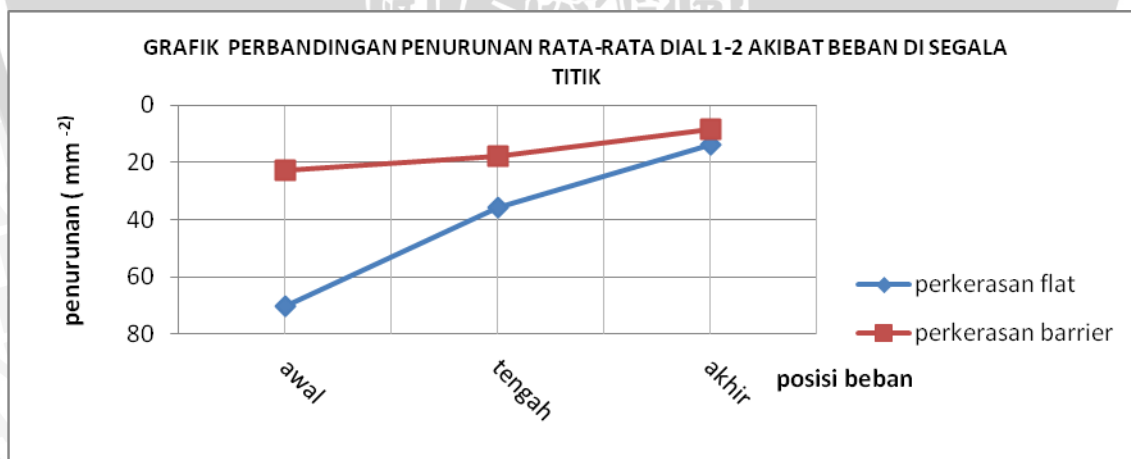
Gambar 4.7 Perbandingan penurunan tanah dial 1-2 akibat pola pembebanan (Lintasan II)

15% LINTASAN KETIGA



Gambar 4.8 Perbandingan penurunan tanah dial 1-2 akibat pola pembebanan (Lintasan III)

Dari grafik hubungan penurunan *subgrade* akibat berbagai posisi beban yang ditinjau dari rata-rata dial 1-2 terhadap pola pembebanan pada kadar air 15% dapat diketahui bahwa penurunan *subgrade* terbesar terjadi pada posisi beban di awal (beban di atas dial 1-2) lintasan III. Pola ini berlaku untuk kedua perkerasan, untuk perkerasan flat besarnya penurunan yang tercatat 0,765 mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar 0,255 mm. Penurunan *subgrade* terkecil terjadi pada posisi beban di akhir (beban di atas dial 1-2) pada lintasan I. Pola ini berlaku pada kedua perkerasan, untuk perkerasan flat besarnya penurunan yang tercatat 0,09 mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar 0,07 mm

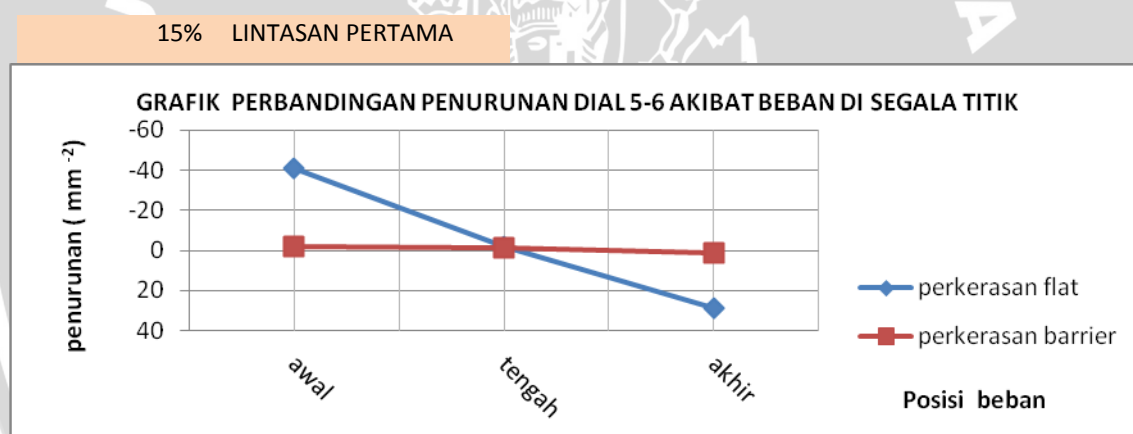


Gambar 4.9 Perbandingan penurunan tanah rata-rata dial 1-2 dengan berbagai pola pembebanan

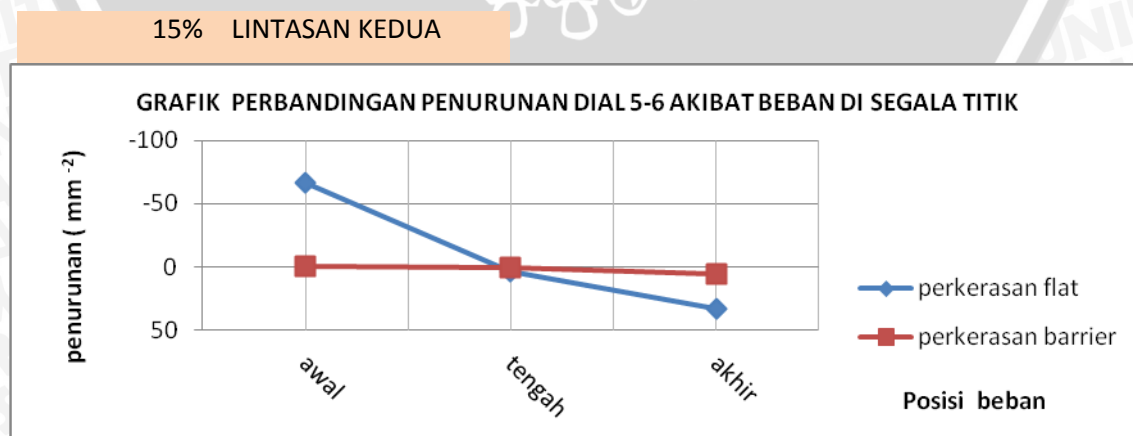
Dari grafik hubungan penurunan total rata-rata akibat berbagai posisi beban yang ditinjau dari dial 1-2 terhadap pola pembebanan pada *subgrade* dapat diketahui bahwa penurunan *subgrade* terbesar terjadi pada posisi beban di

awal (beban di atas dial 1-2). Pola ini berlaku pada kedua perkerasan untuk perkerasan flat besarnya penurunan yang tercatat 0,733 mm dan pada perkerasan barrier sebesar 0,227 mm. Penurunan *subgrade* terkecil terjadi pada posisi beban di akhir (beban di atas dial 5-6). Pola ini berlaku pada kedua perkerasan, untuk perkerasan flat besarnya penurunan rata-rata yang tercatat 0,137 mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar 0,087 mm.

Untuk pembahasan selanjutnya bertujuan sebagai pembandingan dari rata-rata dial 1-2 karena sama-sama meninjau penurunan *subgrade* bagian ujung perkerasan, beban yang diujikan 6,125 kg, kadar air 15 % dengan melakukan tiga kali lintasan dan meninjau tiga titik posisi beban (saat beban di awal, tengah dan akhir) dari setiap lintasannya. Lendutan tanah didapatkan dari rata-rata pembacaan dial 5-6 di titik awal, tengah dan akhir. Penurunan tanah terhadap beban dapat dilihat dari grafik berikut ini:

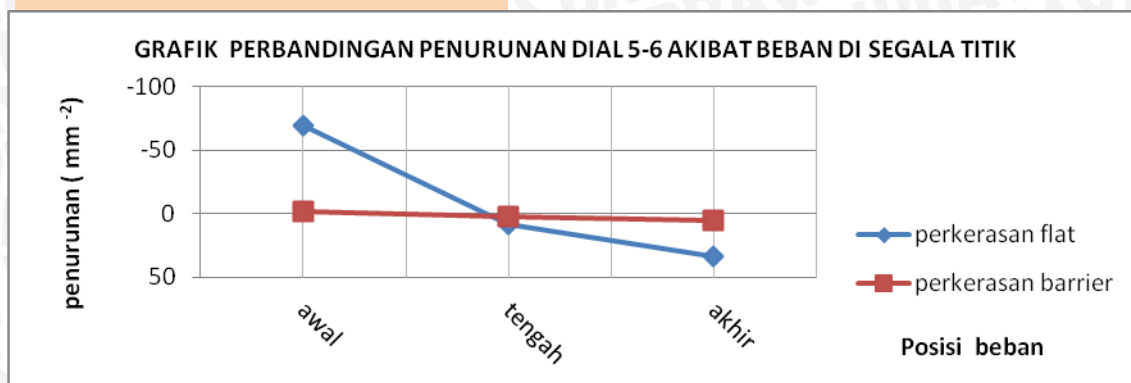


Gambar 4.10 Perbandingan penurunan tanah dial 5-6 akibat pola pembebanan (Lintasan I)



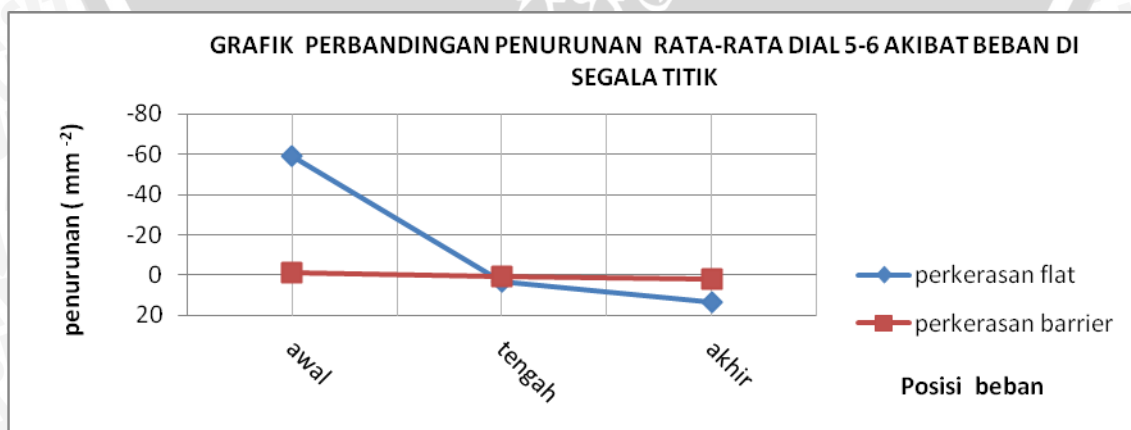
Gambar 4.11 Perbandingan penurunan tanah dial 5-6 akibat pola pembebanan (Lintasan II)

15% LINTASAN KETIGA



Gambar 4.12 Perbandingan penurunan tanah dial 5-6 akibat pola pembebanan (Lintasan III)

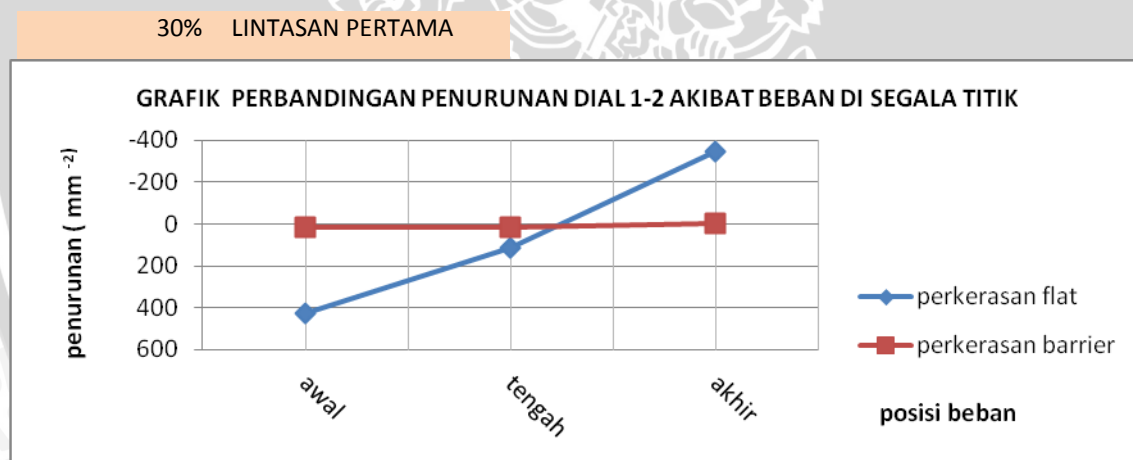
Dari grafik hubungan penurunan *subgrade* akibat berbagai posisi beban yang ditinjau dari rata-rata dial 5-6 terhadap pola pembebanan pada kadar air 15% dapat diketahui bahwa penurunan *subgrade* terbesar terjadi pada posisi beban di akhir (beban di atas dial 5-6). Pola ini berlaku pada kedua perkerasan, untuk perkerasan *flat* besarnya penurunan yang tercatat 0,34 mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar 0,055mm. Dengan catatan penurunan *subgrade* terbesar pada perkerasan *flat* terjadi pada lintasan III sedangkan pada perkerasan dengan *barrier* pada lintasan II. Nilai penurunan *subgrade* terkecil terjadi pada posisi beban di awal (beban di atas dial 1-2). Pola ini berlaku pada kedua perkerasan, untuk perkerasan *flat* besarnya penurunan yang tercatat -0,69 mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar -0,02 mm. Tanda minus (-) berarti perkerasan mengangkat ke atas dari posisi awal. Catatan nilai penurunan *subgrade* terkecil pada perkerasan *flat* terjadi pada lintasan III sedangkan pada perkerasan dengan *barrier* pada lintasan I.



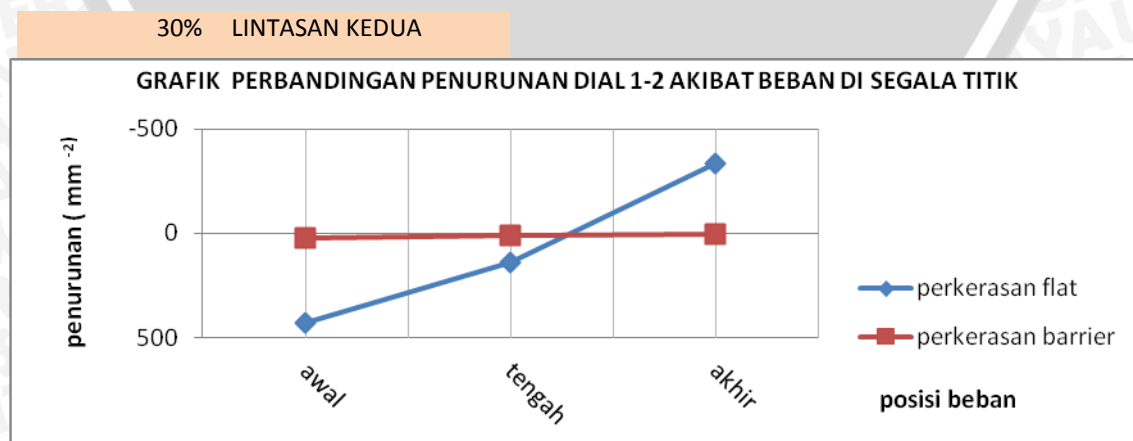
Gambar 4.13 Perbandingan penurunan tanah rata-rata dial 5-6 dengan berbagai pola pembebanan

Dari grafik hubungan penurunan total rata-rata akibat berbagai posisi beban yang ditinjau dari dial 5-6 terhadap pola pembebanan pada *subgrade* dapat diketahui bahwa penurunan *subgrade* terbesar terjadi pada posisi beban di akhir (beban di atas dial 5-6). Pola ini berlaku pada kedua perkerasa, untuk perkerasan flat besarnya penurunan yang tercatat 0,137 mm dan pada perkerasan barrier sebesar 0,017 mm. Penurunan *subgrade* terkecil terjadi pada posisi beban di awal (beban di atas dial 1-2). Pola ini berlaku pada kedua perkerasan, untuk perkerasan flat besarnya penurunan rata-rata yang tercatat -0,59 mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar -0,013 mm. Tanda minus (-) berarti perkerasan mengangkat ke atas dari posisi awal.

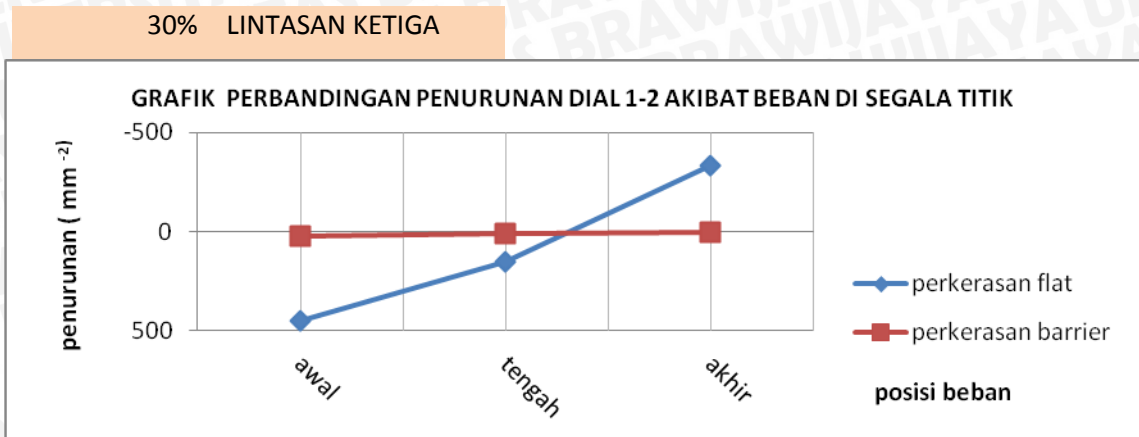
Untuk pembahasan ini, beban yang diujikan 6,125 kg, kadar air 30 % dengan melakukan tiga kali lintasan dan meninjau tiga titik posisi beban (saat beban di awal, tengah dan akhir) dari setiap lintasannya. Lendutan tanah didapatkan dari rata-rata pembacaan dial 1-2 di titik awal, tengah dan akhir. Penurunan tanah terhadap beban dapat dilihat dari grafik berikut ini:



Gambar 4.14 Perbandingan penurunan tanah dial 1-2 akibat pola pembebanan (Lintasan I)

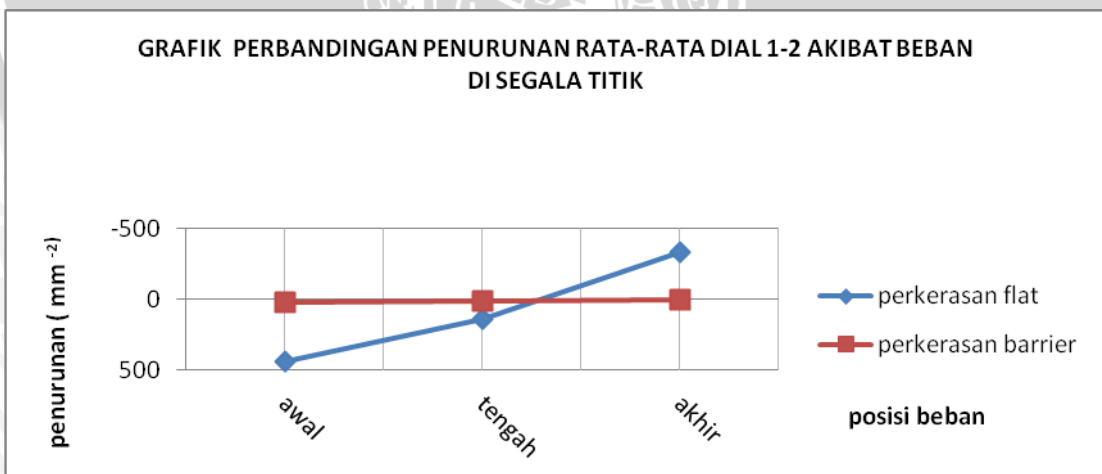


Gambar 4.15 Perbandingan penurunan tanah dial 1-2 akibat pola pembebanan (Lintasan II)



Gambar 4.16 Perbandingan penurunan tanah dial 1-2 akibat pola pembebanan (Lintasan III)

Dari grafik hubungan penurunan *subgrade* akibat berbagai posisi beban yang ditinjau dari rata-rata dial 1-2 terhadap pola pembebanan pada kadar air 30% dapat diketahui bahwa penurunan *subgrade* terbesar terjadi pada posisi beban di awal (beban di atas dial 1-2) lintasan III. Pola ini berlaku untuk kedua perkerasan, untuk perkerasan *flat* besarnya penurunan yang tercatat 4,51 mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar 0,2 mm. Penurunan *subgrade* terkecil terjadi pada posisi beban di akhir (beban di atas dial 1-2) pada lintasan I. Pola ini berlaku pada kedua perkerasan, untuk perkerasan *flat* besarnya penurunan yang tercatat -3,43 mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar 0,005 mm. Tanda minus (-) berarti perkerasan mengangkat ke atas dari posisi awal.

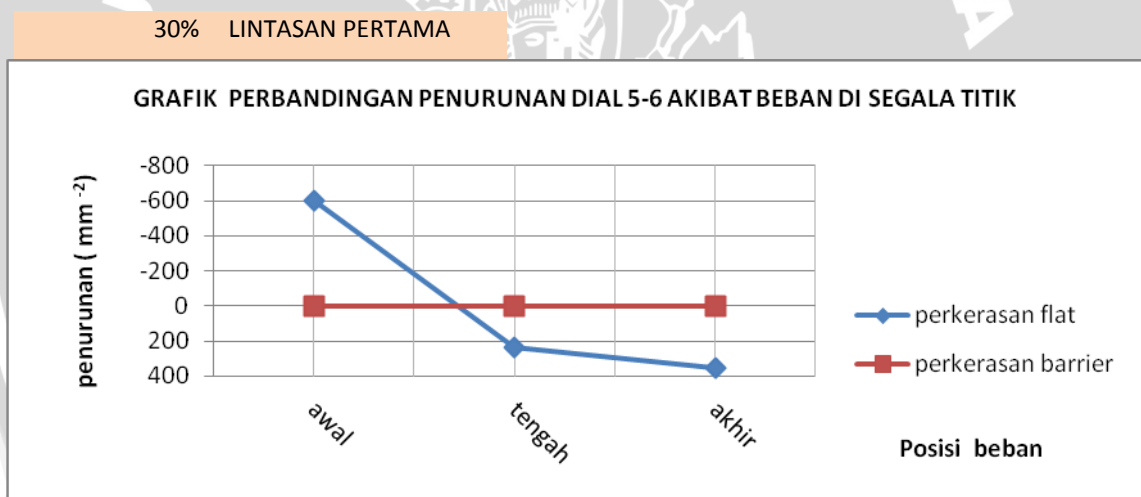


Gambar 4.17 Perbandingan penurunan tanah rata-rata dial 1-2 akibat berbagai pola pembebanan.

Dari grafik hubungan penurunan total rata-rata akibat berbagai posisi beban yang ditinjau dari dial 1-2 terhadap pola pembebanan pada *subgrade* dapat diketahui bahwa penurunan *subgrade* terbesar terjadi pada posisi beban di

awal (beban di atas dial 1-2). Pola ini berlaku pada kedua perkerasan untuk perkerasan *flat* besarnya penurunan yang tercatat 4,36 mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar 0,19 mm. Penurunan *subgrade* terkecil terjadi pada posisi beban di akhir (beban di atas dial 5-6). Pola ini berlaku pada kedua perkerasan, untuk perkerasan *flat* besarnya penurunan rata-rata yang tercatat -3,38 mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar 0,02 mm. Tanda minus (-) berarti perkerasan mengangkat ke atas dari posisi awal.

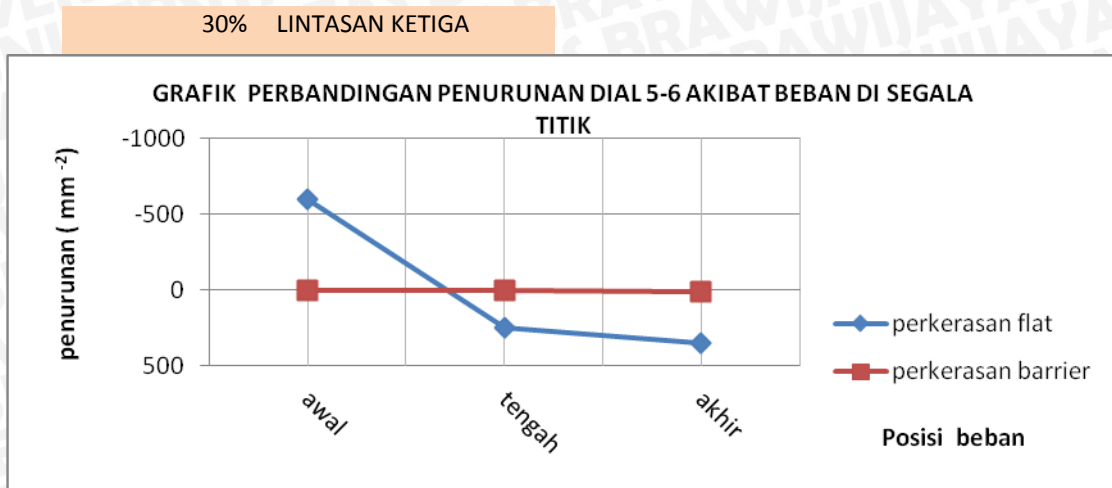
Untuk pembahasan selanjutnya bertujuan sebagai pembandingan dari rata-rata dial 1-2 karena sama-sama meninjau penurunan *subgrade* bagian ujung perkerasan, beban yang diujikan 6,125 kg, kadar air 30 % dengan melakukan tiga kali lintasan dan meninjau tiga titik posisi beban (saat beban di awal, tengah dan akhir) dari setiap lintasannya. Lendutan tanah didapatkan dari rata-rata pembacaan dial 5-6 di titik awal, tengah dan akhir. Penurunan tanah terhadap beban dapat dilihat dari grafik berikut ini:



Gambar 4.18 Perbandingan penurunan tanah dial 5-6 akibat pola pembebanan (Lintasan I)

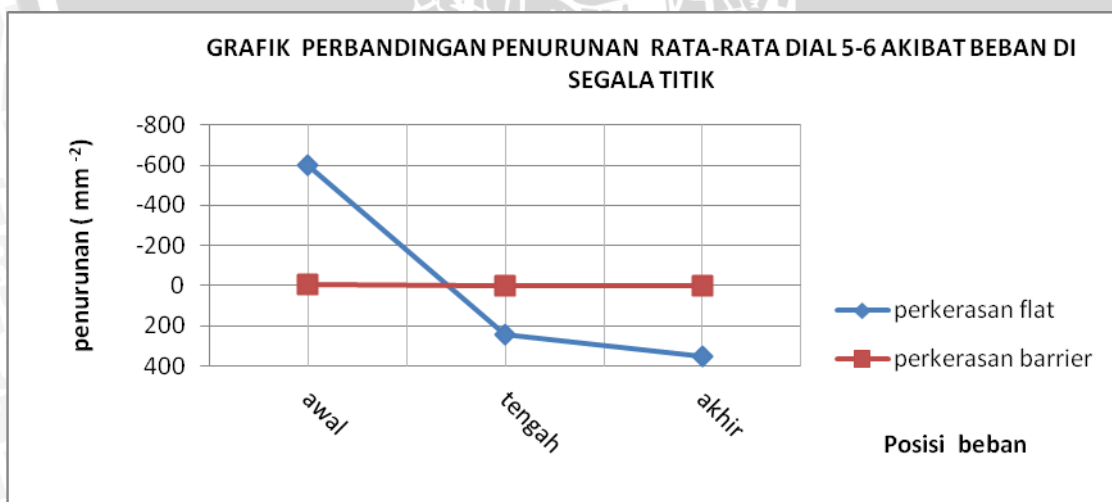


Gambar 4.19 Perbandingan penurunan tanah dial 5-6 akibat pola pembebanan (Lintasan II)



Gambar 4.20 Perbandingan penurunan tanah dial 5-6 akibat pola pembebanan (Lintasan III)

Dari grafik hubungan penurunan *subgrade* akibat berbagai posisi beban yang ditinjau dari rata-rata dial 5-6 terhadap pola pembebanan pada kadar air 30% dapat diketahui bahwa penurunan *subgrade* terbesar terjadi pada posisi beban di akhir (beban di atas dial 5-6) lintasan III. Pola ini berlaku pada kedua perkerasan, untuk perkerasan *flat* besarnya penurunan yang tercatat 3,5 mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar 0,07 mm. Nilai penurunan *subgrade* terkecil terjadi pada posisi beban di awal (beban di atas dial 1-2) lintasan II. Pola ini berlaku pada kedua perkerasan, untuk perkerasan *flat* besarnya penurunan yang tercatat -6,01 mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar -0,6 mm. Tanda minus (-) berarti perkerasan mengangkat ke atas dari posisi awal.

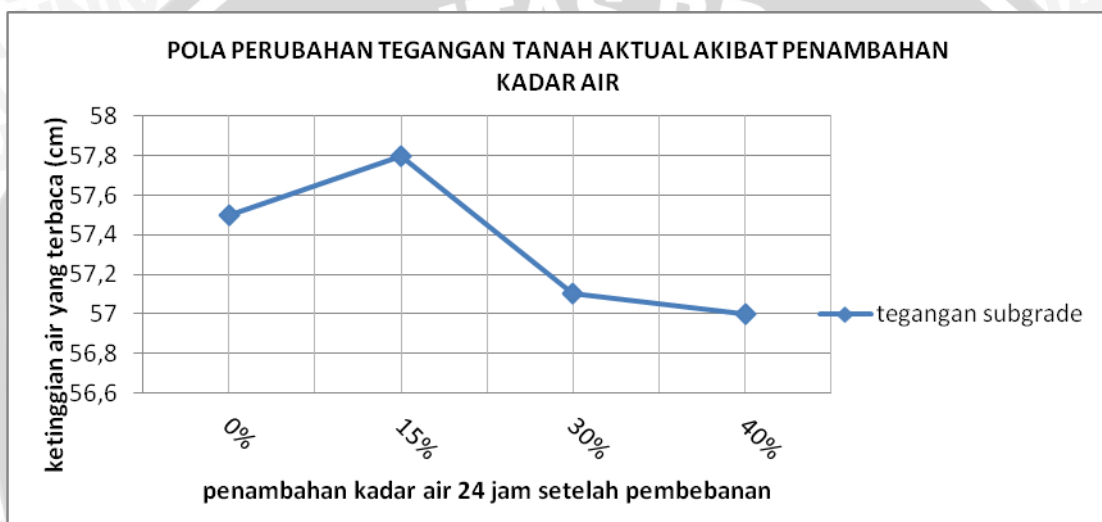


Gambar 4.21 Perbandingan penurunan tanah rata-rata dial 5-6 akibat berbagai pola pembebanan

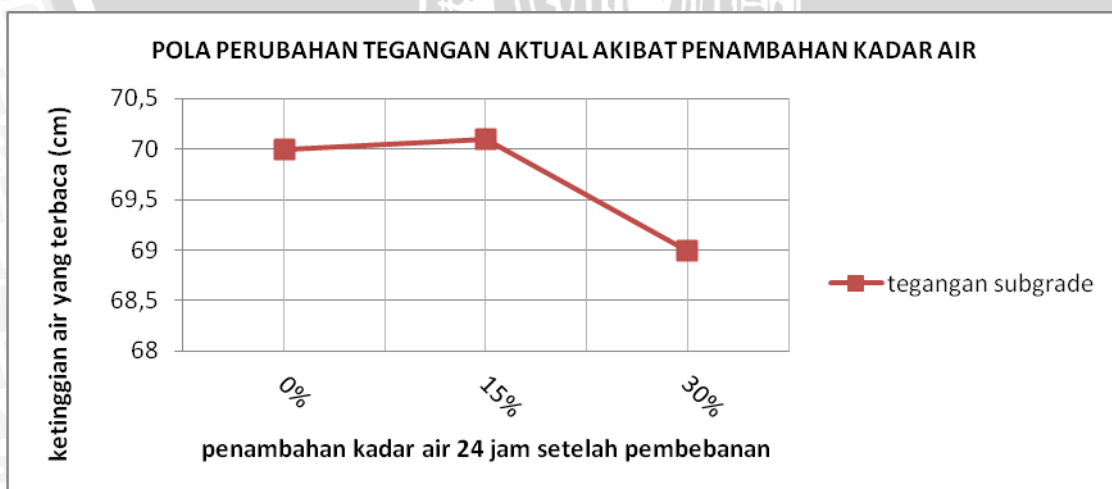
Dari grafik hubungan penurunan total rata-rata akibat berbagai posisi beban yang ditinjau dari dial 5-6 terhadap pola pembebanan pada *subgrade* dapat diketahui bahwa penurunan *subgrade* terbesar terjadi pada posisi beban di

akhir (beban di atas dial 5-6). Pola ini berlaku pada kedua perkerasa, untuk perkerasan *flat* besarnya penurunan yang tercatat 3,51 mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar 0,03 mm. Penurunan *subgrade* terkecil terjadi pada posisi beban di awal (beban di atas dial 1-2). Pola ini berlaku pada kedua perkerasan, untuk perkerasan *flat* besarnya penurunan rata-rata yang tercatat -5,99 mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar -0,03 mm. Tanda minus (-) berarti perkerasan mengangkat ke atas dari posisi awal.

4.4.3 Perbandingan tegangan pada subgrade perkerasan flat dan barrier

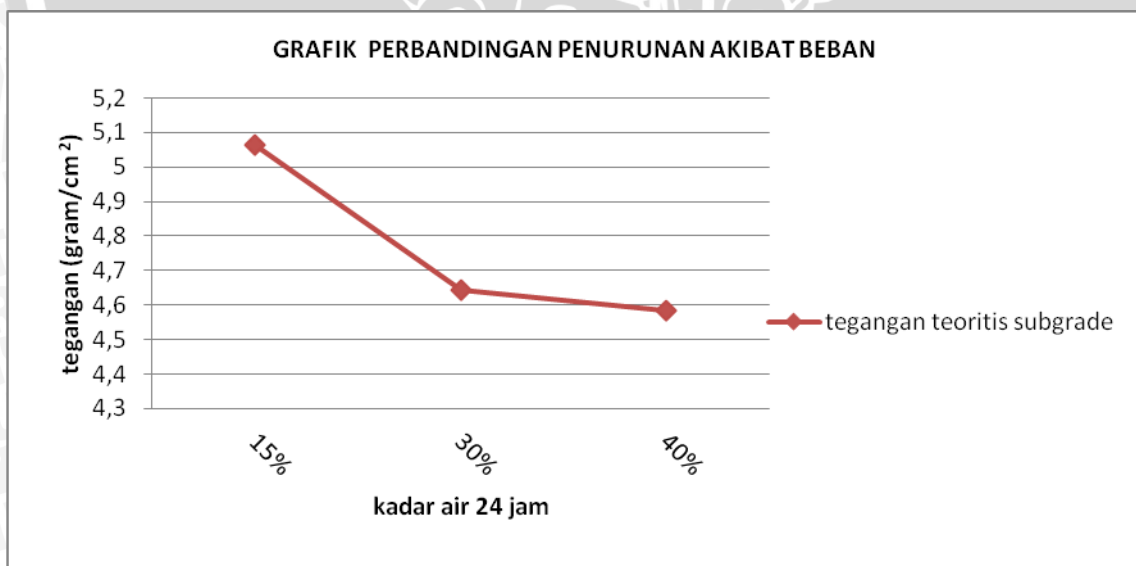


Gambar 4.22 Hubungan besar tegangan aktual (didasarkan pada ketinggian air) terhadap variasi penambahan air pada perkerasan *barrier*

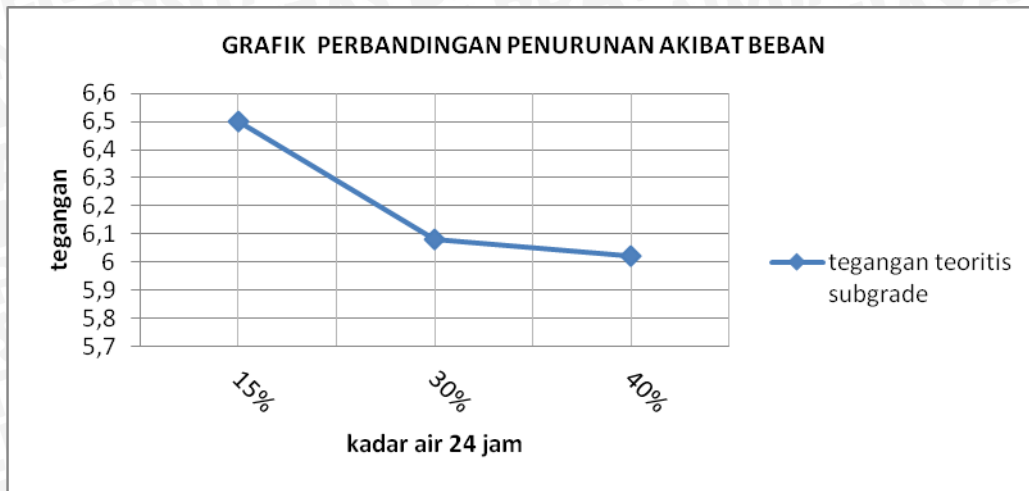


Gambar 4.23 Hubungan besar tegangan aktual (didasarkan pada ketinggian air) terhadap variasi penambahan air pada perkerasan *flat*

Dari grafik pola tegangan meningkat sampai penambahan kadar air 15% setelah itu diketahui pola bahwa semakin besar penambahan air yang diberikan setelah 15% maka semakin kecil tegangan pada *subgrade* yang terjadi. Ini berlaku pada kedua jenis perkerasan, *flat* maupun dengan *barrier*/ gelagar pengaku. Hal ini dimungkinkan karena berdasarkan gama yang ditinjau menunjukkan bahwa semakin besar kadar air yang ditambahkan maka gama tanah semakin kecil, dan dalam kondisi ini gama berbanding lurus dengan tegangan dengan catatan perhitungan tegangan ($\gamma' \times h$) tidak meninjau penambahan ketinggian tanah (Δh) akibat swelling. Tetapi kondisi idealnya meskipun dengan penambahan kadar air gama tanah semakin kecil, ketinggian h semakin meningkat akibat swelling. Sehingga tegangan aktual yang terjadi akibat penambahan kadar air tidak jauh berbeda dan cenderung meningkat. Diduga alat mengalami kebocoran. Selain itu, tinjauan tegangan saat pembebanan dilakukan juga perlu dilakukan untuk mendapatkan tegangan aktual yang sebenarnya akibat pembebanan bukan hanya tegangan yang diukur akibat penambahan kadar air saja (kenaikan atau penurunan elevasi air dalam pipa tidak berkaitan langsung akibat penambahan atau pengurangan beban)



Gambar 4.24 Hubungan besar tegangan tanah (didasarkan pada prinsip teori Boussinesq) terhadap variasi penambahan air pada perkerasan *flat*



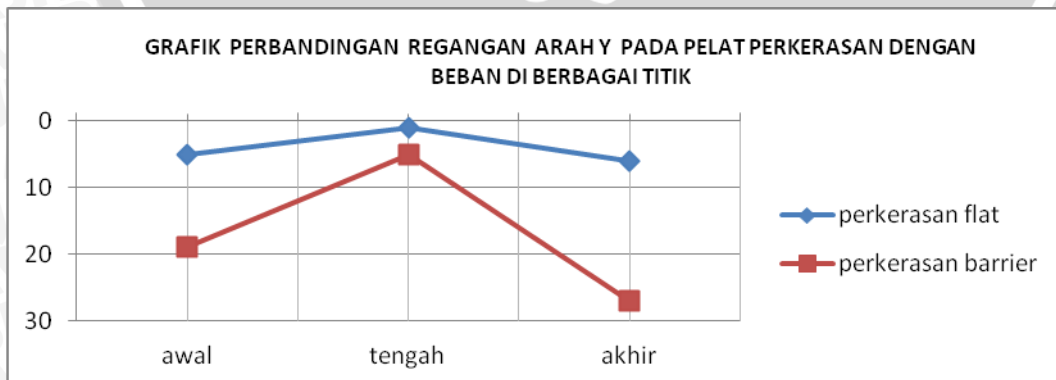
Gambar 4.25 Hubungan besar tegangan tanah (didasarkan pada prinsip teori Boussinesq) terhadap variasi penambahan air pada perkerasan *barrier*

Dari grafik perbandingan yang hanya meninjau penambahan kadar air 15% sampai 40% dengan perhitungan teori bousinessq pola tegangan bertren sama, semakin besar penambahan air yang diberikan setelah 15% maka semakin kecil tegangan pada *subgrade* yang terjadi. Ini berlaku pada kedua jenis perkerasan, *flat* maupun dengan *barrier*/ gelagar pengaku.

4.4.4 Perbandingan regangan pada pelat perkerasan *flat* dan *barrier*

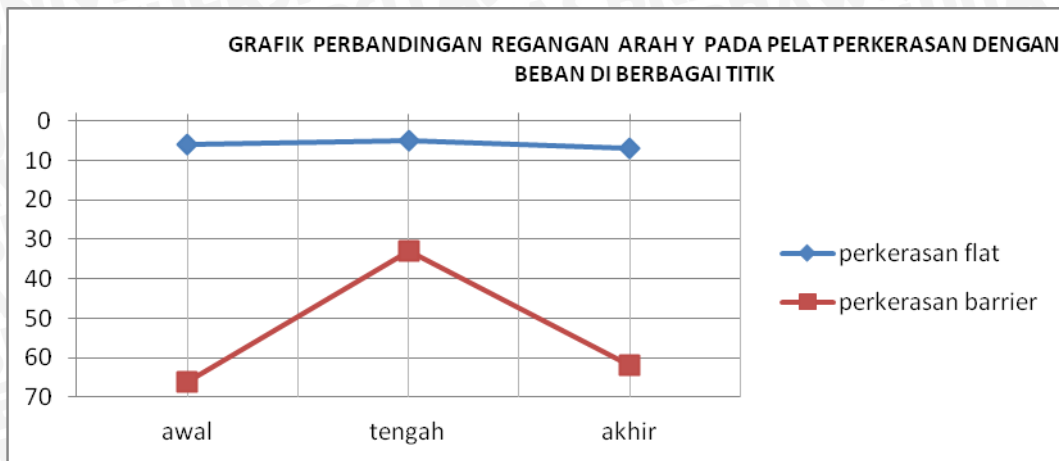
Untuk pembahasan selanjutnya bertujuan membandingkan nilai regangan yang terbaca, sebatas regangan struktur perkerasan yang diakibatkan oleh perilaku subgrade tanah ekspansif pada kadar air 30% dengan beban yang diujikan 6,125 kg. Pembacaan regangan dikalikan 10^{-6} mm. Hasil dari pembacaan regangan setelah digrafikan adalah sebagai berikut :

LINTASAN PERTAMA



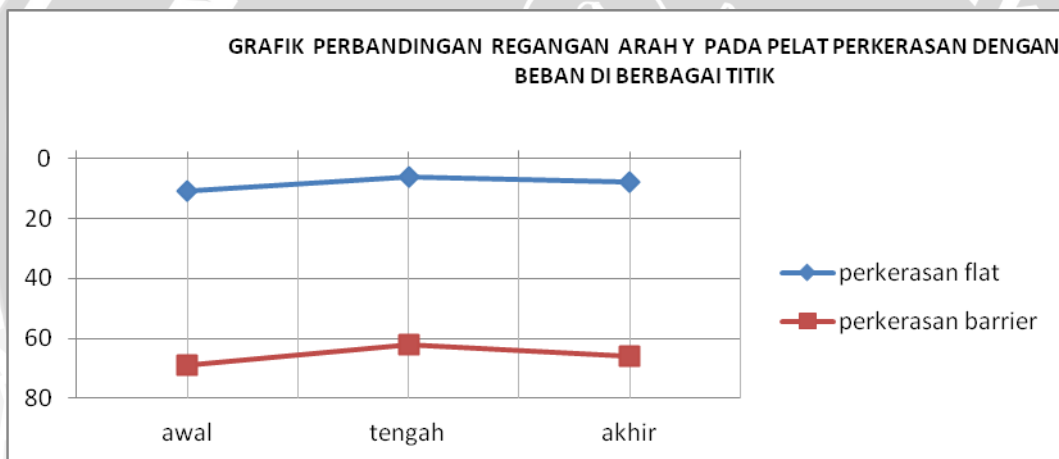
Gambar 4.26 Perbandingan regangan pelat arah y akibat berbagai pola pembebanan (lintasan I)

LINTASAN KEDUA



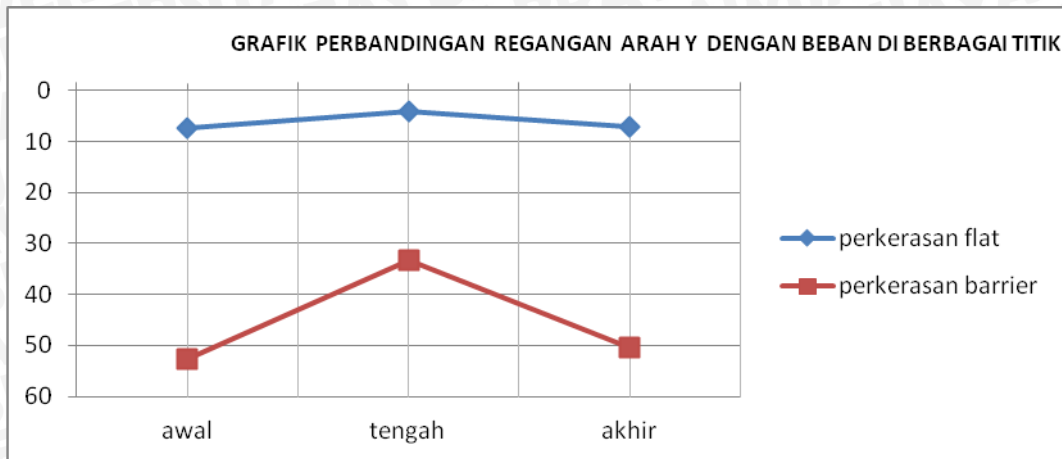
Gambar 4.27 Perbandingan regangan pelat arah y akibat berbagai pola pembebanan (lintasan II)

LINTASAN KETIGA



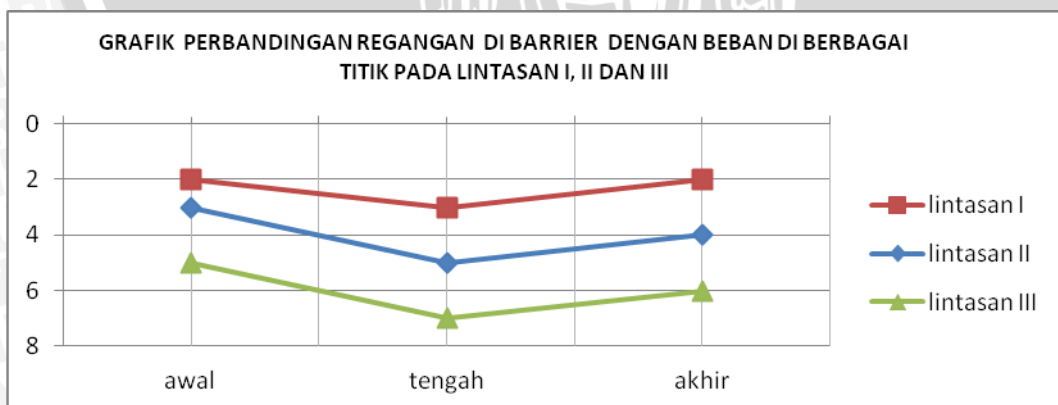
Gambar 4.28 Perbandingan regangan pelat arah y akibat berbagai pola pembebanan (lintasan III)

Dari grafik hubungan regangan arah y pada pelat akibat berbagai posisi beban yang ditinjau dari pembacaan *strain meter* kadar air 30% dapat diketahui bahwa regangan terbesar terjadi pada posisi beban di awal lintasan III. Pola ini berlaku pada kedua perkerasan, untuk perkerasan *flat* besarnya regangan yang tercatat 11×10^{-6} mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar 69×10^{-6} mm. Nilai regangan terkecil terjadi pada posisi beban di tengah lintasan I. Pola ini berlaku pada kedua perkerasan, untuk perkerasan *flat* besarnya regangan yang tercatat 1×10^{-6} mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar 5×10^{-6} mm.



Gambar 4.29 Perbandingan regangan rata-rata pelat arah y akibat berbagai pola pembebanan.

Dari grafik hubungan regangan pelat arah y total rata-rata akibat berbagai posisi beban dapat diketahui bahwa regangan arah y terbesar terjadi pada posisi beban di ujung. Pola ini berlaku pada kedua perkerasan, untuk perkerasan *flat* besarnya regangan arah y yang tercatat $7,33 \times 10^{-6}$ mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar $52,67 \times 10^{-6}$ mm. Dengan catatan untuk perkerasan flat pada posisi beban di awal dan untuk perkerasan barrier posisi beban di akhir. Regangan arah y terkecil terjadi pada posisi beban di tengah. Pola ini berlaku pada kedua perkerasan, untuk perkerasan flat besarnya regangan arah y rata-rata yang tercatat 4×10^{-6} mm dan pada perkerasan *barrier* sebesar $33,33 \times 10^{-6}$ mm. Dengan catatan hasil regangan ini hanya ditinjau perparsial artinya pada lokasi pemasangan *strain gauge (FEM)* saja dan tidak meninjau regangan pelat secara keseluruhan.



Gambar 4.30 Perbandingan regangan di *barrier* akibat berbagai pola pembebanan dan lintasan.

Dari grafik hubungan regangan pada *barrier* pelat akibat berbagai posisi beban yang ditinjau dari pembacaan *strain meter* kadar air 30% dapat diketahui

bahwa regangan terbesar terjadi pada posisi beban di tengah. Pola ini berlaku pada setiap lintasan, untuk regangan terbesar yang terjadi tercatat pada lintasan III sebesar 7×10^{-6} mm. Nilai regangan terkecil terjadi pada posisi beban di titik awal lintasan. Pola ini berlaku pada setiap lintasan, untuk regangan terkecil yang terjadi tercatat pada lintasan I 2×10^{-6} mm.



BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan perbandingan hasil pengukuran lendutan *subgrade* diketahui memiliki pola yang sama tetapi rata-rata lendutan yang terjadi di bawah perkerasan kaku bergelagar pengaku lebih kecil daripada lendutan *subgrade* di bawah perkerasan *flat*, berlaku untuk kedua variasi penambahan kadar air 15 % dan 30%. Ini sesuai dengan identifikasi awal *subgrade* tanah *ekspansif* yang terletak di bawah perkerasan kaku bergelagar pengaku (*barrier*) memiliki lendutan lebih kecil dibandingkan dengan perkerasan *flat* konvensional.
2. Perkerasan kaku bergelagar pengaku lebih stabil daripada perkerasan kaku *flat*. Grafik penurunan *subgrade* di bawah perkerasan kaku dengan gelagar pengaku akibat berbagai pola pembebanan cenderung datar. Grafik penurunan *subgrade* di bawah perkerasan kaku *flat* tidak stabil, naik turun pada saat posisi beban berpindah-pindah. Tercatat ujung perkerasan *flat* sampai mengangkat ke atas dari posisi awal pada posisi beban di ujung yang berlawanan. Hal ini sesuai dengan hipotesa awal bahwa sifat *swelling* pada *subgrade* tanah *ekspansif* lebih dapat diatasi dengan perkerasan kaku bergelagar pengaku dibanding dengan perkerasan kaku *flat*.
3. Tegangan *subgrade* yang terjadi hanya akibat penambahan kadar air dan bukan akibat pembebanan pada perkerasan. Tegangan meningkat pada penambahan kadar air 15%. Penambahan air yang diberikan setelah 15% menyebabkan terjadinya tegangan pada *subgrade* semakin kecil. Ini berlaku pada kedua jenis perkerasan, *flat* maupun dengan *barrier*. Hasil perhitungan teoritis menunjukkan bahwa tegangan *subgrade* di bawah perkerasan dengan *barrier* lebih besar dibanding perkerasan *flat*. Hal ini sesuai dengan hipotesa awal, tegangan pada *subgrade* tanah *ekspansif* di bawah perkerasan kaku *berbarrier* lebih besar dibanding perkerasan kaku *flat*.
4. Hasil pengukuran regangan didapatkan bahwa rata-rata peregangan γ pada perkerasan kaku bergelagar pengaku lebih besar dibandingkan regangan pada perkerasan *flat*. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa bertambahnya jumlah lintasan menimbulkan regangan yang semakin besar.

5. Penambahan gelagar pengaku pada pelat perkerasan jalan berpengaruh positif dan bisa menjadi salah satu alternatif solusi perkerasan jalan mengatasi permasalahan perilaku *subgrade* tanah *ekspansif*.

5.2 Saran

- 1 Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang pengaruh berbagai variasi *barrier* pada perkerasan kaku terhadap perilaku subgrade tanah *ekspansif*.
- 2 Dial *gauge* yang ada perlu diadakan pergantian yang lebih presisi, bila perlu digunakan yang elektrik.
- 3 Alat pengukur tegangan tanah perlu dikalibrasi dan disempurnakan.
- 4 Kondisi idealnya meskipun dengan penambahan kadar air gema tanah semakin kecil, ketinggian h (tebal lapisan tanah) bertambah akibat *swelling*. Sehingga tegangan total tidak jauh berbeda sebelum dan sesudah penambahan kadar air. Pada penelitian ini diduga terjadi kebocoran pada membrane atau selang air. Dengan alat yang lebih baik perlu diukur tegangan total saat pembebanan dilakukan (pembacaan ketinggian air saat ini belum bisa dilakukan secara konsisten pada kondisi beban nol dan pada saat beban bekerja sehingga kenaikan atau penurunan elevasi air dalam pipa tidak berkaitan langsung akibat penambahan atau pengurangan beban).
- 5 Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi campuran tanah yang lebih variatif dan ditambah dengan bahan *additif* lain seperti geoteks, limbah keramik, *fly ash*, kapur, semen, dan lain-lainnya.

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.
- Craig.2004. *Craig's Soil Mechanics. Seventh Edition*. New York : Spon Press
- CRC Press LLC. 1999. *Introduction to Physical Modeling in Structural Engineering*. p.9
- CRC Press LLC. 1999. *The Theory of Structural Models*. p.16-32
- 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.
- Hardiyatmo. 1994. *Mekanika Tanah 2*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama
- Peraturan Pemerintah no. 5 tahun 1964, *Tentang Lalu Lintas Nasional (PPLLN)*.
- Ratna, D. 2012. *Pengaruh Variasi Kadar Air Terhadap Pengembangan (Swelling) dan Daya Dukung Tanah Ekspansif di Kecamatan Paron Kabupaten Ngawi*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Suhendro, B & Christady H. 2010. *Sistem Perkerasan Cakar Ayam Modifikasi (CAM) sebagai Alternatif Konstruksi Jalan di Atas Tanah Lunak, Ekspansif dan Timbunan*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Surat. 2011. *Analisis Struktur Perkerasan Jalan di Atas Tanah Ekspansif (Studi Kasus: Ruas Jalan Purwodadi-Blora)*. Tesis tidak dipublikasikan. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.

LAMPIRAN 1

PERENCANAAN BERAT TANAH DALAM BOX





PENENTUAN BERAT VOLUME TANAH PADA KEADAAN KERING OVEN

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

PERHITUNGAN BERAT TANAH YANG AKAN DIMASUKKAN DALAM BOX

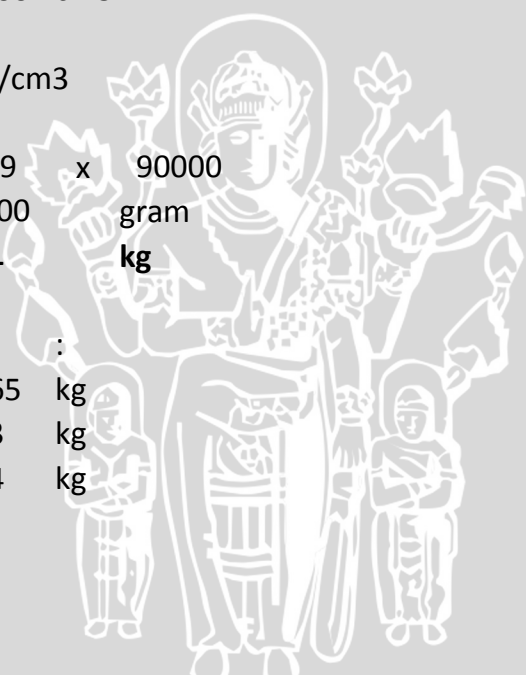
ukuran box

panjang : 90 cm
 lebar : 50 cm
 tinggi : 20 cm
volume : 90000 cm³

γ : **1.19** gram/cm³

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 2
PERENCANAAN BEBAN



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, σ_c	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ	S_σ
	Concrete strain, ϵ_c	—	1	1	S_ϵ	S_ϵ
	Modulus of concrete, E_c	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ/S_ϵ	S_σ/S_ϵ
	Poisson's ratio, ν_c	—	1	1	1	1
	Specific weight, γ_c	FL^{-3}	S_σ/S_l	$1/S_l$	S_σ/S_l	S_σ/S_l
	Reinforcing stress, σ_r	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ	S_σ
	Reinforcing strain, ϵ_r	—	1	1	S_ϵ	S_ϵ
	Modulus of reinforcing, E_r	FL^{-2}	S_σ	1	1	1
	Bond stress, u	FL^{-2}	S_σ	1	S_σ	^a
Geometry	Linear dimension, l	L	S_l	S_l	S_l	S_l
	Displacement, δ	L	S_l	S_l	$S_\epsilon S_l$	$S_\epsilon S_l$
	Angular displacement, β	—	1	1	S_ϵ	S_ϵ
	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_σ	1	S_σ	S_σ
	Moment, M	FL	$S_\sigma S_l^3$	S_l^3	$S_\sigma S_l^3$	$S_\sigma S_l^3$

^a 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 (Q_m) dan beban pada prototype ditulis sebagai (Q_p)

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 :

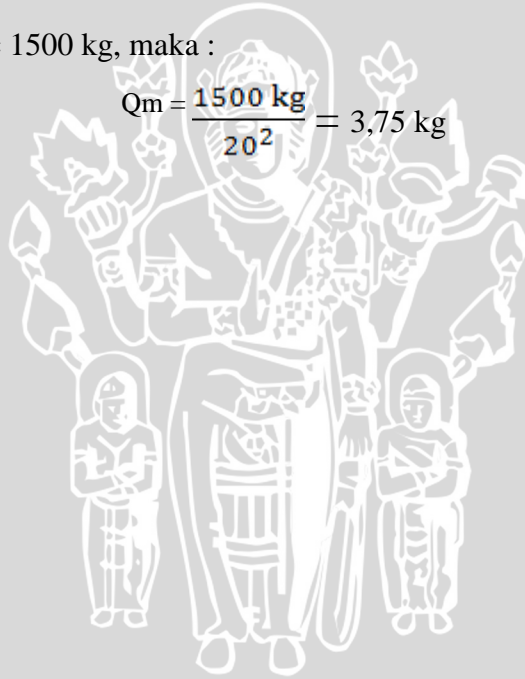
$$Q_m = \frac{2750 \text{ kg}}{20^2} = 6,125 \text{ kg}$$

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 :

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

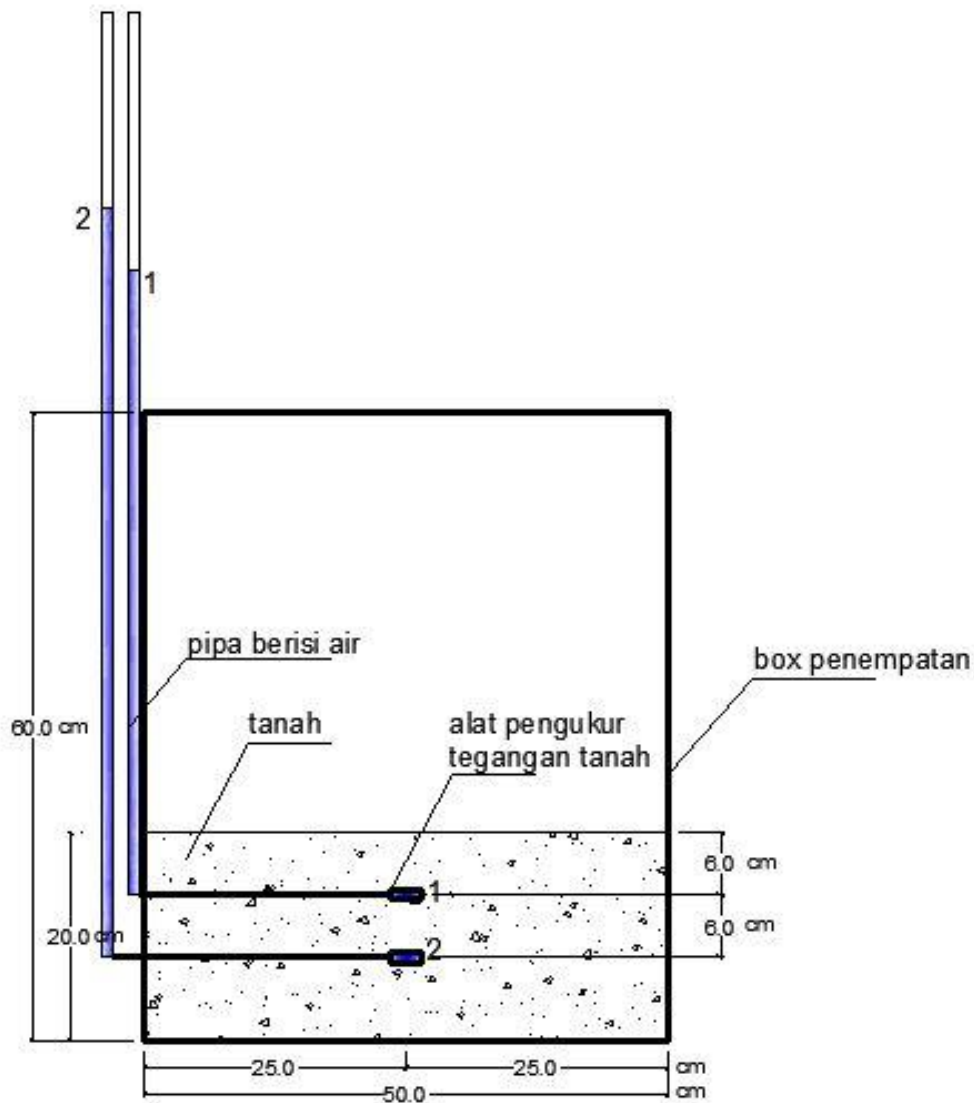


LAMPIRAN 3

PERENCANAAN ALAT PENGUKUR TEGANGAN



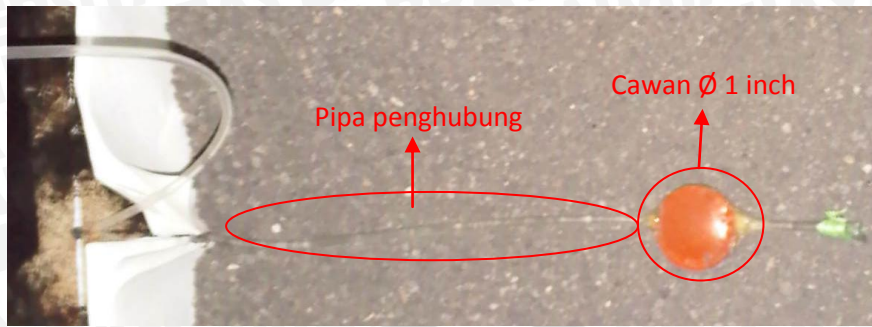
PERENCANAAN ALAT PENGUKUR TEGANGAN TANAH



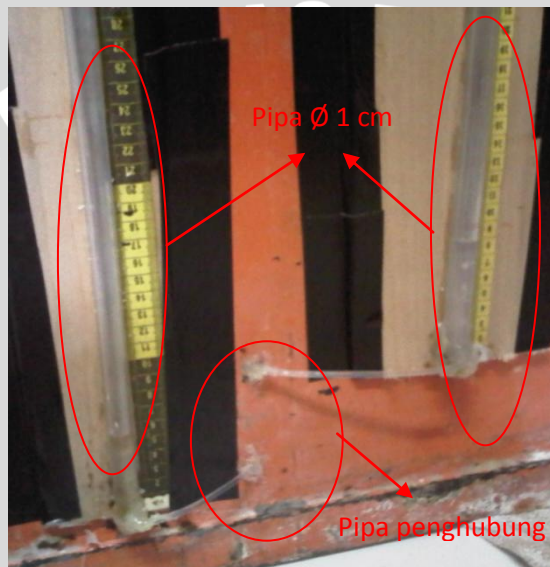
Gambar 1 Perencanaan alat pengukur tegangan

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.



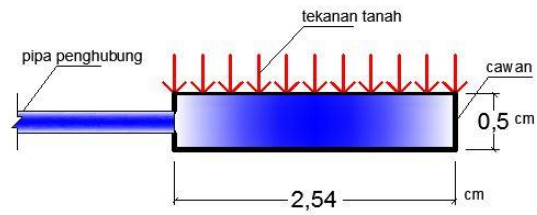
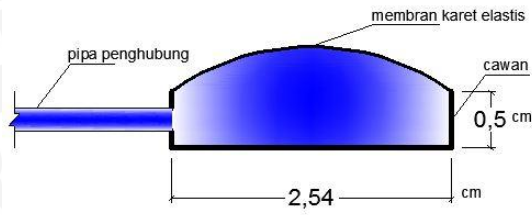
Gambar 2 cawan diameter 1 inch yang diatasnya tertutup membran karet dan pipa penghubung.



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 \varnothing 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 :

γ_{tanah} : 1,6 gram/cm³ (asumsi)

γ_{air} : 1 gram/cm³

\varnothing cawan : 2,54 cm

h cawan : 0,5 cm

\varnothing pipa pengukur air : 1 cm

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

alat 2 = 12 cm (dari permukaan tanah)

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

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

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

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

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

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

perhitungan ketinggian air yang diperlukan untuk alat 1

kedalaman alat (h) = 6 cm

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

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

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

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

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

$$\text{Volume air pada pipa (v)} = A_{\text{pipa}} \times h_{\text{pipa}}$$

$$h_{\text{pipa}} = \frac{V}{A} = \frac{48,6432}{0,785398} = 61,93 \text{ cm}$$

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

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

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

$$V = \frac{97,2864}{1} = 97,2864 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume air pada pipa (v)} = A_{\text{pipa}} \times h_{\text{pipa}}$$

$$h_{\text{pipa}} = \frac{V}{A} = \frac{97,2864}{0,785398} = 123,87 \text{ cm}$$

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

LAMPIRAN 4

DOKUMENTASI PENELITIAN





Kerusakan disepanjang jalan Kec. Paron Kab. Ngawi

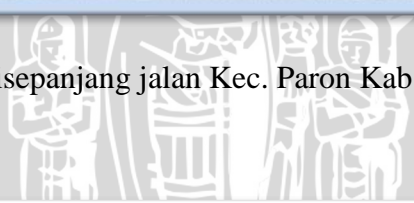


Kerusakan disepanjang jalan Kec. Paron Kab. Ngawi



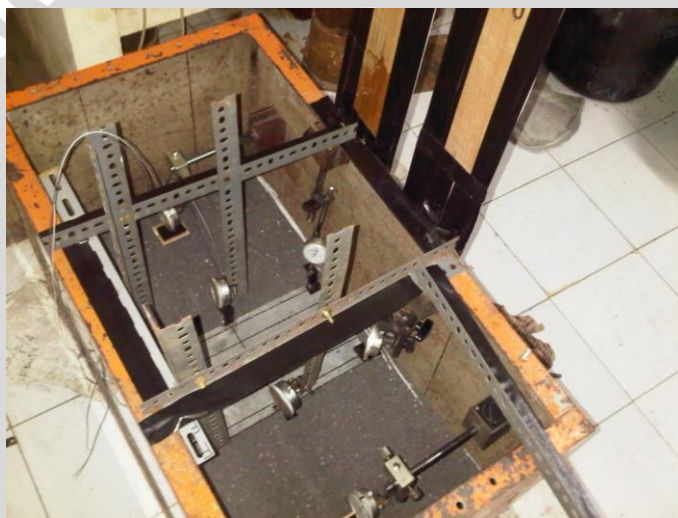
Pengambilan sampel tanah di daerah Paron Kab. Ngawi

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





Pengambilan sampel tanah di daerah Paron Kab. Ngawi



Pengondisian perkerasan dan alat yang digunakan



Tampak depan box kaca



Pemasangan *strain gauges* pada perkerasan



Alat pembaca regangan (*strain meter*)



Perletakan alat pengukur tegangan dalam tanah



Tampak belakang box dan pipa pengukur ketinggian air



Uji pembebanan pada perkerasan

