

## PENGARUH BEBAN KENDARAAN PADA PERKERASAN LENTUR DENGAN SUBGRADE TANAH EKSPANSIF

**Harimurti**  
Jurusan Teknik Sipil  
Universitas Brawijaya  
Jln. Veteran ,  
Malang, 65141  
Telp: (0341) 577200  
[harimurti\\_mektan@ub.ac.id](mailto:harimurti_mektan@ub.ac.id);

**Harnen Sulistio**  
Jurusan Teknik Sipil  
Universitas Brawijaya  
Jln. Veteran ,  
Malang, 65141  
Telp: (0341) 577200  
[harnen@ub.ac.id](mailto:harnen@ub.ac.id)

**Ludfi Djakfar**  
Jurusan Teknik Sipil  
Universitas Brawijaya  
Jln. Veteran ,  
Malang, 65141  
Telp: (0341) 577200  
[ldjakfar@ub.ac.id](mailto:ldjakfar@ub.ac.id)

**Achmad Wicaksono**  
Jurusan Teknik Sipil  
Universitas Brawijaya  
Jln. Veteran ,  
Malang, 65141  
Telp: (0341) 577200  
wicaksono68@ub.ac.id

### ABSTRACT

*Roads often damage because subgrade has expansiveness. Lack of information about behavior of expansive soil interaction and pavement structure make the improvement may not provide solution.*

*Research purposes to determine stress strain behavior and flexible pavement interaction with expansive soil at a time of load. Using experimental method to make modeling response of pavement structure on expansive soil to determine the behavior of stress, strain, and deflection when the soil expands. Scale model 1:20, water content from 5% to 18.3%, load from 100 to 700 tracks, velocity of 4.3 cm/sec.*

*Behavioral stress test results on fixed water content tends to decrease, adding water content tends to increase, deflection on fixed water content tends to decrease, adding water content tends to increase. Asphalt strain showed an increase. Further research suggestions with full scale, so it gets a real response to actual field and load.*

**Keywords:** *pavement, expansive, water content, load*

### ABSTRAK

*Ruas jalan sering mengalami kerusakan cukup parah disebabkan tanah dasar mempunyai sifat ekspansif. Kurangnya informasi perilaku interaksi tanah ekspansif dan struktur perkerasan, maka perbaikan yang dilakukan belum memberikan solusi.*

*Tujuan penelitian untuk mengetahui perilaku tegangan regangan tanah ekspansif serta mengetahui interaksi perkerasan lentur dengan tanah ekspansif ketika ada beban. Menggunakan metode eksperimen dengan membuat pemodelan respon struktur perkerasan pada tanah ekspansif untuk mengetahui perilaku tegangan, regangan dan lendutan ketika tanah mengembang. Skala model 1:20, kadar air mulai 5% hingga 18,3%, beban mulai 100 hingga 700 lintasan, kecepatan 4,3 cm/dt.*

*Hasil pengujian perilaku tegangan pada kadar air tetap cenderung menurun pada kadar air meningkat cenderung meningkat. Lendutan pada kadar air tetap cenderung menurun pada kadar air meningkat cenderung meningkat. Regangan aspal menunjukkan peningkatan. Saran penelitian selanjutnya dengan skala penuh, sehingga didapatkan respon real dengan kondisi lapangan dan beban sesungguhnya.*

**Kata Kunci :** *Perkerasan, Ekspansif, Kadar air, Beban*

## PENDAHULUAN

Sifat tanah ekspansif yang menyebabkan kembang susut tanah akan menyebabkan kerusakan terhadap kinerja dan umur layan infrastruktur. Kembang susutnya tanah akibat

perubahan volume mengakibatkan penurunan tidak seragam dan rangkai, daya dukung tanah menjadi rendah (Nelson dan Miller,1992). Banyak kasus kerusakan perkerasan jalan yang melalui daerah yang memiliki sifat-sifat tanah ekspansif seperti di propinsi Jawa Tengah (ruas jalan Semarang-purwodadi, demak-godong, demak- kudus, wiro-sari-cepu, jogja-wates) untuk Jawa Timur (Ngawi-caruban, Surabaya-gresik, gresik-lamongan) Jawa Barat (Jakarta-cikmpk).

Berdasarkan perbaikan yang pernah dilakukan dan kerusakan terjadi kembali, maka dapat disimpulkan masih terjadinya penanganan yang tidak tepat sasaran untuk perbaikan jalan tersebut hal ini kemungkinan disebabkan oleh masih kurangnya informasi terkait dengan perilaku interaksi antara tanah ekspansif dan struktur perkerasan, sehingga perbaikan yang telah dilakukan kemungkinan belum memberikan solusi terhadap permasalahan yang ada. Mempertimbangkan fenomena di atas, maka menjadi sangat penting untuk meneliti lebih lanjut dalam kaitan interaksi antara tanah ekspansif dengan perkerasan.

Untuk melanjutkan peneliti terdahulu maka dilakukan penelitian tentang respon perkerasan lentur pada tanah ekspansif dengan kombinasi beban berjalan dan pengembangan tanah ekspansif akibat perubahan kadar air pada perkerasan baru yang dikerjakan pada musim kering dan digunakan ketika musim hujan.

## **KAJIAN PUSTAKA**

Ciri-ciri kerusakan jalan di atas tanah ekspansif umumnya berdasarkan perubahan volume tanah akibat perubahan kadar air (Thammanoon, 2008 dan Sawang-suriya, dkk. 2008) antara lain adalah retakan, pengangkatan tanah, penurunan tanah dan long-soran.

Tujuan dari model reaksi perkerasan adalah untuk menentukan reaksi struktur dari sistem perkerasan akibat beban lalu-lintas dan pengaruh lingkungan (NCHRP,2004). Pengaruh lingkungan bisa langsung misalnya regangan akibat kembang-susut atau tidak langsung melalui pengaruh sifat-sifat material misalnya perubahan kekakuan akibat temperatur atau pengaruh kadar air.

Ketika konstruksi berada di atas *subgrade*/ tanah dasar lempung reaktif, maka akan mengalami kerusakan ketika tanah dasar menjadi basah dan mengembang akibat infiltrasi dari air hujan atau menjadi kering dan menyusut akibat evaporasi kadar air yang ada dari tepi perkerasan.

Perilaku mekanis dari tanah dasar ekspansif selama pembasahan dan mengembang sama seperti pengeringan dan menyusut yang diterangkan dengan model konseptual perubahan volume dan berkaitan dengan tegangan yang membesar. Kemudian model teoritis ini diaplikasikan dalam analisa numerik dimana situasi yang ditunjukkan dianalisa untuk mempelajari perilaku respon perkerasan jalan yang mengalami perubahan volume tanah dasarnya/ *subgrade*. Perbedaan parameter seperti kembang susut, tahanan tepi dari perkerasan dan *subgrade* memainkan peranan penting dalam proses kembang susut *subgrade* dan konsekuensi respon perkerasan

Sapkota, dkk (1997) melakukan penelitian respon perkerasan lentur pada tanah ekspansif dengan mengasumsikan batas aliran hanya dipertimbangkan yang ke atas saja dan

regangan sepanjang jalan dianggap nol (*plane strain*). Untuk tanah dasar (*subgrade*) dan tanah *subbase* diasumsikan sebagai linear elasto-plastis.

## **TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui perilaku tegangan dan regangan tanah ekspansif di bawah perkerasan lentur.
- b. Mengetahui perilaku interaksi perkerasan lentur dan tanah ekspansif pada saat ada beban kendaraan.

## **METODE PENELITIAN**

Tahapan penelitian ini secara ringkas dijelaskan sebagai berikut:

### a. Persiapan Material

Material (agregat halus dan kasar) yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari daerah Mojokerto, Jawa Timur. Hal ini dengan pertimbangan bahwa material dari kawasan Mojokerto merupakan agregat yang paling banyak digunakan untuk pekerjaan jalan baik di Jawa Timur maupun kawasan lainnya. Sedangkan tanah ekspansif yang digunakan diambil dari Kabupaten Ngawi.

Semua material perkerasan kemudian dilakukan pengujian sesuai dengan standard Bina Marga dan SNI untuk pengujian tanahnya.

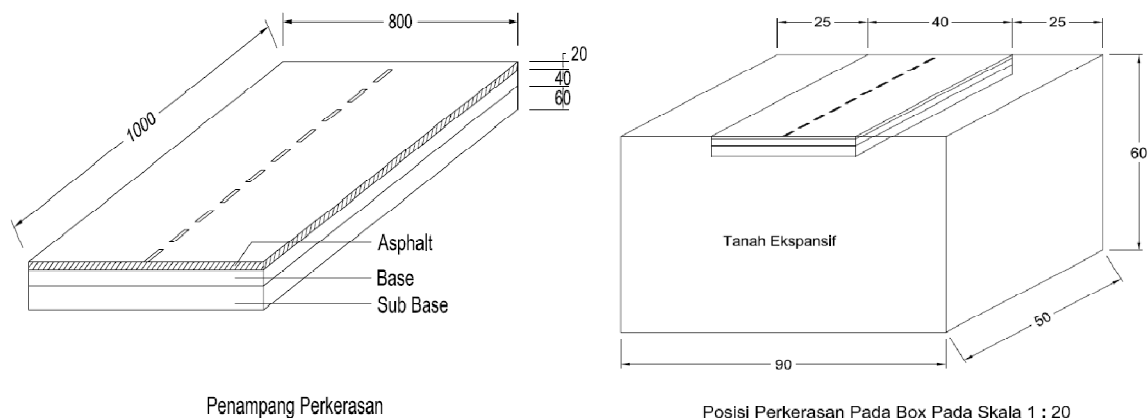
### b. Pemodelan Alat Uji

Respon perkerasan lentur akan didapat dengan memberikan beban kendaraan pada permukaan jalan dengan beban standar 8.16 ton serta bidang kontak roda 50 cm. Lebar perkerasan di tetapkan 800 cm untuk 2 jalur dengan tebal aspal ditetapkan 20 cm, base 40 cm dan subbase 40 cm

Berhubung dalam penelitian ini dalam mendapatkan data respon perkerasan lentur tidak dilakukan dengan kondisi sesungguhnya, maka dari itu dibuat pemodelan alat uji di laboratorium dengan menggunakan skala 1:20 (Haris & Subnis,1999) terutama dilakukan pada beban, tapak roda dan dimensi perkerasan. Untuk model perkerasan lenturnya menggunakan skala geometrik struktur dengan tipe *beam/slab structures*. Skala model elastis statisnya dapat dilihat pada Tabel 1. Dimensi perkerasan lentur pada skala 1:1 dan skala 1:20 ditampilkan pada Gambar 1.

### Pengembangan Alat Uji

Alat uji yang dikembangkan ada dua bagian yaitu bagian pertama merupakan alat pembebanan berupa beban berjalan yang memodelkan beban roda kendaraan dan bagian kedua merupakan alat sensor yang akan menampilkan besarnya tegangan dan lendutan yang terjadi pada bagian atas tanah subgrade serta regangan pada bagian bawah lapisan aspal. Alat uji yang dikembangkan merupakan pemodelan untuk meniru beban untuk beban berjalan dari kendaraan dengan skala model 1: 20 seperti pada Gambar 2



**Gambar 1.** Perkerasan Lentur Pada Skala 1:1 dan skala 1:20

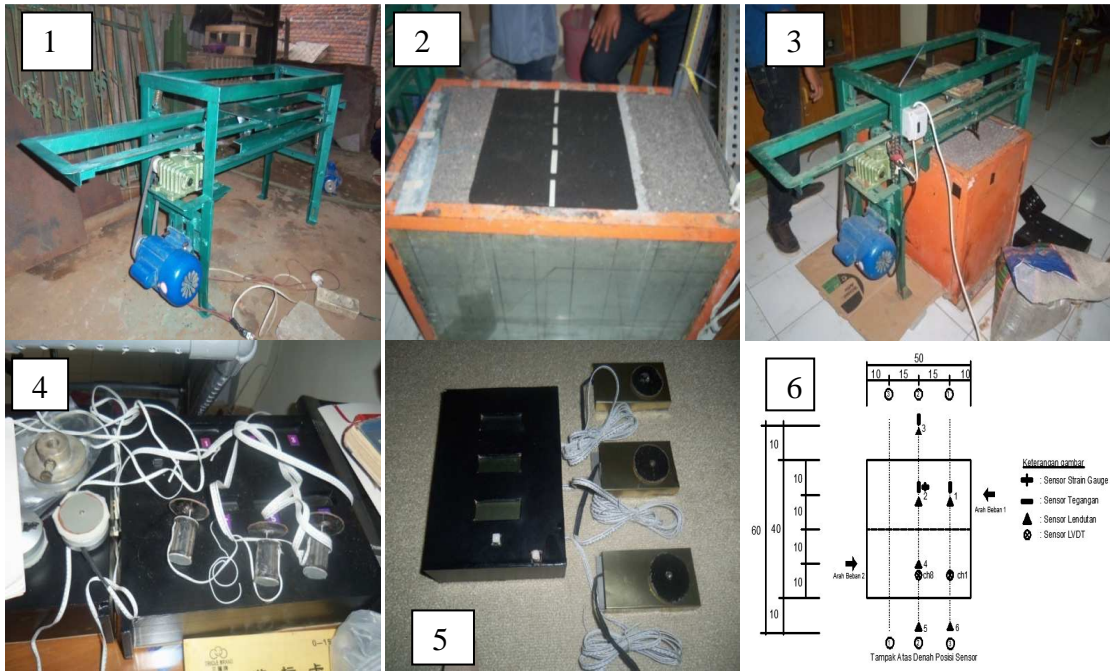
**Tabel 1.** Hasil Perhitungan analisa dimensi dan skala Model Struktur

Kuantitas	Faktor Skala	Nilai
Panjang (L)	$S_L = L_P/L_M$	20
Regangan ( $\epsilon$ )	$S_\epsilon = \epsilon_P/\epsilon_M$	1
Kekuatan (f)	$S_f = f_P/f_M$	1
Tegangan ( $\sigma$ )	$S_\sigma = \sigma_P/\sigma_M$	1
Modulus Young (E)	$S_E = S_\sigma/S_\epsilon$	1
Gaya (F)	$S_F = S_L^2 S_f$	400
Waktu (t)	$S_t = S_L(S_Y S_\epsilon/S_f)^{0.5}$	20
Frekuensi ( $\Omega$ )	$S_\Omega = 1/S_t$	0.05
Perpindahan (d)	$S_d = S_L S_\epsilon$	20
Kecepatan (v)	$S_V = S_\epsilon (S_f/S_Y)^{0.5}$	1
Percepatan (a)	$S_a = S_f/S_L.S_Y$	0.05

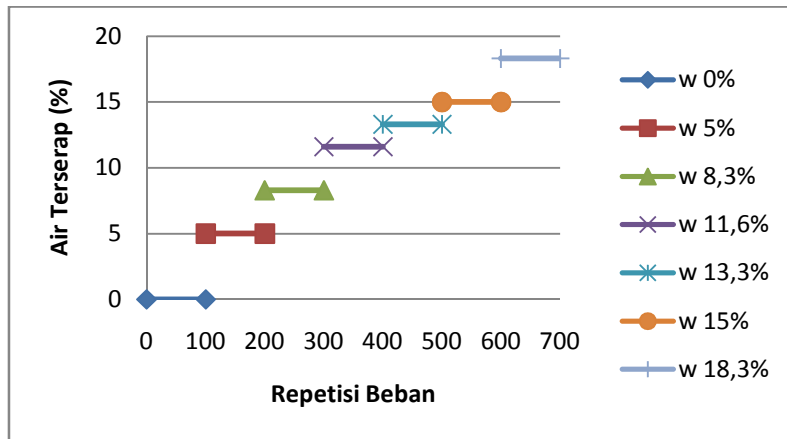
#### Rencana penelitian dan Akuisisi Data

Rencana penelitian adalah dengan membebani sebanyak 100 lintasan yang dilaksanakan setelah dua hari setelah perubahan kadar air yaitu dalam kondisi kering, kondisi diberi air 5%, 8,33%, 11,7%, 13,3%, 15% dan 18,3%. Ditampilkan seperti pada Gambar 3 di bawah ini. Total lintasan yang diberikan adalah 700 kali. Kecepatan yang diberikan adalah 4,3 cm/dt . Data yang diakuisisi adalah berupa tegangan dan lendutan pada tanah subgrade, regangan pada dasar aspal.

Susunan peralatan dimulai dari pemadatan tanah ekspansif di dalam boks dalam kondisi kering. Pemasangan saluran air pada kedalaman 35 cm, pemasangan sensor tegangan dan lendutan pada kedalaman 5 cm. Pembuatan subbase dan base dilanjutkan pemasangan sensor regangan pada dasar aspal. Setelah semua terpasang baru disusun alat pembebanan seperti ditampilkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Alat uji pembebanan terdiri 1. Alat pemberi beban, 2. Model perkerasan, 3. Cara pembebanan pada perkerasan, 4. Sensor lendutan, 5. Sensor tegangan, 6. Posisi sensor pada perkerasan.



Gambar 3. Pola pembebanan pada setiap kondisi kadar air

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian tanah di laboratorium didapat data seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 2. Sifat fisik Sampel Tanah

No	Sifat Fisik	Satuan	Nilai
1	Berat jenis (Gs)		2,660
2	Kadar Air (w)	%	40,552
3	Berat volume kering ( $\gamma_d$ )	Gr/cm <sup>3</sup>	1,11
4	Derajat kejenuhan (Sr)	%	88,2
5	Porositasitas (n)	%	58,24
6	Batas Plastis (PL)	%	47,527
7	Batas Susut (SL)	%	8,992
8	Batas Cair (LL)	%	103,887
9	Indeks Plastis (IP)	%	56,36
10	Pengembangan Bebas	%	185

Tabel 3. Hasil Pemadatan, uji swelling dan CBR

No	Klasifikasi	Satuan	Nilai
1	Kadar air optimum (OMC)	%	30,169
2	Berat volume kering ( $\gamma_d$ )	Gr/cm <sup>3</sup>	1,142
3	Swelling 4 hari	%	5,35
4	CBR rendaman 4 hari	%	1,19
5	CBR tanpa rendaman	%	8,586

Berdasarkan data hasil pengujian tanah di atas menurut Nelson dan Miller (1992) tanah di Kabupaten Ngawi termasuk tanah ekspansif tingkat kritis.

Menentukan Gradasi Tipe A dan B untuk *Base* dan *Subbase*

Untuk menentukan gradasi untuk lapisan base dan subbase yang menggunakan ukuran skala 1:20 dapat dilakukan dengan menggunakan rumus di bawah ini

$$P = 100(d/D)^2 0,45 \quad (1)$$

Dimana: P : prosen lolos saringan

d : ukuran butir saringan yang dicari

D : ukuran butir saringan maksimal

Hasil pemadatan pada base dan subbase dapat ditampilkan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Berat volume base dan subbase hasil pemadatan

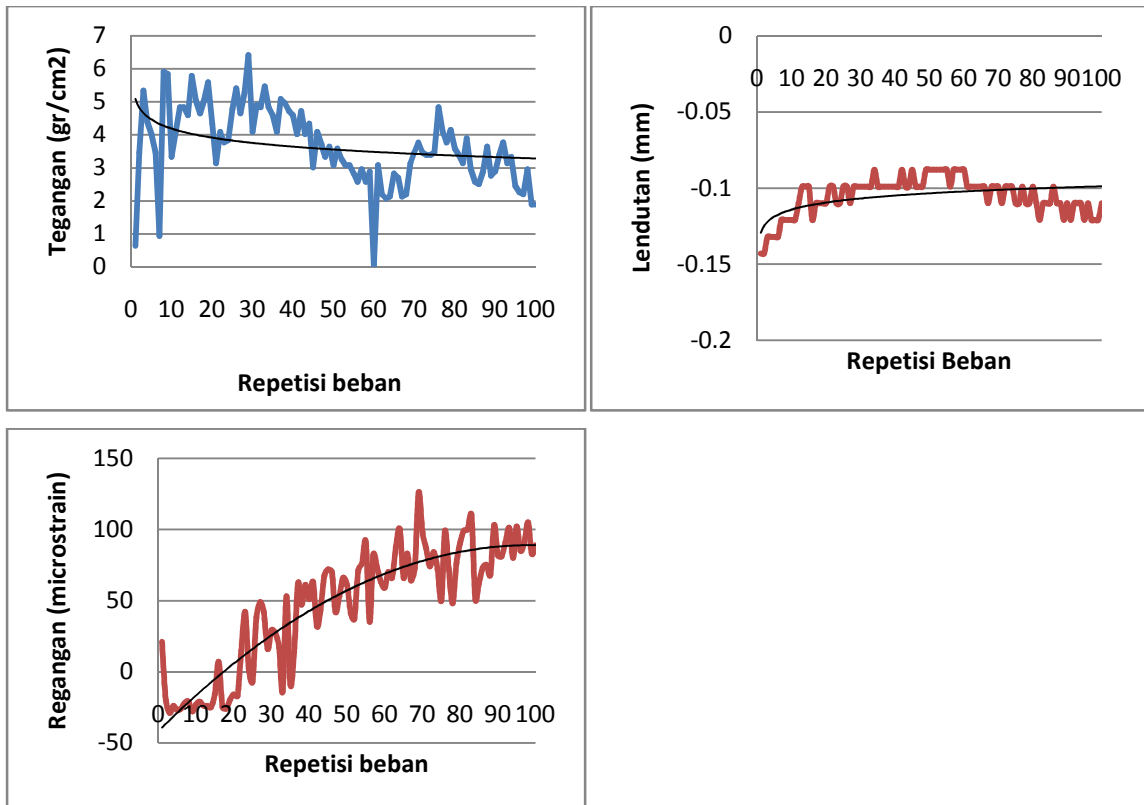
No	Dimensi (cm)	Lapisan	Volume (cm <sup>3</sup> )	Berat (gram)	Berat Volume (gr/cm <sup>3</sup> )
1	50x40x2	base	4000	8000	2
2	50x43x2	subbase	4300	8000	1,86

Hasil pengujian Marshall pada lapisan aspal untuk model ditampilkan pada Tabel 5 di bawah ini

Tabel 5. Karakteristik uji Marshall

No	Karakteristi	Satuan	Nilai
1	VIM	%	1,49
2	MQ	Kg/mm	766
3	Stabilitas	kg	578
4	Flow	mm	2,64

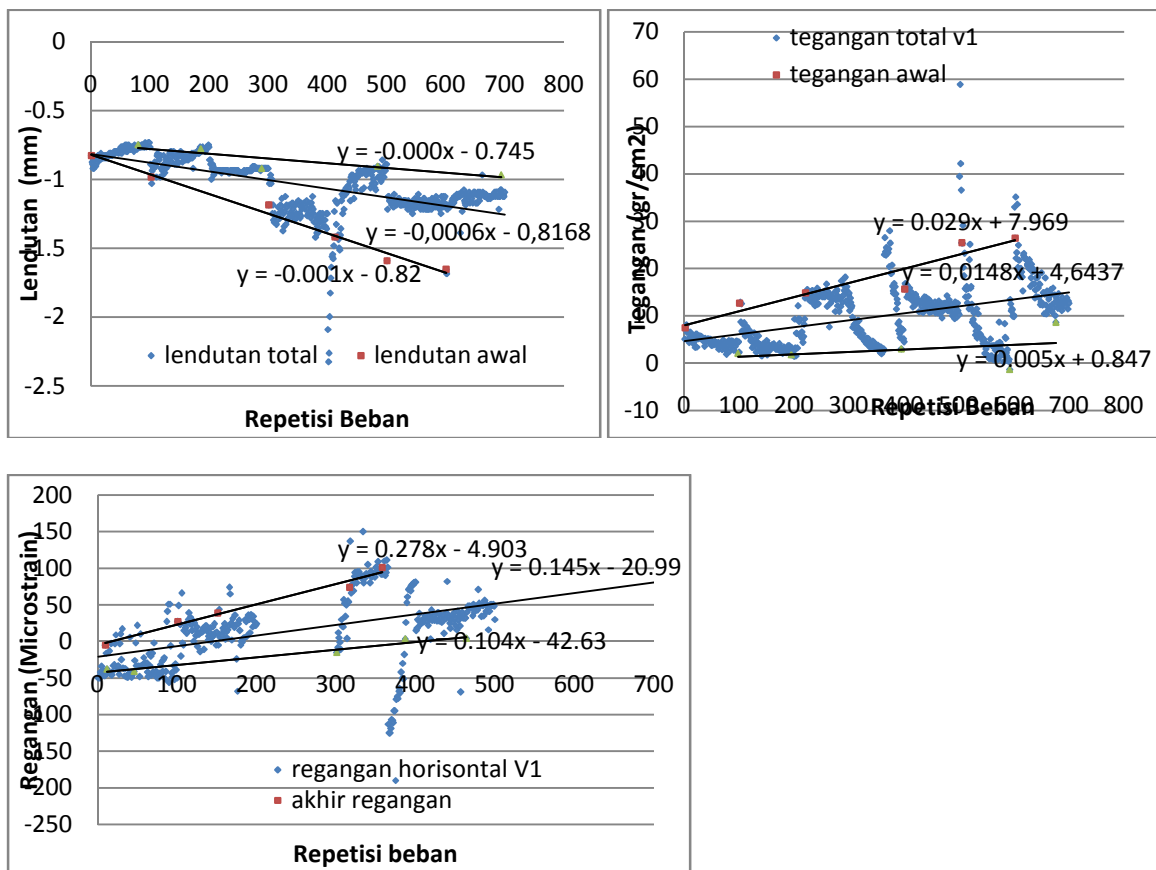
Hasil pembebanan 100 lintasan pada setiap perubahan kadar air mempunyai respon tegangan, lendutan dan regangan dengan pola seperti yang ditampilkan pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Pola respon tegangan, lendutan dan regangan akibat beban lintasan 100 kali.

Dari Gambar 4 terlihat bahwa pada kadar air tetap tegangan cenderung turun, lendutan cenderung naik dan regangan cenderung naik.

Hasil pembebanan total sebanyak 700 kali lintasan dengan perubahan kadar air yang meningkat setiap 100 kali lintasan yang dimulai dari 0%, 5%, 8,3%, 11%, 13,3%, 15% dan 18,3% didapatkan respon tegangan, respon lendutan dan respon regangan seperti yang ditampilkan pada Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Respon tegangan, lendutan dan regangan akibat beban 700 lintasan dan perubahan kadar air dari 0% hingga 18,3%.

Gambar 5 menampilkan kondisi tegangan, regangan dan lendutan ketika belum diberi beban yaitu pada garis paling bawah. Hasil akhir pembebanan ditunjukkan pada garis paling atas.

#### Pembahasan Hasil Pengujian Tegangan

Hasil pengujian tegangan untuk setiap kadar air yang tetap dengan repetisi beban sebanyak 100 kali menunjukkan grafik yang cenderung turun, hal ini disebabkan oleh adanya beban berjalan yang berulang yang menyebabkan perkerasan bertambah padat sehingga kekakuan perkerasan meningkat dengan meningkatnya kekakuan menurut Bousinesq maka distribusi tegangan yang sampai ke tanah dasar semakin kecil disebabkan luasannya semakin besar yang mengakibatkan sensor tegangan menerima beban semakin kecil ( Macdonald dkk,2002).

Sedangkan bila dilihat secara keseluruhan dengan kadar air yang berubah mulai kadar air 0% hingga 18,3% serta beban berulang mulai 0 hingga 700 lintasan menunjukkan kecenderungan tegangan semakin besar hal ini disebabkan adanya perubahan kadar air yang meningkat pada subgrade. Dengan meningkatnya kadar air akan menyebabkan nilai modulus elastisitas mengecil yang berakibat kekakuannya tanah subgrade menurun.



Dengan kekakuan yang kecil berakibat lendutan pada tanah subgrade membesar sehingga respon tegangan yang diterima akan meningkat ( Chao, 2007).

#### Pembahasan hasil pengujian lendutan

Hasil pengujian lendutan pada setiap kadar air yang tetap dengan beban berjalan 100 kali memperlihatkan kecenderungan lendutannya mengecil ini disebabkan kekakuan dari perkerasan meningkat yang mengakibatkan lendutan semakin kecil. Hal ini terjadi pada kadar air yang tetap ( Macdonald dkk,2002).

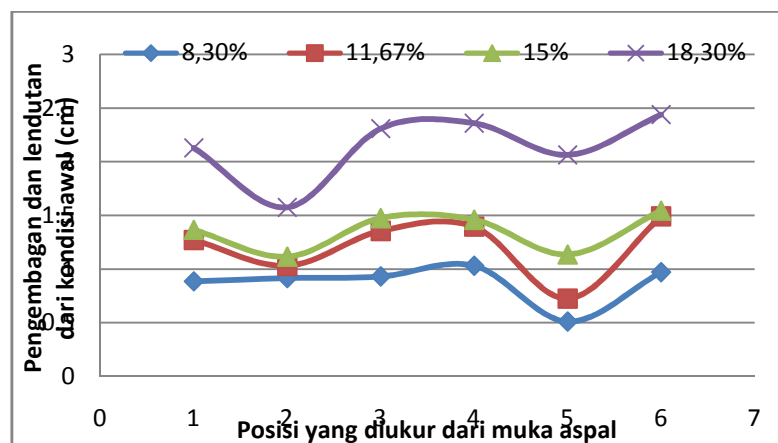
Sedangkan untuk kondisi keseluruhan untuk kadar air yang berubah mulai beban berjalan 0 sampai 700 kali dan kadar air yang meningkat dari 0% sampai 18,3% memperlihatkan kecenderungan meningkat hal ini disebabkan akibat dari meningkatnya kadar air menyebabkan nilai kekakuan dari tanah subgrade mengecil atau modulus elastisitas tanah subgrade mengecil akibatnya lendutan perkerasan semakin besar ( Chao, 2007).

#### Pembahasan hasil pengujian regangan.

Regangan pada dasar aspal untuk kadar air yang tetap pada subgradenya dan beban berulang 100 kali pada permukaan perkerasan , maka respon regangan yang terjadi pada sensor yang searah jalur menunjukkan respon yang cenderung meningkat ( Macdonald dkk,2002).

Bila dilihat secara keseluruhan yang dimulai dengan kadar air 0% hingga 18% dan beban berulang hingga 700 kali, sensor yang dipasang searah jalur menunjukkan kecenderungan meningkat ( Chao, 2007). Hal ini disebabkan untuk yang searah jalur dengan bertambahnya kadar air berakibat tanah melunak sehingga lendutan menjadi besar menyebabkan regangan sarah jalur cenderung semakin besar.

Hasil pengamatan elevasi permukaan perkerasan setiap selesai pembebanan ditampilkan pada Gambar 6 di bawah ini. Dari grafik tersebut terlihat bahwa kenaikan permukaan jalan yang signifikan terjadi setelah penambahan kadar air di atas 11%.



Gambar 6. Elevasi permukaan jalan pada setiap penambahan kadar air

Gambar di atas menunjukkan elevasi hasil pengukuran pada permukaan aspal pada setiap akhir proses pembebanan pada setiap penambahan kadar air.

## KESIMPULAN

### Kesimpulan

1. Perilaku tegangan dan regangan tanah ekspansif di bawah perkerasan lentur :
  - a. Pertambahan kadar air berbanding lurus dengan pertambahan tegangan dan lendutan
  - b. Pertambahan kadar air berbanding lurus dengan penurunan regangan
2. Perilaku interaksi perkerasan lentur dan tanah ekspansif pada saat ada beban kendaraan:  
Pengaruh kadar air baru terasakan pada saat kadar air di atas 11 %

### Implikasi

1. Kadar air harus lebih kecil dari 11%
2. Alat yang sedang dikembangkan mempunyai potensi untuk dapat mengevaluasi kinerja jalan dengan beberapa penyempurnaan

## DAFTAR PUSTAKA

- Chao, K. C. 2007. *Design Principles for Foundations on Expansive Soils*, Dissertation, Colorado State university
- Harris & Sabnis, 1999. *Structural Modeling and Experimental Techniques.*, By CRC Press LLC. USA..
- Macdonald, R.A. Zhang, W. 2002. *Model for Determining Permanent Strains In the Subgrade and the Pavement Functional Condition*. Report 115, Danish Road Institute, Denmark
- Nelson, J. and Miller, D.J. 1992. *Expansive Soils*. Department of Civil Engineering, Colorado State University. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Sapkota, B. Nakamura, T. Kiriya, T. 1997. Response of Thin Seal coated Road Pavement to The Swelling and Shrinkage of Reactive Clays subgrade. *J. Materials, Conc.Struct., Pavements*, JSCE, No 557, February 1997.
- Sawangsurija, Edil, Bosscher, 2008. Modulus-suction-moisture relationship for compacted Soils, *Can. Geotech. J.*, 45: 973-983.
- Thammanoon, M. 2008. *Studie on Volume Change Movements in High PI Clays for Better Design of Low Volume Pavements*, paper, The University of Texas at Arlington.