

ANALISA TEGANGAN DAN REGANGAN PADA PERKERASAN PORUS DENGAN SKALA SEMI LAPANGAN DAN SOFTWARE ANSYS

Ela Firda Amaliyah, Tyas Ayu Widiningrum, Ludfi Djakfar, Harimurti

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan M.T. Haryono 167 Malang 65145, Jawa Timur-Indonesia

E-mail: elafirdaamaliyah@gmail.com, tyasayuwidiningrum@gmail.com

ABSTRAK

Perkerasan porus merupakan perkerasan yang mengijinkan air masuk kedalam lapisan perkerasan untuk dialirkan kedalam tanah karena memiliki porositas dan permeabilitas yang tinggi. Namun, hal ini menyebabkan ikatan agregat perkerasan lebih lemah sehingga kekuatannya pun berkurang. Maka, perlu dilakukan penelitian terkait perilaku perkerasan porus yaitu tegangan dan regangan aspal porus dalam menerima beban. Untuk itu, penulis mengadakan penelitian dengan tujuan mengukur regangan pada struktur perkerasan porus skala semi lapangan yang diberi beban dinamis dan beban statis, mengukur tegangan dan regangan struktur perkerasan porus dengan ANSYS dan membandingkan hasil regangan antara pengukuran skala semi lapangan dengan pengukuran menggunakan *software* ANSYS.

Pada penelitian ini, digunakan kriteria perkerasan yang menyerupai kondisi sesungguhnya baik pada beban, material, maupun ketebalannya. Beban yang digunakan merupakan beban satu roda sebesar 17 kg/cm^2 . Material *subbase* berupa batu pecah dengan gradasi kelas B, *base* berupa batu pecah gradasi kelas A, dan *surface* berupa aspal porus dengan tambahan 8% *additive gilsonite*. Metodologi penelitian pada pengukuran regangan perkerasan porus skala semi lapangan yaitu regangan dan tegangan yang diukur hanya pada bagian bawah aspal porus. Pertama, perkerasan porus diberikan beban dinamis lalu nilai regangan dibaca setiap 50 kali lintasan hingga 1000 lintasan. Selanjutnya, regangan juga diukur menggunakan beban statis. Sedangkan untuk *Finite Element Method* dilakukan pengukuran tegangan dan regangan dengan beban statis. Regangan dari pengukuran dengan skala semi lapangan menggunakan beban dinamis, pengukuran dengan skala semi lapangan menggunakan beban statis, dan regangan dari ANSYS dibandingkan satu sama lain.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa regangan yang terjadi pada bagian bawah aspal adalah regangan tarik. Namun, pemberian beban dinamis dan beban statis menyebabkan nilai regangan yang berbeda. Pada analisis ANSYS, tegangan berupa tarik dimana nilai maksimum berada tepat dibawah roda dan akan semakin berkurang seiring dengan jaraknya terhadap beban roda. Regangan dari analisis ANSYS dengan beban statis mendapat nilai yang berbeda dengan hasil regangan dari pengukuran skala semi lapangan yang diberi beban statis dan beban dinamis karena pengaruh perlakuan beban dan karakteristik material.

Kata kunci : Regangan, Tegangan, Perkerasan Porus, Skala Semi Lapangan, ANSYS

1. Latar Belakang

Perkerasan porus merupakan perkerasan yang tidak kedap air karena memiliki porositas dan permeabilitas yang tinggi sehingga air diizinkan untuk masuk ke dalam lapisan perkerasan jalan untuk kemudian diresapkan ke tanah. Namun, sifat porositas yang terdapat pada *porous pavement* membuat ikatan yang terjadi antar agregat berkurang sehingga kekuatan dalam menahan beban menjadi lebih kecil apabila dibandingkan dengan perkerasan konvensional. Akibatnya, perkerasan porus

biasanya hanya digunakan pada jalan dengan beban lalu lintas yang kecil.

Dalam perencanaan struktur perkerasan porus, terdapat aspek lain yang perlu untuk diperhatikan selain kekuatan bahan-bahan penyusunnya. Aspek tersebut diantaranya adalah perilaku perkerasan dalam menerima beban yang ditunjukkan dengan tegangan dan regangannya. Mengingat pentingnya mengetahui tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan porus, maka peneliti ingin melakukan pengujian perkerasan porus, lebih tepatnya pada aspal porus dengan dua metode, yaitu

skala semi lapangan dan analisis elemen hingga menggunakan *software* ANSYS. Skala semi lapangan dipilih agar dapat lebih mewakili kenyataan di lapangan dan analisis elemen hingga digunakan sebagai pembandingan hasil penelitian skala semi lapangan. Dengan dasar tersebut, maka penyusun akan mengangkat topik dalam tugas akhir ini dengan judul “Analisa Tegangan dan Regangan pada Perkerasan Porus dengan Skala Semi Lapangan dan *Software* ANSYS”.

2. Rumusan Masalah

- 1) Bagaimana pengukuran regangan pada struktur perkerasan porus skala semi lapangan yang diberi beban dinamis dan beban statis?
- 2) Bagaimana pengukuran tegangan dan regangan struktur perkerasan porus dalam *Finite Element Method* menggunakan *software* ANSYS?
- 3) Bagaimana perbandingan hasil regangan antara pengukuran skala semi lapangan dengan pengukuran menggunakan *software* ANSYS?

3. Tujuan Penelitian

- 1) Mengukur regangan pada struktur perkerasan porus skala semi lapangan yang diberi beban dinamis dan beban statis
- 2) Mengukur tegangan dan regangan struktur perkerasan porus dengan *Finite Element Method* menggunakan *software* ANSYS
- 3) Membandingkan hasil regangan antara pengukuran skala semi lapangan dengan pengukuran menggunakan *software* ANSYS

4. Tinjauan Pustaka

4.1 Perkerasan Berpori (Porous Pavement)

Porous pavement adalah perkerasan yang direncanakan dengan menggunakan bahan material yang mampu merembeskan

aliran air ke dalam lapisan tanah di bawahnya.

4.2 Tegangan dan Regangan pada Perkerasan

Konsep penyaluran beban pada perkerasan yaitu beban menyebar ke bawah sejauh ketebalan perkerasan dimana pengaruh beban akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya kedalaman. Tegangan dan regangan yang diterima oleh perkerasan akibat beban mengalami pengurangan dan pada akhirnya nilai tegangan dan regangan yang terjadi dapat diabaikan. Tegangan dan regangan pada lapisan perkerasan diperoleh dengan penempatan alat uji pada lapisan perkerasan. Dalam perencanaan atau evaluasi, lokasi pengujian yang ditinjau berada pada permukaan aspal, bawah aspal, lapisan pondasi, dan permukaan tanah dasar. Lokasi tersebut akan dijadikan dasar dalam perencanaan atau evaluasi kinerja perkerasan. Perilaku perkerasan saat menerima beban yaitu pada bagian bawah lapisan permukaan terjadi regangan tarik, bagian bawah lapisan pondasi terjadi tegangan tarik, dan pada tanah dasar terjadi tegangan dan regangan tekan.

4.3 Pemodelan Perkerasan Skala Semi Lapangan

Pemodelan perkerasan porus skala semi lapangan menggunakan konsep metode analitis. Metode analitis menggunakan beberapa langkah yaitu:

- 1) Mengasumsi bentuk perkerasan
- 2) Menetapkan beban
- 3) Memperkirakan material yang akan digunakan
- 4) Menganalisa tegangan, regangan, dan lendutan pada titik kritis
- 5) Membandingkan hasil yang diperoleh dengan tegangan ijin
- 6) Apabila belum memenuhi, maka diulangi kembali langkah 3, 4, dan 5 hingga didapatkan desain yang sesuai
- 7) Mempertimbangkan aspek ekonomi

4.4 ANSYS

ANSYS merupakan program yang bekerja dengan prinsip metode elemen hingga, dimana model yang dibuat akan dipecah menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Bagian-bagian kecil ini disatukan dengan titik simpul (*node*). Ketelitiannya sangat bergantung pada cara memecah model tersebut dan menggabungkannya. Parameter-parameter yang digunakan yaitu modulus elastisitas, *poisson ratio*, kepadatan, tebal lapisan perkerasan, dan beban.

5. Metodologi Penelitian

5.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2014 hingga selesai di tempat parkir jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

5.2 Pengujian Material

Pengujian terhadap material meliputi pengujian analisa saringan, pemadatan standar, dan CBR.

5.3 Pengembangan Alat

a. Mesin Penguji



Gambar 1 Mesin Penguji

b. Strain Gauge



Gambar 2 Strain Gauge

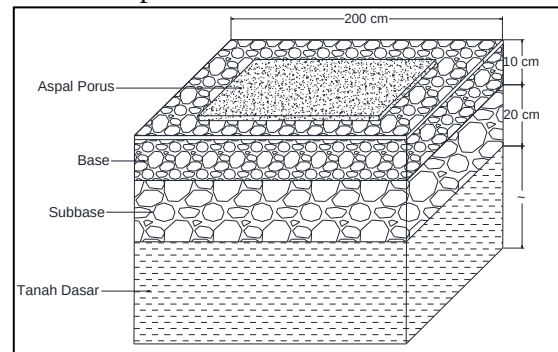
c. Strain Meter dan Cable Switch



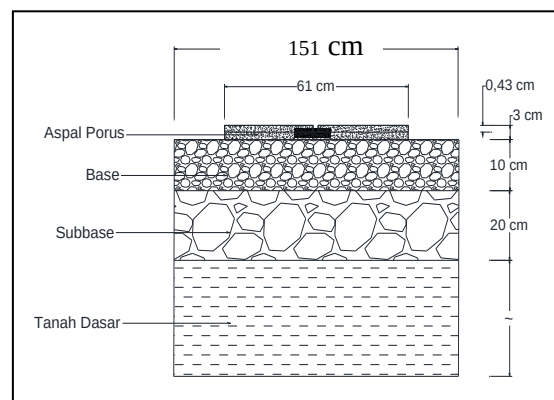
Gambar 3 Strain Meter (Kiri) dan Cable Switch (Kanan)

5.4 Pengukuran Regangan pada Perkerasan Porus dengan Skala Semi Lapangan

Struktur perkerasan porus memiliki dimensi seperti Gambar 4 dan Gambar 5.

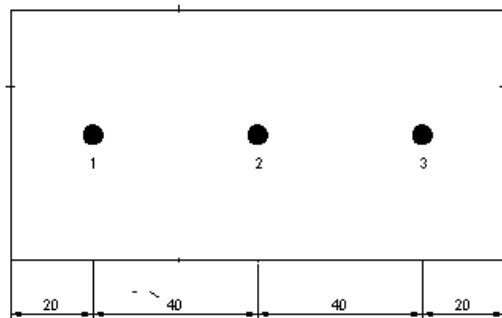


Gambar 4 Struktur Perkerasan Porus Skala Semi Lapangan Potongan Memanjang



Gambar 5 Struktur Perkerasan Porus Skala Semi Lapangan Potongan Melintang

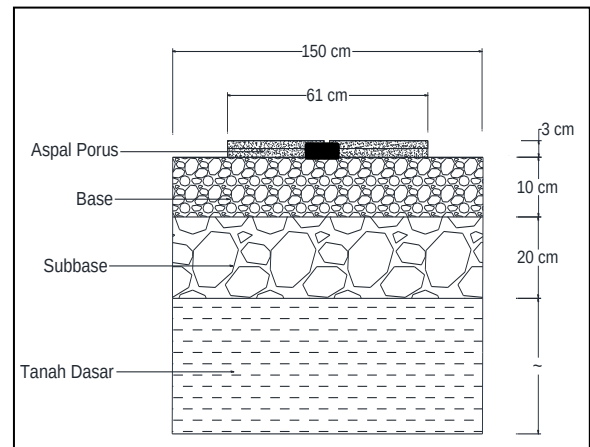
Beban gandar sumbu tunggal kendaraan sebesar 8160 kg dengan bidang kontak roda 11 cm x 11 cm yang menimbulkan tegangan 17 kg/cm². Bidang kontak roda yang digunakan pada pengukuran skala semi lapangan sebesar 1cm x 1cm sehingga diperoleh nilai beban yang akan digunakan yaitu 17 kg dan *strain gauge* dipasang pada tiga lokasi di bawah aspal porus seperti pada Gambar 6.



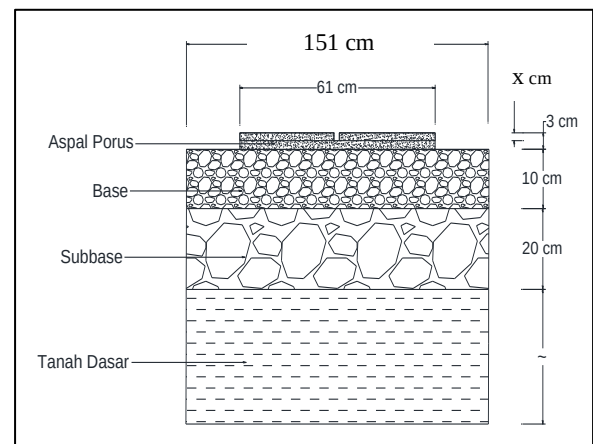
Gambar 6 Lokasi *Strain Gauge*

5.5 Pengukuran Tegangan dan Regangan pada Perkerasan Porus dengan *Software* ANSYS

Struktur perkerasan porus dimodelkan menjadi dua, yaitu model pertama menggunakan tebal aspal 3 cm dan model kedua menggunakan tebal aspal 3 cm dikurangi dengan nilai perubahan ketebalan aspal pada jalur atau lintasan beban saat pengukuran dengan skala semi lapangan yang diakibatkan oleh pembebanan. Perbedaan dimensi ketebalan kedua model ditunjukkan dalam Gambar 7 dan Gambar 8. Dimensi “x” pada Gambar 8 menunjukkan nilai lendutan aspal pada pengukuran regangan skala semi lapangan.



Gambar 7 Dimensi Struktur Perkerasan Porus Model 1



Gambar 8 Dimensi Struktur Perkerasan Porus Model 2

6. Hasil dan Pembahasan

6.1 Pengujian Karakteristik Aspal Porus

Pengujian karakteristik marshall aspal porus ditunjukkan dalam Tabel berikut ini:

Tabel 1 Hasil Karakteristik Marshall

Karakteristik Marshall	Kadar Gilsonite 0%	Kadar Gilsonite 8%
VIM	18,863 %	8,141 %
Stabilitas	515,081 kg	805,196 kg
Flow	2,332 mm	3,7783mm
MQ	223,064 kg/mm	219,216 kg/mm

Sumber: Burhanuddin dan Ramadhan (2014)

Tabel 2 Hasil Pengujian Permeabilitas Aspal Porus

Aspal Porus + 0% <i>gilsonite</i>		Aspal Porus + 8% <i>gilsonite</i>	
Kadar Aspal	Debit (cm ³ /det)	KAO	Debit (cm ³ /detik)
4%	906,263	5,75%	880,905
5%	987,453		
6%	698,212		
7%	605,717		

Sumber: Ramadhan dan Burhanuddin (2014)

6.2 Pengujian Karakteristik Batu Pecah sebagai Lapis Pondasi

1) Kepadatan

Hasil pengujian kepadatan di laboratorium untuk lapisan pondasi atas sebesar 1,7867 gr/cm³ dan pondasi bawah sebesar 1,8052 gr/cm³, sedangkan dari penguji sand cone di lapangan, diperoleh kepadatan lapisan pondasi atas sebesar 1,6874 gr/cm³ dan lapisan pondasi bawah sebesar 1,8352 gr/cm³.

2) Pengujian CBR

Dari hasil pengujian, diperoleh nilai CBR agregat untuk lapisan pondasi atas sebesar 81,925% sedangkan nilai CBR agregat untuk lapisan pondasi bawah sebesar 74,511%.

3.3 Pengujian Karakteristik Tanah Dasar

1) Analisa Saringan

Dari analisa saringan, diperoleh bahwa tanah dasar merupakan tanah golongan A-2-6 yaitu tanah pasir berlempung.

2) Berat Isi

Dari hasil pengujian, diperoleh nilai berat isi tanah sebesar 1,57 gram/cm³.

3) CBR

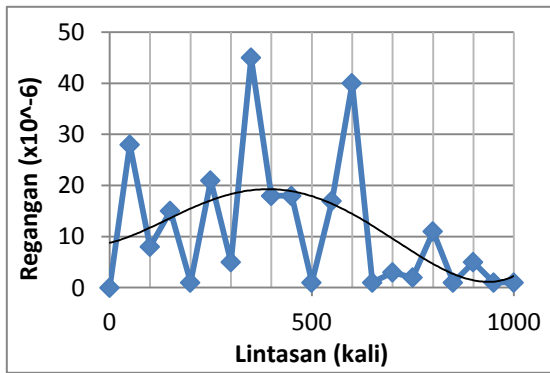
Dari pengujian di laboratorium, didapatkan nilai CBR tanah dasar sebesar 14,67% sedangkan dari hasil DCP, diperoleh CBR tanah dasar (*subgrade*) sebesar 15,88%.

6.3 Pengukuran Regangan Aspal Porus Skala Semi Lapangan yang diberi Beban Dinamis

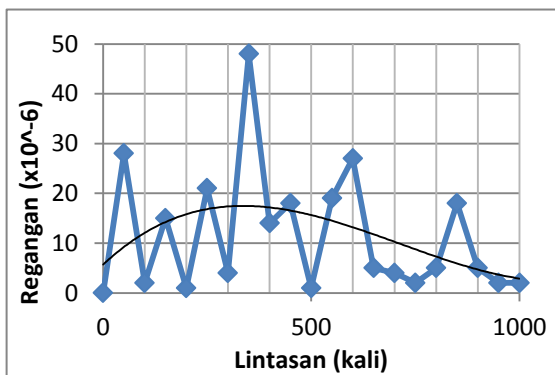
Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran regangan aspal porus dengan skala semi lapangan.

Tabel 3 Regangan Aspal Porus Skala Semi Lapangan dengan Beban Dinamis

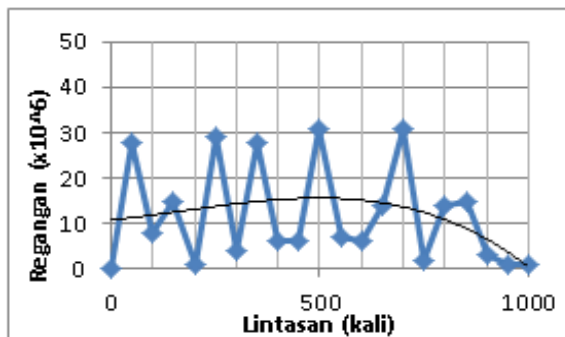
Lin-ta-san	Regangan (m/m)		
	1	2	3
50	2,80 x10 ⁻⁵	2,80 x10 ⁻⁵	2,80 x10 ⁻⁵
100	8,00 x10 ⁻⁶	2,00 x10 ⁻⁶	8,00 x10 ⁻⁶
150	1,50 x10 ⁻⁵	1,50 x10 ⁻⁵	1,50 x10 ⁻⁵
200	1,00 x10 ⁻⁶	1,00 x10 ⁻⁶	1,00 x10 ⁻⁶
250	2,10 x10 ⁻⁵	2,10 x10 ⁻⁵	2,90 x10 ⁻⁵
300	5,00 x10 ⁻⁶	4,00 x10 ⁻⁶	4,00 x10 ⁻⁶
350	4,50 x10 ⁻⁵	4,80 x10 ⁻⁵	2,80 x10 ⁻⁵
400	1,80 x10 ⁻⁵	1,40 x10 ⁻⁵	6,00 x10 ⁻⁶
450	1,80 x10 ⁻⁵	1,80 x10 ⁻⁵	6,00 x10 ⁻⁶
500	1,00 x10 ⁻⁶	1,00 x10 ⁻⁶	3,10 x10 ⁻⁵
550	1,70 x10 ⁻⁵	1,90 x10 ⁻⁵	7,00 x10 ⁻⁶
600	4,00 x10 ⁻⁵	2,70 x10 ⁻⁵	6,00 x10 ⁻⁶
650	1,00 x10 ⁻⁶	5,00 x10 ⁻⁶	1,40 x10 ⁻⁵
700	3,00 x10 ⁻⁶	4,00 x10 ⁻⁶	3,10 x10 ⁻⁵
750	2,00 x10 ⁻⁶	2,00 x10 ⁻⁶	2,00 x10 ⁻⁶
800	1,10 x10 ⁻⁵	5,00 x10 ⁻⁶	1,40 x10 ⁻⁵
850	1,00 x10 ⁻⁶	1,80 x10 ⁻⁵	1,50 x10 ⁻⁵
900	5,00 x10 ⁻⁶	5,00 x10 ⁻⁶	3,00 x10 ⁻⁶
950	1,00 x10 ⁻⁶	2,00 x10 ⁻⁶	1,00 x10 ⁻⁶
1000	1,00 x10 ⁻⁶	2,00 x10 ⁻⁶	1,00 x10 ⁻⁶



Gambar 9 Hubungan Regangan-Lintasan Lokasi 1



Gambar 10 Hubungan Regangan-Lintasan Lokasi 2



Gambar 11 Hubungan Regangan-Lintasan Lokasi 3

Dari ketiga gambar di atas, diketahui hubungan antara lintasan dengan regangan dengan lintasan pada ketiga lokasi memiliki model serupa walaupun nilainya berbeda. Pada mula-mula, regangan mengalami

kenaikan hingga mencapai suatu titik pada lintasan tertentu kemudian turun hingga pada lintasan terakhir. Nilai regangan yang naik turun ini disebabkan material perkerasan belum kembali ke bentuk semula dengan sempurna, namun telah terkena beban lagi.

6.4 Hasil Pengukuran Regangan Perkerasan Porus dengan Skala Semi Lapangan Beban Statis

Tabel 4 Regangan Aspal Porus Skala Semi Lapangan dengan Beban Statis

Lokasi	Regangan (m/m)
1	$1,48 \times 10^{-03}$
2	$1,356 \times 10^{-03}$
3	$8,36 \times 10^{-04}$

Regangan skala semi lapangan dengan beban statis ini lebih besar daripada nilai regangan skala semi lapangan dengan beban dinamis karena dipengaruhi oleh lamanya waktu beban yang berhenti diatas perkerasan. Semakin lama suatu material diberi beban maka material akan mengalami kelelahan yang menyebabkan nilai regangan tinggi pada beban statis.

6.5 Analisa Tegangan dari Pengukuran Skala Semi Lapangan dengan Beban Dinamis

Hubungan tegangan dengan regangan ditunjukkan pada Persamaan di bawah ini:

$$\sigma = \epsilon \times E$$

dimana σ = Tegangan (MPa)

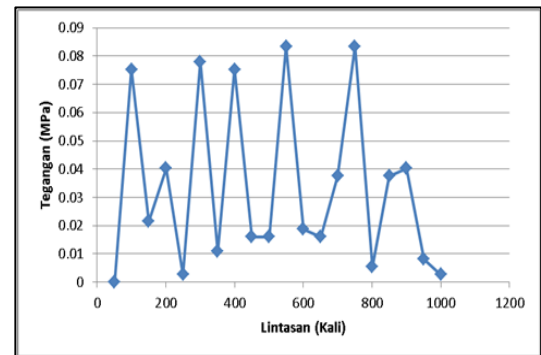
ϵ = Regangan (m/m)

E = Modulus Elastisitas (MPa)

Tabel 5 Tegangan Aspal Porus Skala Semi Lapangan dengan Beban Dinamis

Lin-ta-san	Tegangan (MPa)		
	1	2	3
50	$7,53 \times 10^{-2}$	$7,53 \times 10^{-2}$	$7,53 \times 10^{-2}$
100	$2,15 \times 10^{-2}$	$5,38 \times 10^{-3}$	$2,15 \times 10^{-2}$
150	$4,03 \times 10^{-2}$	$4,03 \times 10^{-2}$	$4,03 \times 10^{-2}$
200	$2,69 \times 10^{-3}$	$2,69 \times 10^{-3}$	$2,69 \times 10^{-3}$
250	$5,65 \times 10^{-2}$	$5,65 \times 10^{-2}$	$7,80 \times 10^{-2}$

300	$1,34 \times 10^{-2}$	$1,08 \times 10^{-2}$	$1,08 \times 10^{-2}$
350	$1,21 \times 10^{-1}$	$1,29 \times 10^{-1}$	$7,53 \times 10^{-2}$
400	$4,84 \times 10^{-2}$	$3,76 \times 10^{-2}$	$1,61 \times 10^{-2}$
450	$4,84 \times 10^{-2}$	$4,84 \times 10^{-2}$	$1,61 \times 10^{-2}$
500	$2,69 \times 10^{-3}$	$2,69 \times 10^{-3}$	$8,34 \times 10^{-2}$
550	$4,57 \times 10^{-2}$	$5,11 \times 10^{-2}$	$1,88 \times 10^{-2}$
600	$1,08 \times 10^{-1}$	$7,26 \times 10^{-2}$	$1,61 \times 10^{-2}$
650	$2,69 \times 10^{-3}$	$1,34 \times 10^{-2}$	$3,76 \times 10^{-2}$
700	$8,07 \times 10^{-3}$	$1,08 \times 10^{-2}$	$8,34 \times 10^{-2}$
750	$5,38 \times 10^{-3}$	$5,38 \times 10^{-3}$	$5,38 \times 10^{-3}$
800	$2,96 \times 10^{-2}$	$1,34 \times 10^{-2}$	$3,76 \times 10^{-2}$
850	$2,69 \times 10^{-3}$	$4,84 \times 10^{-2}$	$4,03 \times 10^{-2}$
900	$1,34 \times 10^{-2}$	$1,34 \times 10^{-2}$	$8,07 \times 10^{-3}$
950	$2,69 \times 10^{-3}$	$5,38 \times 10^{-3}$	$2,69 \times 10^{-3}$
1000	$2,69 \times 10^{-3}$	$5,38 \times 10^{-3}$	$2,69 \times 10^{-3}$



Gambar 14 Hubungan Lintasan dan Tegangan pada Lokasi 3

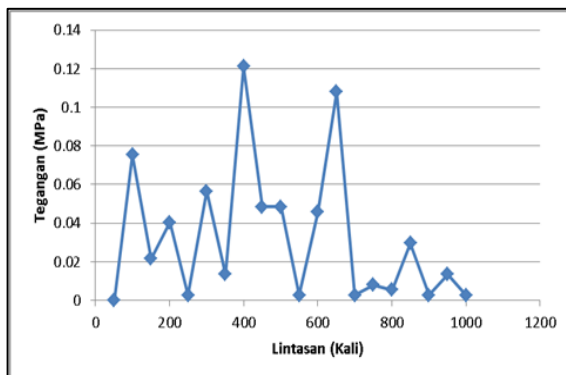
Hubungan tegangan dengan lintasan pada ketiga lokasi memiliki model serupa walaupun nilainya berbeda. Tegangan mengalami kenaikan hingga mencapai suatu titik pada lintasan tertentu kemudian turun hingga pada lintasan terakhir. Nilai tegangan yang naik turun ini disebabkan material perkerasan belum kembali ke bentuk semula dengan sempurna, namun telah terkena beban lagi.

6.6 Analisa Tegangan dari Pengukuran Skala Semi Lapangan dengan Beban Statis

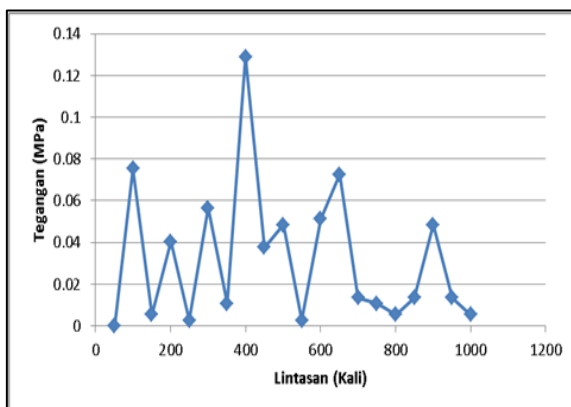
Tabel 6 Tegangan Skala Semi Lapangan dengan Beban Statis

Lokasi	Tegangan (MPa)
1	3,97972
2	3,646284
3	2,248004

Tegangan pada ketiga lokasi seharusnya bernilai sama, perbedaan nilai ini dikarenakan pada saat pembuatan material perkerasan pemadatan antara ketiga lokasi berbeda. Sehingga nilai tegangan memiliki perbedaan. Hal ini sama dengan nilai regangan yang pada tiap lokasi juga memiliki nilai berbeda, karena tegangan dan regangan berbanding lurus.



Gambar 12 Hubungan Lintasan dan Tegangan pada Lokasi 1



Gambar 13 Hubungan Lintasan dan Tegangan pada Lokasi 2

6.7 Parameter Pemodelan Perkerasan Porus dengan Software ANSYS

1) Modulus Elastisitas (E)

a. Aspal Porus

Modulus elastisitas didapatkan dari hubungan antara stabilitas Marshall dengan modulus elastisitas sehingga diperoleh nilai modulus sebesar 2689 MPa.

b. Lapisan Base

Modulus elastisitas lapisan base diperoleh dari hubungan modulus resilien dengan CBR.

$$\begin{aligned} M_r &= 2555 \times \text{CBR}^{0,64} \\ &= 2555 \times 81,925^{0,64} \\ &= 42852,6252 \text{ Psi} = 295,4585 \text{ MPa} \end{aligned}$$

c. Lapisan Subbase

Modulus elastisitas subbase diperoleh dari hubungan modulus resilien dengan CBR sehingga diperoleh CBR sebesar 278,0551 MPa

d. Tanah Dasar

Modulus elastisitas tanah dasar diperoleh dari hubungan dengan CBR dimana $E = 10 \times \text{CBR}$ sehingga diperoleh nilai modulus elastisitas tanah dasar sebesar 158,8 MPa

2) Poisson Ratio (ν)

Tabel 7 Nilai Poisson ratio

Material	Poisson Ratio
Aspal Porus	0,35
Lapisan Pondasi	0,40
Tanah Dasar	0,45

Sumber: Neville (1975)

3) Kepadatan setiap lapisan

Tabel 8 Nilai Kepadatan (*Density*) setiap Lapisan Perkerasan

Material/ Lapisan	Density
Aspal Porus	2,083 gram/cm ³
Base	1,6874 gram/cm ³
Subbase	1,8352 gram/cm ³
Subgrade	1,7231 gram/cm ³

4) Tebal setiap Lapisan Perkerasan

5) Beban

Beban yang diberikan berupa beban statis sebesar 17 kg/cm².

6.8 Hasil Analisis Tegangan dan Regangan Aspal Porus dengan Software ANSYS

Tabel 9 Tegangan pada Aspal Porus Model 1

No	Kedalaman (cm)	Tegangan (x 10 ³ Pa)		
		1	2	3
1	0,3	277,17	285,45	276,05
2	0,6	218,61	224,45	217,74
3	0,9	160,05	163,45	159,44
4	1,1	101,50	102,45	101,13
5	1,4	75,22	76,11	74,91
6	1,7	48,95	49,78	48,69
7	2	22,69	23,45	22,48
8	2,3	16,58	19,03	16,30
9	2,6	10,47	14,62	10,13
10	3	4,38	10,23	4,02

Tabel 10 Tegangan pada Aspal Porus Model 2

No	Kedalaman (cm)	Tegangan (x 10 ³ Pa)		
		1	2	3
1	0,3	736,58	704,98	722,81
2	0,6	584,24	555,80	572,23
3	0,9	431,94	406,66	421,67
4	1,1	279,76	257,62	271,13
5	1,4	221,73	213,22	217,86
6	1,7	163,71	168,87	164,72
7	2	105,74	124,64	141,27
8	2,3	120,23	136,47	126,52
9	2,6	134,78	148,38	111,88
10	3	13,43	14,29	14,18

Dari Tabel 9 dan Tabel 10, tegangan pada bawah aspal memiliki nilai yang berbeda. Tegangan pada model pertama lebih kecil daripada tegangan pada model kedua. Hal ini disebabkan dimensi berupa

ketebalan aspal yang telah berkurang oleh lendutan memiliki kemampuan yang lebih rendah dalam menerima beban sehingga tegangan yang dihasilkan pun meningkat. Namun, kesamaan antara keduanya adalah pola tegangan yang dihasilkan dimana semakin berkurang dengan bertambahnya kedalaman dan bernilai tarik.

Tabel 11 Hasil Regangan pada Aspal Porus Model 1

No	Kedalaman (cm)	Regangan ($\times 10^{-4}$ m/m)		
		1	2	3
1	0,3	3,59	3,80	3,57
2	0,6	4,58	4,90	4,53
3	0,9	5,57	6,01	5,49
4	1,1	6,56	7,12	6,46
5	1,4	10,64	11,05	10,56
6	1,7	14,71	14,97	14,66
7	2	18,79	18,89	18,76
8	2,3	42,00	41,91	41,96
9	2,6	65,22	64,94	65,17
10	3	88,43	87,96	88,37

Tabel 12 Hasil Regangan pada Aspal Porus Model 2

No	Kedalaman (cm)	Regangan ($\times 10^{-4}$ m/m)		
		1	2	3
1	0,3	0,57	0,59	0,58
2	0,6	0,70	0,79	0,73
3	0,9	0,75	0,85	0,79
4	1,1	0,81	0,90	0,84
5	1,4	1,29	1,31	1,30
6	1,7	1,77	1,72	1,76
7	2	2,25	2,14	2,22
8	2,3	3,40	3,40	3,40
9	2,6	4,56	4,66	4,57
10	3	5,71	5,92	5,75

6.9 Perbandingan Regangan antara Pengukuran dengan Skala Semi Lapangan dengan Pengukuran menggunakan Software ANSYS

Tabel 13 Perbandingan Regangan Aspal Porus pada Skala Semi Lapangan dengan software ANSYS

Lokasi	Regangan Skala Semi Lapangan (m/m)		Regangan Software Ansys (10^{-4} m/m)
	Beban Dinamis ($\times 10^{-6}$)	Beban Statis ($\times 10^{-3}$)	
1	1,00	1,48	5,71
2	2,00	1,356	5,92
3	1,00	0,836	5,75

Tabel 14 Perbandingan Tegangan Aspal Porus pada Skala Semi Lapangan dengan software ANSYS

Lokasi	Tegangan Skala Semi Lapangan (MPa)		Tegangan Software Ansys ($\times 10^{-3}$ kg/cm ²)
	Beban Dinamis	Beban Statis	
1	0,002689	3,980	1,343
2	0,005378	3,646	1,429
3	0,002689	2,248	1,418

Perbandingan antara ketiga hasil tegangan dan regangan juga dapat dilakukan dengan mencari nilai kesalahan relatifnya. Dengan asumsi regangan dari ANSYS sebagai *base* atau acuan, maka kesalahan relatif hasil regangan dapat dicari.

Tabel 15 Kesalahan Relatif Hasil Regangan dari Skala Semi Lapangan terhadap Regangan dari Analisis ANSYS

Loka- si	Beban Dinamis ($\times 10^{-6}$ m/m)	KR (%)	Beban Statis ($\times 10^{-03}$ m/m)	KR (%)
1	1,00	99,8	1,48	61,42
2	2,00	99,7	1,356	56,34
3	1,00	99,8	8,36	31,22

Tabel 16 Kesalahan Relatif Hasil Tegangan dari Skala Semi Lapangan terhadap Regangan dari Analisis ANSYS

Lo- kasi	Beban Dinamis ($\times 10^{-3}$ kg/cm ²)	KR (%)	Beban Statis (kg/cm ²)	KR (%)
1	2,689	50,1	3,980	99,97
2	5,378	73,4	3,646	99,96
3	2,689	47,3	2,248	99,94

Perbedaan cara pengukuran regangan menyebabkan perbedaan hasil. Perbedaan regangan dengan beban statis ini dimungkinkan karena faktor-faktor seperti efek beban dinamis roda pada pengukuran skala semi lapangan dan karakteristik material.

7. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Regangan yang terjadi pada aspal porus adalah regangan tarik sehingga pengukuran regangan dengan skala semi lapangan menggunakan mesin penguji dan *strain gauge* telah *reliable*, namun regangan dengan skala semi lapangan akibat beban dinamis lebih kecil daripada regangan akibat beban statis.
- 2) Tegangan yang terjadi pada aspal porus dari analisis ANSYS merupakan tegangan tarik dimana nilai maksimum berada tepat dibawah roda dan akan

semakin berkurang seiring dengan jaraknya terhadap beban roda, sedangkan evaluasi regangan menggunakan ANSYS dengan pemberian beban statis mendapat nilai regangan yang berbeda dengan hasil regangan dengan pengukuran skala semi lapangan yang juga diberi beban statis dan beban dinamis.

- 3) Regangan dari ANSYS yang diberi beban statis lebih kecil daripada regangan dari skala semi lapangan yang diberi beban statis karena perbedaan karakteristik material, namun lebih besar daripada regangan dari pengukuran skala semi lapangan yang diberi beban dinamis dikarenakan efek pemberian beban yang berbeda.

Untuk lebih menyempurnakan penelitian selanjutnya, maka sebaiknya diperhatikan hal-hal di bawah ini:

- 1) Parameter seperti modulus elastisitas dan poisson ratio diuji dengan menggunakan alat standard yang sudah ada.
- 2) Pengukuran regangan dengan skala semi lapangan dilakukan hingga aspal retak sehingga diperoleh model atau *trend* regangan yang lebih detail.
- 3) Dapat dilakukan pengembangan alat terkait dengan pengukuran tegangan dan lendutan dengan skala semi lapangan.
- 4) Diperlukan evaluasi lebih lanjut pada ANSYS dengan menggunakan beban dinamis untuk memperoleh regangan dan tegangan pada perkerasan.
- 5) Dilakukan evaluasi regangan, tegangan, dan lendutan pada lapisan perkerasan yang lain seperti lapisan pondasi atas, lapisan pondasi bawah, dan tanah dasar.

DAFTAR PUSTAKA

Asphalt Institute. 1989. *The Asphalt Handbook Manual Series no.4, seventh edition*. The Asphalt Institute: Kentucky USA

- Basuki, Rachmad dan Machsus. 2007. *Penambahan Gilsonite Resin pada Aspal Prima 55 untuk meningkatkan Kualitas Perkerasan Hotmix*. Jurnal Aplikasi. 3, (1), 16 – 27.
- Bina Marga. 2006. *Spesifikasi Umum Perkerasan Berbutir Lapis Pondasi Agregat*.
- Bruce K. Ferguson. 2005. *Porous Pavement*. Florida : Taylor and Francis.
- Co. Ltd, UKJokosisworo, Sarjito dan Jajang Sebastian. 2011. *Analisa Fatigue Kekuatan Stern Ramp Door Akibat Beban Dinamis Pada Km. Kirana I dengan Metode Elemen Hingga Diskrit Elemen Segitiga Plane Stress*. Kapal. Vol. 8, No.3, 122.
- Kim, Minkwan. 2007. *Three-Dimensional Finite Element Analysis Of Flexible Pavements Considering Nonlinear Pavement Foundation Behavior*. Disertasi University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Ramadhan, Nizar dan Burhanuddin, Rachmad Reza. 2014. *Pengaruh Penambahan Additive Gilsonite Hma Modifier Grade terhadap Kinerja Aspal Porus*. Skripsi Universitas Brawijaya Malang: tidak diterbitkan
- Shell Bitumen. 1990. *The Shell Bitumen Handbook*, Shell International Petroleum
- Sukirman, Silvia. 2003. *Perkerasan Jalan Raya*. Bandung: Penerbit NOVA
- Wang, Jia. 2001. *Three-Dimensional Finite Element Analysis of Flexible Pavements*. Tesis University of Maine at China.
- Wardoyo, Joko. 2003. *Pengaruh Bahan Tambah Gilsonite pada Asphalt Concrete Wearing Course (ACWC1) Terhadap Nilai Properties Marshall dan Modulus Kekakuan*. Tesis Magister Universitas Diponegoro Semarang: tidak diterbitkan.
- Yoder, Ej & Witczak, MW. 1975. *Principles of Pavement Design, 2nd Edition*. John Wiley & Sons Inc. Canada.