

**ANALISA TEGANGAN, REGANGAN DAN DEFORMASI PADA
PERKERASAN KONVENSIONAL DAN PERKERASAN PORUS**

TESIS

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
MINAT REKAYASA TRANSPORTASI**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar magister teknik



**MUKHAMMAD MUKHLIS
NIM. 156060100111015**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017**

TESIS

ANALISA TEGANGAN, REGANGAN DAN DEFORMASI PADA PERKERASAN KONVENSIONAL DAN PERKERASAN PORUS

MUKHAMMAD MUKHLIS
NIM. 156060100111015

telah dipertahankan di depan penguji
pada tanggal 2 Januari 2018
dinyatakan telah memenuhi syarat
untuk memperoleh gelar Magister Teknik

Komisi Pembimbing,

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Ludfi Djakfar, MSCE. Ph.D.
NIP. 19640709 199002 1 001

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

Malang,

Universitas Brawijaya
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil
Ketua Program Magister Teknik Sipil

Ari Wibowo, ST. MT. Ph.D
NIP. 19740619 200012 1 002

IDENTITAS TIM PENGUJI**JUDUL TESIS :**

ANALISA TEGANGAN, REGANGAN DAN DEFORMASI PADA PERKERASAN KONVENSIONAL DAN PERKERASAN PORUS

Nama Mahasiswa : MUKHAMMAD MUKHLIS
NIM. : 156060100111015
Program Studi : Teknik Sipil
Minat : Rekayasa Transportasi

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Ir. Ludfi Djakfar, MSCE. Ph.D.
Anggota : Dr. Ir. Harimurti, MT.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT.
Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Wisnumurti, MT.

Tanggal Ujian : 2 Januari 2018
SK Penguji : Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Nomor 1769 Tahun 2017
Tanggal 28 Desember 2017

PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Tesis ini adalah asli dari pemikiran saya, 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 oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Tesis dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UUNo. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 2 Januari 2018

Mahasiswa,

MUKHAMMAD MUKHLIS

NIM. 156060100111015

RIWAYAT HIDUP



MUKHAMMAD MUKHLIS, Malang , 2 Mei 1974 , anak dari ayah yang bernama Gus Ali Djakfar Chamid Chodri dan Ibu yang bernama Sutjiati. SD sampai SMA di Kota Kepanjen kemudian STM di Kota Malang. Lulus STM pada tahun 1993. Pada tahun 1994 melanjutkan di Universitas Widya Gama Malang (UWG) jurusan Teknik Sipil dan lulus Program Sarjana Teknik (ST) pada tahun 1999. Pada tahun 2015 melanjutkan program magister di Universitas Brawijaya (UB) Teknik Sipil minat Rekayasa Transportasi.



UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, perkenankan Penulis menghaturkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayahanda Gus Ali Djakfar Chamid Chodri dan Ibunda Sutjiati, Istriku Lina Rahmawati serta anak-anakku tercinta serta segenap keluarga atas doa dan dukungannya yang sangat berarti dalam menyelesaikan kuliah ini.
2. Dr. Ir. M. Ruslin Anwar, M.Si selaku Dekan Fakultas Teknik UB.
3. Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil UB.
4. Ari Wibowo, ST. MT. Ph.D selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil yang membantu kelancaran tesis ini.
5. Ir. Ludfi Djakfar, MSCE, Ph.D. dan Dr. Ir. Harimurti, MT. selaku Dosen Pembimbing yang penuh kesabaran memberikan bimbingan, pengarahan dan motivasi yang sangat berharga untuk kesempurnaan penulisan tesis ini.
6. Dr. Eng. Yulvi Zaika, MT. dan Dr. Ir. Wisnumurti, MT. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan masukan pada tesis ini.
7. Ratu Eka Riyana, ST. Vrischa Natalia Arung, ST. Ama Wadu, ST. MT. Randa Alief Cikita, ST. MT. dan Ari W Permana, ST. MT. yang telah bekerjasama selama pelaksanaan penelitian dan masukan serta saran selama pengolahan data.
8. Seluruh staf CV. Media Pratama Konsultan atas dukungan morilnya.
9. Bapak/Ibu Dosen, kawan-kawan mahasiswa Program Magister Teknik Sipil Minat Rekayasa Transportasi angkatan 2015, serta pihak lain yang telah memberikan bantuan, dorongan dan peran serta dalam penyusunan tesis ini

Malang, Januari 2018

Penulis

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, serta nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tesis dengan judul **“ANALISA TEGANGAN, REGANGAN DAN DEFORMASI PADA PERKERASAN KONVENSIONAL DAN PERKERASAN PORUS”**.

Kajian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui untuk membuktikan adanya hubungan perilaku tegangan dan regangan pada lapisan perkerasan konvensional dan perkerasan porus yang diukur dengan menggunakan alat skala semi lapangan, menguji perbedaan atau persamaan deformasi yang terjadi pada perkerasan konvensional dan perkerasan porus dan untuk mengetahui perbandingan antara tegangan dan regangan antara perkerasan konvensional dan perkerasan porus.

. Hasil dari kajian ini diharapkan akan mampu memberikan kontribusi kepada perencana dalam mendesain perkerasan porus yang efektif dan efisien dengan melihat kinerja perkerasan berupa deformasi, tegangan, serta regangan ketika menerima beban dinamis maupun beban statis

Penulis menyadari bahwa dengan segala keterbatasan yang dimiliki baik kemampuan, tenaga, waktu dan biaya, dalam penulisan ini pastilah masih banyak terdapat kekurangan-kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik serta saran yang membangun agar tulisan ini bisa memberikan manfaat yang lebih bagi kita semua, khususnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
RINGKASAN	xv
SUMMARY	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	3
1.3. Rumusan Masalah	4
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Tujuan Penelitian	4
1.6. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Perkerasan Berpori (Porous Pavement)	7
2.1.1. Kelebihan dan Kekurangan Perkerasan Porus	9
2.2. Tegangan dan Regangan pada Lapisan Perkerasan	14
2.3. Pemodelan Perkerasan Skala Semi Lapangan	15
2.4. Pengujian Material Terdahulu	18
2.4.1. Pengujian Karakteristik Aspal Porus	18
2.4.2. Pengujian Karakteristik Aspal Konvensional	20
2.4.3. Pengujian Karakteristik Batu Pecah sebagai Lapis Pondasi	21
2.4.4. Pengujian Tanah Dasar (Subgrade)	24
2.5. Uji ANOVA	25
2.6. Penelitian Terdahulu	27
BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN.....	31
3.1. Kerangka Pikir	31
3.2. Definisi Operasional	32
BAB IV METODE PENELITIAN.....	35
4.1. Tahapan Penelitian	35
4.1.1. Pekerjaan Persiapan	35
4.1.2. Hipotesis Penelitian	35
4.1.3. Penentuan Beban	35
4.1.4. Pengujian Material	36
4.1.5. Pengolahan dan Analisa Data	38
4.1.7. Pembahasan	38
4.1.8. Kesimpulan dan saran	38
4.2. Lokasi, Waktu Penelitian dan Tahapan Pelaksanaan	40
4.2.1. Lokasi Penelitian	40
4.2.2. Waktu Penelitian	41
4.2.3. Tahapan Pelaksanaan	41



4.2.3.1.	Persiapan Model Struktur Perkerasan dengan Skala Semi Lapangan	41
4.2.3.2.	Penyiapan Peralatan Pengujian	43
4.2.3.3.	Pengujian Material	49
4.2.3.4.	Pembuatan Benda Uji Aspal Porus Dan Konvesional	50
4.2.3.5.	Penyiapan Lahan dan Penyetalan Peralatan.	52
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....		57
5.1.	Hasil Pengukuran Tegangan pada Lapisan Pondasi	57
5.1.1.	Hasil Pengukuran Tegangan pada Perkerasan yang Diberi Beban Dinamis	57
5.1.1.1	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1	57
5.1.1.2	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2	60
5.1.1.3	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	62
5.1.1.4	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	65
5.1.1.5	Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	67
5.1.1.6	Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	69
5.1.2.	Hasil Pengukuran Tegangan pada Perkerasan yang Diberi Beban Statis	71
5.1.2.1	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1	71
5.1.2.2	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2	73
5.1.2.3	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	75
5.1.2.4	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	77
5.1.2.5	Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	79
5.1.2.6	Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	81
5.1.3.	Perbandingan Tegangan Dinamis dan Tegangan Statis	82
5.1.3.1	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1	83
5.1.3.2	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2	85
5.1.3.3	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	87
5.1.3.4	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	89
5.2.	Hasil Pengukuran Regangan pada Perkerasan Lentur	91
5.2.1.	Pengukuran Regangan pada Perkerasan yang Diberi Beban Dinamis....	91
5.2.1.1	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1	92
5.2.1.2	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2	93
5.2.1.3	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	95
5.2.1.4	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	96
5.2.1.5	Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	97
5.2.1.6	Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	99
5.2.2.	Pengukuran Regangan pada Perkerasan yang Diberi Beban Statis	100
5.2.2.1	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1	100
5.2.2.2	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2	102
5.2.2.3	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	103
5.2.2.4	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	104
5.2.2.5	Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1	



dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	105
5.2.2.6 Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	106
5.2.3. Perbandingan Regangan pada Perkerasan yang Diberi Beban Dinamis dan Statis	108
5.2.3.1 Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1	108
5.2.3.2 Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2	109
5.2.3.3 Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	110
5.2.3.4 Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	111
5.3. Analisis Deformasi yang Terjadi pada Permukaan Perkerasan Lentur	113
5.3.1. Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1	113
5.3.2. Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2	116
5.3.3. Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	119
5.3.4. Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	121
5.3.5. Analisis Deformasi yang Terjadi pada Permukaan Perkerasan Lentur ..	124
 BAB VI PENUTUP	 125
6.1. Kesimpulan	125
6.2. Saran	126
 DAFTAR PUSTAKA	 127
 LAMPIRAN	 129



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2. 1	Karakteristik Gilsonite	10
Tabel 2. 2	Gradasi Agregat Aspal Porus Standar British	11
Tabel 2. 3	Perbandingan Aspal Porus tanpa Gilsonite dan Aspal Porus dengan Tambahan Gilsonite Kadar 8%	12
Tabel 2. 4	Rancangan Gradasi Aspal Porus Standar British	18
Tabel 2. 5	Hasil Karakteristik Marshall Aspal Porus dengan Kadar Gilsonite 0% dan 8%	19
Tabel 2. 6	Hasil Pengujian Permabilitas Debit Aspal Porus dengan Kadar Gilsonite 0%	20
Tabel 2. 7	Rancangan Gradasi Aspal Konvensional Standar Bina Marga	21
Tabel 2. 8	Gradasi dan Persentase Lolos Agregat Base	22
Tabel 2. 9	Gradasi dan Persentase Lolos Agregat Subbase	23
Tabel 2. 10	Hasil Pengujian Analisa Saringan Tanah Dasar	24
Tabel 4. 1	Pengujian Material dan Acuan yang dipakai	37
Tabel 4. 2	Gradasi Agregat Aspal Porus Standar British	50
Tabel 4. 3	Rancangan Gradasi Aspal Konvensional Standar Bina Marga	50



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1. 1	Aspal yang Berlubang Akibat Genangan Air	1
Gambar 2. 1	Gradasi Agregat Aspal Porus Standar British	11
Gambar 2. 2	Potongan Melintang Perkerasan Porus.	13
Gambar 2. 3	Lapisan-Lapisan Porus Pavement	13
Gambar 2. 4	Penyebaran Beban Lalu Lintas pada Kedalaman Perkerasan.	15
Gambar 2. 5	Lokasi Analisis Kritis pada Struktur Perkerasan	17
Gambar 2. 6	Tegangan dan Regangan pada Struktur Perkerasan	17
Gambar 2. 7	Gradasi Agregat Aspal Porus Standar British	19
Gambar 2. 8	Gradasi Agregat Aspal Konvensional Standar Bina Marga	21
Gambar 2. 9	Gradasi Agregat Base	22
Gambar 2. 10	Gradasi Agregat Subbase	23
Gambar 2. 11	Analisa Saringan Tanah Dasar	25
Gambar 3. 1	Diagram Alir Kerangka Pikir	32
Gambar 4. 1	Sumbu Standar di Lapangan	36
Gambar 4. 2	Diagram Tahapan Penelitian	40
Gambar 4. 3	Lokasi Pengujian dengan Skala Semi Lapangan	41
Gambar 4. 4	Struktur Perkerasan Porus Skala Semi Lapangan Potongan Memanjang	42
Gambar 4. 5	Struktur Perkerasan Porus Skala Semi Lapangan Potongan Melintang	42
Gambar 4. 6	Lokasi Alat Pengukur Tegangan	43
Gambar 4. 7	Mesin penguji yang digunakan dalam penelitian sebelum dikembangkan	44
Gambar 4. 8	Mesin penguji yang digunakan dalam penelitian setelah dikembangkan	44
Gambar 4. 9	Alat Penghitung Lintasan (Counter) pada Mesin Penguji	45
Gambar 4. 10	Strain Gauge	45
Gambar 4. 11	Lokasi Strain Gauge pada Aspal Porus	46
Gambar 4. 12	Strain Meter (Kiri) dan Cable Switch (Kanan)	46
Gambar 4. 13	Alat Pengukur Tegangan	47
Gambar 4. 14	Lokasi Sensor Pengukur Tegangan	48
Gambar 4. 15	Kedalaman Alat Pengukur Tegangan	48
Gambar 4. 16	Jangka Sorong Digital	49
Gambar 4. 17	Agregat Kasar dan Agregat Halus	49
Gambar 4. 18	Proses Pencampuran Agregat dengan Aspal Cair	51
Gambar 4. 19	Proses Pemadatan Benda Uji	52
Gambar 4. 20	Pemasangan Strain Gauge	53
Gambar 4. 21	Pemasangan Sensor Pengukur Tegangan	53
Gambar 4. 22	Lapisan Resap Pengikat	54
Gambar 4. 23	Penempatan benda uji	54
Gambar 4. 24	Pengaturan kedataran alat loading test	55
Gambar 4. 25	Pengaturan kedataran alat loading test	55
Gambar 4. 26	Pemasangan kabel dan handycame pada Alat Strain Meter	56
Gambar 4. 27	Pemasangan kabel dan handycame pada Alat Pengukur Tegangan ...	56

Gambar 5. 1	Lokasi Alat Pengukur Tegangan	57
Gambar 5. 2	Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 5 cm) Akibat Beban di Titik A	58
Gambar 5. 3	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B	59
Gambar 5. 4	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C	59
Gambar 5. 5	Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 5 cm) Akibat Beban di Titik A	60
Gambar 5. 6	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B	61
Gambar 5. 7	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C	61
Gambar 5. 8	Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 5 cm) Akibat Beban di Titik A	63
Gambar 5. 9	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B	64
Gambar 5. 10	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C	64
Gambar 5. 11	Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 5 cm) Akibat Beban di Titik A	66
Gambar 5. 12	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B	66
Gambar 5. 13	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C	67
Gambar 5. 14	Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik A	68
Gambar 5. 15	Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik B	69
Gambar 5. 16	Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik C	69
Gambar 5. 17	Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik A	70
Gambar 5. 18	Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik B	70
Gambar 5. 19	Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik C	71
Gambar 5. 20	Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik A	72
Gambar 5. 21	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B	72
Gambar 5. 22	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C	73
Gambar 5. 23	Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik A	74
Gambar 5. 24	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B	74
Gambar 5. 25	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C	75
Gambar 5. 26	Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik A	76
Gambar 5. 27	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B	76
Gambar 5. 28	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C	77
Gambar 5. 29	Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik A	78
Gambar 5. 30	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B	78
Gambar 5. 31	Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C	79
Gambar 5. 32	Tegangan Statis Akibat Beban di Titik A	80
Gambar 5. 33	Tegangan Statis Akibat Beban di Titik B	80
Gambar 5. 34	Tegangan Statis Akibat Beban di Titik C	80
Gambar 5. 35	Tegangan Statis Akibat Beban di Titik A	81
Gambar 5. 36	Tegangan Statis Akibat Beban di Titik B	82
Gambar 5. 37	Tegangan Statis Akibat Beban di Titik C	82
Gambar 5. 38	Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik A	83
Gambar 5. 39	Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik B	84
Gambar 5. 40	Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik C	84
Gambar 5. 41	Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik A	85
Gambar 5. 42	Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik B	86
Gambar 5. 43	Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik C	86
Gambar 5. 44	Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik A	87
Gambar 5. 45	Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik B	88
Gambar 5. 46	Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik C	88
Gambar 5. 47	Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik A	89
Gambar 5. 48	Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik B	90
Gambar 5. 49	Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik C	90
Gambar 5. 50	Peletakkan Dua Sensor Alat Pengukur Regangan	91



Gambar 5. 51	Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	92
Gambar 5. 52	Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	93
Gambar 5. 53	Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	94
Gambar 5. 54	Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	94
Gambar 5. 55	Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	95
Gambar 5. 56	Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	95
Gambar 5. 57	Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	96
Gambar 5. 58	Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	97
Gambar 5. 59	Regangan Sensor 1 Saat Beban Dinamis di Titik B	98
Gambar 5. 60	Regangan Sensor 2 Saat Beban Dinamis di Titik C	98
Gambar 5. 61	Regangan Sensor 1 Saat Beban Dinamis di Titik B	99
Gambar 5. 62	Regangan Sensor 2 Saat Beban Dinamis di Titik C	99
Gambar 5. 63	Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	100
Gambar 5. 64	Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	101
Gambar 5. 65	Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	102
Gambar 5. 66	Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	102
Gambar 5. 67	Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	103
Gambar 5. 68	Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	104
Gambar 5. 69	Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	104
Gambar 5. 70	Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	105
Gambar 5. 71	Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Statis di Titik B	106
Gambar 5. 72	Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Statis di Titik C	106
Gambar 5. 73	Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Statis di Titik B	107
Gambar 5. 74	Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Statis di Titik C	107
Gambar 5. 75	Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik B	108
Gambar 5. 76	Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik C	109
Gambar 5. 77	Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik B	109
Gambar 5. 78	Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik C	110
Gambar 5. 79	Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik B	110
Gambar 5. 80	Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik C	111
Gambar 5. 81	Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik B	112
Gambar 5. 82	Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik C	112
Gambar 5. 83	Lokasi Pengukuran Deformasi	113
Gambar 5. 84	Hubungan antara Deformasi dengan Jumlah Lintasan pada Aspal Porus	113
Gambar 5. 85	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 1	114
Gambar 5. 86	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 2	114
Gambar 5. 87	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 3	115
Gambar 5. 88	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 4	115
Gambar 5. 89	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 5	115
Gambar 5. 90	Hubungan antara Deformasi dengan Jumlah Lintasan pada Aspal Porus	116
Gambar 5. 91	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 1	117
Gambar 5. 92	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 2	117
Gambar 5. 93	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 3	117
Gambar 5. 94	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 4	118
Gambar 5. 95	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 5	118
Gambar 5. 96	Hubungan antara Deformasi dengan Jumlah Lintasan pada Aspal Konvensional	119
Gambar 5. 97	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 1	119

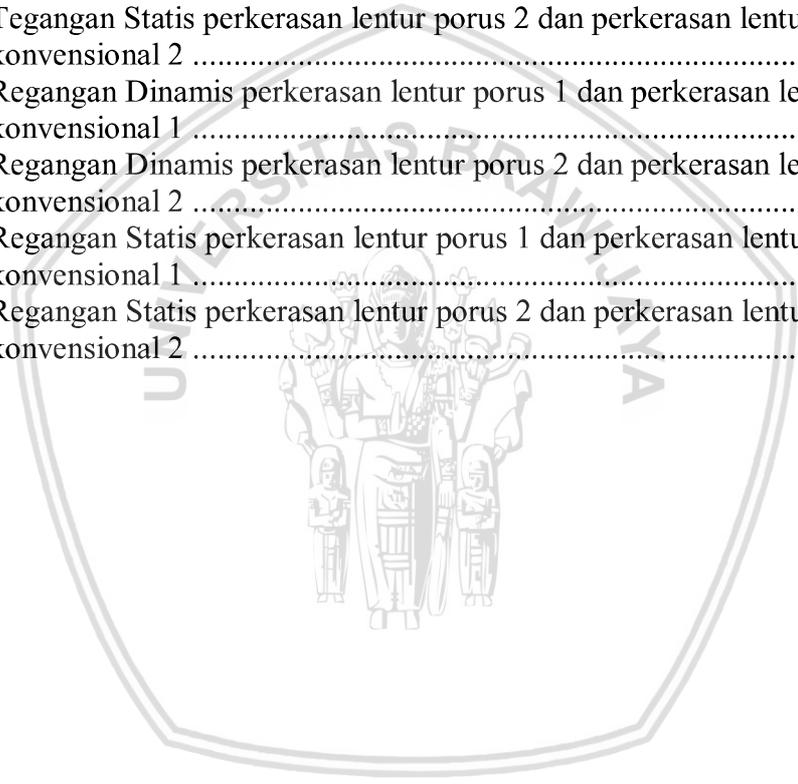


Gambar 5. 98	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 2	120
Gambar 5. 99	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 3	120
Gambar 5. 100	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 4	120
Gambar 5. 101	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 5	121
Gambar 5. 102	Hubungan antara Deformasi dengan Jumlah Lintasan pada Aspal Konvensional	121
Gambar 5. 103	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 1	122
Gambar 5. 104	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 2	122
Gambar 5. 105	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 3	123
Gambar 5. 106	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 4	123
Gambar 5. 107	Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 5	123



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Deformasi perkerasan lentur porus 1 dan perkerasan lentur konvensional 1	129
Lampiran 2.	Deformasi perkerasan lentur porus 2 dan perkerasan lentur konvensional 2	130
Lampiran 3.	Tegangan Dinamis perkerasan lentur porus 1 dan perkerasan lentur konvensional 1	131
Lampiran 4.	Tegangan Dinamis perkerasan lentur porus 2 dan perkerasan lentur konvensional 2	132
Lampiran 5.	Tegangan Statis perkerasan lentur porus 1 dan perkerasan lentur konvensional 1	133
Lampiran 6.	Tegangan Statis perkerasan lentur porus 2 dan perkerasan lentur konvensional 2	134
Lampiran 7.	Regangan Dinamis perkerasan lentur porus 1 dan perkerasan lentur konvensional 1	135
Lampiran 8.	Regangan Dinamis perkerasan lentur porus 2 dan perkerasan lentur konvensional 2	136
Lampiran 9.	Regangan Statis perkerasan lentur porus 1 dan perkerasan lentur konvensional 1	137
Lampiran 10.	Regangan Statis perkerasan lentur porus 2 dan perkerasan lentur konvensional 2	138



RINGKASAN

Mukhammad Mukhlis, Magister Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2018, *Analisa Tegangan, Regangan dan Deformasi pada Perkerasan Konvensional dan Perkerasan Porus*, Dosen Pembimbing : Ludfi Djakfar dan Harimurti.

Perkerasan lentur jenis konvensional kemampuannya untuk meloloskan air kurang baik, sehingga dapat menimbulkan genangan, hal ini menyebabkan kendaraan mudah tergelincir sehingga dapat membahayakan keselamatan pengguna jalan. Aspal porus merupakan jenis perkerasan lentur yang dapat dilewati oleh air karena memiliki permeabilitas dan porositas yang tinggi, akan tetapi daya dukungnya lebih kecil daripada aspal konvensional, Maka penelitian ini dilakukan untuk membuktikan adanya hubungan perilaku tegangan dan regangan pada lapisan perkerasan konvensional dan perkerasan porus yang diukur dengan menggunakan alat skala semi lapangan, menguji perbedaan atau persamaan deformasi yang terjadi pada perkerasan konvensional dan perkerasan porus, mengetahui perbandingan antara tegangan dan regangan antara perkerasan konvensional dan perkerasan porus dan pengembangan alat skala semi lapangan.

Pada kajian ini, data primer didapatkan melalui penelitian langsung, meliputi data tegangan, data tegangan dan data deformasi pada perkerasan konvensional dan perkerasan porus. Data tegangan diperoleh dengan menempatkan 2 titik sensor pada kedalaman 5 cm dibawah perkerasan, 2 titik dikedalaman 15 cm dan 2 titik dikedalaman 20 cm dibawah perkerasan aspal. Data regangan diperoleh dengan menempatkan 2 strain gouge dan data deformasi diamati pada 5 titik. Masing-masing data diambil dengan pembebanan secara dinamis dan statis dengan lintasan sebanyak 5000 kali. Pengujian data dengan menggunakan ANOVA.

Dari hasil analisis, diperoleh bahwa perkerasan lentur konvensional lebih padat sehingga lebih kaku maka tegangan yang sampai pada sensor menjadi kecil, sedangkan untuk perkerasan lentur porus tidak padat sehingga tidak kaku maka tegangan yang sampai pada sensor masih besar, regangan yang terjadi pada perkerasan lentur konvensional lebih kecil daripada yang terjadi pada perkerasan lentur porus, regangan yang diukur dengan skala semi lapangan akibat beban dinamis lebih kecil daripada regangan akibat beban statis, tegangan yang terjadi pada lapis pondasi merupakan tegangan tekan dimana nilai maksimum berada tepat di bawah roda dan akan semakin berkurang seiring dengan menjauhnya beban roda. Namun pada beberapa kondisi, tegangan maksimum yang terjadi tidak tepat berada di bawah roda, tegangan dengan skala semi lapangan akibat beban dinamis cenderung lebih besar daripada tegangan akibat beban statis, kepadatan perkerasan lentur porus yang kecil mengakibatkan deformasi akibat beban roda yang melintas menjadi besar, deformasi yang terjadi pada perkerasan lentur konvensional lebih kecil daripada yang terjadi pada perkerasan lentur porus. Deformasi yang terjadi pada permukaan aspal akibat beban roda yang melintas semakin bertambah besar seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan.

Kata kunci : deformasi, perkerasan konvensional, perkerasan porus, regangan, tegangan.

SUMMARY

Mukhammad Mukhlis, *Master of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, January 2018, Analysis of stress, strain and deformation on conventional pavement and porous pavement. Academic Supervisor : Ludfi Djakfar and Harimurti.*

Conventional pavement of ability to pass water is not good, so it can cause puddles, this causes the vehicle easily slip so that it can endanger the safety of road users. Porous asphalt is a type of flexible pavement that can be passed by water because it has a high permeability and porosity, but its carrying capacity is smaller than conventional asphalt. So this research is done to prove the relationship of stress and strain behavior in conventional pavement layer and porous pavement measured using a semi-field scaling device, examining the differences or deformation equations that occur in conventional pavement and porous pavement, knowing the comparison between stress and strain of conventional pavement and porous pavement and the development of the semi-field scale tool.

In this study, the primary data obtained through direct research, including stress data, strain data and deformation data on the conventional pavement and the porous pavement. The stress data obtained by placing 2 sensor points at a depth of 5 cm under the pavement, 2 points depth of 15 cm under the pavement and 2 points depth of 20 cm under the asphalt pavement. The strain data obtained by placing 2 strains of gouge and deformation data observed at 5 points. Each data loaded with dynamic and static loading with the track of 5000 times. Testing data using ANOVA.

From the analysis result, obtained that the conventional pavement is denser so that more rigid the stress reaching the sensor becomes small, while for the porous pavement is not rigid so that the stress reaching the sensor is still large, the strain that occurs in conventional bending pavement smaller than that of the pivot bending hole, the strain measured by the semi-field scale due to the dynamic load is smaller than the strain due to the static load, the stress occurring in the base layer is the compressive stress where the maximum value is just below the wheel and will decrease as it progresses by moving away from the wheel load. But in some conditions, the maximum stress that occurs is not directly under the wheel, the stress with the semi-field scale due to dynamic load tends to be greater than the stress due to static load, small porous pavement density resulting in deformation due to the passing wheel load becomes large, deformation which occurs in the conventional pavement is less than the porous pavement. Deformation occurring on the surface of the asphalt due to the passing wheel loading increasingly larger as the number of track increases.

Keywords : *Conventional flexible pavement, deformation, porous flexible pavement, strain, stress*

**ANALISA TEGANGAN, REGANGAN DAN DEFORMASI PADA
PERKERASAN KONVENSIONAL DAN PERKERASAN PORUS**

TESIS

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
MINAT REKAYASA TRANSPORTASI**

Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister Teknik



MUKHAMMAD MUKHLIS

NIM. 156060100111015

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2017



DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	3
1.3. Rumusan Masalah	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Tujuan Penelitian.....	4
1.6. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Perkerasan Berpori (Porous Pavement)	7
2.1.1. Kelebihan dan Kekurangan Perkerasan Porus	9
2.2. Tegangan dan Regangan pada Lapisan Perkerasan.....	14
2.3. Pemodelan Perkerasan Skala Semi Lapangan.....	15
2.4. Pengujian Material Terdahulu	18
2.4.1. Pengujian Karakteristik Aspal Porus.....	18
2.4.2. Pengujian Karakteristik Aspal Konvensional	20
2.4.3. Pengujian Karakteristik Batu Pecah sebagai Lapis Pondasi.....	21
2.4.4. Pengujian Tanah Dasar (Subgrade).....	24
2.5. Uji ANOVA	25
2.6. Penelitian Terdahulu	27
BAB III.....	31
KERANGKA KONSEP PENELITIAN	31
3.1. Kerangka Pikir.....	31
3.2. Definisi Operasional	32
BAB IV	35
METODE PENELITIAN.....	35
4.1. Tahapan Penelitian	35
4.1.1. Pekerjaan Persiapan.....	35
4.1.2. Hipotesis Penelitian	35
4.1.3. Penentuan Beban	35
4.1.4. Pengujian Material.....	36
4.1.5. Pengolahan dan Analisa Data.....	38
4.1.7. Pembahasan.....	38
4.1.8. Kesimpulan dan saran.....	38
4.2. Lokasi, Waktu Penelitian dan Tahapan Pelaksanaan	40
4.2.1. Lokasi Penelitian	40
4.2.2. Waktu Penelitian	41
4.2.3. Tahapan Pelaksanaan.....	41

4.2.3.1.	Persiapan Model Struktur Perkerasan dengan Skala Semi Lapangan.....	41
4.2.3.2.	Penyiapan Peralatan Pengujian.....	43
4.2.3.3.	Pengujian Material	49
4.2.3.4.	Pembuatan Benda Uji Aspal Porus Dan Konvensional	50
4.2.3.5.	Penyiapan Lahan dan Penyetelan Peralatan.	52
BAB V		57
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		57
5.1.	Hasil Pengukuran Tegangan pada Lapisan Pondasi	57
5.1.1.	Hasil Pengukuran Tegangan pada Perkerasan yang Diberi Beban Dinamis	57
5.1.1.1	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1	57
5.1.1.2	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2	60
5.1.1.3	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	62
5.1.1.4	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2.....	65
5.1.1.5	Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	67
5.1.1.6	Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	69
5.1.2.	Hasil Pengukuran Tegangan pada Perkerasan yang Diberi Beban Statis	71
5.1.2.1	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1	71
5.1.2.2	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2	73
5.1.2.3	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1.....	75
5.1.2.4	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2.....	77
5.1.2.5	Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	79
5.1.2.6	Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	81
5.1.3.	Perbandingan Tegangan Dinamis dan Tegangan Statis	82
5.1.3.1	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1	83
5.1.3.2	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2.....	85
5.1.3.3	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1.....	87
5.1.3.4	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2.....	89
5.2.	Hasil Pengukuran Regangan pada Perkerasan Lentur	91
5.2.1.	Pengukuran Regangan pada Perkerasan yang Diberi Beban Dinamis....	91
5.2.1.1	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1	92
5.2.1.2	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2	93
5.2.1.3	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1.....	95
5.2.1.4	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2.....	96
5.2.1.5	Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	97
5.2.1.6	Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	99
5.2.2.	Pengukuran Regangan pada Perkerasan yang Diberi Beban Statis	100
5.2.2.1	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1	100
5.2.2.2	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2	102
5.2.2.3	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1.....	103
5.2.2.4	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2.....	104
5.2.2.5	Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	105

5.2.2.6	Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2.....	106
5.2.3.	Perbandingan Regangan pada Perkerasan yang Diberi Beban Dinamis dan Statis.....	108
5.2.3.1	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1.....	108
5.2.3.2	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2.....	109
5.2.3.3	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	110
5.2.3.4	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	111
5.3.	Analisis Deformasi yang Terjadi pada Permukaan Perkerasan Lentur	113
5.3.1.	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1.....	113
5.3.2.	Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2.....	116
5.3.3.	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1	119
5.3.4.	Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2	121
5.3.5.	Analisis Deformasi yang Terjadi pada Permukaan Perkerasan Lentur .	124
BAB VI	125
PENUTUP	125
6.1.	Kesimpulan	125
6.2.	Saran	126
DAFTAR PUSTAKA	127



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2. 1	Karakteristik Gilsonite	10
Tabel 2. 2	Gradasi Agregat Aspal Porus Standar British	11
Tabel 2. 3	Perbandingan Aspal Porus tanpa Gilsonite dan Aspal Porus dengan Tambahan Gilsonite Kadar 8%	12
Tabel 2. 4	Rancangan Gradasi Aspal Porus Standar British.....	18
Tabel 2. 5	Hasil Karakteristik Marshall Aspal Porus dengan Kadar Gilsonite 0% dan 8% 19	
Tabel 2. 6	Hasil Pengujian Permabilitas Debit Aspal Porus dengan Kadar Gilsonite 0% .. 20	
Tabel 2. 7	Rancangan Gradasi Aspal Konvensional Standar Bina Marga	21
Tabel 2. 8	Gradasi dan Persentase Lolos Agregat Base	22
Tabel 2. 9	Gradasi dan Persentase Lolos Agregat Subbase	23
Tabel 2. 10	Hasil Pengujian Analisa Saringan Tanah Dasar	24
Tabel 4. 1	Pengujian Material dan Acuan yang dipakai.....	37
Tabel 4. 2	Gradasi Agregat Aspal Porus Standar British	50
Tabel 4. 3	Rancangan Gradasi Aspal Konvensional Standar Bina Marga	50



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1. 1	Aspal yang Berlubang Akibat Genangan Air.....	1
Gambar 2. 1	Gradasi Agregat Aspal Porus Standar British	11
Gambar 2. 2	Potongan Melintang Perkerasan Porus.	13
Gambar 2. 3	Lapisan-Lapisan Porus Pavement	13
Gambar 2. 4	Penyebaran Beban Lalu Lintas pada Kedalaman Perkerasan.	15
Gambar 2. 5	Lokasi Analisis Kritis pada Struktur Perkerasan.....	17
Gambar 2. 6	Tegangan dan Regangan pada Struktur Perkerasan.....	17
Gambar 2. 7	Gradasi Agregat Aspal Porus Standar British	19
Gambar 2. 8	Gradasi Agregat Aspal Konvensional Standar Bina Marga.....	21
Gambar 2. 9	Gradasi Agregat Base	22
Gambar 2. 10	Gradasi Agregat Subbase	23
Gambar 2. 11	Analisa Saringan Tanah Dasar	25
Gambar 3. 1	Diagram Alir Kerangka Pikir	32
Gambar 4. 1	Sumbu Standar di Lapangan.....	36
Gambar 4. 2	Diagram Tahapan Penelitian	40
Gambar 4. 3	Lokasi Pengujian dengan Skala Semi Lapangan.....	41
Gambar 4. 4	Struktur Perkerasan Porus Skala Semi Lapangan Potongan Memanjang.....	42
Gambar 4. 5	Struktur Perkerasan Porus Skala Semi Lapangan Potongan Melintang	42
Gambar 4. 6	Lokasi Alat Pengukur Tegangan	43
Gambar 4. 7	Mesin penguji yang digunakan dalam penelitian sebelum dikembangkan.....	44
Gambar 4. 8	Mesin penguji yang digunakan dalam penelitian setelah dikembangkan.....	44
Gambar 4. 9	Alat Penghitung Lintasan (Counter) pada Mesin Penguji.....	45
Gambar 4. 10	Strain Gauge	45
Gambar 4. 11	Lokasi Strain Gauge pada Aspal Porus.....	46
Gambar 4. 12	Strain Meter (Kiri) dan Cable Switch (Kanan).....	46
Gambar 4. 13	Alat Pengukur Tegangan.....	47
Gambar 4. 14	Lokasi Sensor Pengukur Tegangan.....	48
Gambar 4. 15	Kedalaman Alat Pengukur Tegangan	48
Gambar 4. 16	Jangka Sorong Digital.....	49
Gambar 4. 17	Agregat Kasar dan Agregat Halus	49
Gambar 4. 18	Proses Pencampuran Agregat dengan Aspal Cair	51
Gambar 4. 19	Proses Pemadatan Benda Uji.....	52
Gambar 4. 20	Pemasangan Strain Gauge	53
Gambar 4. 21	Pemasangan Sensor Pengukur Tegangan.....	53
Gambar 4. 22	Lapisan Resap Pengikat	54
Gambar 4. 23	Penempatan benda uji	54
Gambar 4. 24	Pengaturan kedataran alat loading test.....	55
Gambar 4. 25	Pengaturan kedataran alat loading test.....	55
Gambar 4. 26	Pemasangan kabel dan handycame pada Alat Strain Meter.....	56
Gambar 4. 27	Pemasangan kabel dan handycame pada Alat Pengukur Tegangan	56
Gambar 5. 1	Lokasi Alat Pengukur Tegangan	57
Gambar 5. 2	Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 5 cm) Akibat Beban di Titik A.....	58

Gambar 5. 3 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B	59
Gambar 5. 4 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C	59
Gambar 5. 5 Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 5 cm) Akibat Beban di Titik A	60
Gambar 5. 6 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B	61
Gambar 5. 7 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C	61
Gambar 5. 8 Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 5 cm) Akibat Beban di Titik A	63
Gambar 5. 9 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B	64
Gambar 5. 10 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C.....	64
Gambar 5. 11 Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 5 cm) Akibat Beban di Titik A	66
Gambar 5. 12 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B.....	66
Gambar 5. 13 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C.....	67
Gambar 5. 14 Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik A	68
Gambar 5. 15 Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik B.....	69
Gambar 5. 16 Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik C.....	69
Gambar 5. 17 Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik A	70
Gambar 5. 18 Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik B.....	70
Gambar 5. 19 Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik C.....	71
Gambar 5. 20 Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik A	72
Gambar 5. 21 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B.....	72
Gambar 5. 22 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C.....	73
Gambar 5. 23 Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik A	74
Gambar 5. 24 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B.....	74
Gambar 5. 25 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C.....	75
Gambar 5. 26 Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik A	76
Gambar 5. 27 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B.....	76
Gambar 5. 28 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C.....	77
Gambar 5. 29 Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik A	78
Gambar 5. 30 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B.....	78
Gambar 5. 31 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C.....	79
Gambar 5. 32 Tegangan Statis Akibat Beban di Titik A	80
Gambar 5. 33 Tegangan Statis Akibat Beban di Titik B	80
Gambar 5. 34 Tegangan Statis Akibat Beban di Titik C	80
Gambar 5. 35 Tegangan Statis Akibat Beban di Titik A	81
Gambar 5. 36 Tegangan Statis Akibat Beban di Titik B	82
Gambar 5. 37 Tegangan Statis Akibat Beban di Titik C	82
Gambar 5. 38 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik A	83
Gambar 5. 39 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik B	84
Gambar 5. 40 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik C	84
Gambar 5. 41 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik A	85
Gambar 5. 42 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik B	86
Gambar 5. 43 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik C	86
Gambar 5. 44 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik A	87
Gambar 5. 45 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik B	88
Gambar 5. 46 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik C	88
Gambar 5. 47 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik A	89
Gambar 5. 48 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik B	90
Gambar 5. 49 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik C	90

Gambar 5. 50 Peletakkan Dua Sensor Alat Pengukur Regangan	91
Gambar 5. 51 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	92
Gambar 5. 52 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	93
Gambar 5. 53 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	94
Gambar 5. 54 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	94
Gambar 5. 55 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	95
Gambar 5. 56 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	95
Gambar 5. 57 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	96
Gambar 5. 58 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	97
Gambar 5. 59 Regangan Sensor 1 Saat Beban Dinamis di Titik B	98
Gambar 5. 60 Regangan Sensor 2 Saat Beban Dinamis di Titik C	98
Gambar 5. 61 Regangan Sensor 1 Saat Beban Dinamis di Titik B	99
Gambar 5. 62 Regangan Sensor 2 Saat Beban Dinamis di Titik C	99
Gambar 5. 63 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	100
Gambar 5. 64 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	101
Gambar 5. 65 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	102
Gambar 5. 66 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	102
Gambar 5. 67 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	103
Gambar 5. 68 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	104
Gambar 5. 69 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B	104
Gambar 5. 70 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C	105
Gambar 5. 71 Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Statis di Titik B	106
Gambar 5. 72 Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Statis di Titik C	106
Gambar 5. 73 Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Statis di Titik B	107
Gambar 5. 74 Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Statis di Titik C	107
Gambar 5. 75 Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik B	108
Gambar 5. 76 Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik C	109
Gambar 5. 77 Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik B	109
Gambar 5. 78 Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik C	110
Gambar 5. 79 Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik B	110
Gambar 5. 80 Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik C	111
Gambar 5. 81 Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik B	112
Gambar 5. 82 Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik C	112
Gambar 5. 83 Lokasi Pengukuran Deformasi	113
Gambar 5. 84 Hubungan antara Deformasi dengan Jumlah Lintasan pada Aspal Porus... 113	113
Gambar 5. 85 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 1	114
Gambar 5. 86 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 2	114
Gambar 5. 87 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 3	115
Gambar 5. 88 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 4	115
Gambar 5. 89 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 5	115
Gambar 5. 90 Hubungan antara Deformasi dengan Jumlah Lintasan pada Aspal Porus... 116	116
Gambar 5. 91 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 1	117
Gambar 5. 92 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 2	117
Gambar 5. 93 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 3	117
Gambar 5. 94 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 4	118
Gambar 5. 95 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 5	118

Gambar 5. 96 Hubungan antara Deformasi dengan Jumlah Lintasan pada Aspal Konvensional 119

Gambar 5. 97 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 1 119

Gambar 5. 98 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 2 120

Gambar 5. 99 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 3 120

Gambar 5. 100 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 4 120

Gambar 5. 101 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 5 121

Gambar 5. 102 Hubungan antara Deformasi dengan Jumlah Lintasan pada Aspal Konvensional 121

Gambar 5. 103 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 1 122

Gambar 5. 104 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 2 122

Gambar 5. 105 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 3 123

Gambar 5. 106 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 4 123

Gambar 5. 107 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 5 123



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Transportasi adalah salah satu faktor yang sangat penting dalam mewujudkan kemajuan sebuah negara. Jalan merupakan salah satu prasarana transportasi darat sangat vital bagi pertumbuhan ekonomi. Dalam kelompok sektor Transportasi, jalan raya berpotensi sebagai penyedia akses transportasi jasa dan barang ke seluruh wilayah cakupan perencanaan yang berdampak sebagai komponen akselerasi pembangunan wilayah maupun regional. Kerusakan jalan akan sangat menghambat kelancaran angkutan barang. Salah satu penyebab kerusakan jalan adalah adanya genangan air, baik yang berasal dari air hujan maupun dari limpasan saluran air, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.1 di bawah ini :



Gambar 1. 1 Aspal yang Berlubang Akibat Genangan Air

Sumber : Hasil survei penelitian jalan long segmen Bts. Lamongan – Widang (2017)

Volume lalu lintas kendaraan yang semakin hari semakin meningkat menimbulkan permasalahan yang semakin pelik, ditambah lagi muatan beban kendaraan yang melebihi kapasitas daya dukung jalan, hal ini yang memperparah kerusakan jalan. Di Indonesia pada umumnya menggunakan perkerasan lentur jenis konvensional, dimana kemampuannya untuk meloloskan air kurang baik, sehingga dapat menimbulkan genangan yang sangat berbahaya bagi pengguna jalan. Karena pada saat terjadi genangan roda kendaraan tidak

dapat menempel dengan baik pada permukaan perkerasan (*aquaplanning*) dan hal ini menyebabkan kendaraan mudah tergelincir sehingga dapat membahayakan keselamatan pengguna jalan.

Salah satu upaya yang terus diupayakan untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan meningkatkan penggunaan aspal porus. Aspal porus merupakan jenis perkerasan lentur yang dapat dilewati oleh air karena memiliki permeabilitas dan porositas yang tinggi, akan tetapi daya dukungnya lebih kecil daripada aspal konvensional. Ini dikarenakan ikatan agregat yang kurang.

Dalam sebuah perencanaan struktur perkerasan jalan terdapat banyak faktor yang harus diperhatikan antara lain ; kondisi eksisting lokasi jalan, data pengguna jalan, curah hujan, daya dukung tanah, dan lain – lain. Dan pada saat penentuan pemilihan jenis perkerasan yang akan digunakan selain memperhatikan faktor-faktor diatas, juga harus mempertimbangkan material-material yang akan dipakai sebagai sebuah struktur jalan baik jenis aspal konvensional maupun aspal porus.

Perilaku aspal dapat diketahui dengan adanya deformasi, tegangan dan regangan yang terjadi pada saat menerima menerima beban berulang (*repetisi beban*), dimana data-data yang diperoleh sangat berguna untuk mendesain ulang struktur jalan sehingga jalan tidak mudah rusak.

Beberapa penelitian tentang aspal porus, diantaranya :

Pengujian daya tahan suhu tinggi (*Uji HTLTD*) dengan menggunakan uji *Moriyoshi Breaking Point* (MBP, strain fraktur: 0,3%) (Moriyoshi, ToshiroJi, Nakai, Ishikawa, Tokumitsu, & Kasahara, 2014),

Pengujian *repetisi beban roda* dilakukan dengan menggunakan alat *Loaded wheel tracker* (LWT) yang akan memberikan gambaran seberapa baik kinerja perkerasan aspal porus dengan memperhitungkan kedalaman rutting akibat dari beban lintasan yang berulang (Tanzadeh & Shahrezagamasaei, 2017).

Pengujian tarik tidak langsung untuk modulus kekakuan dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Test Machine* (UTM) yang memberikan beban berulang sepanjang diameter vertikal benda uji (Zhang, van de Ven, Molenaar, & Wu, 2016).

Simulasi pada perkerasan aspal lapis ganda berpori untuk menjaga agar kebisingan lalu lintas pada tingkat rendah dengan daya tahan yang baik dengan menggunakan ABAQUS (Liu, Huang, & Xue, 2016),

Solusi untuk meningkatkan kelancaran dan untuk meningkatkan keawetan permukaan perkerasan aspal berpori dengan cara memodifikasi campuran aspal porus kecil dengan resin epoksi (Qian & Lu, 2015).

Kemudian ada beberapa penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan Alat Skala Semi Lapangan :

Regangan perkerasan porus menggunakan skala semi lapangan berbanding terbalik dengan nilai tegangan yaitu semakin menurun dengan bertambahnya jumlah lintasan beban saat berjalan ataupun berhenti. (Dewi & Rachmawati, 2015)

Regangan yang diperoleh dari pengukuran dengan skala semi lapangan akibat beban statis dan beban dinamis memiliki perbedaan dimana regangan yang dihasilkan oleh beban dinamis lebih kecil daripada regangan akibat beban statis. Hal ini dikarenakan adanya efek perlakuan beban yang berbeda (Amaliyah & Tyas, 2015) .

Tegangan yang terjadi pada lapis pondasi merupakan tegangan tekan dimana nilai maksimum berada tepat di bawah roda dan akan semakin berkurang seiring dengan jaraknya terhadap beban roda. Namun pada beberapa kondisi, tegangan maksimum yang terjadi tidak tepat berada di bawah roda, dan tegangan yang terjadi berupa tegangan tarik yang bernilai negatif. (Riyana & Arung, 2016)

Penelitian yang akan dilakukan ini adalah dengan menskalakan kondisi yang nyata dengan memodelkannya dengan alat skala semi lapangan. Berdasarkan uraian diatas maka perlu dilakukan penelitian dengan judul “**Analisa Tegangan, Regangan Dan Deformasi Pada Perkerasan Konvensional Dan Perkerasan Porus**” sehingga nantinya akan diperoleh perilaku perkerasan konvensional dan perkerasan porus akibat beban berulang yang kemudian dapat membantu mewujudkan peningkatan kekuatan struktur jalan baik perkerasan konvensional maupun perkerasan porus.

1.2. Identifikasi Masalah

Permasalahan yang perlu diidentifikasi dalam penelitian ini adalah :

- 1) Tingkat kerusakan jalan semakin cepat apabila terjadi genangan air.
- 2) Perkerasan konvensional memiliki daya dukung yang besar tetapi tidak dapat meloloskan air.
- 3) Perkerasan porus dapat meloloskan air tetapi daya dukungnya rendah.

- 4) Pengukuran regangan, tegangan dan deformasi yang terjadi pada perkerasan konvensional dan perkerasan porus dapat dilakukan dengan menggunakan alat skala semi lapangan.

1.3. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana perilaku tegangan dan regangan pada lapisan perkerasan konvensional dan perkerasan porus dengan menggunakan alat skala semi lapangan?
- 2) Bagaimana deformasi yang terjadi pada perkerasan konvensional dan perkerasan porus?
- 3) Bagaimana perbandingan antara tegangan dan regangan antara perkerasan konvensional dan perkerasan porus?

1.4. Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini tidak terlalu luas dan sesuai dengan hasil yang diharapkan, maka penelitian ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

- 1) Penelitian menggunakan alat skala semi lapangan.
- 2) Tegangan ditinjau pada lapisan *subbase*.
- 3) Regangan dan deformasi ditinjau pada lapisan aspal.
- 4) Lapisan *subgrade* yang digunakan adalah tanah yang berada pada lapangan parkir Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

1.5. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- 1) Untuk membuktikan adanya hubungan perilaku tegangan dan regangan pada lapisan perkerasan konvensional dan perkerasan porus yang diukur dengan menggunakan alat skala semi lapangan
- 2) Untuk menguji perbedaan atau persamaan deformasi yang terjadi pada perkerasan konvensional dan perkerasan porus
- 3) Untuk mengetahui perbandingan antara tegangan dan regangan antara perkerasan konvensional dan perkerasan porus.
- 4) Pengembangan Alat Skala Semi Lapangan.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1) Manfaat bagi Akademisi

Dengan menggunakan pemodelan perkerasan skala semi lapangan dan penambahan jumlah lintasan, maka akan didapatkan gambaran mengenai kinerja perkerasan lentur porus dan konvensional secara lebih jelas dan pengembangan alat skala semi lapangan.

2) Manfaat bagi Praktisi

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan akan mampu memberikan kontribusi kepada perencana dalam mendesain perkerasan porus yang efektif dan efisien dengan melihat kinerja perkerasan berupa deformasi, tegangan, serta regangan ketika menerima beban dinamis maupun beban statis.

3) Manfaat bagi Masyarakat

Tentunya apabila terwujud desain perkerasan porus yang kuat dan efisien maka akan dapat menghasilkan kondisi jalan yang stabil dan tahan terhadap air, sehingga tidak mudah rusak dan dapat menciptakan kenyamanan dan meningkatkan keselamatan pengguna jalan.

4) Manfaat bagi Lingkungan

Desain perkerasan porus yang tepat serta didukung dengan pelaksanaan yang benar akan mampu berkontribusi terhadap konservasi air di sekitarnya.

5) Manfaat bagi Pemerintah

Perkerasan porus diharapkan dapat mengurangi spot-spot berlubang akibat genangan air sehingga dapat mengurangi anggaran perawatan jalan.

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perkerasan Berpori (*Porous Pavement*)

Aspal porus adalah campuran beraspal yang didesain mempunyai porositas lebih tinggi dibandingkan jenis perkerasan yang lain, sifat porus diperoleh karena campuran aspal porus menggunakan proporsi agregat halus lebih sedikit dibandingkan campuran jenis yang lain. Kandungan rongga/pori dalam jumlah yang besar, diharapkan menghasilkan kondisi permukaan agak kasar, sehingga akan mempunyai tingkat kekesatan yang tinggi. Selain itu pori yang tinggi diharapkan dapat berfungsi sebagai saluran drainase di dalam campuran (Djumari & Sarwono, 2009).

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 (Amaliyah, & Widiningrum, 2014). Akibatnya, perkerasan porus biasanya hanya digunakan pada jalan dengan beban lalu lintas yang kecil. Perkerasan aspal porus mempunyai sistem drainase ganda. Pengaliran air terlaksana lewat permukaan dan oleh lapisan itu sendiri, yakni melalui pori-pori yang dimilikinya. Pori-pori yang terdapat di dalam campuran memungkinkan air dapat langsung meresap masuk ke dalam lapisan, mengalir menuju ke bagian tepi badan jalan dan kemudian masuk ke saluran samping.

Porous pavement cocok digunakan untuk jalan dengan volume rendah, tempat parkir, jalur sepeda, trotoar, taman bermain, lapangan tenis, dan jalan lain yang menahan beban yang tidak terlalu besar. Pada perkerasan ini, terdapat ruang kosong untuk aliran air dan udara. Adanya ruang kosong inilah yang menyebabkan air hujan dapat masuk ke dalam perkerasan dan meresap ke dalam tanah sehingga pada porous pavement, limpasan air hujan yang dihasilkan lebih sedikit daripada perkerasan konvensional. Limpasan air banyak tercemar oleh polutan seperti sisa pestisida, hidrokarbon, endapan, padatan tersuspensi, fosfor, nitrogen, kimia oksigen, seng, dan kandungan besi lainnya jika masuk ke dalam saluran drainase hingga badan air akan mencemari badan air itu sendiri. Dengan adanya perkerasan porus, maka polutan tersebut dapat dikurangi karena ruang kosong yang

terdapat pada lapisan perkerasan digunakan oleh mikroorganisme pengurai polutan untuk hidup sehingga air limpasan akan mengalami penyaringan terlebih dahulu sebelum masuk ke dalam tanah. Selain itu, perkerasan porus dapat mengurangi biaya pembuatan saluran drainase, mengurangi limpasan di atas perkerasan yang berisiko menyebabkan kecelakaan lalu lintas, mengurangi sedimen pada limpasan yang dapat mencemari kualitas air, mempermudah transfer air dan oksigen pada akar-akar tanaman, dan sebagainya. Jadi, dapat dikatakan bahwa porous pavement merupakan perkerasan yang ramah lingkungan (Ferguson, 2005).

Pada kongres Eurobitume atau Euroasphalt tahun 1996 di Strassbourg dilaporkan bahwa tingkat kebisingan campuran beraspal porus yang digunakan sangat terkait dengan ukuran butir agregat dan tebal lapisan yang digunakan. Ada 4 (empat) tipe campuran beraspal porus yang diamati, yaitu campuran beraspal porus 6/16 (50 mm), 8/11 (50 mm), 4/8 (60 mm), dan 4/8-11/16 (70 mm). Adapun sumber kebisingan yang digunakan adalah mobil sedan dan truk. Selanjutnya penelitian terhadap campuran beraspal porus terus dikembangkan. Penyelidikan terhadap campuran beraspal porus dwilapisan dibandingkan dengan campuran beraspal porus konvensional dan beton aspal pada berbagai kecepatan kendaraan juga telah dilakukan (Hardiman, 2008). Campuran beraspal porus dirancang untuk mendapatkan rongga-rongga yang saling bersambungan (interconnected) dengan permeability tinggi. Air dengan mudah dapat memasuki perkerasan dan dipindahkan dari permukaan. Kemampuan memindahkan air campuran beraspal porus dapat menurunkan usia perkerasan. Pengumpulan benda-benda kecil dan debu dalam rongga permukaan dapat menurunkan kemampuan alir air. Pengurangan rongga 3% sampai 4% selama 2 tahun telah menurunkan kemampuan alir air hingga 70% sampai 80% (Huber, 2000).

Penyelidikan yang dilakukan di Malaysia memperlihatkan bahwa nilai permeability campuran beraspal porus dipengaruhi oleh bahan pengikat dan ukuran maksimum agregat lapis permukaan yang digunakan. Bila digunakan bahan pengikat modified SBS (*styrene butadiene styrene*), kemampuan alir air meningkat rata-rata 7,1% untuk campuran beraspal porus dwilapisan dengan ukuran maksimum agregat lapis permukaan 14 mm dan 8,0% untuk ukuran maksimum agregat lapis permukaan 10 mm, bila dibandingkan dengan campuran yang menggunakan bahan pengikat aspal penetrasi 60/70 (Hardiman, 2007).

2.1.1. Kelebihan dan Kekurangan Perkerasan Porus

Perkerasan porus yang merupakan salah satu variasi perkerasan dalam perkerasan lentur memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan dalam penggunaan sebagai berikut :

1. Kelebihan Penggunaan Perkerasan Porus

- Mengurangi efek percikan dan semprot apabila kendaraan melintasi permukaan perkerasan yang basah
- Mengurangi biaya drainase karena perkerasan porus akan mengalirkan air ke permukaan tanah tanpa perlu saluran drainase
- Meningkatkan keselamatan berkendara di jalan
- Mengurangi kebisingan suara kendaraan bermotor
- Mengurangi efek silau yang ditimbulkan pada jalan yang permukaannya basah
- Mengurangi efek *aquaplaning* apabila permukaan perkerasan basah

2. Kelemahan Penggunaan Perkerasan Porus

- Menyebabkan resiko *pumping* oleh lalu lintas
- Kemungkinan terjadi bahaya desintegrasi perkerasan karena kurangnya *interlocking*.
- Stabilitas rendah
- Kemungkinan terjadinya pelapukan tinggi

Konstruksi perkerasan berpori terdiri atas beberapa lapisan, yaitu lapisan permukaan, lapisan pondasi, dan tanah dasar. Tiap lapisan memiliki fungsi masing-masing dalam menerima beban dari lapisan atasnya.

1) Lapisan permukaan

Perkerasan porus memiliki lapisan permukaan yang terdiri atas ikatan antara agregat seragam dimana terdapat rongga antara agregat tersebut. Rongga sebagai tempat lewatnya air tersebut menempati kurang lebih 40% dari volume *base*. Proporsi aspal yang digunakan sebesar 5,5% hingga 6% dari seluruh berat total perkerasan. Lapisan permukaan ini merupakan lapisan yang mengalami kontak langsung dengan ban kendaraan dan berfungsi sebagai berikut:

- Menahan beban roda selama masa layan
- Lapis perkerasan penahan beban roda, dengan persyaratan harus mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
- Lapis aus, lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus

- Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain

Aspal porus memiliki kekuatan lebih rendah dibandingkan dengan aspal konvensional sehingga diperlukan bahan campuran yang dapat meningkatkan nilai stabilitas dan kekuatannya. Salah satu bahan yang dapat digunakan yaitu bahan yang dapat menambah daya rekat berupa *Gilsonite HMA Modifier Grade*.

Gilsonite HMA Modifier Grade adalah bahan alam yang ditemukan dan dikenal sebagai bahan perkuatan aspal (*reinforcer*) dan bahan pengeras (*hardening agen*). *Gilsonite HMA Modifier Grade* merupakan suatu bahan galian menyerupai aspal yang dikenal dengan nama Asphaltites. Asphaltites mempunyai sifat titik nyala yang tinggi. Umumnya, bahan ini dipergunakan untuk mengilapkan perabotan (vernisi) dan kertas karbon (Clarkson,1992 dalam Basuki & Machus, 2007).

Gilsonite HMA Modifier Grade digunakan dengan tujuan meningkatkan kualitas fisik dan kimia aspal minyak, yang mengandung mineral hidrokarbon alami berwarna kecoklatan, sangat rapuh, dan terdapat dalam bentuk sangat murni yaitu >99%, mempunyai kadar abu sangat rendah berkisar 0,6% sampai 1% serta menunjukkan kandungan *asphaltene* sebesar 70,9%, disamping terkandung unsur *maltene* 27% dan *oils* 2% serta kandungan nitrogen 3,2 %. Tabel 2.1 menunjukkan karakteristik *gilsonite*.

Tabel 2. 1 Karakteristik Gilsonite

<i>Softening Point</i> (ASTM E28-92)	159-182°C
	159-182°F
<i>Ash</i> (ASTM D271-70M)	0,5% Typical
	0,9% Max Guaranteed
<i>Moisture</i> (AGC Method)	0,5% Typical
	0,7% Max Guaranteed
<i>Penetration</i> (25°C,100 gm, 5 sec)	0
<i>Colour In Mass</i>	Black
<i>Flash Point</i> (COC)	316°C ; 600°F
Nitrogen	3% min
Sulfur	0,30%

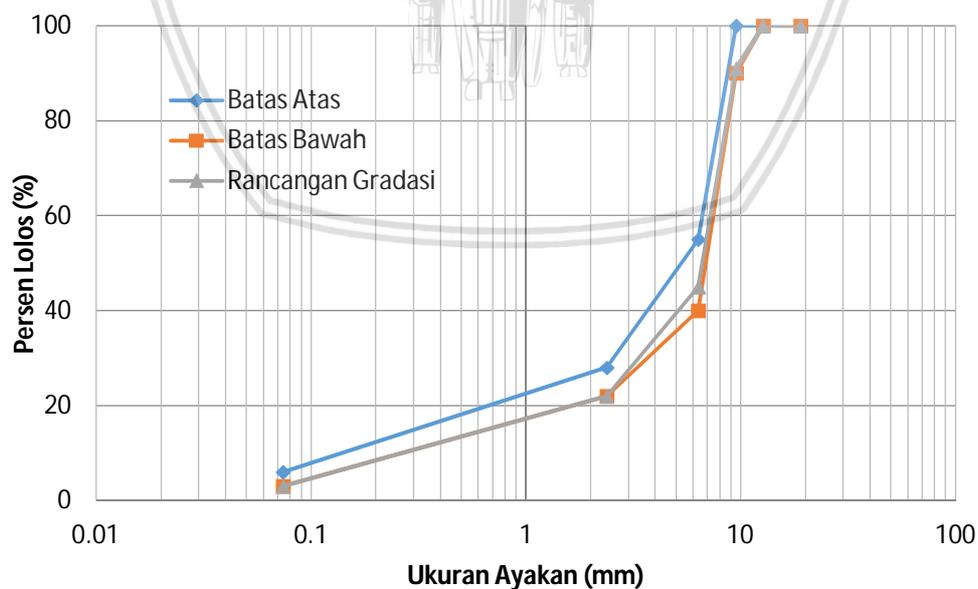
Sumber: Gilsonite Information Bulletin dalam Joko Wardoyo (2003)

Ramadhan dan Burhan (2014) melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan *gilsonite* HMA *modifier grade* terhadap kinerja aspal porus. Penelitian tersebut menggunakan gradasi agregat aspal porus standar *British*. Tabel 2.2 menunjukkan gradasi agregat aspal porus standar *British*, dan Gambar 4.1 Pengujian aspal porus telah dilakukan oleh Ramadhan dan Burhan (2014) di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya.

Tabel 2. 2 Gradasi Agregat Aspal Porus Standar British

Ukuran Ayakan (mm)	% Lolos		
	Batas Atas	Batas Bawah	Rancangan
19,000	100	100	100
12,700	100	100	100
9,530	100	90	91
6,350	55	40	45
2,380	28	22	22
0,074	6	3	3
PAN			0

Sumber: Ramadhan dan Burhan (2014)



Gambar 2. 1 Gradasi Agregat Aspal Porus Standar *British*

Sumber : Ramadhan dan Burhan (2014)

Penelitian tersebut menggunakan variasi kadar aspal sebesar 4%, 5%, 6%, dan 7% dari total berat agregat. Dari hasil penelitian, diperoleh kadar aspal optimum sebesar 5,75%. Nilai KAO ini digunakan untuk menentukan kadar *gilsonite* yang akan diberikan sebagai campuran dalam pembuatan aspal porus. Variasi kadar *gilsonite* yang digunakan yaitu 6%, 7%, 8%, 9%, dan 10% dari kadar aspal optimum. Hasil penelitian menunjukkan kadar *Gilsonite* HMA Modifier Grade optimum sebesar 8% dari perhitungan grafik pita. Penambahan tersebut berpengaruh signifikan terhadap peningkatan nilai stabilitas perkerasan aspal porus. Nilai stabilitas yang dicapai pada KAO 5,75% tanpa menggunakan zat *additive* adalah 515,081 kg sedangkan nilai stabilitas pada kadar KAO 5,75% dengan *gilsonite* optimum 8% adalah 805,196 kg. Tabel 2.3 menunjukkan perbandingan aspal porus tanpa *gilsonite* dan aspal porus dengan tambahan *gilsonite* kadar 8% (Ramadhan dan Burhan, 2014).

Tabel 2. 3 Perbandingan Aspal Porus tanpa *Gilsonite* dan Aspal Porus dengan Tambahan *Gilsonite* Kadar 8%

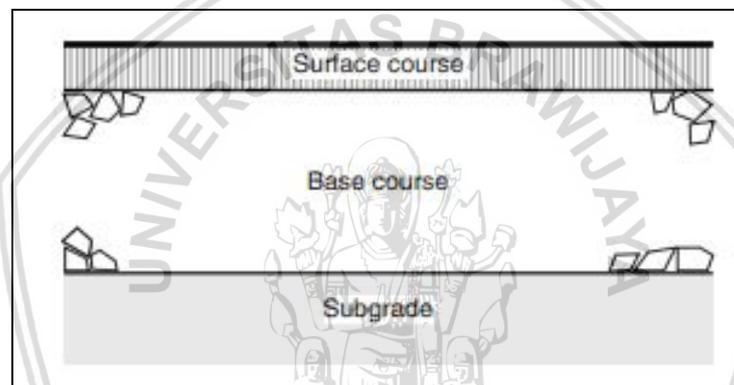
Karakteristik	Aspal tanpa <i>Gilsonite</i> HMA <i>modifier grade</i>	Aspal dengan <i>Gilsonite</i> HMA <i>modifier grade</i>
VIM	18,86%	8,14%
Stabilitas	515,081 kg	805,196 kg
Flow	2,332 mm	3,778 mm
MQ	maksimal 400 kg/mm	219,216 kg/mm

Sumber: Ramadhan dan Burhan (2014)

2) Lapisan *Base*

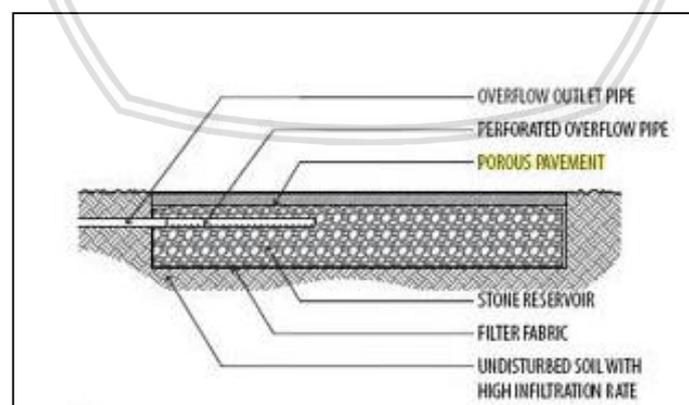
Lapisan pondasi (*base*) terletak tepat di bawah lapisan permukaan dan berfungsi menahan beban sehingga dibutuhkan material yang berkualitas tinggi dan pelaksanaan yang benar. Lapisan *base* juga berfungsi untuk menyebarkan gaya dari beban roda ke lapisan bawahnya dan sebagai bantalan lapisan permukaan. Pada perkerasan porus lapisan pondasi terdiri atas batu pecah dengan gradasi seragam dan memiliki rongga dengan adanya pengurangan agregat halus karena lapisan ini tidak hanya didesain untuk menahan beban kendaraan, tetapi juga mampu melewatkan air hingga meresap dalam tanah. Air yang masuk akan tersimpan dalam rongga ini untuk kemudian meresap ke dalam tanah secara perlahan.

Lapisan *base* disebut juga lapisan *reservoir*. Saat air berinfiltrasi ke dalam tanah, limpasan air akan berkurang dan dapat mempertahankan akuifer air tanah. Lapisan *reservoir* juga berfungsi untuk menyimpan air sebelum mengalir menuju pipa drainase atau ke dalam tanah. Volume penyimpanan air merupakan pori-pori udara antara partikel-partikel agregat. Semakin besar volume pori udara, semakin besar volume air yang dapat ditampung. Lapisan *base reservoir* memberikan ketebalan perkerasan jalan dengan bahan yang relatif murah untuk menyebarkan beban lalu lintas. Agregat penyusun jalan terdiri dari dua macam, yaitu asli, dalam bentuk pasir, kerikil atau batu sungai dan buatan pabrik meliputi letusan bara api dan berbagai produk dari tanah lempung, atau batuan gunung. Gambar 2.2 dan 2.3 menunjukkan detail lapisan perkerasan porous.



Gambar 2. 2 Potongan Melintang Perkerasan Porus.

Sumber : K. Ferguson (2005)



Gambar 2. 3 Lapisan-Lapisan Porus Pavement

3) Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar perkerasan porus harus memiliki permeabilitas yang tinggi dan tidak bersifat ekspansif sehingga kadar air dalam tanah akan tetap terjaga walaupun dalam keadaan basah. Tanah dasar harus dapat mengalirkan air dengan cepat sehingga tetap dapat menahan beban kendaraan yang melintas. Kekuatan tanah dalam menahan beban berkaitan dengan daya dukungnya. Daya dukung tanah dapat diketahui dengan pengujian *California Bearing Ratio* (CBR). CBR merupakan suatu perbandingan antara beban percobaan (test load) dengan beban standar (*Standard Load*) dan dinyatakan dalam persentase.

$$CBR = \frac{p}{p_s} \times 100\% \dots \dots \dots (2 - 1)$$

dimana : p = beban percobaan (test load)
 Ps = beban standart (standart load)

Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban. Nilai CBR dikembangkan untuk mengukur kapasitas daya dukung beban tanah yang digunakan sebagai jalan dan beban perkerasan jalan. Semakin keras suatu material, semakin tinggi nilai CBR. Batu hancur memiliki CBR lebih dari 80%. Nilai CBR rendah pada lapisan *subgrade* dapat diterima karena lapisan *subgrade* terlindungi dari beban lalu lintas oleh lapisan-lapisan di atasnya. CBR sangat berguna di berbagai aspek desain perkerasan jalan karena sederhana dan memiliki ukuran yang tetap.

Dalam mendesain perkerasan porus, perencana harus mempertimbangkan beberapa faktor seperti karakteristik tanah dasar, topografi, iklim, beban rencana, dan sebagainya. Investigasi tanah diperlukan untuk menentukan jenis tanah dan kemampuannya dalam menyerap air atau permeabilitasnya. Sedangkan material penyusun perkerasan porus terdiri atas batu pecah yang beragregat kasar dan halus.

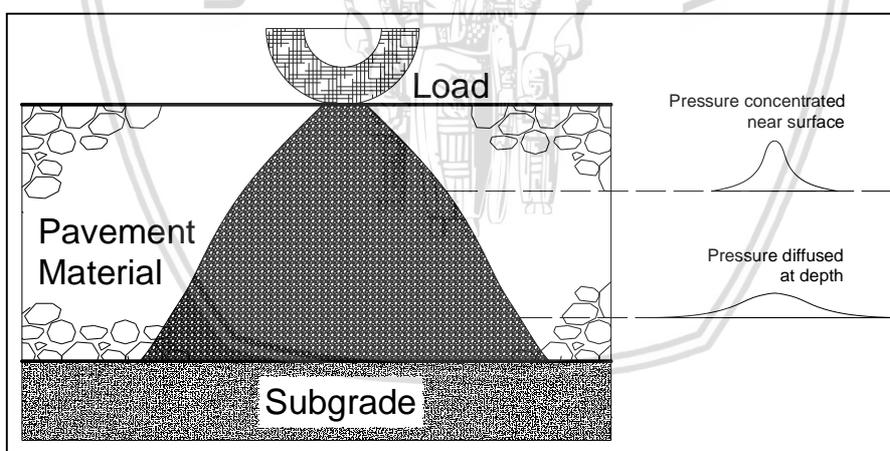
2.2. Tegangan dan Regangan pada Lapisan Perkerasan

Perubahan bentuk dan ukuran perkerasan bergantung pada arah dan letak gaya luar yang membebani. Ada beberapa jenis deformasi yang bergantung pada sifat elastisitas perkerasan, antara lain tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*). Tegangan menunjukkan

kekuatan gaya yang menyebabkan perubahan bentuk perkerasan. Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada perkerasan dengan luas penampang perkerasan. Sedangkan regangan (*strain*) didefinisikan sebagai perbandingan antara deformasi perkerasan setelah dibebani dengan bentuk mula-mula perkerasan.

Kondisi perkerasan cenderung menurun dari waktu ke waktu sehingga perkerasan memerlukan perawatan secara berkala. Tujuan desain struktur perkerasan adalah untuk menghasilkan sebuah struktur perkerasan yang akan mempertahankan kondisi seperti yang diinginkan untuk waktu yang lama. Hal tersebut dapat dilakukan dengan memilih bahan perkerasan yang cocok untuk beban lalu lintas rencana.

Salah satu tujuan utama dari struktur perkerasan adalah untuk melindungi tanah dasar dari beban. Konsep penyaluran beban pada perkerasan yaitu beban menyebar ke bawah sejauh ketebalan perkerasan. Pengaruh beban akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya kedalaman. Tegangan dan regangan yang diterima oleh perkerasan akibat beban mengalami pengurangan dan pada akhirnya tidak merasakan pengaruh beban tersebut sehingga nilai tegangan dan regangan yang terjadi dapat diabaikan. Gambar 2.4 menunjukkan distribusi pengaruh beban pada perkerasan lentur.



Gambar 2. 4 Penyebaran Beban Lalu Lintas pada Kedalaman Perkerasan.
Sumber K. Ferguson (2005)

2.3. Pemodelan Perkerasan Skala Semi Lapangan

Metode Empiris, yang mengacu kepada hasil “*full scale test*” dilaksanakan di Ottawa, Amerika Serikat pada awal tahun 60-an (Yoder & Witczak, 1975). Beberapa metode empiris untuk perencanaan tebal perkerasan, antara lain Metode AASHO 1972 (AASHO, 1972), metode Asphalt Institute (TAI, 1970), metode Road Note 29 dan Road

Note 31, dan metode Analisa Komponen 1987 (SNI, 2002), yang telah digunakan sejak lama di Indonesia untuk merencanakan tebal perkerasan lentur.

Mulai akhir tahun 70-an, bersamaan dengan diselenggarakannya Konferensi ISAP di Ann Harbour, Michigan Amerika Serikat, diperkenalkan metode Analitis-Mekanistik oleh beberapa peneliti dan universitas terkemuka dunia, yaitu metode SHELL dari Belanda (Claessen et al.,1977), metode ASPHALT INSTITUTE dari Amerika Serikat (TAI, 1983) dan metode NOTTINGHAM dari University of Nottingham di Inggris (Brown et al.,1977). Metode yang diperkenalkan tersebut mengubah secara total asumsi-asumsi yang digunakan pada metode empiris, yaitu yang semula mengandalkan kepada hasil pengamatan “full scale test” menjadi suatu metode yang mengembangkan kaidah-kaidah teoritis dari karakteristik material perkerasan, dilengkapi dengan perhitungan secara eksak respons struktur perkerasan terhadap beban sumbu kendaraan. Metode yang dikembangkan ini secara umum dinamakan metode Analitis. Metode analitis menggunakan beberapa langkah yaitu:

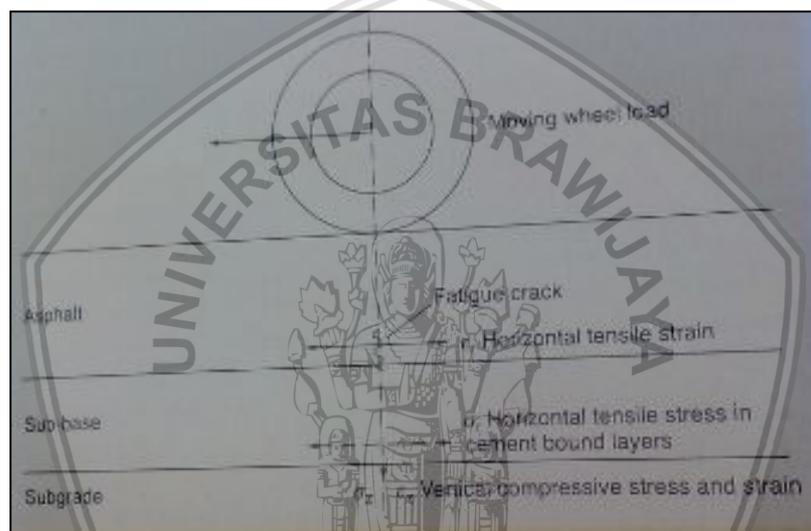
- 1) Mengasumsi bentuk perkerasan
- 2) Menetapkan beban
- 3) Memperkirakan material yang akan digunakan
- 4) Menganalisa tegangan, regangan, dan lendutan pada titik kritis
- 5) Membandingkan hasil yang diperoleh dengan tegangan ijin
- 6) Apabila belum memenuhi, maka diulangi kembali langkah 3, 4, dan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

Metode analitis dapat dilakukan di lapangan menggunakan skala tertentu yang mampu merepresentasikan kondisi sesungguhnya yang terjadi di lapangan sehingga hasil uji yang diperoleh dapat digunakan. Asumsi-asumsi yang biasa digunakan dalam pengujian yaitu:

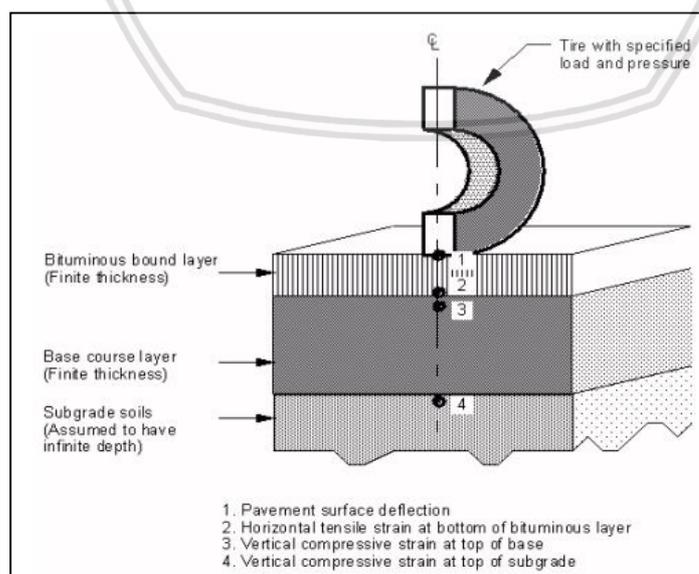
- Lapisan bersifat homogen, dimana setiap lapis memiliki bahan dengan sifat yang sama.
- Tiap lapis memiliki ketebalan tertentu, kecuali pada arah memanjang ke samping dan lapisan *subgrade* yang bersifat tak terhingga.
- Setiap lapis bersifat isotropik yaitu sifat bahan pada setiap titik dan arah dianggap bersifat sama.
- Parameter yang digunakan berupa modulus elastisitas (E) dan *Poisson ratio*.

- *Linear elastic*, yang berarti akan kembali ke bentuk semula ketika beban dipindahkan.

Tegangan dan regangan pada lapisan perkerasan diperoleh dengan penempatan alat uji pada lapisan perkerasan. Titik kritis yang ditinjau berada pada permukaan perkerasan, bawah perkerasan, lapis pondasi, dan permukaan tanah dasar. Titik-titik inilah yang akan dijadikan dasar dalam perencanaan atau evaluasi kinerja perkerasan. Pada bagian bawah lapisan permukaan terjadi regangan tarik, bagian bawah lapisan pondasi terjadi tegangan tarik, dan pada tanah dasar terjadi tegangan dan regangan tekan. Gambar 2.5 menunjukkan lokasi analisis kritis pada struktur perkerasan sedangkan tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan ditunjukkan oleh Gambar 2.6.



Gambar 2. 5 Lokasi Analisis Kritis pada Struktur Perkerasan



Gambar 2. 6 Tegangan dan Regangan pada Struktur Perkerasan
Sumber: Read, J dkk (2003)

2.4. Pengujian Material Terdahulu

Pengujian material bertujuan untuk mengetahui karakteristik bahan yang akan digunakan dalam penelitian. Pengujian ini terdiri dari pengujian karakteristik aspal (*surface*), pengujian karakteristik agregat batu pecah yang digunakan untuk lapisan pondasi, dan pengujian karakteristik tanah dasar (*subgrade*). Pengujian karakteristik aspal porus telah dilakukan oleh Ramadhan dan Burhan (2014) di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya, sedangkan pengujian agregat batu pecah sebagai lapisan pondasi dan tanah dasar dilakukan oleh Amaliyah dan Widiningrum (2015) di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi

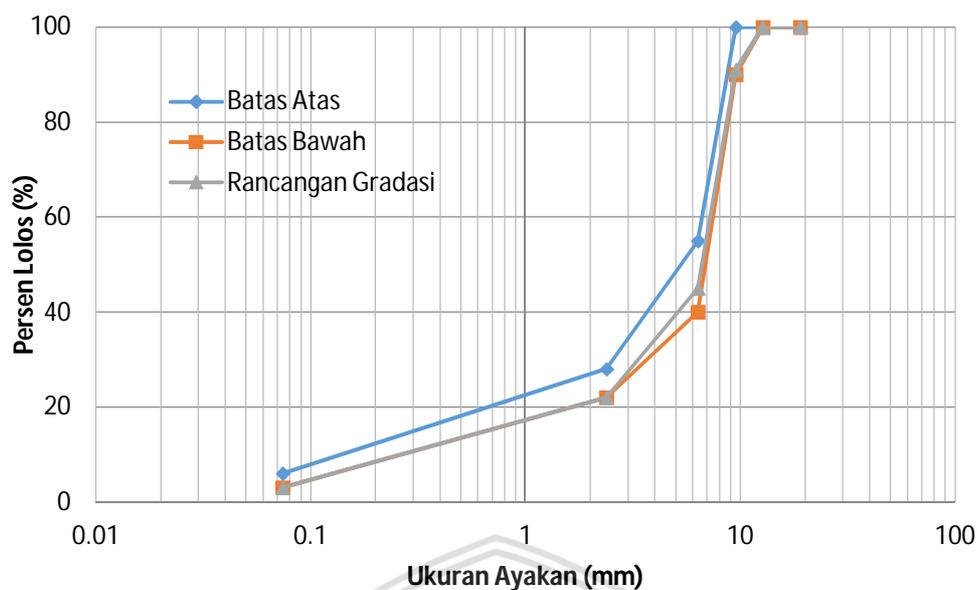
2.4.1. Pengujian Karakteristik Aspal Porus

Dalam campuran aspal porus ini, digunakan agregat dengan gradasi standar *British* dengan tambahan zat *additive gilsonite HMA modifier grade* sebagai zat yang dapat memperbaiki kinerja aspal. Adanya rongga pada aspal porus menyebabkan kekuatannya lebih rendah daripada aspal konvensional sehingga dengan adanya *gilsonite* maka diharapkan mampu meningkatkan kekuatan aspal porus. Rancangan gradasi agregat yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 2.4 dan Gambar 2.7 Pengujian aspal porus telah dilakukan oleh Ramadhan dan Burhan (2014) di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya.

Tabel 2. 4 Rancangan Gradasi Aspal Porus Standar *British*

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat yang Lolos		
	Batas Atas	Batas Bawah	Rancangan
19,00	100	100	100
12,70	100	100	100
9,53	100	90	91
6,35	55	40	45
2,38	28	22	22
0,074	6	3	3

Sumber : Ramadhan dan Burhan (2014)



Gambar 2. 7 Gradasi Agregat Aspal Porus Standar British
Sumber : Ramadhan dan Burhan (2014)

Dari penelitian yang telah dilakukan Ramadhan dan Burhan (2014), diperoleh kadar aspal optimum sebesar 5,75% sehingga dalam penelitian ini digunakan kadar aspal sebesar 5,75%. Penelitian Ramadhan dan Burhan juga memperoleh kadar *gilsonite* optimum sebesar 8% dari kadar aspal optimum sehingga *gilsonite* yang ditambahkan pada aspal porus dalam penelitian ini sebesar 8% dari kadar aspal. Penambahan zat *additive gilsonite* ini mempengaruhi karakteristik marshall dan permeabilitasnya. Dari pengujian campuran dengan alat marshall, diperoleh nilai *Voids In Mix* (VIM), stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ). Tabel 2.5 menunjukkan perbedaan hasil karakteristik Marshall aspal porus dengan kadar *gilsonite* 0% dan kadar *gilsonite* 8%.

Tabel 2. 5 Hasil Karakteristik Marshall Aspal Porus dengan Kadar *Gilsonite* 0% dan 8%

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

Sumber: Ramadhan dan Burhan (2014)

Selain itu, aspal porus dengan tambahan *gilsonite* juga diuji permeabilitasnya untuk mengetahui kemampuan campuran dalam mengalirkan air ke dalam tanah tanpa

menyebabkan genangan. Nilai permeabilitas debit aspal porus dengan kadar *gilsonite* 8% lebih rendah daripada aspal porus tanpa *gilsonite*. Tabel 2.6 menunjukkan nilai permeabilitas debit aspal porus tanpa tambahan *gilsonite*.

Tabel 2. 6 Hasil Pengujian Permabilitas Debit Aspal Porus dengan Kadar Gilsonite 0%

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

*) Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)

Sumber: Ramadhan dan Burhan (2014)

Dari Tabel 2.6 diketahui bahwa permeabilitas debit tertinggi aspal porus tanpa *gilsonite* yaitu 987,453 cm³/detik, sedangkan nilai permeabilitas debit pada aspal porus dengan kadar *gilsonite* 8% yaitu 880,905 cm³/detik sehingga permeabilitas aspal porus dengan tambahan *gilsonite* lebih kecil daripada aspal porus tanpa *gilsonite*. Hal ini berkaitan dengan nilai *Void In Mix* (VIM), dimana nilai VIM aspal porus tanpa *gilsonite* lebih besar daripada nilai VIM aspal porus dengan tambahan *gilsonite*. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan aspal porus dengan kadar aspal 5,75% dan kadar *gilsonite* 8%

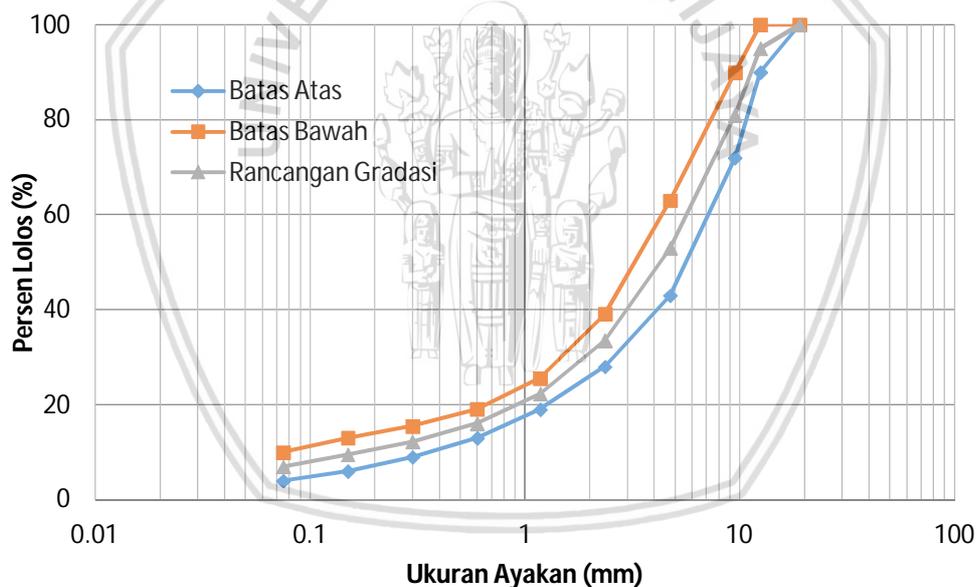
2.4.2. Pengujian Karakteristik Aspal Konvensional

Adapun pemodelan aspal konvensional yang digunakan adalah menggunakan standar Bina Marga. Rancangan gradasi agregat yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 2.7 dan Gambar 2.8. Pengujian aspal konvensional telah dilakukan oleh Sugiharto (2015) di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya

Tabel 2. 7 Rancangan Gradasi Aspal Konvensional Standar Bina Marga

Ukuran Ayakan (mm)	Tertahan (gr)	Kumulatif Tertahan (gr)	% Tertahan	% Lolos	Batas	
					Atas	Bawah
19				100	100	100
12,5	3213	3213	5	95	90	100
9,5	8996,4	12209,4	19	81	72	90
4,75	17992,8	30202,2	47	53	43	63
2,36	12498,57	42700,77	66,45	33,55	28	39,1
1,18	7229,25	49930,02	77,7	22,3	19	25,6
0,6	4016,25	53946,27	83,95	16,05	13	19,1
0,3	2441,88	56388,15	87,75	12,25	9	15,5
0,15	1767,15	58155,3	90,5	9,5	6	13
0,075	1606,5	59761,8	93	7	4	10
PAN	4498,2					
TOTAL	64260					

Sumber : Sugiharto (2015)



Gambar 2. 8 Gradasi Agregat Aspal Konvensional Standar Bina Marga

Sumber : Sugiharto (2015)

2.4.3. Pengujian Karakteristik Batu Pecah sebagai Lapis Pondasi

1) Analisa Saringan

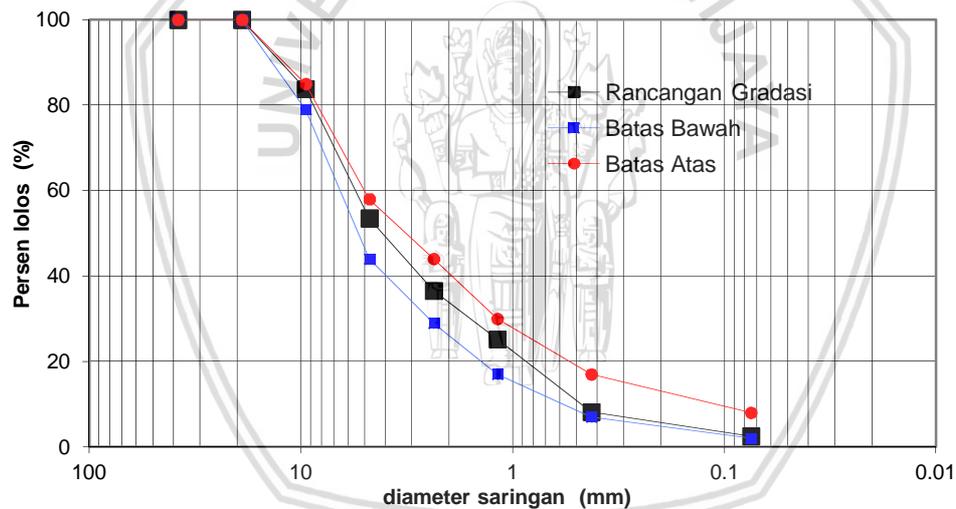
Percobaan analisa saringan bertujuan untuk menentukan gradasi agregat lapisan *base* dan *subbase*. Agregat batu pecah yang digunakan sebagai lapisan *base* dan *subbase* berasal dari kecamatan Ngoro, Mojokerto. Gradasi yang digunakan mengikuti spesifikasi Bina Marga seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.8 dan

Gambar 2.9 untuk lapisan *base* sedangkan gradasi agregat lapisan *subbase* ditunjukkan dalam Tabel 2.9 dan Gambar 2.10.

Tabel 2. 8 Gradasi dan Persentase Lolos Agregat Base

Saringan	Diameter (mm)	% Lolos		
		Batas Atas	Batas Bawah	Base
2"	50	100	100	100
1,5"	37,5	100	100	100
1"	25	85	79	83,73349
3/8"	9,5	58	44	53,49628
No. 4	4,75	44	29	36,49403
No. 10	2	30	17	25,15302
No. 40	0,425	17	7	8,148713
No. 200	0,075	8	2	2,481298

Sumber: Amaliyah dan Widiningrum (2015)



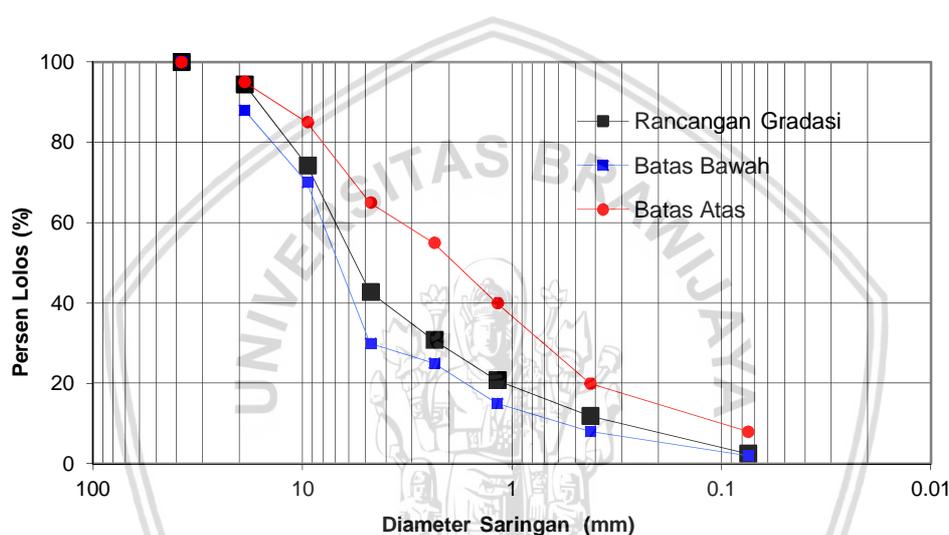
Gambar 2. 9 Gradasi Agregat Base

Sumber: Amaliyah dan Widiningrum (2015)

Tabel 2. 9 Gradasi dan Persentase Lolos Agregat Subbase

Saringan	Diameter (mm)	% Lolos		
		Batas Atas	Batas Bawah	Subbase
2"	50	100	100	100
1,5"	37,5	88	95	94,4195
1"	25	70	85	74,2803
3/8"	9,5	30	65	42,7227
No. 4	4,75	25	55	30,82039
No. 10	2	15	40	20,78168
No. 40	0,425	8	20	11,92084
No. 200	0,075	2	8	2,530785

Sumber: Amaliyah dan Widiningrum (2015)



Gambar 2. 10 Gradasi Agregat Subbase

Sumber: Amaliyah dan Widiningrum (2015)

2) Berat Isi

Berat isi bertujuan untuk mengetahui kepadatan lapisan pondasi. Pengujian dilakukan di laboratorium dan lapangan. Hasil pengujian kepadatan di laboratorium untuk lapisan pondasi atas sebesar $1,7867 \text{ gr/cm}^3$ dan kepadatan lapisan pondasi bawah sebesar $1,8052 \text{ gr/cm}^3$, sedangkan dari hasil pengujian sand cone di lapangan, diperoleh kepadatan lapisan pondasi atas sebesar $1,6874 \text{ gr/cm}^3$ dan lapisan pondasi bawah sebesar $1,8352 \text{ gr/cm}^3$. Detail hasil pengujian berat isi lapis pondasi dapat dilihat pada Lampiran 1.

3) Pengujian CBR

Pengujian CBR bertujuan untuk mengetahui daya dukung material. Pengujian dilakukan sesuai dengan SNI 03-1744-1989 tentang Metode Pengujian CBR

Laboratorium 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%. Detail hasil pengujian CBR lapis pondasi dapat dilihat pada Lampiran 2.

2.4.4. Pengujian Tanah Dasar (*Subgrade*)

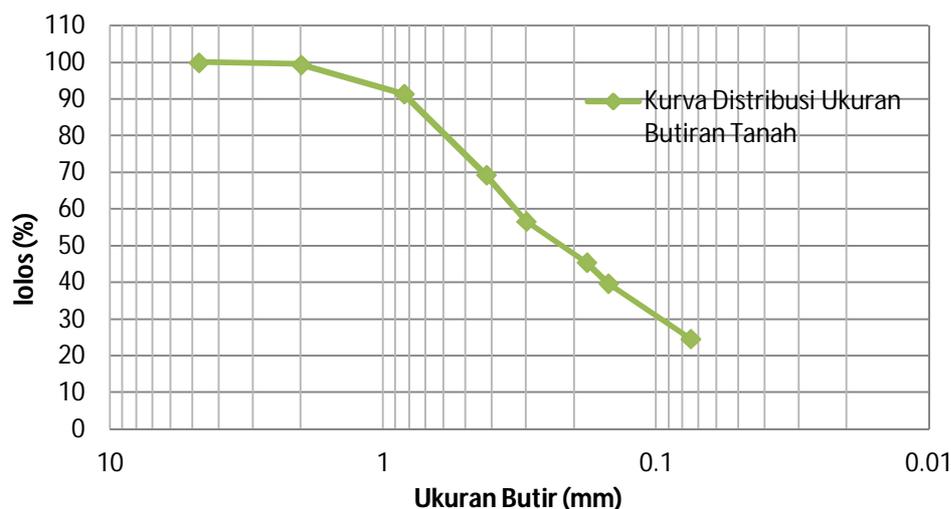
1) Analisa Saringan

Pengujian analisa saringan tanah dasar bertujuan untuk mengetahui jenis tanah dasar berdasarkan klasifikasi tanah menurut AASHTO. Tabel 2.10 dan Gambar 2.11 menunjukkan hasil analisa saringan tanah dasar yang telah diuji.

Tabel 2. 10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Tanah Dasar

Saringan		Tertahan Saringan (gram)	Jumlah Tertahan (gram)	% Jumlah Tertahan	% Lolos Saringan
No.	Diameter (mm)				
4	4,75	25,3	0	0	100
10	2	47,9	47,9	9,267	90,733
20	0,84	84,2	132,1	25,556	74,444
40	0,42	107,3	239,4	46,315	53,685
50	0,3	59,9	299,3	57,903	42,097
80	0,18	52	351,3	67,963	32,037
100	0,15	28,7	380	73,515	26,485
200	0,075	51,2	431,2	83,420	16,580

Sumber: Amaliyah dan Widiningrum (2015)



Gambar 2. 11 Analisa Saringan Tanah Dasar
Sumber: Amaliyah dan Widiningrum (2015)

Dari hasil tersebut, maka tanah dasar merupakan tanah golongan A-2-6 yaitu tanah pasir berlempung.

2) Berat Isi

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kepadatan tanah dasar. Berat isi diperoleh dari pengujian pemadatan standar. Dari hasil pengujian, diperoleh nilai berat isi tanah sebesar 1,57 gram/cm³. Detail hasil pengujian CBR lapis pondasi dapat dilihat pada Lampiran 3.

3) CBR

Dari pengujian di laboratorium, didapatkan nilai CBR tanah dasar sebesar 14,67%. Selain pengujian di laboratorium, pengujian tanah dasar juga dilakukan langsung di lapangan, yaitu pengujian Dynamic Cone Penetrometer (DCP) untuk mengetahui nilai CBR. Dari hasil DCP, diperoleh CBR tanah dasar (*subgrade*) sebesar 15,88%. Detail hasil pengujian dapat dilihat pada Lampiran 3.

2.5. Uji ANOVA

Analisis varians (ANOVA) adalah kumpulan dari model statistik yang digunakan untuk menganalisis perbedaan rata-rata antara kelompok dan prosedur terkait (seperti “variasi” antara kelompok), yang dikembangkan oleh ahli statistik dan evolusi biologi Ronald Fisher. Dalam pengaturan ANOVA, varians diamati pada variabel tertentu dibagi

menjadi komponen disebabkan berbagai sumber variasi. Dalam bentuk yang paling sederhana, ANOVA menyediakan uji statistik apakah rata-rata beberapa kelompok adalah sama, dan adanya generalisasi t-test untuk lebih dari dua kelompok. Seperti melakukan beberapa dua-sample t-test akan menghasilkan peningkatan kesempatan dalam mengamati tipe I kesalahan statistik, maka ANOVA berguna untuk membandingkan (pengujian) tiga atau lebih berarti (kelompok atau variabel) untuk signifikansi statistik. Uji Anova juga adalah bentuk uji hipotesis statistik dimana kita mengambil kesimpulan berdasarkan data atau kelompok statistik inferentif. Hipotesis nol dari uji Anova bahwa data adalah *simple random* dari populasi yang sama sehingga memiliki ekspektasi *mean* dan *varians* yang sama. Uji Anova banyak digunakan dalam penelitian eksperimen sehingga uji Anova dapat dibagi berdasarkan disainnya :

- 1) Anova satu arah, digunakan untuk menguji perbedaan diantara dua atau lebih kelompok dimana terdapat satu faktor yang dipertimbangkan.
- 2) Anova dua arah, adalah pengembangan dari Anova satu arah dimana ada lebih dari satu faktor dan interaksinya yang dipertimbangkan.
- 3) Anova *repeated measure*, digunakan pada saat dalam disain eksperimen mengijinkan subjek penelitian diikutsertakan pada perlakuan yang berbeda.
- 4) Anova multivarian, digunakan untuk mengukur lebih dari satu respon dalam satu kali eksperimen.

Dalam analysis of variance hanya satu hipotesis yang digunakan, yaitu hipotesis dua arah (two tail) artinya hipotesis ini ingin mengetahui apakah ada perbedaan rata-rata atau tidak dan tidak spesifik yang mana yang berbeda.

- $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$, Tidak ada perbedaan yang nyata antara rata-rata hitung dari n kelompok
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_n$, Ada perbedaan yang nyata antara rata-rata hitung dari n kelompok

Uji hipotesis dengan ANOVA digunakan karena alasan-alasan berikut:

- Memudahkan analisa atas beberapa kelompok sampel yang berbeda dengan resiko kesalahan terkecil.
- Mengetahui signifikansi perbedaan rata-rata (μ) antara kelompok sampel yang satu dengan yang lain. Bisa jadi, meskipun secara numeris bedanya besar, namun berdasarkan analisa ANOVA, perbedaan tersebut tidak signifikan sehingga

perbedaan μ bisa diabaikan. Sebaliknya, bisa jadi secara numeris bedanya kecil, namun berdasarkan analisa ANOVA, perbedaan tersebut signifikan, sehingga minimal ada satu μ yang berbeda dan perbedaan μ antar kelompok sampel tidak boleh diabaikan.

- Analisis varians relatif mudah dimodifikasi dan dapat dikembangkan untuk berbagai bentuk percobaan yang lebih rumit. Selain itu, analisis ini juga masih memiliki keterkaitan dengan analisis regresi. Akibatnya, penggunaannya sangat luas di berbagai bidang, mulai dari eksperimen laboratorium hingga eksperimen periklanan, psikologi, dan kemasyarakatan.

2.6. Penelitian Terdahulu

Studi ini akan mengkaji Analisa Tegangan, Regangan Dan Deformasi Pada Perkerasan Konvensional Dan Perkerasan Porus. Studi ini memiliki beberapa persamaan dengan penelitian terdahulu baik itu dari segi metode maupun objek yang diteliti yang ditampilkan di bawah ini.

1. (Kim, 2007)

THREE-DIMENSIONAL FINITE ELEMENT ANALYSIS OF FLEXIBLE PAVEMENTS CONSIDERING NONLINEAR PAVEMENT FOUNDATION BEHAVIOR.

Perkerasan lentur dapat dianalisis menggunakan metode elemen hingga menggunakan pemodelan dengan geometri tertentu secara non-linear, yaitu menggunakan bantuan software ABAQUS dan GT-PAVE Batas geometri pemodelan struktur perkerasan dengan metode elemen hingga dalam arah vertikal.

2. (Malik, 2013)

PENGARUH VARIASI GRADASI AGREGAT BATU PECAH TERHADAP DAYA DUKUNG DAN PERMEABILITAS PADA LAPIS PONDASI *POROUS PAVEMENT*

Pembuatan aspal porus dengan nilai CBR sebesar 81 % dan gradasi X4, Nilai CBR maksimal yang dapat dicapai dari modifikasi gradasi kelas A dengan variasi gradasi X4 sebesar 81 % pada porositas optimal.

3. (Ramadhan & Burhanuddin, 2014)

PENGARUH PENAMBAHAN ADDITIVE GILSONITE HMA MODIFIER GRADE TERHADAP KINERJA ASPAL PORUS

Penambahan variasi kadar zat additive Gilsonite HMA Modifier Grade pada Aspal Porus standar British mempengaruhi karakteristik Marshall VIM, Stabilitas, Flow, dan MQ, dengan kadar optimum Gilsonite 8 %. Pembuatan aspal porus dengan campuran additive gilsonite kadar 8%.

4. (Amaliyah & Widiningrum, 2015)

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

Permodelan perkerasan porus skala semi lapangan, ditetapkan ukuran memanjang dan melintang perkerasan sebesar 200 cm dengan ketebalan lapisan aspal, pondasi atas, pondasi bawah yaitu masing-masing 3 cm, 10 cm, dan 20 cm sedangkan ketebalan lapisan tanah dasar tak terhingga.

5. (Rachmawati & Dewi, 2015)

ANALISA Tegangan Dan Regangan Pada Pondasi Perkerasan Porus Dengan Skala Semi Lapangan Dan *Software* Ansys

Permodelan perkerasan dengan skala semi lapangan. Tegangan pada pengukuran semi lapangan lebih besar jika dibandingkan dengan pengukuran menggunakan ANSYS, sedangkan regangan pada pengukuran semi lapangan lebih kecil jika dibandingkan dengan pengukuran menggunakan ANSYS.

6. (Sugiharto, 2015)

STRUKTUR PERKERASAN PORUS MENGGUNAKAN PEMBEBANAN SKALA MODEL

Permodelan perkerasan dengan skala semi lapangan. Tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan konvensional dengan bertambahnya lintasan relatif tetap, sedangkan tegangan, regangan pada perkerasan porus adalah meningkat hingga pada lintasan tertentu kemudian relatif tetap.

7. (Riyana & Arung, 2016)

ANALISIS TEGANGAN, REGANGAN, DAN DEFORMASI PADA PERKERASAN LENTUR PORUS DAN KONVENSIONAL DENGAN SKALA SEMI LAPANGAN

Permodelan perkerasan dengan skala semi lapangan. Nilai regangan yang bernilai positif dan negatif dimana nilai positif menunjukkan arah regangan ke bawah dan negatif menunjukkan arah regangan ke atas. Regangan dengan skala semi lapangan akibat beban dinamis cenderung lebih kecil daripada regangan akibat beban statis.

Tegangan yang terjadi pada lapis pondasi merupakan tegangan tekan dimana nilai maksimum berada tepat di bawah roda dan akan semakin berkurang seiring dengan jaraknya terhadap beban roda. Namun pada beberapa kondisi, tegangan maksimum yang terjadi tidak tepat berada di bawah roda, dan tegangan yang terjadi berupa tegangan tarik yang bernilai negatif. Tegangan bernilai negatif (tegangan tarik) terjadi pada 3 (tiga) sensor yang berada dekat dengan titik jatuh roda, dimana saat beban jatuh menyebabkan hentakan pada perkerasan. Deformasi yang terjadi pada permukaan aspal akibat beban roda yang melintas semakin bertambah besar seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan. Deformasi yang terjadi pada perkerasan lentur porus cenderung lebih besar daripada yang terjadi pada perkerasan lentur konvensional.





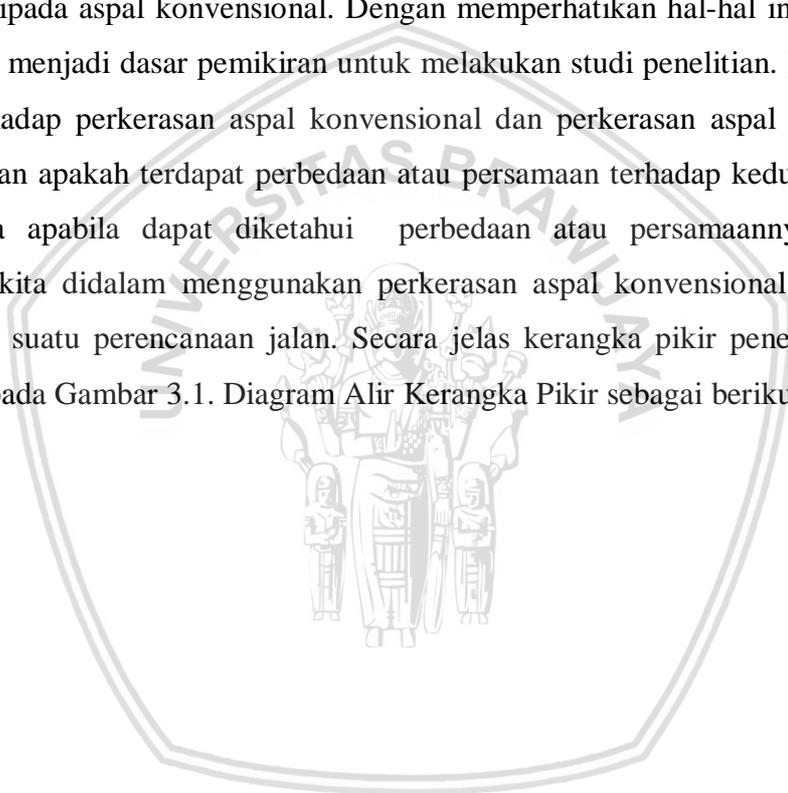
Halaman ini sengaja dikosongkan

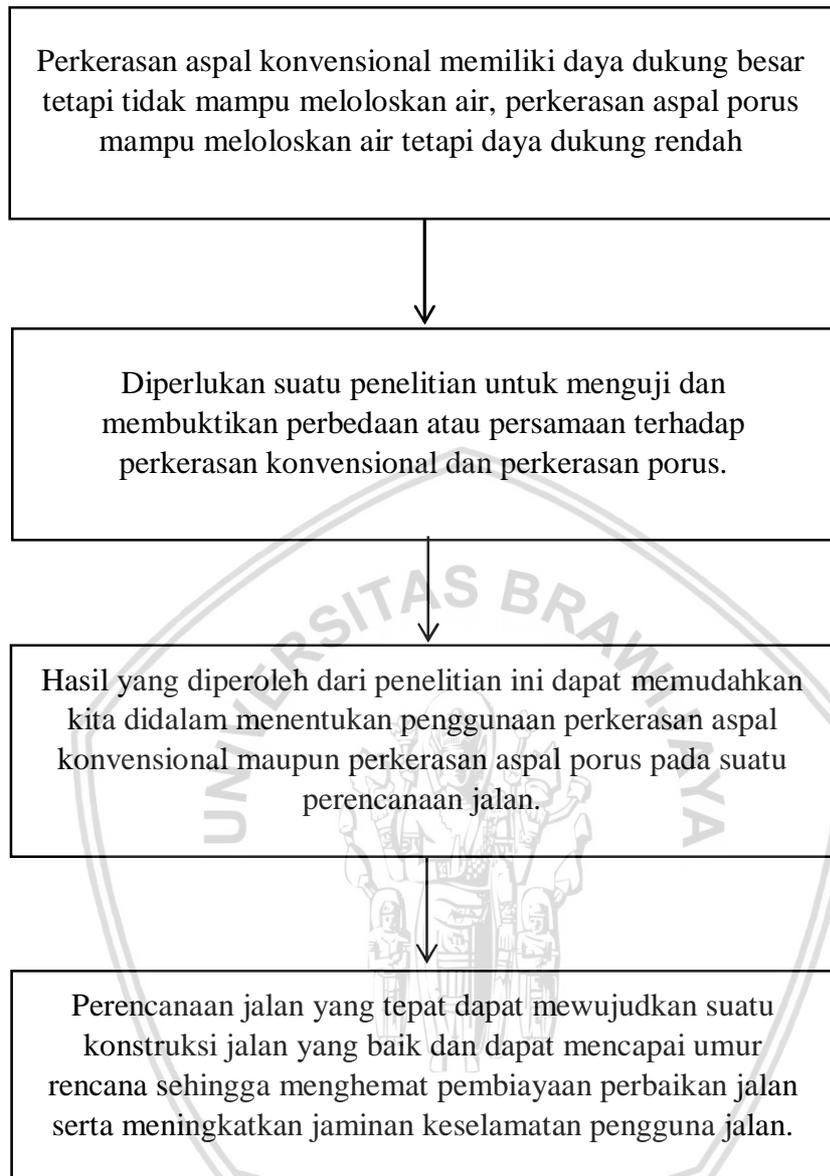
BAB III

KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1. Kerangka Pikir

Perkerasan lentur jenis konvensional memiliki daya dukung yang besar tetapi tidak mampu meloloskan air sehingga pada saat terjadi genangan air akan cepat terjadi kerusakan. Perkerasan porous merupakan jenis perkerasan lentur yang dapat dilewati oleh air karena memiliki permeabilitas dan porositas yang tinggi, akan tetapi daya dukungnya lebih kecil daripada aspal konvensional. Dengan memperhatikan hal-hal ini, maka faktor-faktor tersebut menjadi dasar pemikiran untuk melakukan studi penelitian. Dengan adanya pengujian terhadap perkerasan aspal konvensional dan perkerasan aspal porous nantinya dapat dibuktikan apakah terdapat perbedaan atau persamaan terhadap keduanya, sehingga pada akhirnya apabila dapat diketahui perbedaan atau persamaannya maka akan memudahkan kita didalam menggunakan perkerasan aspal konvensional maupun aspal porous didalam suatu perencanaan jalan. Secara jelas kerangka pikir penelitian ini dapat digambarkan pada Gambar 3.1. Diagram Alir Kerangka Pikir sebagai berikut :





Gambar 3. 1 Diagram Alir Kerangka Pikir

3.2. Definisi Operasional

Agar tidak terjadi kesalahpahaman dalam menafsirkan judul dan untuk memberikan kesamaan pengertian akan konsep yang diangkat dalam penelitian ini, maka definisi operasional konsepnya adalah sebagai berikut :

Analisa : Suatu proses kajian terhadap sesuatu untuk mengetahui keadaan yang sebenarnya

Tegangan : Perbandingan antara gaya yang bekerja pada benda

- dengan luas penampang benda
- Regangan : Perbandingan antara pertambahan panjang batang dengan panjang mula-mula
- Deformasi : Transformasi sebuah benda dari kondisi semula ke kondisi terkini.
- Perkerasan Konvensional : Lapis perkerasan yang pada umumnya digunakan
- Perkerasan Porus : Perkerasan berpori yang mengijinkan air masuk kedalam lapisan perkerasan untuk dialirkan kedalam tanah karena memiliki porositas dan permeabilitas yang tinggi

Jadi Analisa Tegangan, Regangan Dan Deformasi Pada Perkerasan Konvensional Dan Perkerasan Porus dapat defenisikan sebagai proses kajian tegangan, regangan, dan deformasi.





Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Tahapan Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, ada beberapa tahapan yang harus ditempuh, yaitu :

4.1.1. Pekerjaan Persiapan

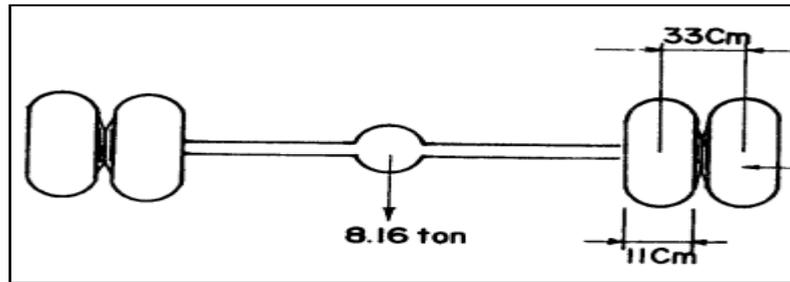
Pekerjaan persiapan merupakan pekerjaan awal sebelum penelitian di laboratorium. Pekerjaan persiapan ini meliputi studi pendahuluan seperti mempelajari literatur yang berkaitan dengan penelitian, konsultasi dengan dosen, pengajuan proposal, persiapan alat dan bahan, serta koordinasi pelaksanaan penelitian.

4.1.2. Hipotesis Penelitian

Dalam suatu penelitian, dibutuhkan adanya hipotesis sebagai pedoman dalam mengambil kesimpulan terkait dengan penelitian tersebut. Dalam penelitian ini akan diukur regangan pada aspal konvensional dan aspal porous menggunakan dua macam pengukuran, yaitu pengukuran regangan dengan skala semi lapangan yang diberi beban dinamis dan pengukuran regangan dengan skala semi lapangan yang diberi beban statis. Maka, hipotesis dalam penelitian ini yaitu tidak terdapat perbedaan hasil regangan pada aspal porous dan aspal konvensional antara pengukuran regangan dengan skala semi lapangan yang diberi beban dinamis, pengukuran regangan dengan skala semi lapangan yang diberi beban statis.

4.1.3. Penentuan Beban

Beban yang diberikan untuk mengukur regangan pada aspal porous disesuaikan dengan beban yang terjadi di lapangan. Beban gandar sumbu tunggal kendaraan sebesar 8160 kg dengan beban kontak roda 11 cm x 11 cm. Gambar 4.1 menunjukkan sumbu standar di lapangan



Gambar 4. 1 Sumbu Standar di Lapangan
Sumber: Sukirman (1999)

Gambar 4.1 di atas menunjukkan beban sumbu standar beserta luas bidang kontak roda yang digunakan di lapangan. Beban dan luasan tersebut menimbulkan tegangan seperti pada Persamaan 3-1:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3-1)$$

$$\sigma = \frac{\frac{8160}{4}}{11 \times 11} = 16,86 \frac{kg}{cm^2} = \sim 17 kg/cm^2$$

Tegangan sebesar $17 kg/cm^2$ yang terjadi di lapangan digunakan sebagai acuan untuk menentukan beban yang diberikan pada pengukuran regangan. Bidang kontak roda yang digunakan pada pengukuran skala semi lapangan yaitu sebesar $1 cm \times 1 cm$ sehingga diperoleh nilai beban yang akan digunakan yaitu:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$17 = \frac{P}{1 \times 1}$$

$$P = 17 kg$$

Dari hasil tersebut, maka mesin pengujian menggunakan beban sebesar 20 kg, sebagai asumsi untuk kondisi overload, beban yang terjadi pada pemodelan struktur perkerasan menimbulkan tekanan yang sama dengan tekanan yang terjadi di lapangan sehingga pengukuran regangan ini dinamakan pengukuran skala semi lapangan.

4.1.4. Pengujian Material

Pada tahap ini, dilakukan persiapan terhadap material yang akan digunakan untuk pemodelan perkerasan porus dan konvensional. Nilai CBR dan gradasi agregat mengikuti pengujian yang telah dilakukan Malik, Khusnul (2013) di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, yaitu dengan nilai CBR sebesar 81%. Sedangkan untuk aspal porus digunakan aspal yang telah diuji tegangan, regangan,

dan deformasinya oleh Amaliyah dan Widiningrum (2015) dengan karakteristik aspal mengikuti penelitian dari Ramadhan dan Burhanuddin (2014) yaitu aspal porus dengan campuran *gilsonite* sebesar 8%. Langkah-langkah pengujian material mengikuti peraturan-peraturan yang disajikan dalam Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 4. 1 Pengujian Material dan Acuan yang dipakai

No.	Nama Pengujian	Acuan/ Aturan yang dipakai
1	Analisa Saringan	ASTM D 422 tentang <i>Test Method for particle-size Analysis of Soils</i>
2	Pemadatan Standar	ASTM D698 tentang Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort
3	CBR	SNI 03-1744-1989 tentang Metode Pengujian CBR Laboratorium

Pembuatan aspal porus dan konvensional dilakukan oleh peneliti dengan bantuan tenaga ahli dari Bina Marga kota Malang pada tanggal 20 Juni 2016 di lokasi *Asphalt Mixing Plant*. Pengujian dilakukan dengan Alat skala semi lapangan. Alat utama yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin penguji *loading test* dimana mampu membawa beban yang bekerja pada struktur perkerasan. Alat tersebut merupakan model kendaraan yang melintas di jalan raya, terdiri atas mesin yang mampu menggerakkan roda

Pengujian aspal dilakukan setelah model struktur perkerasan dibangun dan siap untuk diuji, maka pengukuran regangan, tegangan dan deformasi mulai dilaksanakan.

Langkah-langkah pengukuran dijelaskan seperti berikut ini:

- Menghubungkan mesin penguji dan alat penghitung lintasan dengan sumber listrik
- Menjalankan mesin sehingga beban berjalan di atas perkerasan
- Membaca nilai regangan setiap titik pada *strain meter* setiap 1 lintasan untuk beban dinamis dan setiap 100 lintasan untuk beban statis
- Membaca nilai tegangan setiap titik per 1 lintasan untuk beban dinamis dan 100 lintasan untuk beban statis
- Membaca nilai deformasi setiap titik per 100 lintasan
- Mengulangi langkah ke-2, 3 dan 4 hingga 5000 kali lintasan untuk ke 4 benda uji.

4.1.5. Pengolahan dan Analisa Data

Setelah diperoleh pembacaan regangan, tegangan dan deformasi maka dilakukan analisis data untuk memperoleh gambaran grafiknya yang memperlihatkan perilaku benda uji dalam menerima beban pada lintasan tertentu. Dari hasil pembacaan data yang diperoleh dari pembebanan alat skala semi lapangan dan diukur dengan alat strain meter serta alat pengukur tegangan maka hasil pembacaan data tadi dituangkan dalam bentuk grafik. Dari grafik tersebut kemudian diambil *trendline* nya, dari hasil grafik ini dianalisa untuk semua benda uji dan pada setiap titik A, B dan C pada lintasan 1 sampai dengan 5000.

Pengujian validitas data penelitian dilakukan dengan bantuan *software* SPSS. Dari analisis SPSS, diperoleh nilai signifikansi yang menunjukkan apakah hipotesis diterima atau ditolak. Jika nilai signifikansi kurang dari nilai *significance level* (α), maka hipotesis H_0 ditolak, begitu juga sebaliknya.

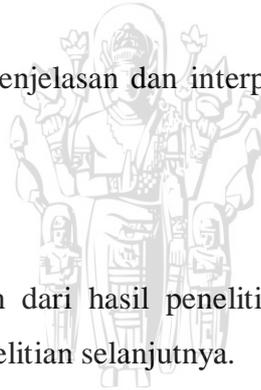
4.1.7 Pembahasan

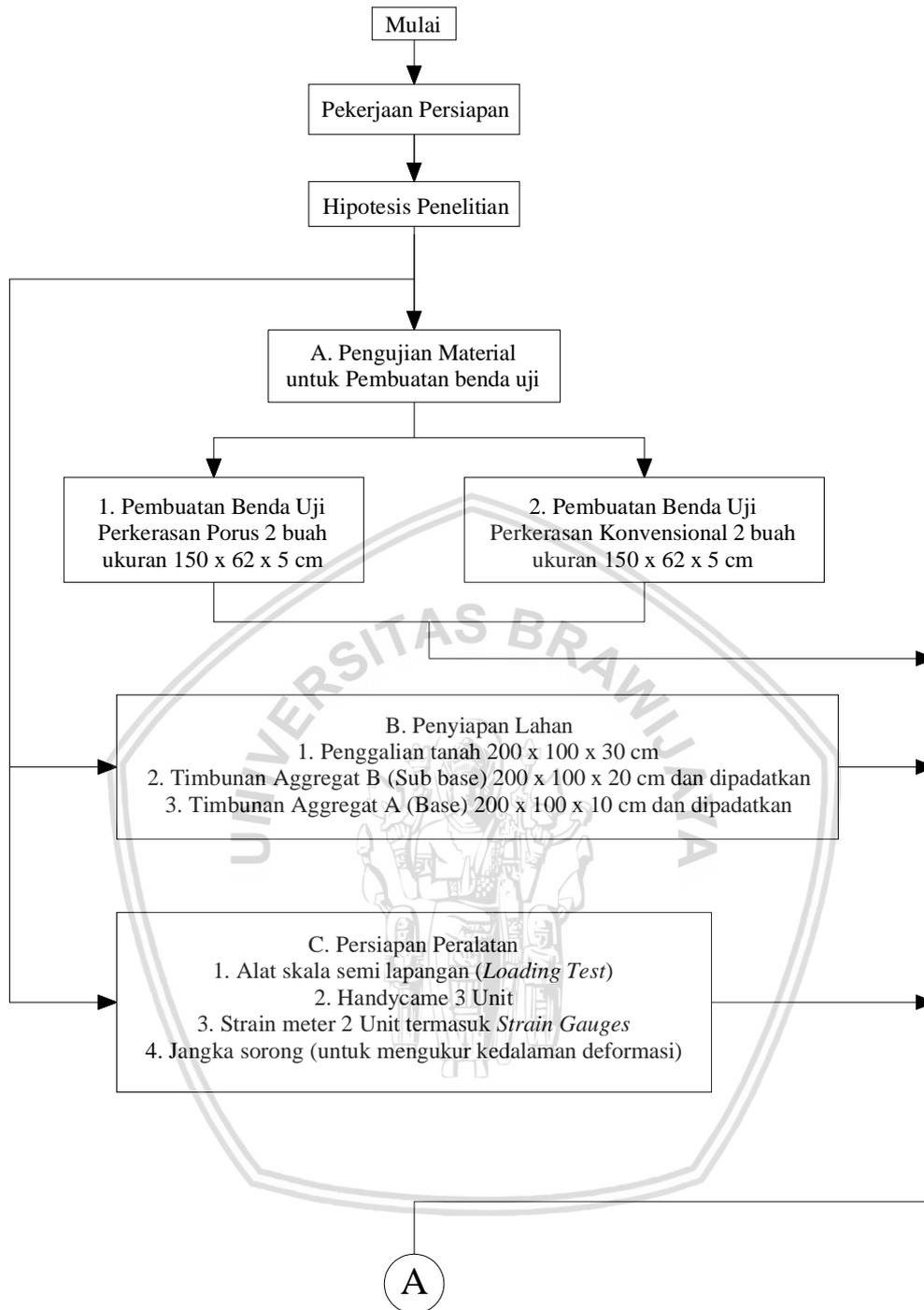
Pada tahap ini, akan diberikan penjelasan dan interpretasi atas hasil penelitian yang telah dianalisis.

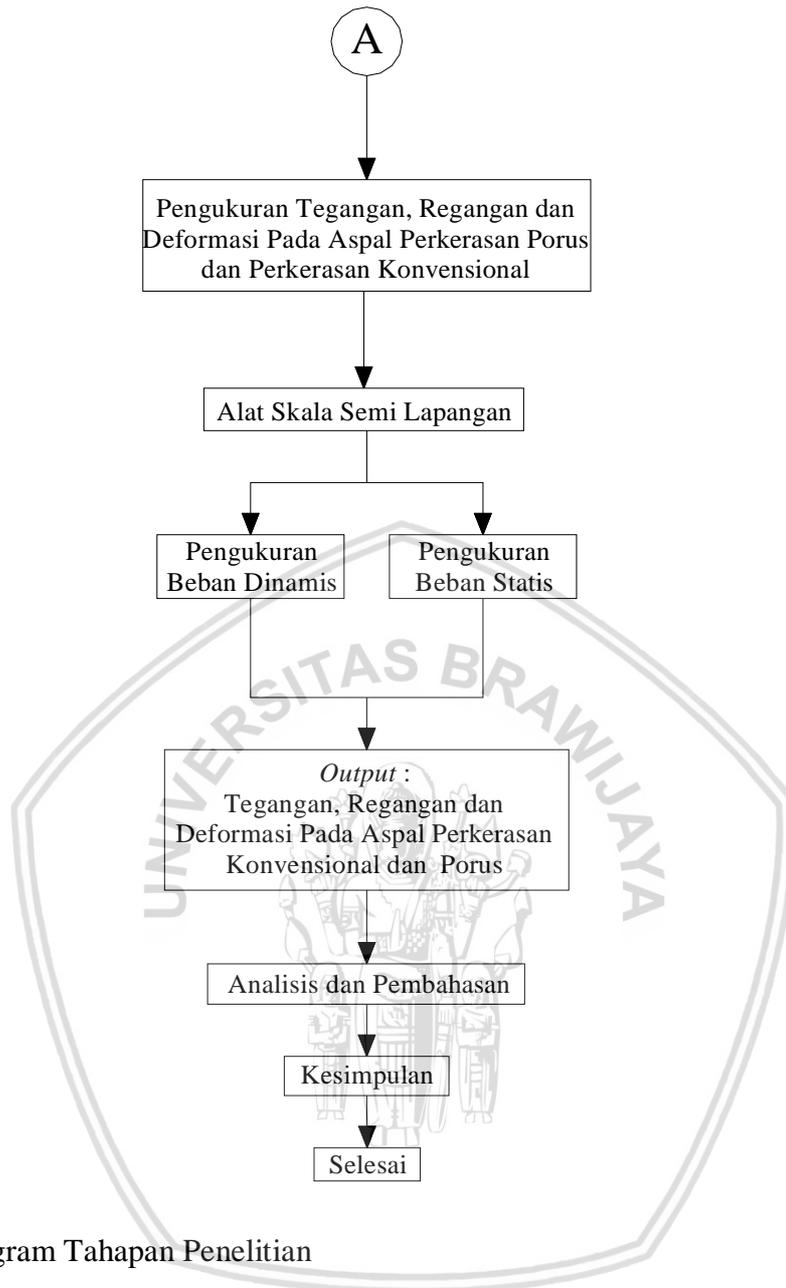
4.1.8 Kesimpulan dan saran

Tahap ini merupakan penegasan dari hasil penelitian dengan masalah dan tujuan penelitian serta saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

Gambaran tahapannya dapat dilihat pada gambar 4.2.







Gambar 4. 2 Diagram Tahapan Penelitian

4.2. Lokasi, Waktu Penelitian dan Tahapan Pelaksanaan

4.2.1. Lokasi Penelitian

Pengujian material dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Pengukuran regangan aspal porus dengan skala semi lapangan dilaksanakan di tempat parkir jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Foto lokasi pengujian seperti pada Gambar Berikut :



Gambar 4. 3 Lokasi Pengujian dengan Skala Semi Lapangan

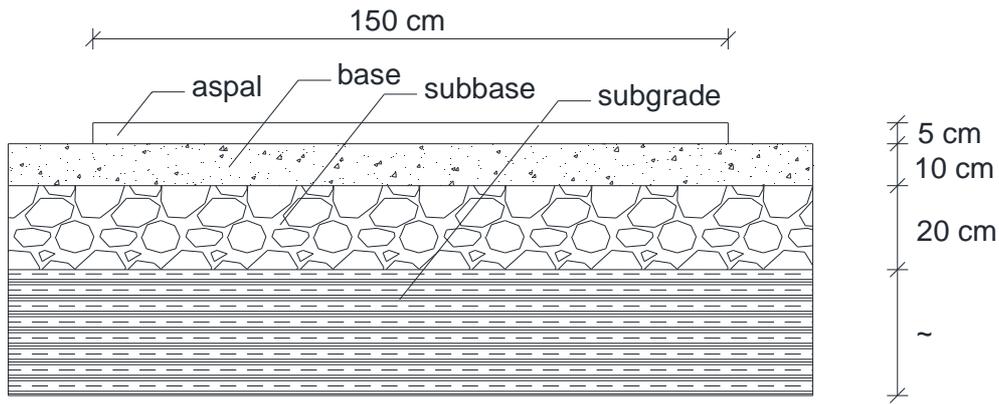
4.2.2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2016 hingga 26 Nopember 2016

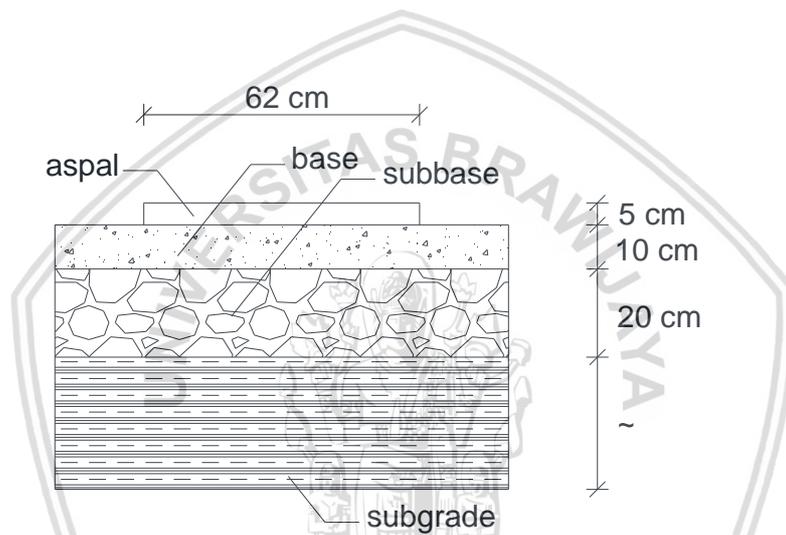
4.2.3. Tahapan Pelaksanaan

4.2.3.1. Persiapan Model Struktur Perkerasan dengan Skala Semi Lapangan

Struktur perkerasan terdiri dari lapisan permukaan (*surface*) berupa aspal porus dengan bahan tambahan *gilsonite*, *base* berupa LPA, *subbase* berupa LPB, dan *subgrade* berupa tanah dengan karakteristik pasir berlempung. Ketebalan yang digunakan pada perkerasan semi lapangan berdasarkan ketebalan pada umumnya sehingga pengukuran regangan ini dinamakan pengukuran dengan skala semi lapangan. Gambar 4.4 menunjukkan model struktur perkerasan porus skala semi lapangan potongan memanjang dan Gambar 4.5 menunjukkan model struktur perkerasan porus skala semi lapangan potongan melintang

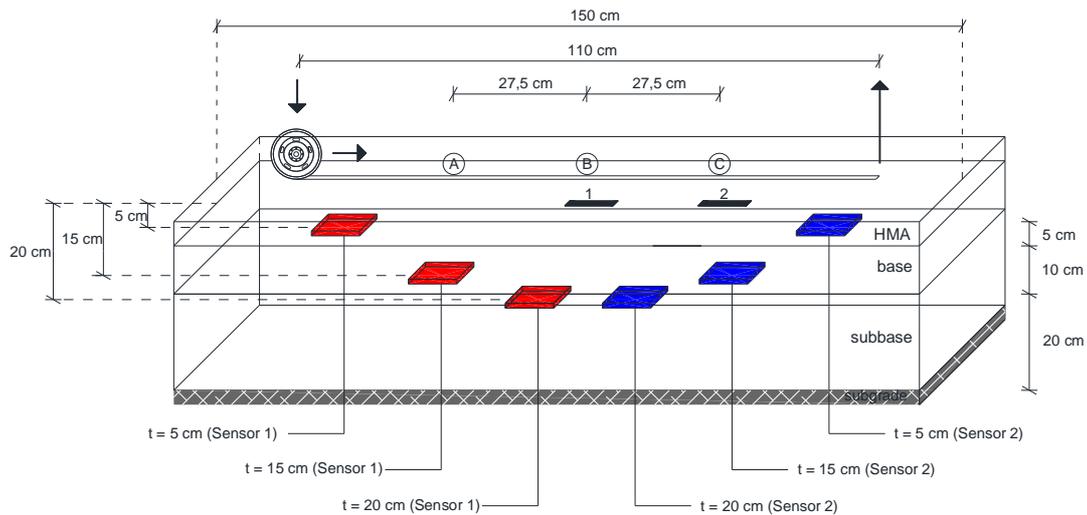


Gambar 4. 4 Struktur Perkerasan Porus Skala Semi Lapangan Potongan Memanjang



Gambar 4. 5 Struktur Perkerasan Porus Skala Semi Lapangan Potongan Melintang

Dari Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 diketahui pada arah memanjang dan melintang lapisan *subgrade*, lapisan pondasi bawah, dan lapisan pondasi atas masing-masing 200 cm dan 100 cm. Sedangkan dimensi arah memanjang dan melintang lapisan aspal porus yaitu masing-masing 150 cm dan 62 cm. Ketebalan lapisan aspal, pondasi atas, pondasi bawah yaitu masing-masing 5 cm, 10 cm, dan 20 cm sedangkan ketebalan lapisan tanah dasar tak terhingga. Penempatan sensor untuk pengukuran regangan dan tegangan seperti pada Gambar berikut ini.



Gambar 4. 6 Lokasi Alat Pengukur Tegangan

4.2.3.2. Penyiapan Peralatan Pengujian

➤ Loading Test

Alat utama yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin pengujian *loading test* dimana alat tersebut mampu menggerakkan beban melintas diatas struktur perkerasan. *Loading test* merupakan permodel kendaraan yang melintas di jalan raya, terdiri atas mesin yang mampu menggerakkan roda dan dilengkapi *counter* untuk mencatat banyak lintasan roda. Mesin pengujian ini didasarkan pada prinsip pembebanan yang terjadi pada jalan raya. Pembebanan pada struktur perkerasan dimodelkan satu arah, maksudnya roda mesin akan menekan lintasan hanya pada saat maju dan roda akan melayang pada saat mundur. Alat ini dapat memberikan pembebanan dan kecepatan uji yang konstan yaitu kurang lebih 36,7 cm/detik. Mesin akan dibebani sesuai dengan beban rencana. Gambar 4.7 menunjukkan mesin pengujian yang digunakan dalam penelitian sebelum dikembangkan dan Gambar 4.8 menunjukkan mesin pengujian setelah dikembangkan dengan menambahkan dongkrak untuk mengatur tinggi rendahnya mesin pengujian terhadap benda uji



Gambar 4. 7 Mesin pengujian yang digunakan dalam penelitian sebelum dikembangkan



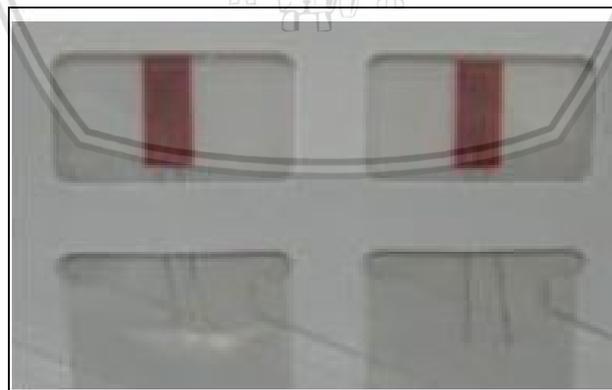
Gambar 4. 8 Mesin pengujian yang digunakan dalam penelitian setelah dikembangkan



Gambar 4. 9 Alat Penghitung Lintasan (Counter) pada Mesin Penguji

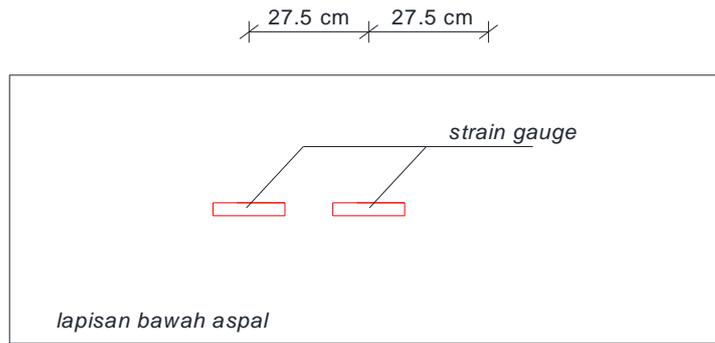
➤ *Strain Gauge*

Strain gauge telah digunakan luas dalam pengukuran besaran fisika gaya pada bidang mekanikal, perkapalan, dunia penerbangan, teknik sipil (perancangan dan arsitektur), *automotive*, dunia kedokteran, dan sebagainya. Perbandingan antara ΔL dan L adalah sangat kecil dan pembacaannya bernilai 10^{-6} atau biasa ditulis dalam satuan micro-epsilon ($\mu\epsilon$). *Strain gauge* dipasang pada bagian bawah aspal porous. *Strain gauge* ditunjukkan seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Strain Gauge

Strain gauge dipasang sebanyak tiga buah untuk mengetahui variasi regangan yang terjadi pada aspal. Lokasi *strain gauge* tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Lokasi Strain Gauge pada Aspal Porus

Sumber: Rencana Penelitian

➤ *Strain Meter dan Cable Switch*

Strain meter merupakan alat pembaca *strain gauge* yang telah dipasang. Pada layar *strain meter*, akan ditampilkan nilai bacaan regangan. Sedangkan *cable switch* merupakan tempat perletakan kabel yang menghubungkan *strain gauge* dengan *strain meter*. *Strain meter* dan *cable switch* ditunjukkan dalam Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Strain Meter (Kiri) dan Cable Switch (Kanan)

Sumber: Dokumentasi Peneliti (2014)

➤ Alat Pengukur Tegangan

Alat pengukur tegangan yang tersusun atas lempeng aluminium dihubungkan ke neraca pengukur berat dengan kabel penghubung, menggunakan prinsip perbandingan besar beban terhadap luasan untuk mendapatkan besar tegangan yang terjadi pada perkerasan porus. Alat pengukur tegangan ditunjukkan pada Gambar 4.13.

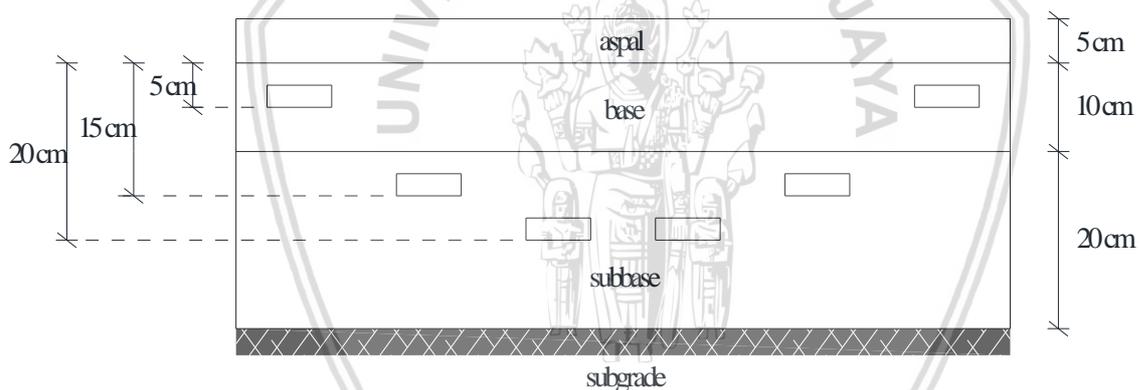


Gambar 4. 13 Alat Pengukur Tegangan

Alat ini dipasang pada setiap lapisan perkerasan yaitu *base* maupun *subbase* dari perkerasan. Masing-masing diletakkan 2 buah alat pengukur tegangan pada tiap lapisan untuk mengetahui variasi tegangan dengan jarak dan kedalaman yang ditentukan pada setiap alat. Alat pengukur tegangan pada lapisan *base* dipasang sedalam 5 cm dari atas permukaan *base*, yaitu tepat di tengah lapisan *base*, dan pada lapisan *subbase* sedalam 15 cm dan 20 cm dari atas permukaan *base*. Lokasi alat pengukur tegangan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15.



Gambar 4. 14 Lokasi Sensor Pengukur Tegangan



Gambar 4. 15 Kedalaman Alat Pengukur Tegangan

➤ Jangka Sorong

Jangka sorong merupakan salah satu alat ukur yang dilengkapi dengan skala nonius, sehingga tingkat ketelitiannya mencapai 0,02 mm dan ada juga yang ketelitiannya 0,05 mm. Pada penelitian ini jangka sorong digunakan untuk mengukur deformasi yang terjadi pada aspal.



Gambar 4. 16 Jangka Sorong Digital

➤ Handycam dan Kamera

Alat ini dipergunakan untuk merekam angka – angka tegangan dan regangan yang muncul pada alat strain meter dan alat pengukur tegangan.

4.2.3.3. Pengujian Material

Pengujian Material dilaksanakan di laboratorium Jalan Raya pada Bulan Juni 2016 untuk melakukan analisa saringan. Berikut ini Gambar



Gambar 4. 17 Agregat Kasar dan Agregat Halus

4.2.3.4. Pembuatan Benda Uji Aspal Porus Dan Konvensional

Mempersiapkan agregat batu pecah sesuai dengan gradasi pada Tabel 4.2 dan *gilsonite*

Tabel 4. 2 Gradasi Agregat Aspal Porus Standar *British*

Diameter Saringan (mm)	% Lolos			% tertahan	Kum. Tertahan	Tertahan (kg)
	Batas Atas	Batas Bawah	Rancangan			
19,000	100	100	100	0		
12,700	100	100	100	0		
9,530	100	90	91	9	4,76361	4,76361
6,350	55	40	45	55	29,11095	24,34734
2,380	28	22	22	78	41,28462	12,17367
0,074	6	3	3	97	51,34113	10,05651
PAN			0	100	52,929	1,58787

Sumber: Ramadhan dan Burhan (2014)

Tabel 4. 3 Rancangan Gradasi Aspal Konvensional Standar Bina Marga

Ukuran Ayakan (mm)	Tertahan (gr)	Kumulatif Tertahan (gr)	% Tertahan	% Lolos	Batas	
					Atas	Bawah
19				100	100	100
12,5	3213	3213	5	95	90	100
9,5	8996,4	12209,4	19	81	72	90
4,75	17992,8	30202,2	47	53	43	63
2,36	12498,57	42700,77	66,45	33,55	28	39,1
1,18	7229,25	49930,02	77,7	22,3	19	25,6
0,6	4016,25	53946,27	83,95	16,05	13	19,1
0,3	2441,88	56388,15	87,75	12,25	9	15,5
0,15	1767,15	58155,3	90,5	9,5	6	13
0,075	1606,5	59761,8	93	7	4	10
PAN	4498,2					
TOTAL	64260					

Sumber : Sugiharto (2015)

- o Kadar aspal yang digunakan sebanyak 5,75% yaitu kurang lebih 3 kg dan kadar *gilsonite* yang dicampurkan yaitu sebanyak 8% dari kadar aspal, kurang lebih sebanyak 240 gram.

- Mempersiapkan bekisting dari papan triplek dan kayu dengan ukuran 150 cm x 62 cm untuk mencetak aspal
- Mencampurkan aspal yang telah dipanaskan dengan suhu kurang lebih 200⁰C dengan *gilsonite*
- Mencampurkan campuran aspal dengan *gilsonite* pada agregat batu pecah
- Menuangkan campuran aspal dengan agregat tersebut pada bekisting yang telah dibuat, lalu diratakan.
- Memadatkan aspal porus dengan *baby roller*



Gambar 4. 18 Proses Pencampuran Agregat dengan Aspal Cair



Gambar 4. 19 Proses Pemasangan Benda Uji

4.2.3.5. Penyiapan Lahan dan Penyetelan Peralatan.

- Penyiapan lahan
 - Penggalian lokasi sub base dan base
 - Memadatkan tanah dasar yang akan digunakan sebagai struktur perkerasan
 - Melakukan tes Dynamic Cone Penetrometer (DCP) pada tanah dasar untuk mengetahui nilai CBR atau daya dukungnya.
 - Menghamparkan agregat batu pecah lapis pondasi bawah (*subbase*), lalu dipadatkan.
 - Menghamparkan agregat batu pecah lapis pondasi atas (*base*), lalu dipadatkan.

- Penyetelan peralatan
 - Aspal yang akan dilakukan pengujian terlebih dahulu dipasang Strain gauge pada posisi yang telah ditentukan, seperti pada Gambar berikut ini



Gambar 4. 20 Pemasangan Strain Gauge

- Kemudian dilanjutkan pada pemasangan sensor pengukur tegangan pada lapisan base dan sub base, seperti tampak dibawah ini :



Gambar 4. 21 Pemasangan Sensor Pengukur Tegangan

- Setelah sensor pengukur tegangan dipasang, maka lubang ditutup lagi dan dipadatkan, setelah itu lapisan base diberi lapisan resap pengikat yang berfungsi untuk merekatkan lapisan base dengan aspal, seperti tampak dibawah ini :



Gambar 4. 22 Lapisan Resap Pengikat

- Setelah itu dilanjutkan dengan memindahkan benda uji ke posisi lapisan base yang telah dipasang sensor pengukur tegangan, seperti dibawah ini



Gambar 4. 23 Penempatan benda uji

- Setelah benda uji diletakkan pada posisinya maka selanjutnya adalah memindahkan alat loading test tepat diatas benda uji dan diatur kelurusannya dan kedatarannya terhadap benda uji, seperti dibawah ini :



Gambar 4. 24 Pengaturan kedataran alat loading test



Gambar 4. 25 Pengaturan kedataran alat loading test

- Setelah aspal mengeras, *strain gauge* dipasang pada bagian bawah lapisan aspal seperti pada Gambar 3.8, tepat di bawah lintasan roda.
- Memindahkan aspal porus dari bekisting ke atas lapis pondasi

- Meletakkan mesin penguji dengan posisi tepat di atas struktur perkerasan yang telah dibuat
- Menghubungkan kabel sensor yang telah terpasang pada benda uji ke strain meter dan alat pengukur tegangan.
- Setelah semua kabel terpasang maka pengujian dapat dimulai dan direkam dengan menggunakan handycam. Seperti Gambar dibawah ini :



Gambar 4. 26 Pemasangan kabel dan handycame pada Alat Strain Meter

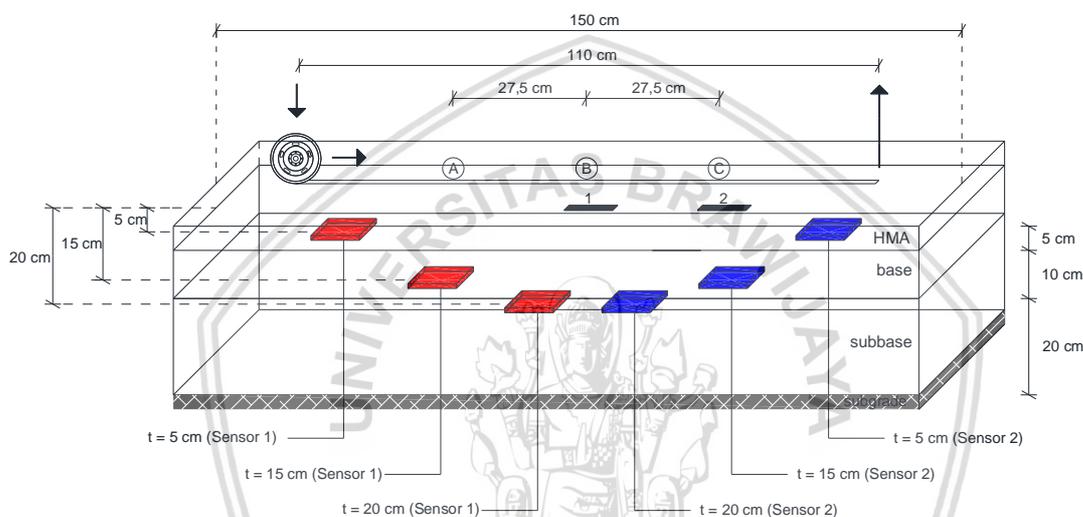


Gambar 4. 27 Pemasangan kabel dan handycame pada Alat Pengukur Tegangan

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Pengukuran Tegangan pada Lapisan Pondasi

Pengukuran tegangan dilakukan menggunakan alat pengukur tegangan yang diletakkan pada enam titik yang ditunjukkan pada Gambar 5.1. Tegangan yang terjadi merupakan bentuk respon terhadap beban berjalan (beban dinamis) dan beban berhenti (beban statis) yang bekerja pada perkerasan lentur.



Gambar 5. 1 Lokasi Alat Pengukur Tegangan

5.1.1. Hasil Pengukuran Tegangan pada Perkerasan yang Diberi Beban Dinamis

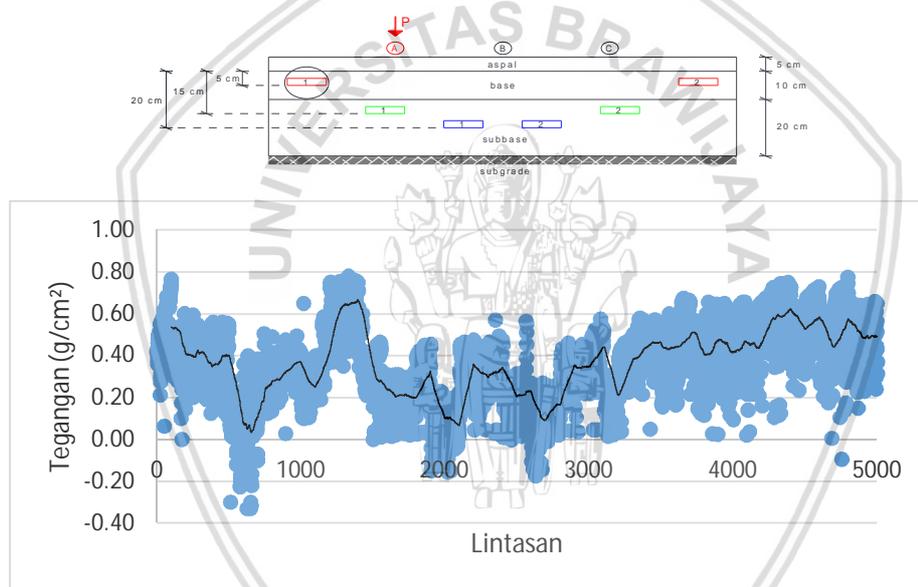
Pembacaan pengukuran tegangan saat beban berjalan (beban dinamis) dilakukan berulang tiap lintasan hingga 5000 lintasan dengan syarat tiap pembacaan lintasan beban dipusatkan pada 3 titik acuan (Titik A, Titik B, dan Titik C).

5.1.1.1 Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1

Dari penelitian yang dilakukan diperoleh data yang bervariasi dari 6 sensor yang ditanam pada jarak dan kedalaman yang berbeda. Hasil pengukuran tegangan saat beban berjalan dapat diketahui bahwa nilai tegangan maksimum di titik A, B, dan C terletak pada sensor 1. Pada sensor 1 di titik tinjau A, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar 0,370 g/cm². Pada sensor 2 di titik tinjau B, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar 0,153 g/cm². Sedangkan, rata-rata tegangan pada sensor 2 di titik tinjau C sebesar 0,5725 g/cm².

Pada Titik A tegangan maksimum yang terjadi tepat pada sensor yang berada di bawahnya, sedangkan pada Titik B dan C tegangan maksimum tidak terjadi pada sensor yang berada di bawah titik acuan. Beban dinamis yang berada di titik A berpengaruh lebih besar terhadap tegangan pada Sensor 1 (kedalaman 5 cm) seperti pada Gambar 5.2. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh dari rambatan gelombang akibat pembebanan yang berkelanjutan sehingga nilai tegangan yang terdeteksi terus meningkat dan menjadi lebih besar.

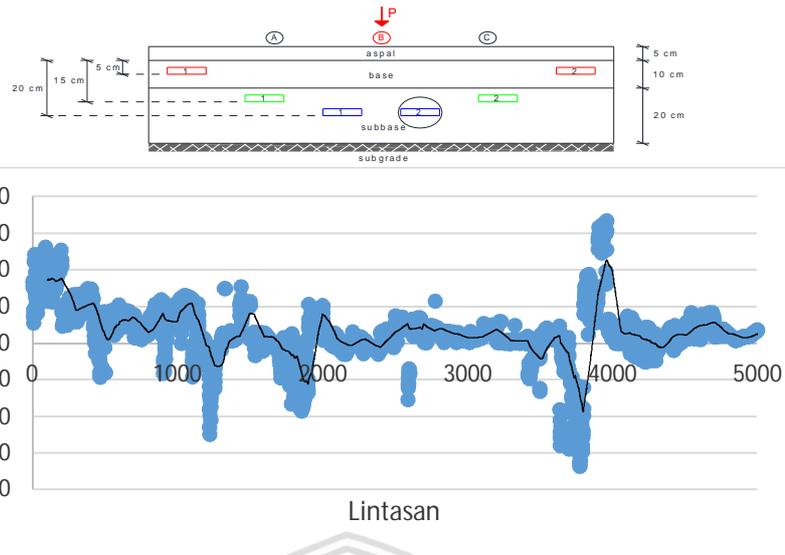
Tegangan yang terjadi pada pondasi perkerasan lentur porus saat beban berjalan ditunjukkan pada Gambar 5.2 hingga Gambar 5.4. Pada grafik dapat dilihat pola kenaikan dan penurunan rata-rata yang terjadi pada masing-masing titik acuan menggunakan *trendline* dengan pengaturan periode *moving average* sebesar 100, yang berarti tegangan rata-rata pada data tersebut dilihat setiap 100 lintasan. .



Gambar 5. 2 Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 5 cm) Akibat Beban di Titik A

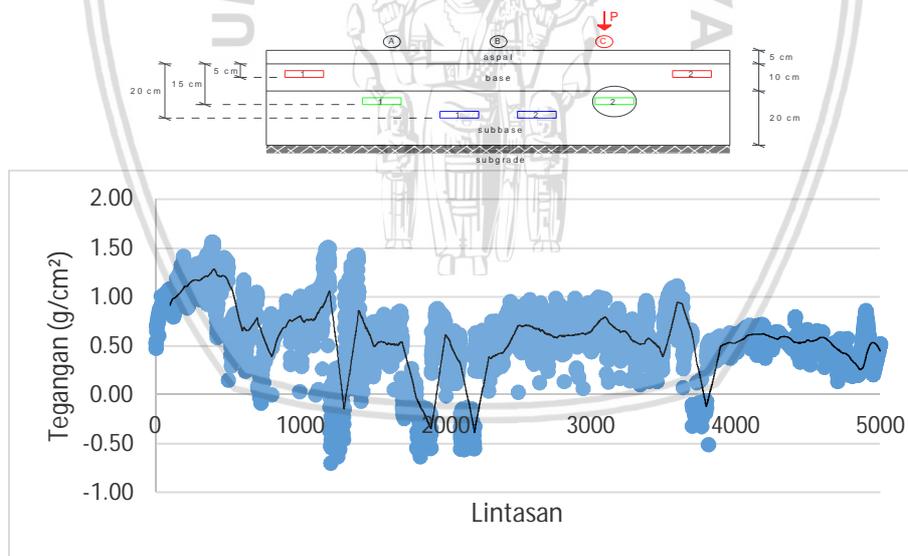
Pada Gambar 5.2 dapat dilihat tegangan yang terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 5 cm) yang berada tidak di bawah beban dinamis pada Titik A. Tegangan yang terjadi cenderung besar dikarenakan titik tinjauan berada dekat dengan titik jatuh roda, dimana beban yang diterima cukup besar dan terjadi hentakan saat beban jatuh dengan kecepatan yang relatif tinggi. Nilai tegangan yang terjadi pada titik ini berkisar antara $-0,37 - 0,90 \text{ g/cm}^2$.

Tegangan maksimum saat beban berada di Titik A terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 20 cm), hal ini tidak sesuai dengan asumsi awal bahwa tegangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau.



Gambar 5. 3 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B

Tegangan maksimum saat beban berada di Titik B terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 20 cm), hal ini tidak sesuai dengan asumsi awal bahwa tegangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau. Dapat dilihat pada Gambar 5.3, tegangan yang terjadi pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) berkisar antara $-1,675 - 1,675 \text{ g/cm}^2$.



Gambar 5. 4 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C

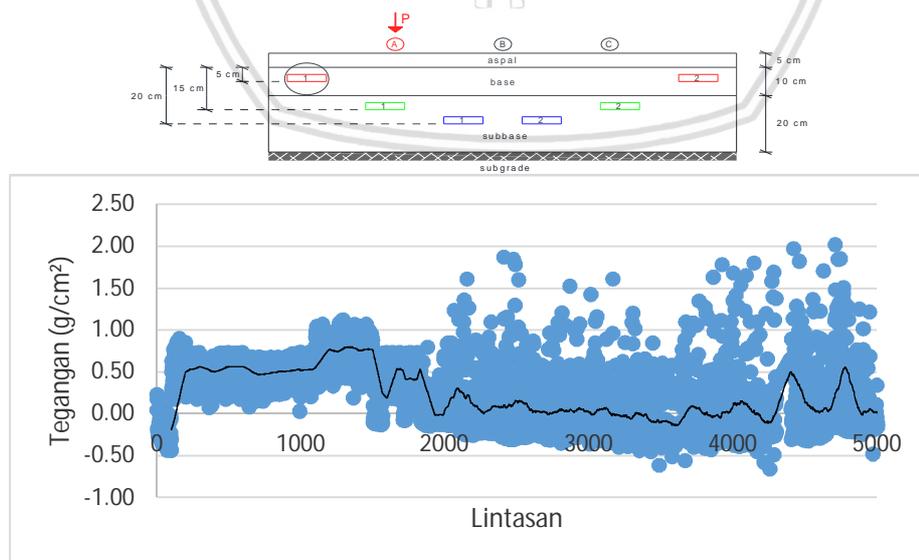
Tegangan maksimum saat beban berada di Titik C terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 20 cm), hal ini tidak sesuai dengan asumsi awal bahwa tegangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau. Dapat dilihat pada Gambar 5.4, nilai tegangan yang terjadi pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) berkisar antara $-0,700 - 1,565 \text{ g/cm}^2$.

5.1.1.2 Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2

Hasil pengukuran tegangan saat beban berjalan diketahui bahwa nilai tegangan maksimum yang terjadi di titik A, B, dan C terletak pada sensor 1. Pada titik tinjau A, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar $0,229 \text{ g/cm}^2$. Pada titik tinjau B, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar $0,228 \text{ g/cm}^2$. Sedangkan, rata-rata tegangan pada titik tinjau C sebesar $0,468 \text{ g/cm}^2$.

Pada Titik A dapat dilihat bahwa tegangan maksimum terjadi tepat ada sensor yang berada di bawah titik acuan, sedangkan pada Titik B dan C tegangan maksimum yang terjadi tidak pada sensor yang berada di bawahnya. Beban dinamis yang berada di titik C seharusnya berpengaruh lebih besar terhadap tegangan pada Sensor 2 (kedalaman 15 cm) seperti pada Gambar 5.7, namun pada pengujian terhadap benda uji ini yang terjadi adalah tegangan pada Sensor 1 (kedalaman 20 cm) lebih besar dibandingkan tegangan pada Sensor 2 (kedalaman 15 cm). Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh dari rambatan gelombang akibat pembebanan yang berkelanjutan sehingga nilai tegangan yang terdeteksi terus meningkat dan menjadi lebih besar, dimana posisi sensor ini lebih dekat dengan permukaan.

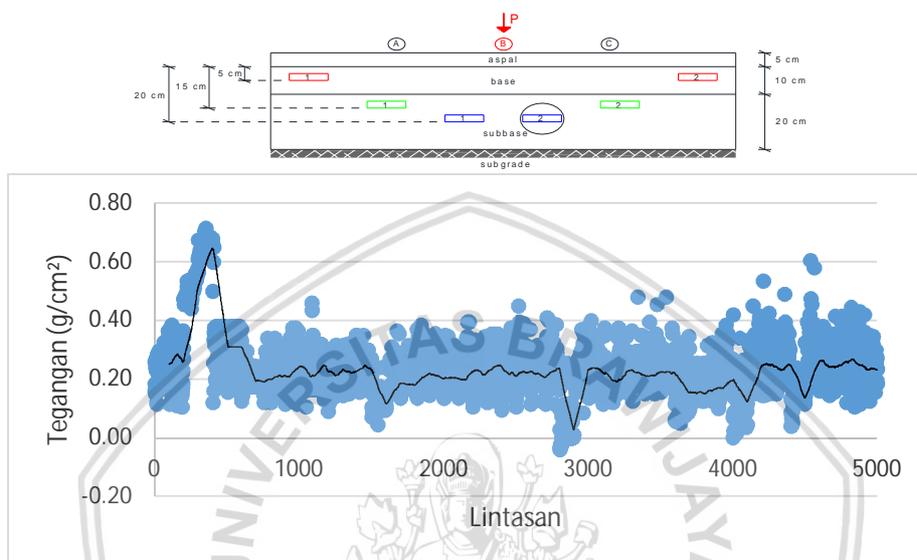
Hasil pengukuran tegangan pada pondasi perkerasan lentur porus saat beban berjalan ditunjukkan pada Gambar 5.5 hingga Gambar 5.7. Pada grafik dapat dilihat pola kenaikan dan penurunan rata-rata yang terjadi pada masing-masing titik acuan dengan menggunakan *trendline* dengan pengaturan periode *moving average* sebesar 100, yang berarti rata-rata tegangan pada data tersebut dilihat setiap 100 lintasan.



Gambar 5. 5 Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 5 cm) Akibat Beban di Titik A

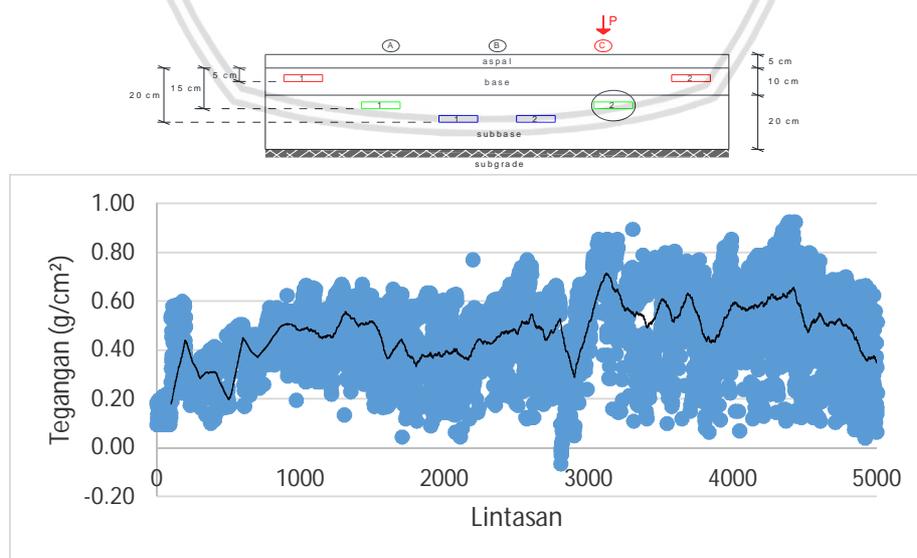
Tegangan saat beban berada di Titik A terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 5 cm). Dapat dilihat pada Gambar 5.5, nilai tegangan yang terjadi pada titik ini berkisar antara $-0,660 - 2,020 \text{ g/cm}^2$.

Tegangan maksimum saat beban berada di Titik A terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 5 cm), hal ini sesuai dengan asumsi awal bahwa tegangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau, walaupun posisinya tidak tepat berada di bawah beban.



Gambar 5. 6 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B

Tegangan saat beban berada di Titik B terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 20 cm). Dapat dilihat pada Gambar 5.6, nilai tegangan yang terjadi pada titik ini berkisar antara $-0,04-0,715 \text{ g/cm}^2$.



Gambar 5. 7 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C

Pada Gambar 5.7 dapat dilihat tegangan yang terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 15 cm) yang tepat berada di bawah beban dinamis pada Titik C. Nilai tegangan yang terjadi pada titik ini berkisar antara $-0,065 - 0,925 \text{ g/cm}^2$.

Tegangan maksimum saat beban berada di Titik C terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 20 cm), hal ini tidak sesuai dengan asumsi awal bahwa tegangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau.

Berdasarkan teori yang ada, tegangan yang terjadi akibat pemberian beban yang berkelanjutan akan terus meningkat sebanding dengan penambahan jumlah lintasan. Hal ini terjadi saat beban berada di Titik A, dimana tegangan yang terjadi terus meningkat dengan stabil. Namun, pada pengukuran tegangan akibat beban di Titik B dan C, hasil model pembacaan tegangan menunjukkan nilai tegangan yang terjadi cukup stabil namun terjadi beberapa kenaikan dan penurunan tegangan yang cukup tinggi. Hal ini disebabkan karena pembacaan alat yang tidak dilakukan secara berkelanjutan sehingga mengakibatkan penurunan nilai tegangan yang bervariasi. Besarnya penurunan nilai tegangan bergantung waktu jeda pembacaan alat. Semakin lama waktu jeda maka penurunan semakin besar.

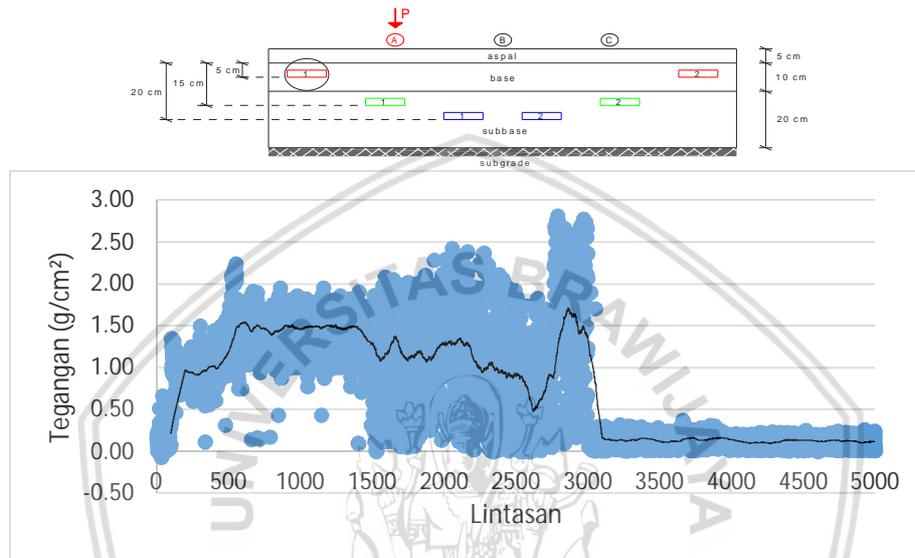
5.1.1.3 Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1

Hasil pengukuran tegangan saat beban berjalan dapat diketahui bahwa nilai tegangan maksimum yang terjadi akibat beban dinamis di titik A terletak pada sensor 1. Sedangkan di titik B dan C terletak pada sensor 2. Pada sensor 1 di titik tinjau A, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar $0,768 \text{ g/cm}^2$. Pada sensor 2 di titik tinjau B, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar $0,138 \text{ g/cm}^2$. Sedangkan, rata-rata tegangan pada sensor 2 di titik tinjau C sebesar $1,003 \text{ g/cm}^2$.

Pada Titik A, B, dan C dapat dilihat bahwa tegangan maksimum terjadi tepat ada sensor yang berada di bawah titik acuan. Beban dinamis yang berada di titik B seharusnya berpengaruh lebih besar terhadap tegangan pada Sensor 2 (kedalaman 20 cm) seperti pada Gambar 5.9, namun pada pengujian yang terjadi adalah tegangan pada Sensor 2 (kedalaman 5 cm) lebih besar dibandingkan tegangan pada Sensor 2 (kedalaman 20 cm). Begitu pula yang terjadi pada beban dinamis yang berada di titik C seharusnya berpengaruh lebih besar terhadap tegangan pada sensor 2 (kedalaman 15 cm) seperti pada Gambar 5.10, namun pada pengujian yang terjadi adalah tegangan pada Sensor 2 (kedalaman 5 cm) lebih besar dibandingkan tegangan pada Sensor 2 (kedalaman 15 cm). Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh dari rambatan gelombang akibat pembebanan

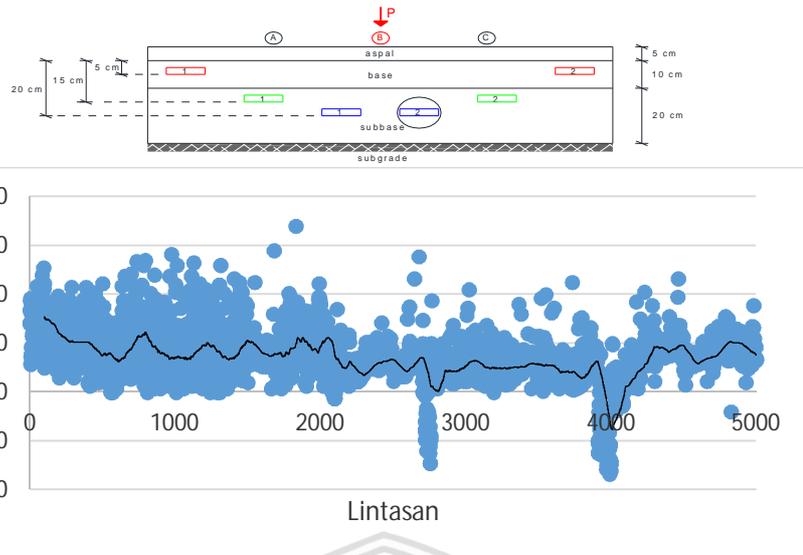
yang berkelanjutan, sehingga nilai tegangan yang terdeteksi terus meningkat dan menjadi lebih besar.

Hasil pengukuran tegangan pada pondasi perkerasan lentur konvensional saat beban berjalan ditunjukkan pada Gambar 5.8 hingga Gambar 5.10. Pada grafik dapat dilihat pola kenaikan dan penurunan rata-rata yang terjadi pada masing-masing titik acuan dengan menggunakan *trendline* dengan pengaturan periode *moving average* sebesar 100, yang berarti rata-rata tegangan pada data tersebut dilihat setiap 100 lintasan.



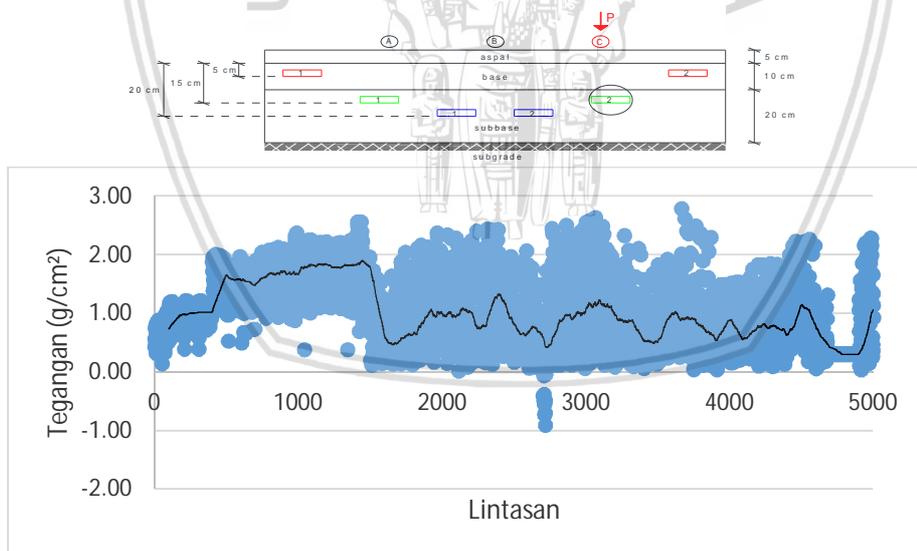
Gambar 5. 8 Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 5 cm) Akibat Beban di Titik A

Tegangan saat beban berada di Titik A terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 5 cm). Nilai tegangan yang terjadi berkisar antara $-0,07 - 2,815 g/cm^2$. Tegangan maksimum saat beban berada di Titik A terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 5 cm), hal ini sesuai dengan asumsi awal bahwa tegangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau.



Gambar 5. 9 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B

Tegangan saat beban berada di Titik B terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 20 cm). Dapat dilihat pada Gambar 5.9, nilai tegangan yang terjadi berkisar antara $-0,335 - 0,680$ g/cm^2 . Tegangan maksimum saat beban berada di Titik B terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 5 cm), hal ini tidak sesuai dengan asumsi awal bahwa tegangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau.



Gambar 5. 10 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C

Tegangan saat beban berada di Titik C terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 15 cm). Dapat dilihat pada Gambar 5.10, nilai tegangan yang terjadi berkisar antara $-0,910-2,785$ g/cm^2 . Berdasarkan teori yang ada, tegangan yang terjadi akibat pemberian beban yang berkelanjutan akan terus meningkat sebanding dengan penambahan jumlah lintasan. Hal ini terjadi saat beban berada di Titik C, dimana tegangan yang terjadi terus meningkat

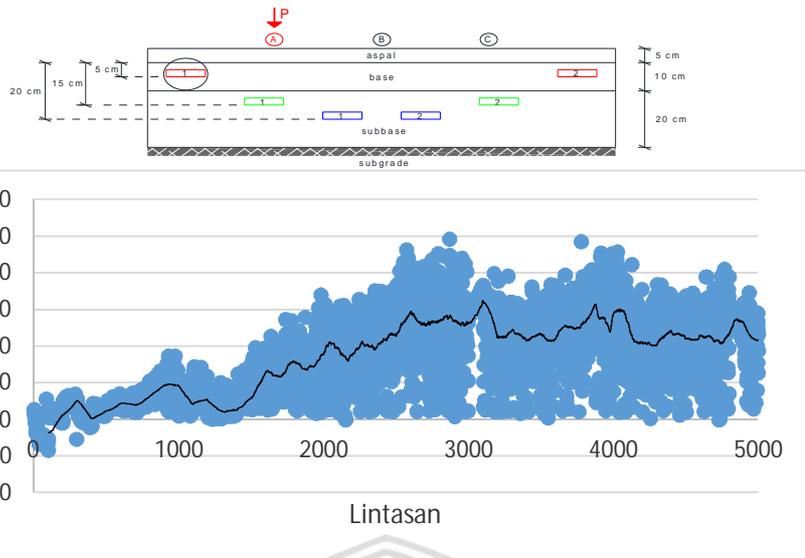
dengan stabil. Namun pada pengukuran tegangan akibat beban di Titik A dan B, hasil model pembacaan tegangan menunjukkan kenaikan dan penurunan nilai tegangan yang terjadi tidak seragam pada tiap lintasan sehingga menyebabkan pola naik turun. Hal ini disebabkan karena material perkerasan yang dilintasi beban belum kembali ke bentuk semula, namun telah diberi beban lagi secara terus menerus.

5.1.1.4 Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2

Hasil pengukuran tegangan saat beban berjalan diketahui bahwa nilai tegangan maksimum yang terjadi akibat beban dinamis di titik A, B, dan C terletak pada sensor 1. Pada sensor 1 di titik tinjau A, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar 0,849 g/cm². Pada sensor 2 di titik tinjau B, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar 0,339 g/cm². Sedangkan, rata-rata tegangan pada sensor 2 di titik tinjau C sebesar 0,514 g/cm².

Pada Titik A dapat dilihat bahwa tegangan maksimum terjadi tepat ada sensor yang berada di bawah titik acuan, sedangkan pada Titik B dan C tegangan maksimum yang terjadi tidak pada sensor yang berada di bawahnya. Beban dinamis yang berada di titik B seharusnya berpengaruh lebih besar terhadap tegangan pada Sensor 2 (kedalaman 20 cm) seperti pada Gambar 5.12, namun pada pengujian yang terjadi adalah tegangan pada Sensor 1 (kedalaman 5 cm) lebih besar dibandingkan tegangan pada Sensor 2 (kedalaman 20 cm). Begitu pula yang terjadi pada beban dinamis yang berada di titik C seharusnya berpengaruh lebih besar terhadap tegangan pada Sensor 2 (kedalaman 15 cm) seperti pada Gambar 5.13, namun pada pengujian yang terjadi adalah tegangan pada Sensor 1 (kedalaman 5 cm) lebih besar dibandingkan tegangan pada Sensor 2 (kedalaman 15 cm). Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh dari rambatan gelombang akibat pembebanan yang berkelanjutan, sehingga nilai tegangan yang terdeteksi terus meningkat dan menjadi lebih besar.

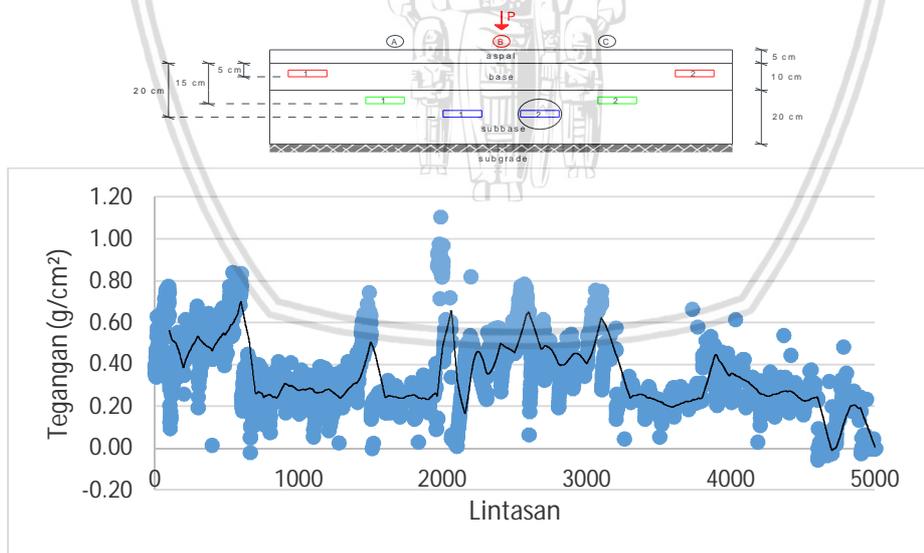
Hasil pengukuran tegangan pada pondasi perkerasan lentur konvensional saat beban berjalan ditunjukkan pada Gambar 5.11 hingga Gambar 5.13. Pada grafik dapat dilihat pola kenaikan dan penurunan rata-rata yang terjadi pada masing-masing titik acuan dengan menggunakan *trendline* dengan pengaturan periode *moving average* sebesar 100, yang berarti rata-rata tegangan pada data tersebut dilihat setiap 100 lintasan.



Gambar 5. 11 Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 5 cm) Akibat Beban di Titik A

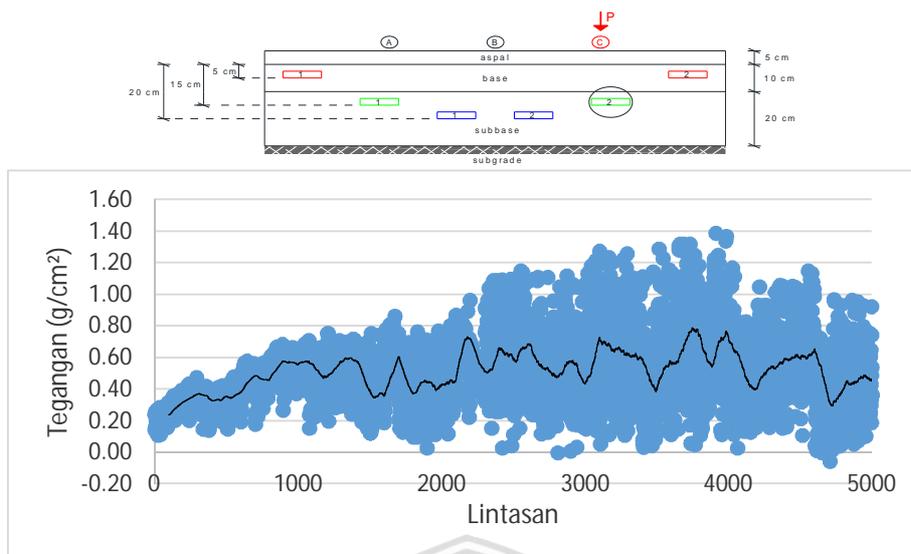
Tegangan maksimum saat beban berada di Titik A terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 5 cm). Dapat dilihat pada Gambar 5.11, nilai tegangan yang terjadi pada titik ini berkisar antara $-0,415 - 2,465 g/cm^2$.

Tegangan maksimum saat beban berada di Titik A terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 5 cm), hal ini sesuai dengan asumsi awal bahwa tegangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau.



Gambar 5. 12 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B

Tegangan saat beban berada di Titik B terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 20 cm). Dapat dilihat pada Gambar 5.12, nilai tegangan yang terjadi pada titik ini berkisar antara $-0,055 - 1,105 g/cm^2$.



Gambar 5. 13 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C

Tegangan saat beban berada di Titik C terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 15 cm). Dapat dilihat pada Gambar 5.13, nilai tegangan yang terjadi pada titik ini berkisar antara -0,055 – 1,390 g/cm². Tegangan maksimum saat beban berada di Titik C terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 5 cm), hal ini tidak sesuai dengan asumsi awal bahwa tegangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau.

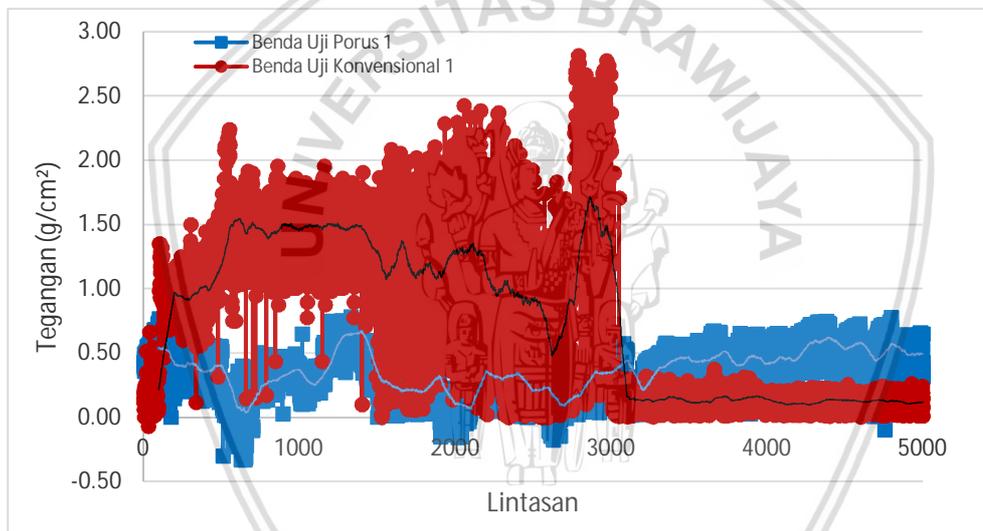
Berdasarkan teori yang ada, tegangan yang terjadi akibat pemberian beban yang berkelanjutan akan terus meningkat sebanding dengan penambahan jumlah lintasan. Namun pada pengukuran tegangan akibat beban di Titik A, B, dan C, hasil model pembacaan tegangan menunjukkan kenaikan dan penurunan nilai tegangan yang terjadi tidak seragam pada tiap lintasan sehingga menyebabkan pola naik turun. Hal ini disebabkan karena material perkerasan yang dilintasi beban belum kembali ke bentuk semula, namun telah diberi beban lagi secara terus menerus, serta disebabkan karena pembacaan alat yang tidak dilakukan secara berkelanjutan sehingga mengakibatkan penurunan nilai tegangan yang bervariasi. Besarnya penurunan nilai tegangan bergantung waktu jeda pembacaan alat. Semakin lama waktu jeda maka penurunan semakin besar.

5.1.1.5 Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1

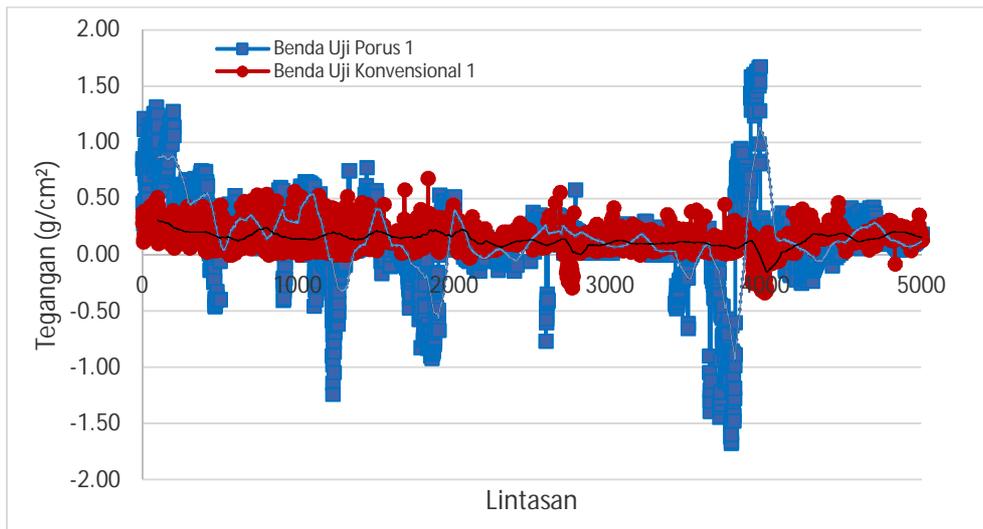
Dari hasil uji statistik yang dilakukan dengan menggunakan metode ANOVA dua arah, diperoleh hasil bahwa terdapat perbedaan nilai tegangan akibat beban dinamis yang signifikan antara benda uji perkerasan lentur porus 1 dengan benda uji perkerasan lentur konvensional 1.

Dari hasil pengujian, dapat diketahui bahwa untuk tegangan saat beban dinamis, nilai rata-rata tegangan di titik A pada benda uji perkerasan lentur porus 1, yaitu $0,370 \text{ g/cm}^2$, lebih kecil dibandingkan pada benda uji perkerasan lentur konvensional 1, yaitu $0,768 \text{ g/cm}^2$, seperti pada Gambar 5.14. Begitu pula pada pengujian saat beban dinamis di titik C seperti terlihat pada Gambar 5.16, nilai rata-rata tegangan pada benda uji perkerasan lentur porus 1 lebih kecil daripada benda uji perkerasan lentur konvensional 1, yaitu $0,572 \text{ g/cm}^2$ lebih kecil daripada $1,003 \text{ g/cm}^2$.

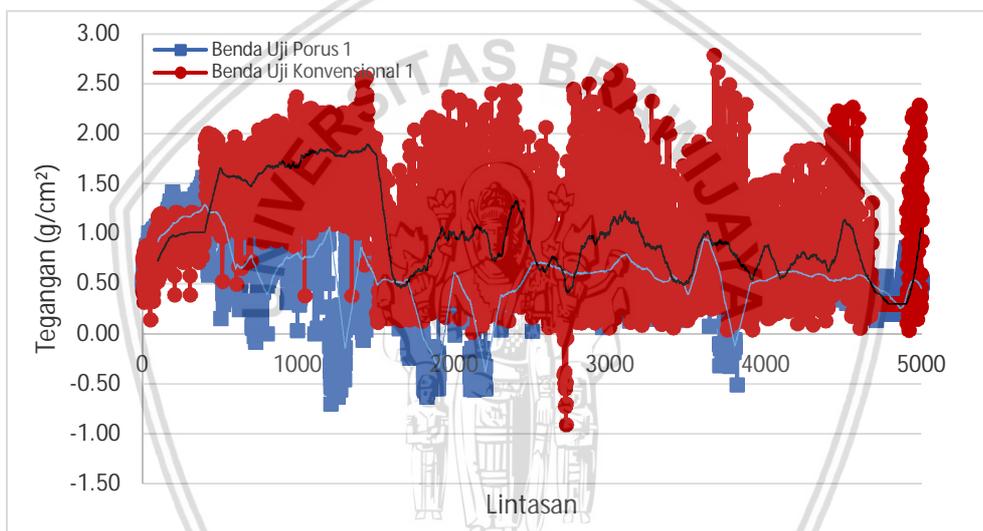
Sedangkan pada pengujian saat beban dinamis di titik B, nilai rata-rata tegangan pada benda uji perkerasan lentur porus 1 lebih besar dibanding benda uji perkerasan lentur konvensional 1, yaitu $0,153 \text{ g/cm}^2$ lebih besar daripada $0,138 \text{ g/cm}^2$ seperti pada Gambar 5.15.



Gambar 5. 14 Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik A



Gambar 5. 15 Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik B



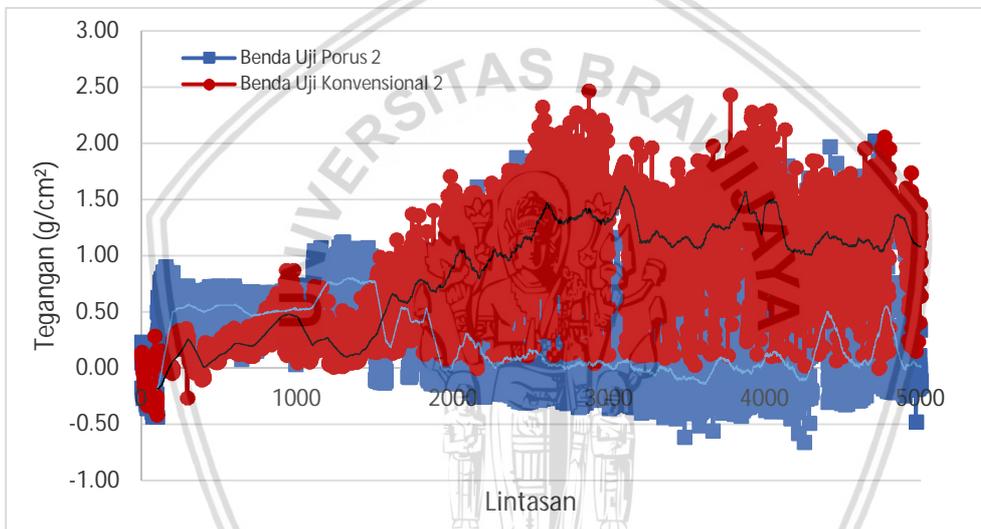
Gambar 5. 16 Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik C

Hal ini menunjukkan bahwa 2 dari 3 titik acuan pada benda uji perkerasan lentur konvensional 1 memiliki nilai rata-rata tegangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji perkerasan lentur porus 1, yaitu pada titik acuan A dan C.

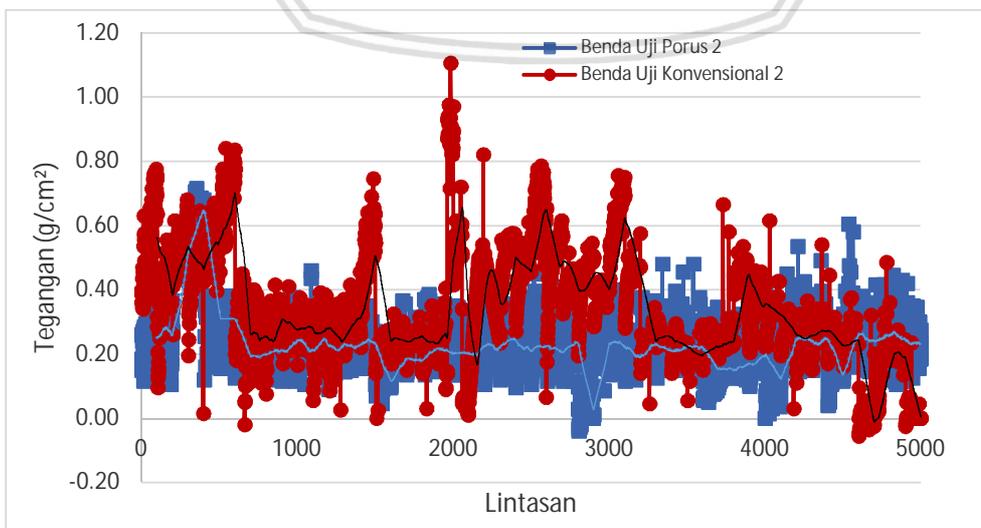
5.1.1.6 Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2

Dari hasil uji statistik yang dilakukan dengan menggunakan metode ANOVA dua arah, diperoleh hasil bahwa terdapat perbedaan nilai tegangan akibat beban dinamis yang signifikan antara benda uji perkerasan lentur porus 2 dengan benda uji perkerasan lentur konvensional 2.

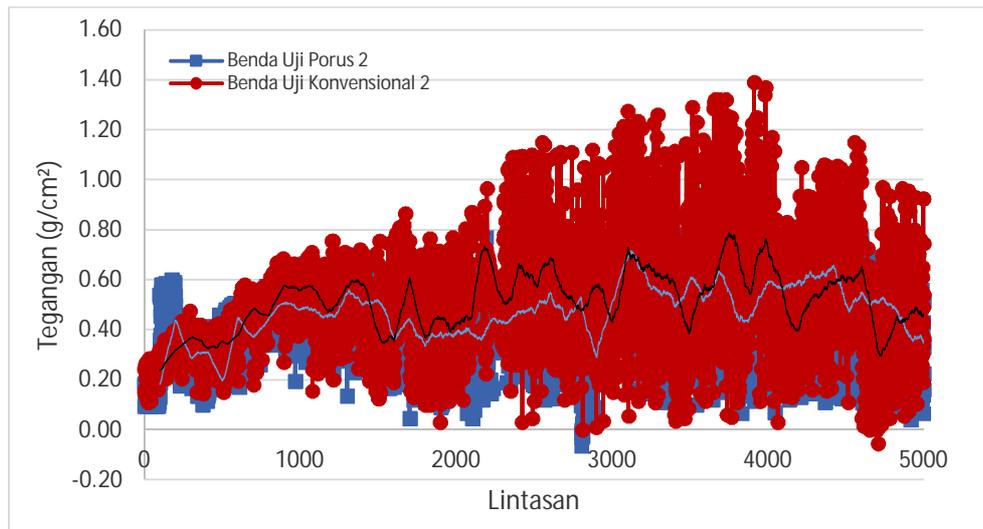
Dari hasil pengujian, dapat diketahui bahwa untuk tegangan saat beban dinamis, nilai rata-rata tegangan di titik A pada benda uji perkerasan lentur porus 2 pada Gambar 5.17, yaitu $0,229 \text{ g/cm}^2$, lebih kecil dibandingkan pada benda uji perkerasan lentur konvensional 2, yaitu $0,849 \text{ g/cm}^2$. Begitu pula pada pengujian saat beban dinamis di titik B seperti pada Gambar 5.18, nilai rata-rata tegangan pada benda uji perkerasan lentur porus 2 lebih kecil dibanding benda uji perkerasan lentur konvensional 2, yaitu $0,228 \text{ g/cm}^2$ lebih kecil daripada $0,339 \text{ g/cm}^2$. Serta pada pengujian saat beban dinamis di titik C seperti pada Gambar 5.19, nilai rata-rata tegangan pada benda uji perkerasan lentur porus 2 lebih kecil daripada benda uji perkerasan lentur konvensional 2, yaitu $0,468 \text{ g/cm}^2$ lebih kecil daripada $0,514 \text{ g/cm}^2$.



Gambar 5. 17 Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik A



Gambar 5. 18 Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik B



Gambar 5. 19 Tegangan Dinamis Akibat Beban di Titik C

Hal ini menunjukkan bahwa 3 titik acuan pada benda uji perkerasan lentur konvensional 2 memiliki nilai rata-rata tegangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji perkerasan lentur porus 2, yaitu pada titik acuan A, B, dan C.

5.1.2. Hasil Pengukuran Tegangan pada Perkerasan yang Diberi Beban Statis

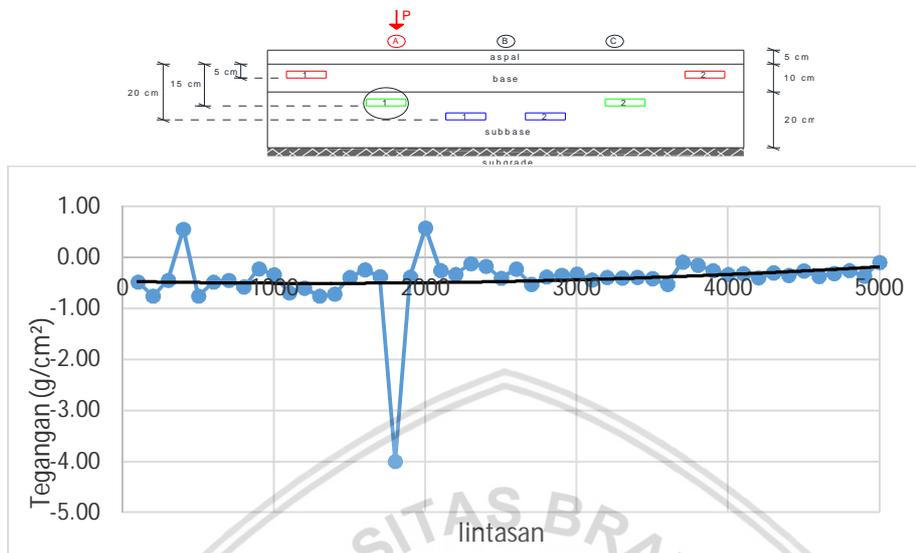
Pengukuran tegangan statis adalah untuk mengetahui tegangan yang dihasilkan oleh beban dalam keadaan berhenti. Pembacaan pengukuran tegangan statis dilakukan saat beban berhenti setiap 100 lintasan, dan dilakukan hingga mencapai 5000 lintasan.

5.1.2.1 Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1

Dari hasil penelitian diperoleh data yang bervariasi dari 6 Sensor yang ditanam pada jarak dan kedalaman yang berbeda diketahui bahwa nilai tegangan maksimum yang terjadi akibat beban statis di titik B, dan C terletak pada Sensor 2 pada kedalaman 20 cm. Sedangkan di titik A terletak pada Sensor 1 pada kedalaman 20 cm. Hal ini berarti bahwa tegangan maksimum pada saat beban berada di Titik A dan C tidak terjadi pada sensor yang berada tepat di bawahnya.

Pada titik tinjau A, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar $-0,424 \text{ g/cm}^2$. Pada titik tinjau B, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar $0,183 \text{ g/cm}^2$. Sedangkan, rata-rata tegangan pada titik tinjau C sebesar $0,856 \text{ g/cm}^2$. Diketahui bahwa terdapat tegangan statis yang bernilai negatif, yang berarti terjadi tegangan tarik pada lapis pondasi, sedangkan menurut teori tegangan yang semestinya terjadi pada lapis pondasi adalah tegangan tekan dimana nilai tegangan bernilai positif.

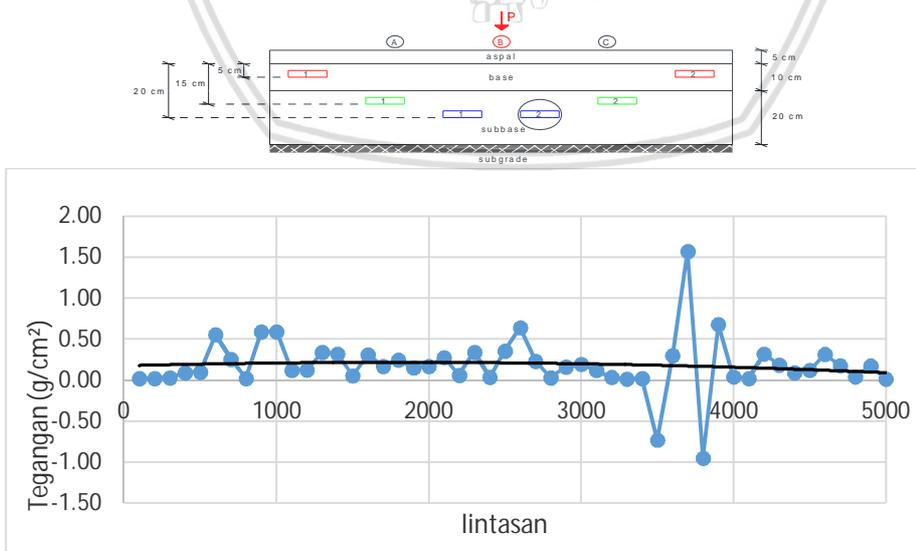
Hasil pengukuran tegangan yang terjadi pada pondasi perkerasan lentur porous akrobat beban berhenti (beban statis) di masing-masing titik acuan ditunjukkan pada Gambar 5.20 sampai 5.22.



Gambar 5. 20 Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik A

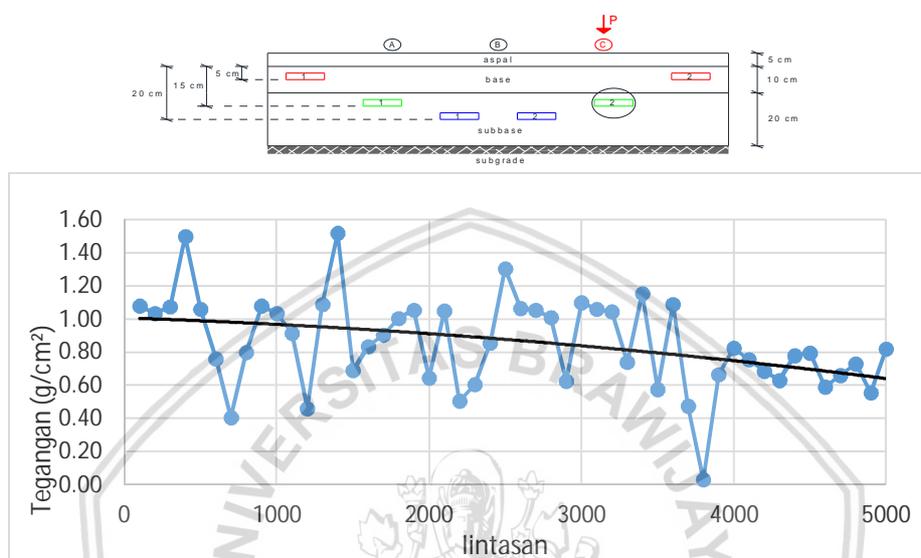
Tegangan di bawah perkerasan lentur porous akrobat beban berhenti di titik acuan A terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 15 cm), seperti pada Gambar 5.20 pada posisi ini tegangan yang terjadi berkisar antara $-4,0 - 0,575 \text{ g/cm}^2$.

Tegangan maksimum yang terjadi akibat beban statis di Titik A terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 20 cm), hal ini tidak sesuai dengan asumsi awal bahwa tegangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau.



Gambar 5. 21 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B

Tegangan di bawah perkerasan lentur porous akibat beban berhenti di titik acuan B terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 20 cm), seperti pada Gambar 5.21 pada posisi ini tegangan yang terjadi berkisar antara $-0,95 - 1,570 \text{ g/cm}^2$. Tegangan maksimum yang terjadi akibat beban statis di Titik B terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 20 cm), hal ini sesuai dengan asumsi awal bahwa tegangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau.



Gambar 5. 22 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C

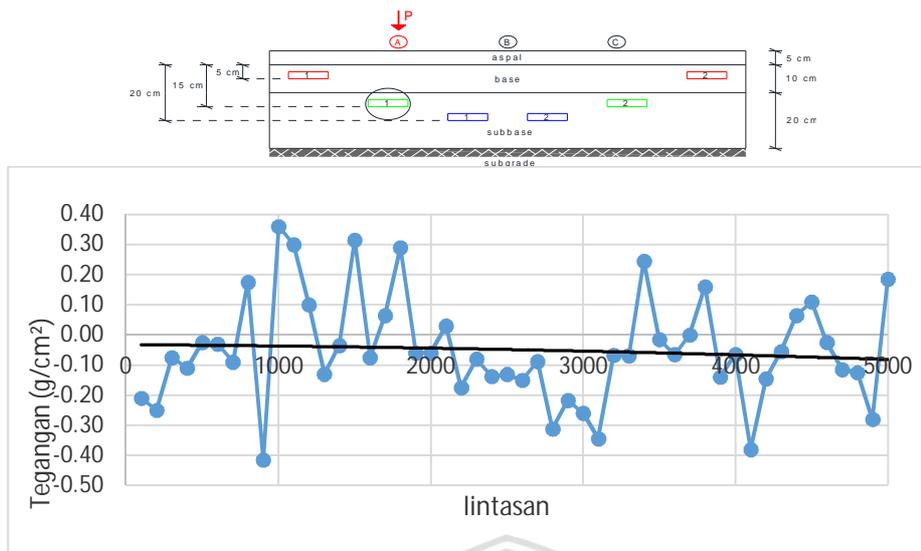
Tegangan di bawah perkerasan lentur porous akibat beban berhenti di titik acuan C terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 15 cm), seperti pada Gambar 5.22 pada posisi ini tegangan yang terjadi berkisar antara $0,03-1,520 \text{ g/cm}^2$.

5.1.2.2 Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2

Dari hasil penelitian diperoleh data yang bervariasi dari 6 Sensor yang ditanam pada jarak dan kedalaman yang berbeda, diketahui bahwa nilai tegangan maksimum yang terjadi akibat beban statis di titik A, B, dan C terletak pada Sensor 2 kedalaman 5 cm. Hal ini berarti bahwa tegangan maksimum pada saat beban berada di Titik A, B, dan C terjadi tidak pada sensor yang berada tepat di bawahnya.

Pada titik tinjau A, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar $-0,052 \text{ g/cm}^2$. Pada titik tinjau B, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar $0,284 \text{ g/cm}^2$. Sedangkan, rata-rata tegangan pada titik tinjau C sebesar $0,435 \text{ g/cm}^2$.

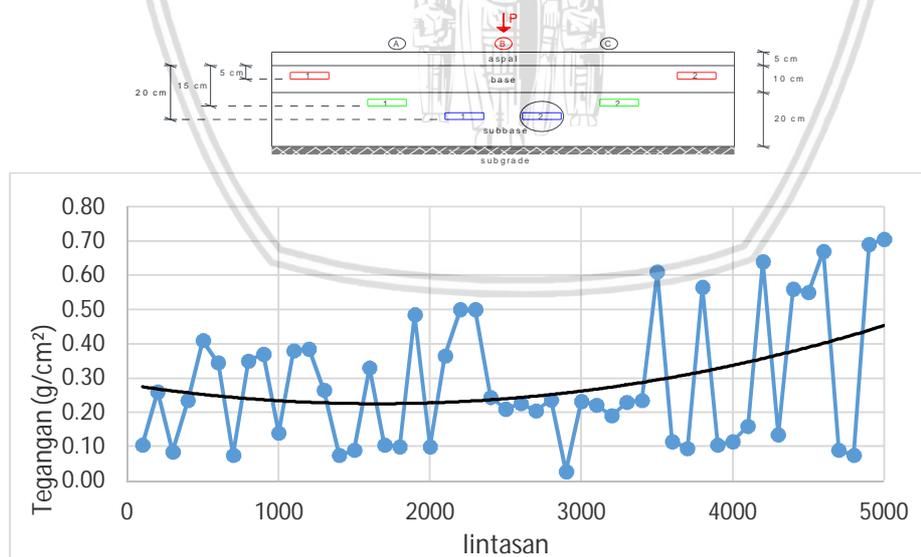
Hasil pengukuran tegangan pada pondasi perkerasan lentur porous akibat beban statis di masing-masing titik acuan ditunjukkan pada Gambar 5.23 sampai 5.25.



Gambar 5. 23 Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik A

Tegangan di bawah perkerasan lentur porus akibat beban berhenti di titik acuan A terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 15 cm), seperti pada Gambar 5.23 pada posisi ini tegangan yang terjadi berkisar antara $-0,415 - 0,36 \text{ g/cm}^2$.

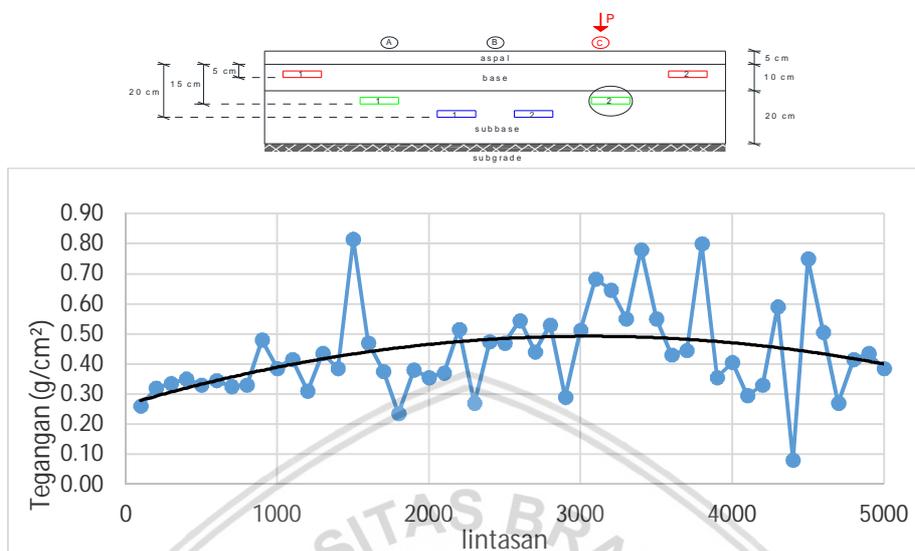
Tegangan maksimum yang terjadi akibat beban statis di Titik A terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 5 cm), hal ini tidak sesuai dengan asumsi awal bahwa tegangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau.



Gambar 5. 24 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B

Tegangan di bawah perkerasan lentur porus akibat beban berhenti di titik acuan B terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 20 cm), seperti pada Gambar 5.24 pada posisi ini tegangan yang terjadi berkisar antara $0,027 - 0,705 \text{ g/cm}^2$.

Tegangan maksimum yang terjadi akibat beban statis di Titik B terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 5 cm), hal ini tidak sesuai dengan asumsi awal bahwa tegangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau.



Gambar 5. 25 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C

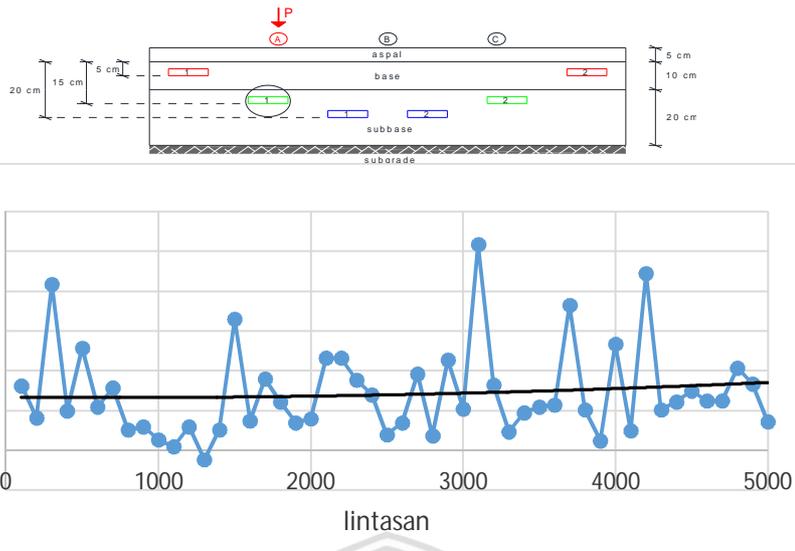
Tegangan di bawah perkerasan lentur porus akibat beban berhenti di titik acuan C terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 15 cm), seperti pada Gambar 5.25 pada posisi ini tegangan yang terjadi berkisar antara 0,08 – 0,815 g/cm².

5.1.2.3 Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1

Dari hasil penelitian diperoleh data yang bervariasi dari 6 Sensor yang ditanam pada jarak dan kedalaman yang berbeda, diketahui bahwa nilai tegangan maksimum yang terjadi akibat beban statis di titik A dan B terletak pada Sensor 1. Sedangkan di titik C terletak pada Sensor 2. Tegangan maksimum pada saat beban berada pada Titik A dan B terjadi pada kedalaman 20 cm, sedangkan tegangan yang terjadi saat beban berada pada Titik C terjadi pada kedalaman 15 cm. Hal ini berarti bahwa tegangan maksimum pada saat beban berada di Titik A tidak terjadi pada sensor yang berada tepat di bawahnya.

Pada titik tinjau A, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar 0,289 g/cm². Pada titik tinjau B, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar 0,510 g/cm². Sedangkan, rata-rata tegangan pada titik tinjau C sebesar 1,737 g/cm².

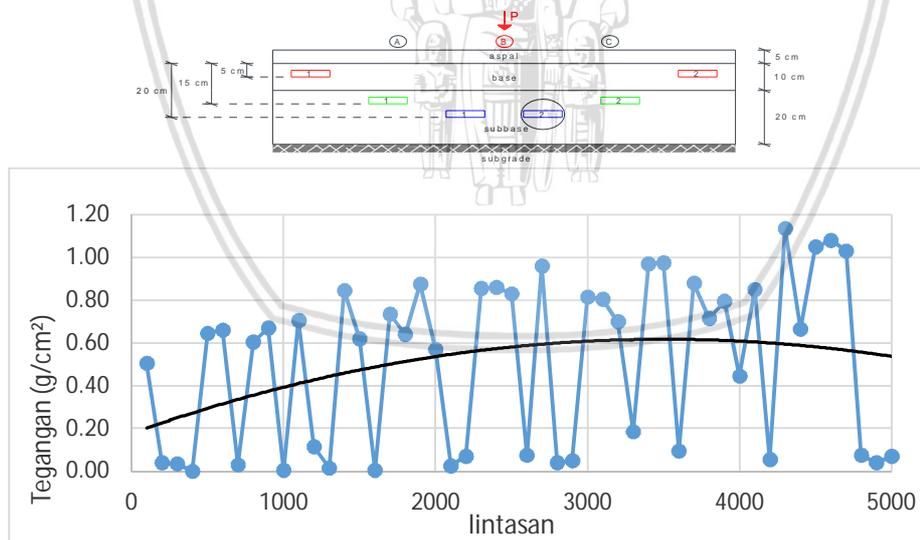
Hasil pengukuran tegangan yang terjadi pada pondasi perkerasan lentur konvensional akibat beban berhenti (beban statis) di masing-masing titik acuan ditunjukkan pada Gambar 5.26 sampai 5.28.



Gambar 5. 26 Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik A

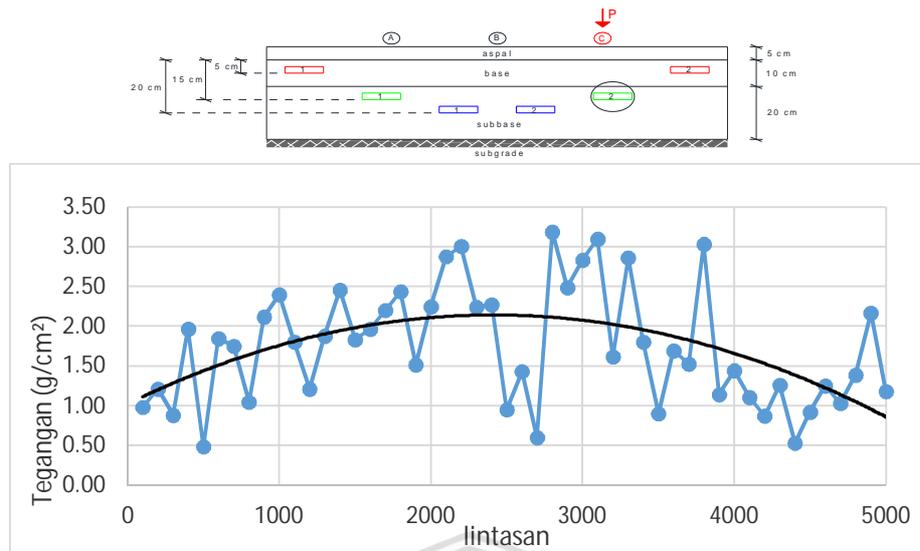
Tegangan di bawah perkerasan lentur porus akibat beban berhenti di titik acuan A terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 15 cm), seperti pada Gambar 5.26 pada posisi ini tegangan yang terjadi berkisar antara $-0,045 - 1,035 \text{ g/cm}^2$.

Tegangan maksimum yang terjadi akibat beban statis di Titik A terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 20 cm), hal ini tidak sesuai dengan asumsi awal bahwa tegangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau.



Gambar 5. 27 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B

Tegangan di bawah perkerasan lentur porus akibat beban berhenti di titik acuan B terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 20 cm), seperti pada Gambar 5.27 pada posisi ini tegangan yang terjadi berkisar antara $0,0 - 1,135 \text{ g/cm}^2$.



Gambar 5. 28 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C

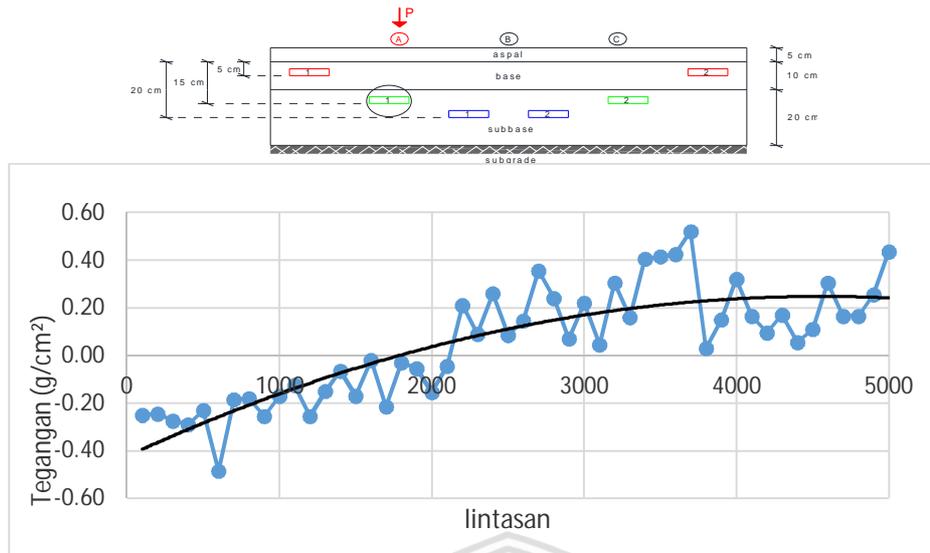
Tegangan maksimum di bawah perkerasan lentur porus akibat beban berhenti di titik acuan C terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 15 cm), seperti pada Gambar 5.28 pada posisi ini tegangan yang terjadi berkisar antara 0,485-3,185 g/cm².

5.1.2.4 Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2

Dari hasil penelitian diperoleh data yang bervariasi dari 6 Sensor yang ditanam pada jarak dan kedalaman yang berbeda, diketahui bahwa nilai tegangan maksimum yang terjadi akibat beban statis di titik A dan B terletak pada Sensor 2. Sedangkan di titik C terletak pada Sensor 1. Tegangan maksimum saat beban berada pada Titik A terjadi pada kedalaman 20 cm dan saat beban berada pada Titik B terjadi pada kedalaman 15 cm. Sedangkan tegangan maksimum saat beban berada pada Titik C terjadi pada kedalaman 20 cm. Hal ini berarti bahwa tegangan maksimum pada saat beban berada di Titik A, B, dan C tidak terjadi pada sensor yang berada tepat di bawahnya.

Pada titik tinjau A, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar 0,050 g/cm². Pada titik tinjau B, didapatkan nilai rata-rata tegangan sebesar 0,436 g/cm². Sedangkan, rata-rata tegangan pada titik tinjau C sebesar 0,812 g/cm².

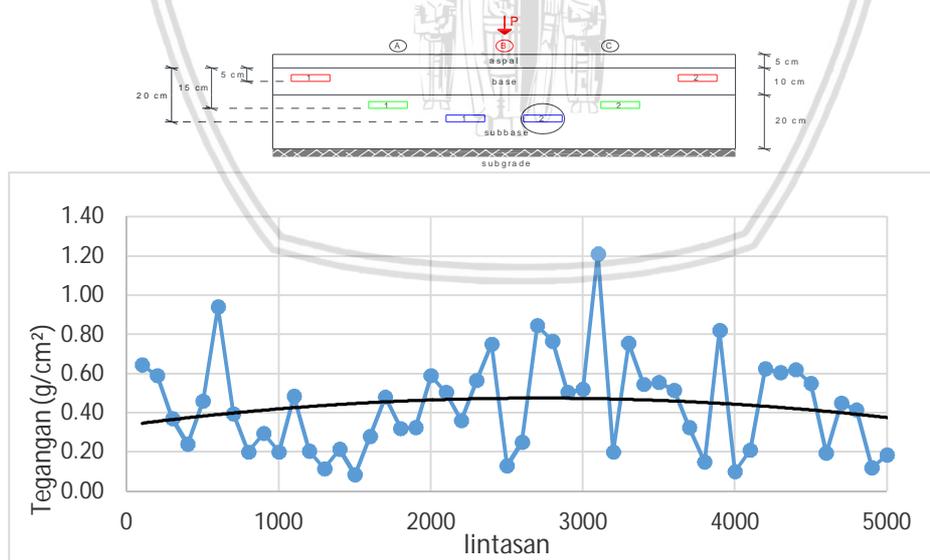
Hasil pengukuran tegangan yang terjadi pada pondasi perkerasan lentur konvensional akibat beban berhenti (beban statis) di masing-masing titik acuan ditunjukkan pada Gambar 5.29 sampai 5.31.



Gambar 5. 29 Tegangan pada Sensor 1 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik A

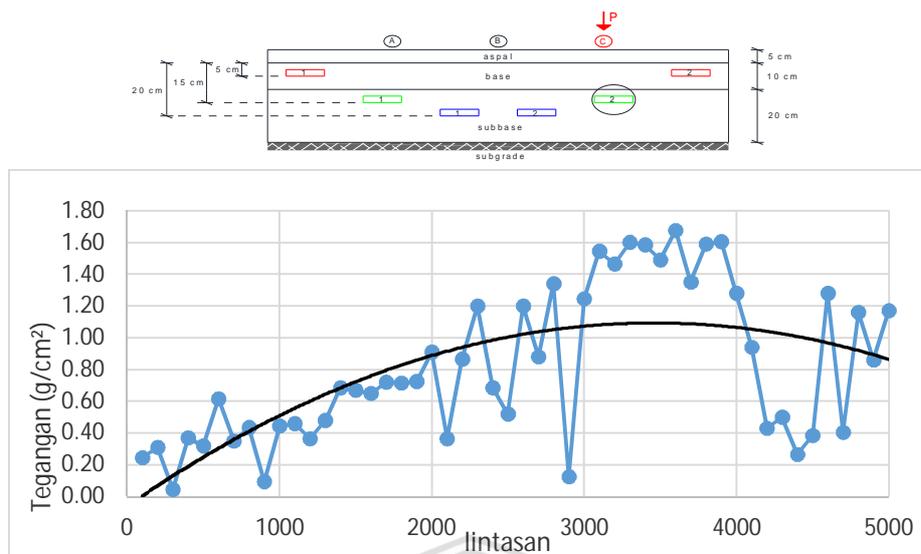
Tegangan di bawah perkerasan lentur konvensional akibat beban berhenti di titik acuan A terjadi pada Sensor 1 (kedalaman 15 cm), seperti pada Gambar 5.29 pada posisi ini tegangan yang terjadi berkisar antara $-0,485 - 0,520 \text{ g/cm}^2$.

Tegangan maksimum yang terjadi akibat beban statis di Titik A terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 20 cm), hal ini tidak sesuai dengan asumsi awal bahwa tegangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau.



Gambar 5. 30 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 20 cm) Akibat Beban di Titik B

Tegangan di bawah perkerasan lentur konvensional akibat beban berhenti di titik acuan B terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 20 cm), seperti pada Gambar 5.30 pada posisi ini tegangan yang terjadi berkisar antara $0,085-1,210 \text{ g/cm}^2$.



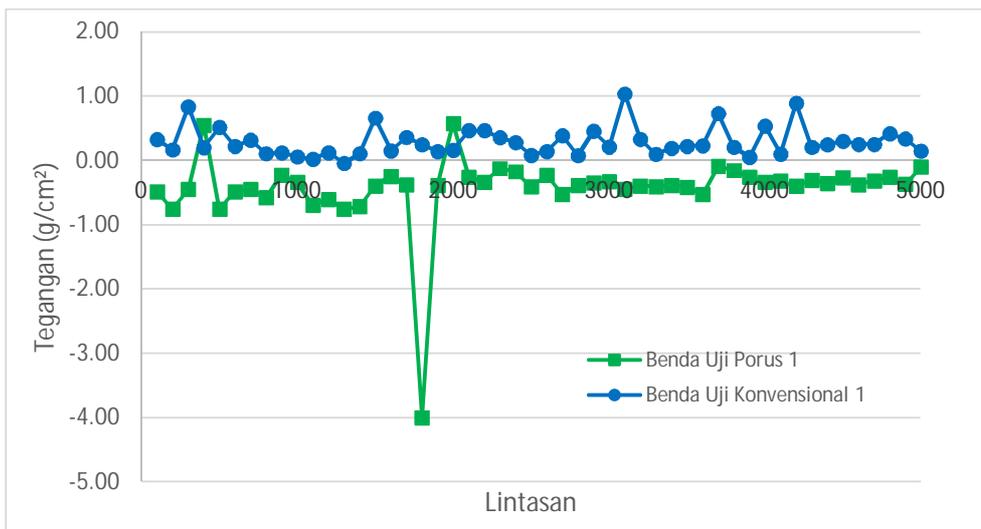
Gambar 5. 31 Tegangan pada Sensor 2 (Kedalaman 15 cm) Akibat Beban di Titik C

Tegangan di bawah perkerasan lentur konvensional akibat beban berhenti di titik acuan C terjadi pada Sensor 2 (kedalaman 15 cm), seperti pada Gambar 5.31 pada posisi ini tegangan yang terjadi berkisar antara 0,045-1,675 g/cm².

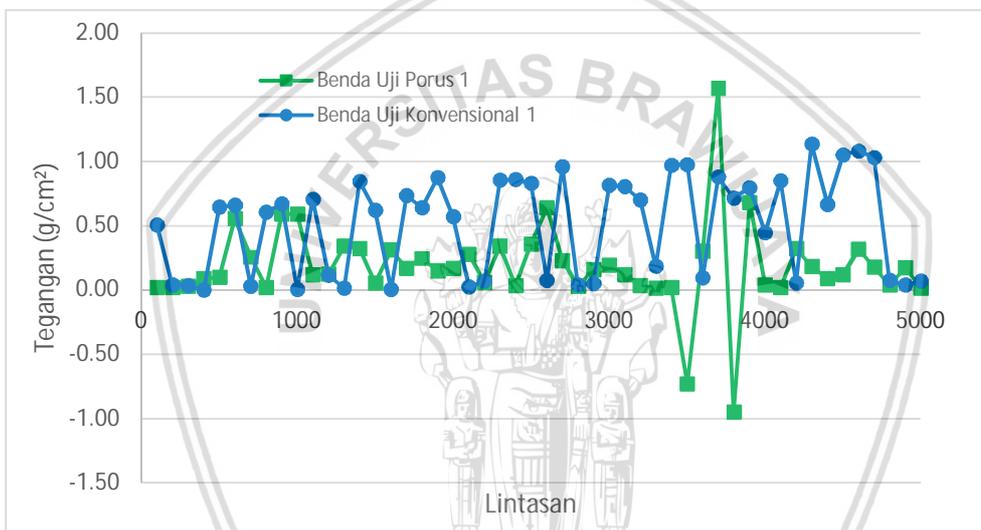
5.1.2.5 Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1

Dari hasil uji statistik yang dilakukan dengan menggunakan metode ANOVA dua arah, diperoleh bahwa terdapat perbedaan nilai tegangan akibat beban statis yang signifikan antara benda uji perkerasan lentur porus 1 dengan benda uji perkerasan lentur konvensional 1.

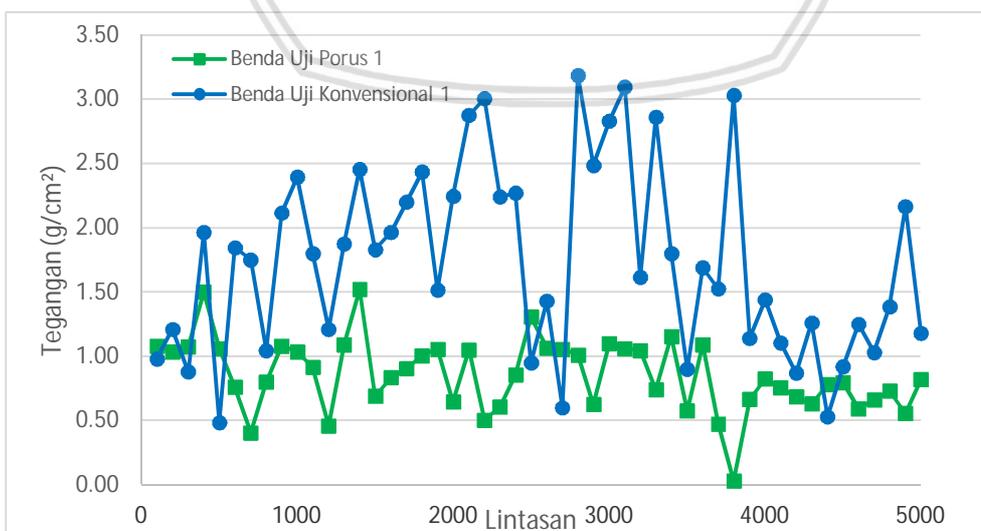
Dari hasil pengujian, dapat diketahui bahwa untuk tegangan saat beban statis, nilai rata-rata tegangan di titik A pada benda uji perkerasan lentur porus 1, yaitu -0,424 g/cm², lebih kecil dibandingkan pada benda uji perkerasan lentur konvensional 1, yaitu 0,289 g/cm². Pada pengujian saat beban statis di titik B, nilai rata-rata tegangan pada benda uji perkerasan lentur porus 1, lebih kecil dibanding benda uji perkerasan lentur konvensional 1, yaitu 0,183 g/cm² lebih kecil daripada 0,510 g/cm². Begitu pula pada pengujian saat beban statis di titik C, nilai rata-rata tegangan pada benda uji perkerasan lentur porus 1, lebih kecil daripada benda uji perkerasan lentur konvensional 1, yaitu 0,856 g/cm² lebih kecil daripada 1,737 g/cm².



Gambar 5. 32 Tegangan Statis Akibat Beban di Titik A



Gambar 5. 33 Tegangan Statis Akibat Beban di Titik B



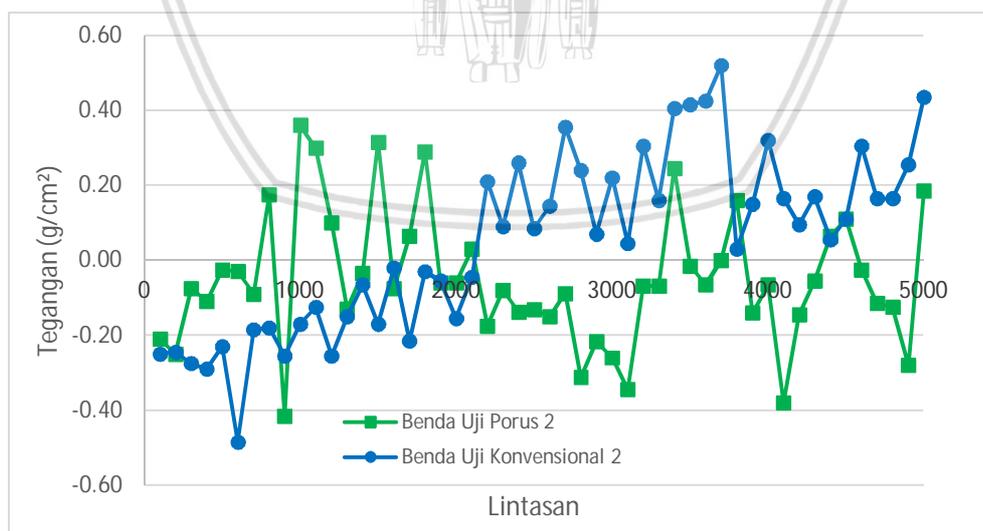
Gambar 5. 34 Tegangan Statis Akibat Beban di Titik C

Hal ini menunjukkan bahwa benda uji perkerasan lentur konvensional 1 memiliki nilai rata-rata tegangan yang lebih tinggi pada titik tinjau A, B, dan C, dibandingkan dengan benda uji perkerasan lentur porus 1.

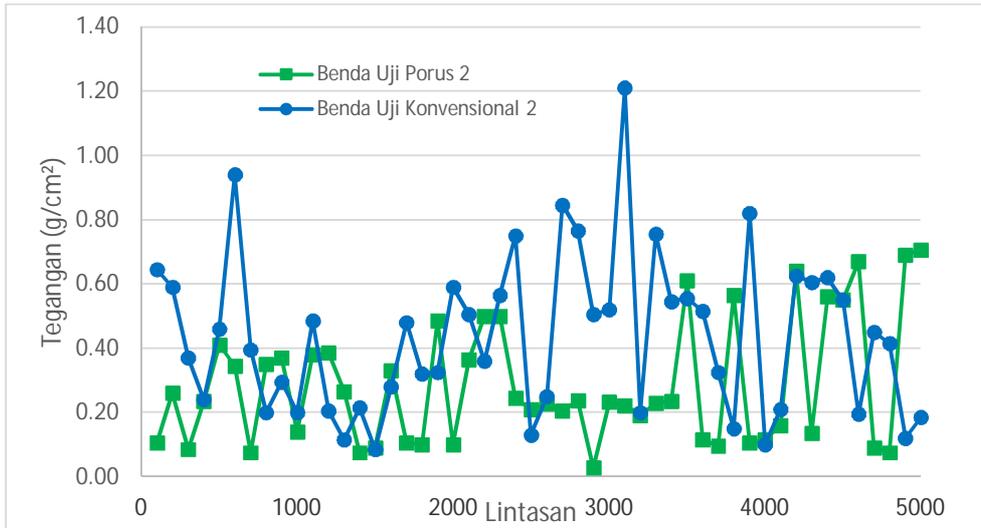
5.1.2.6 Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2

Dari hasil uji statistik yang dilakukan dengan menggunakan metode ANOVA dua arah, diperoleh hasil bahwa terdapat perbedaan nilai tegangan akibat beban dinamis yang signifikan antara benda uji perkerasan lentur porus 2 dengan benda uji perkerasan lentur konvensional 2.

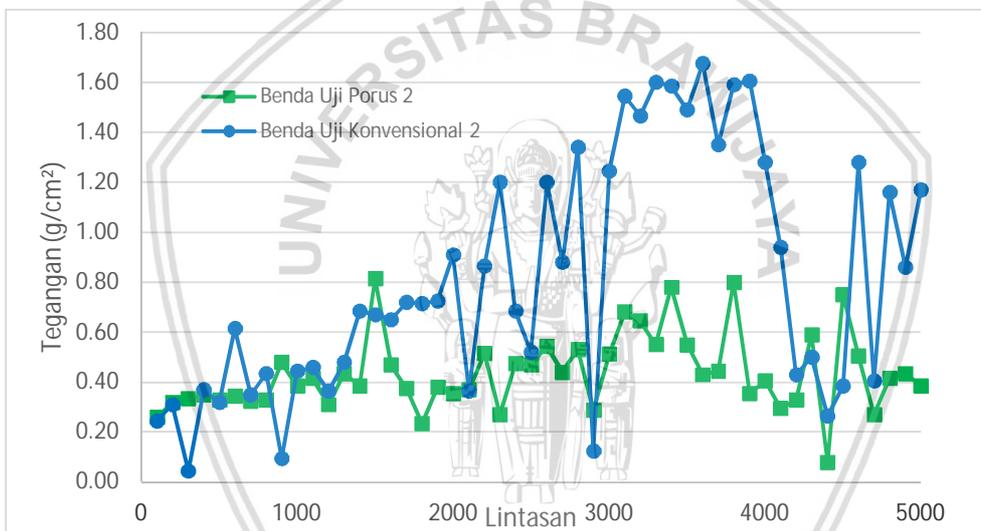
Dari hasil pengujian, dapat diketahui bahwa untuk tegangan saat beban statis, nilai rata-rata tegangan di titik A pada benda uji perkerasan lentur porus 2, yaitu $-0,052 \text{ g/cm}^2$, lebih kecil dibandingkan pada benda uji perkerasan lentur konvensional 2, yaitu $0,050 \text{ g/cm}^2$. Pada pengujian saat beban statis di titik B, nilai rata-rata tegangan pada benda uji perkerasan lentur porus 2, lebih kecil dibanding benda uji perkerasan lentur konvensional 2, yaitu $0,284 \text{ g/cm}^2$ lebih kecil daripada $0,436 \text{ g/cm}^2$. Begitu pula pada pengujian saat beban statis di titik C, nilai rata-rata tegangan pada benda uji perkerasan lentur porus 2, lebih kecil daripada benda uji perkerasan lentur konvensional 2, yaitu $0,435 \text{ g/cm}^2$ lebih kecil daripada $0,812 \text{ g/cm}^2$.



Gambar 5. 35 Tegangan Statis Akibat Beban di Titik A



Gambar 5. 36 Tegangan Statis Akibat Beban di Titik B



Gambar 5. 37 Tegangan Statis Akibat Beban di Titik C

Hal ini menunjukkan bahwa benda uji perkerasan lentur konvensional 2 memiliki nilai rata-rata tegangan yang lebih tinggi pada titik tinjau A, B, dan C, dibandingkan dengan benda uji perkerasan lentur porus 2.

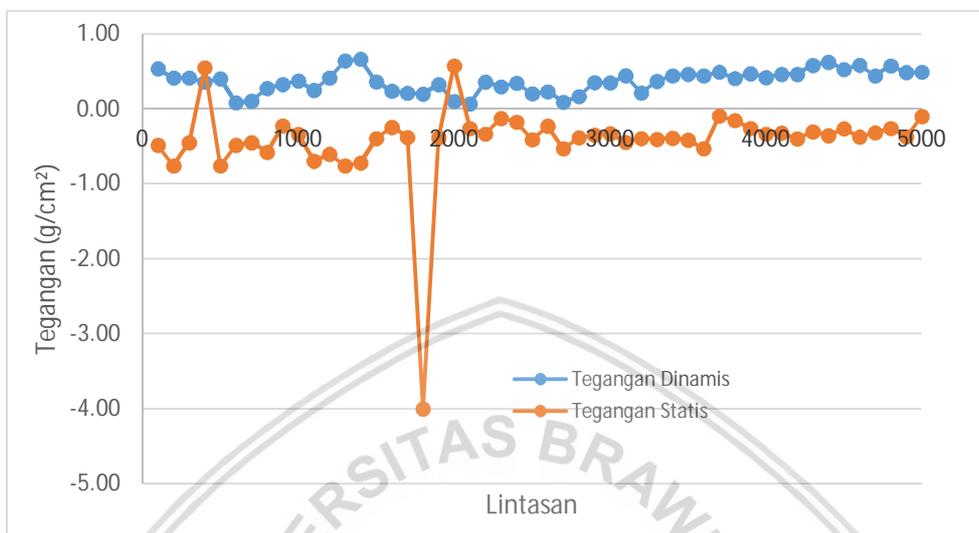
5.1.3. Perbandingan Tegangan Dinamis dan Tegangan Statis

Berdasarkan teori, tegangan yang terjadi akibat beban statis cenderung lebih tinggi dibandingkan tegangan yang terjadi akibat beban dinamis. Hal ini terjadi karena semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai tegangannya.

Perbandingan antara tegangan yang terjadi akibat beban dinamis dan beban statis pada pondasi perkerasan lentur ditunjukkan pada Gambar 5.38 hingga Gambar 5.49. Pada grafik

tegangan akibat beban dinamis dapat dilihat pola kenaikan dan penurunan rata-rata yang terjadi pada masing-masing titik acuan setiap 100 lintasan.

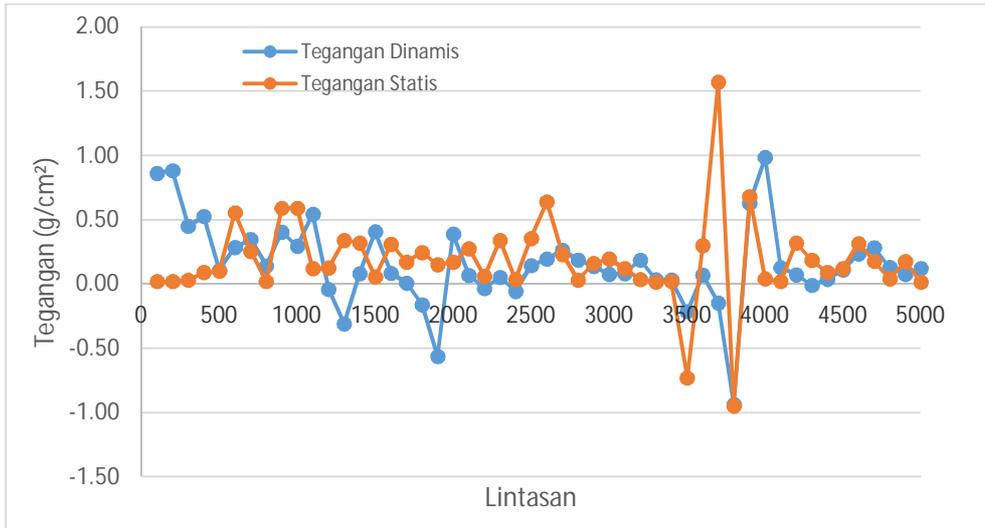
5.1.3.1 Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1



Gambar 5. 38 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik A

Dari Gambar 5.38 dapat diketahui perbandingan tegangan yang terjadi akibat beban dinamis dan beban statis pada Titik A. Tegangan akibat beban dinamis lebih besar daripada tegangan statis. Hal ini tidak sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai tegangannya.

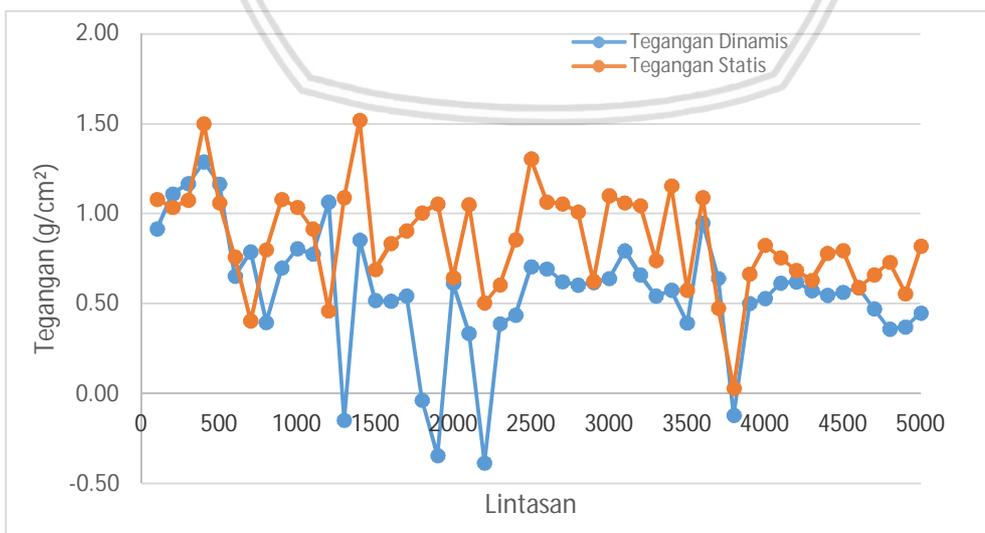
Tegangan akibat beban dinamis pada Titik A cenderung lebih tinggi dikarenakan oleh beban yang diberikan secara terus menerus dengan kecepatan yang cukup tinggi, sehingga tegangan yang terjadi tidak memiliki waktu untuk kembali sebelum diberi beban selanjutnya.



Gambar 5. 39 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik B

Dari Gambar 5.39 dapat diketahui perbandingan tegangan yang terjadi akibat beban dinamis dan beban statis pada Titik B. Tegangan akibat beban statis cenderung lebih besar daripada tegangan dinamis. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai tegangannya.

Namun ada keadaan dimana tegangan akibat beban dinamis lebih tinggi dibandingkan tegangan akibat beban statis. Tegangan akibat beban dinamis yang lebih tinggi dikarenakan oleh beban yang diberikan secara terus menerus dengan kecepatan yang cukup tinggi, sehingga tegangan yang terjadi tidak memiliki waktu untuk kembali sebelum diberi beban selanjutnya.

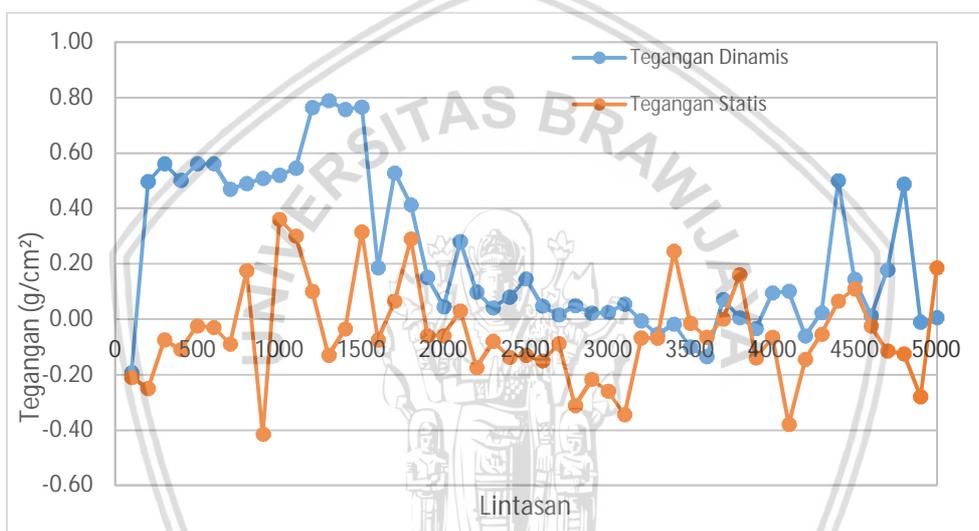


Gambar 5. 40 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik C

Dari Gambar 5.40 dapat diketahui perbandingan tegangan yang terjadi akibat beban dinamis dan beban statis pada Titik C. Tegangan akibat beban statis cenderung lebih besar daripada tegangan dinamis. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai tegangannya.

Namun ada keadaan dimana tegangan akibat beban dinamis lebih tinggi dibandingkan tegangan akibat beban statis. Tegangan akibat beban dinamis yang lebih tinggi dikarenakan oleh beban yang diberikan secara terus menerus dengan kecepatan yang cukup tinggi, sehingga tegangan yang terjadi tidak memiliki waktu untuk kembali sebelum diberi beban selanjutnya.

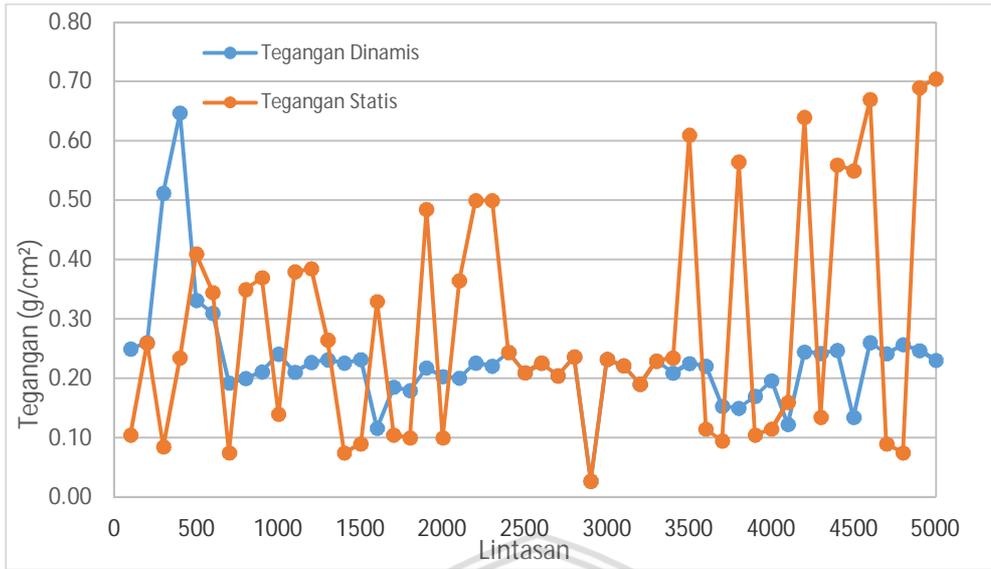
5.1.3.2 Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2



Gambar 5. 41 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik A

Dari Gambar 5.41 dapat diketahui perbandingan tegangan yang terjadi akibat beban dinamis dan beban statis pada Titik A. Tegangan akibat beban dinamis cenderung lebih besar daripada tegangan statis. Hal ini tidak sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai tegangannya.

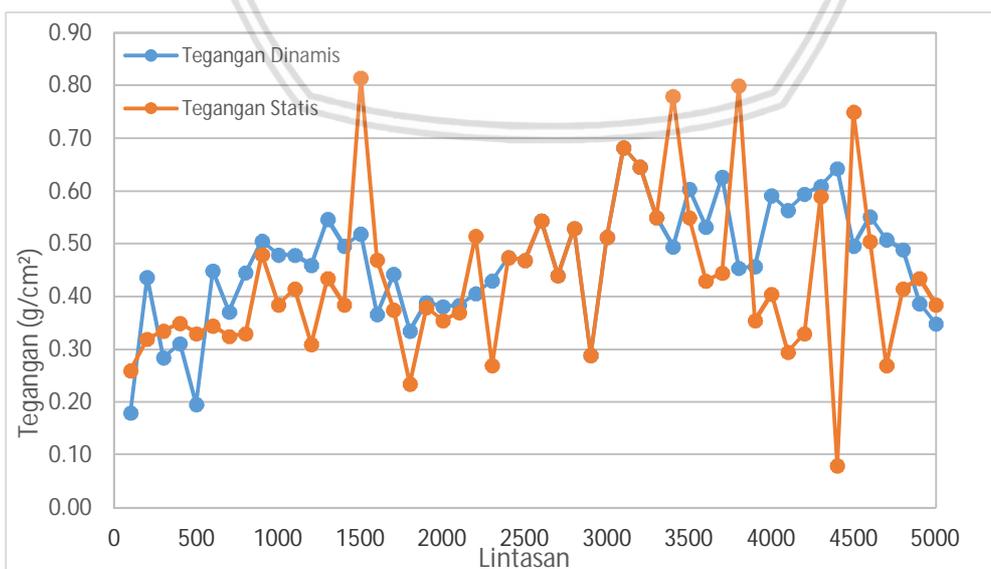
Tegangan akibat beban dinamis pada Titik A cenderung lebih tinggi dikarenakan oleh beban yang diberikan secara terus menerus dengan kecepatan yang cukup tinggi, sehingga tegangan yang terjadi tidak memiliki waktu untuk kembali sebelum diberi beban selanjutnya.



Gambar 5. 42 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik B

Dari Gambar 5.42 dapat diketahui perbandingan tegangan yang terjadi akibat beban dinamis dan beban statis pada Titik B. Tegangan akibat beban statis cenderung lebih besar daripada tegangan dinamis. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai tegangannya.

Namun ada keadaan dimana tegangan akibat beban dinamis lebih tinggi dibandingkan tegangan akibat beban statis. Tegangan akibat beban dinamis yang lebih tinggi dikarenakan oleh beban yang diberikan secara terus menerus dengan kecepatan yang cukup tinggi, sehingga tegangan yang terjadi tidak memiliki waktu untuk kembali sebelum diberi beban selanjutnya.

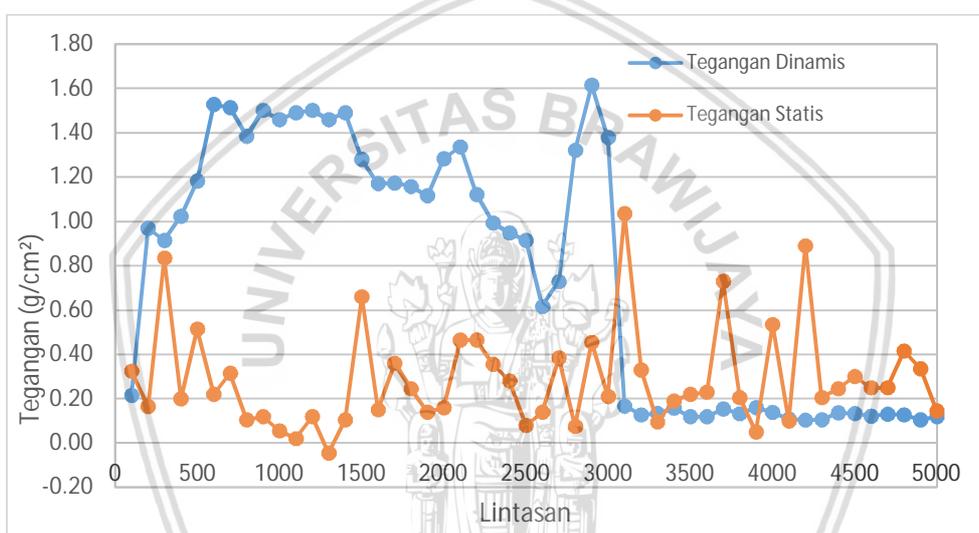


Gambar 5. 43 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik C

Dari Gambar 5.43 dapat diketahui perbandingan tegangan yang terjadi akibat beban dinamis dan beban statis pada Titik C. Tegangan akibat beban dinamis cenderung lebih besar daripada tegangan statis. Tegangan akibat beban dinamis yang lebih tinggi dikarenakan oleh beban yang diberikan secara terus menerus dengan kecepatan yang cukup tinggi, sehingga tegangan yang terjadi tidak memiliki waktu untuk kembali sebelum diberi beban selanjutnya.

Namun ada keadaan dimana tegangan akibat beban statis lebih tinggi dibandingkan tegangan akibat beban dinamis. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai tegangannya.

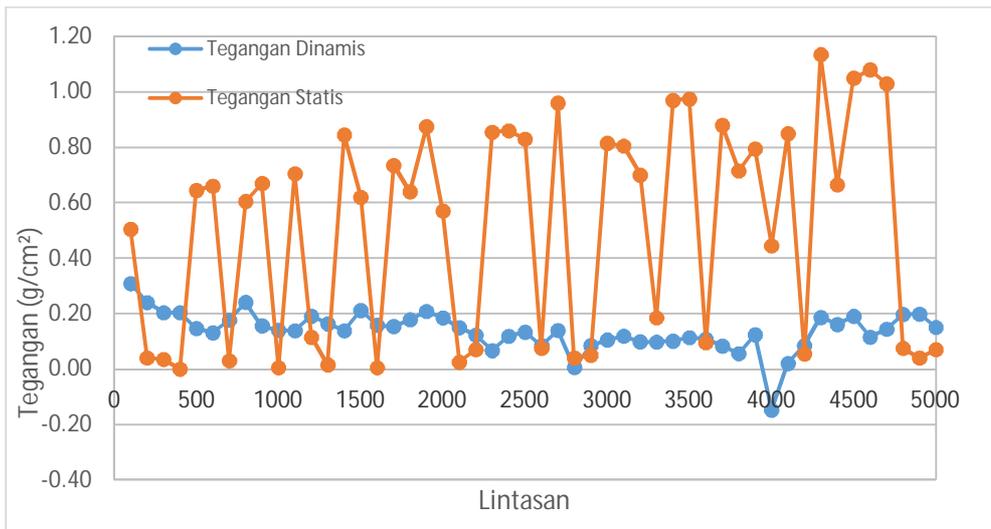
5.1.3.3 Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1



Gambar 5. 44 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik A

Dari Gambar 5.44 dapat diketahui perbandingan tegangan yang terjadi akibat beban dinamis dan beban statis pada Titik A. Tegangan akibat beban dinamis cenderung lebih besar daripada tegangan statis. Hal ini tidak sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai tegangannya.

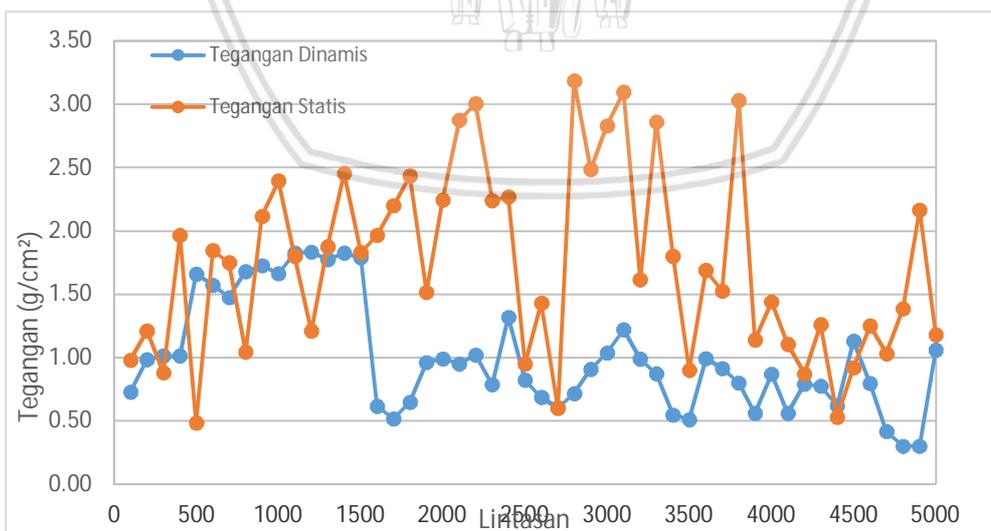
Tegangan akibat beban dinamis pada Titik A cenderung lebih tinggi dikarenakan oleh beban yang diberikan secara terus menerus dengan kecepatan yang cukup tinggi, sehingga tegangan yang terjadi tidak memiliki waktu untuk kembali sebelum diberi beban selanjutnya.



Gambar 5. 45 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik B

Dari Gambar 5.45 dapat diketahui perbandingan tegangan yang terjadi akibat beban dinamis dan beban statis pada Titik B. Tegangan akibat beban statis cenderung lebih besar daripada tegangan dinamis. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai tegangannya.

Namun ada keadaan dimana tegangan akibat beban dinamis lebih tinggi dibandingkan tegangan akibat beban statis. Tegangan akibat beban dinamis yang lebih tinggi dikarenakan oleh beban yang diberikan secara terus menerus dengan kecepatan yang cukup tinggi, sehingga tegangan yang terjadi tidak memiliki waktu untuk kembali sebelum diberi beban selanjutnya.



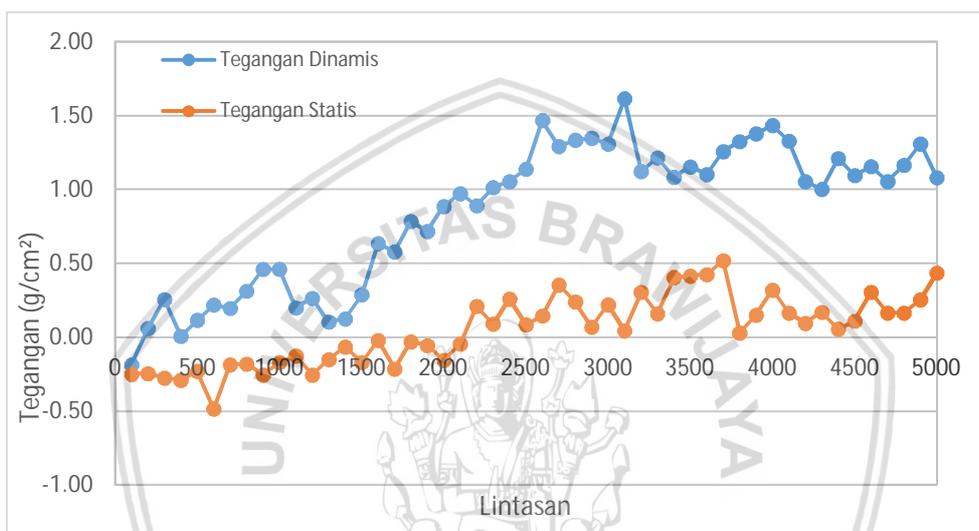
Gambar 5. 46 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik C

Dari Gambar 5.46 dapat diketahui perbandingan tegangan yang terjadi akibat beban dinamis dan beban statis pada Titik C. Tegangan akibat beban statis cenderung lebih besar

daripada tegangan dinamis. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai tegangannya.

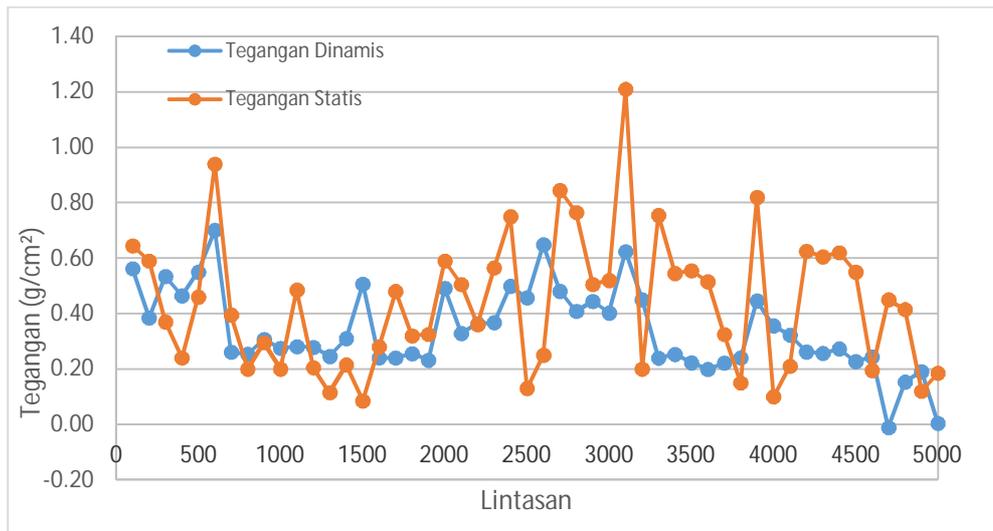
Namun ada keadaan dimana tegangan akibat beban dinamis lebih tinggi dibandingkan tegangan akibat beban statis. Tegangan akibat beban dinamis yang lebih tinggi dikarenakan oleh beban yang diberikan secara terus menerus dengan kecepatan yang cukup tinggi, sehingga tegangan yang terjadi tidak memiliki waktu untuk kembali sebelum diberi beban selanjutnya.

5.1.3.4 Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2



Gambar 5. 47 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik A

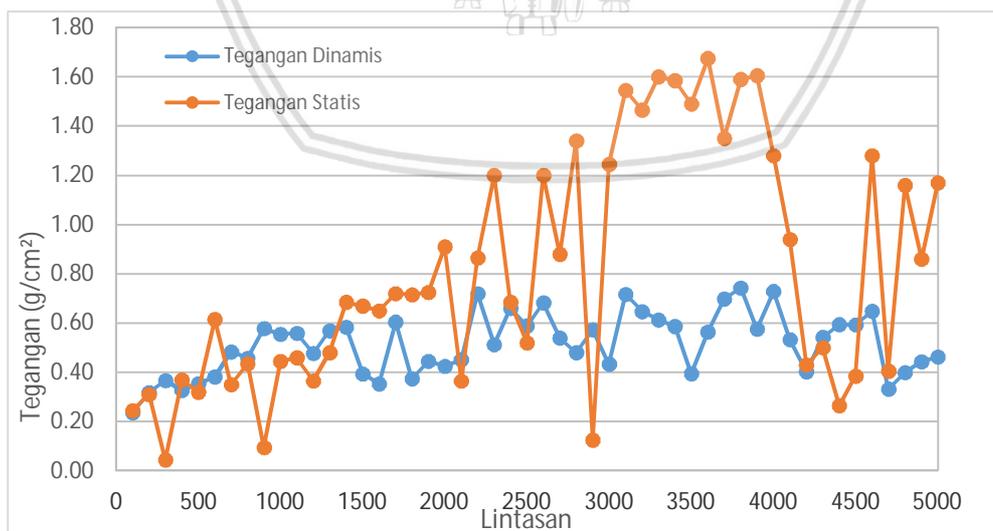
Dari Gambar 5.47 dapat diketahui perbandingan tegangan yang terjadi akibat beban dinamis dan beban statis pada Titik A. Tegangan akibat beban dinamis cenderung lebih besar daripada tegangan statis. Tegangan akibat beban dinamis yang lebih tinggi dikarenakan oleh beban yang diberikan secara terus menerus dengan kecepatan yang cukup tinggi, sehingga tegangan yang terjadi tidak memiliki waktu untuk kembali sebelum diberi beban selanjutnya.



Gambar 5. 48 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik B

Dari Gambar 5.48 dapat diketahui perbandingan tegangan yang terjadi akibat beban dinamis dan beban statis pada Titik B. Tegangan akibat beban statis cenderung lebih besar daripada tegangan dinamis. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai tegangannya.

Namun ada keadaan dimana tegangan akibat beban dinamis lebih tinggi dibandingkan tegangan akibat beban statis. Tegangan akibat beban dinamis yang lebih tinggi dikarenakan oleh beban yang diberikan secara terus menerus dengan kecepatan yang cukup tinggi, sehingga tegangan yang terjadi tidak memiliki waktu untuk kembali sebelum diberi beban selanjutnya.



Gambar 5. 49 Perbandingan Tegangan Dinamis dan Statis pada Titik C

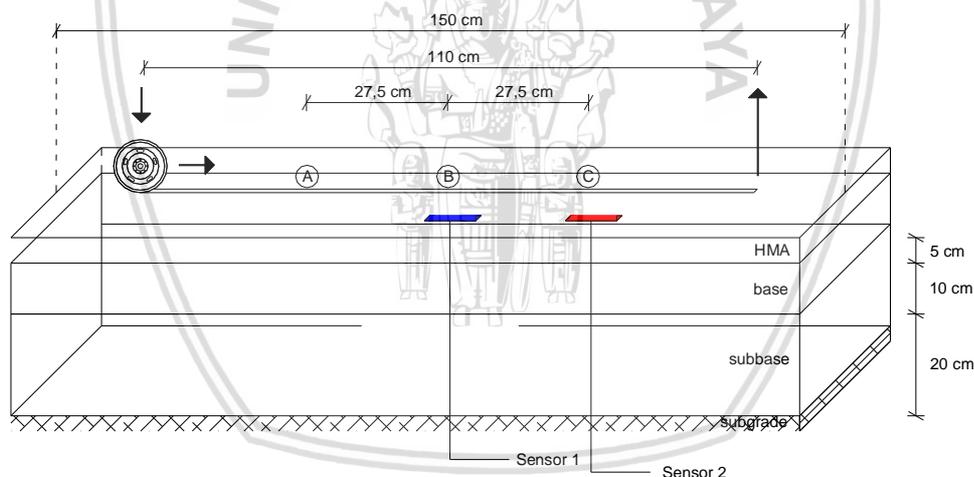
Dari Gambar 5.49 dapat diketahui perbandingan tegangan yang terjadi akibat beban dinamis dan beban statis pada Titik C. Tegangan akibat beban statis cenderung lebih besar

daripada tegangan dinamis. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai tegangannya.

Namun ada keadaan dimana tegangan akibat beban dinamis lebih tinggi dibandingkan tegangan akibat beban statis. Tegangan akibat beban dinamis yang lebih tinggi dikarenakan oleh beban yang diberikan secara terus menerus dengan kecepatan yang cukup tinggi, sehingga tegangan yang terjadi tidak memiliki waktu untuk kembali sebelum diberi beban selanjutnya.

5.2. Hasil Pengukuran Regangan pada Perkerasan Lentur

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui regangan pada perkerasan lentur dengan skala semi lapangan. Hal ini dilakukan karena skala semi lapangan merupakan salah satu cara untuk menunjukkan hasil yang mendekati kenyataan di lapangan karena parameter yang digunakan telah disesuaikan dengan yang ada pada lapangan baik untuk tebal, material yang digunakan, maupun beban yang akan diterima.



Gambar 5. 50 Peletakkan Dua Sensor Alat Pengukur Regangan

5.2.1. Pengukuran Regangan pada Perkerasan yang Diberi Beban Dinamis

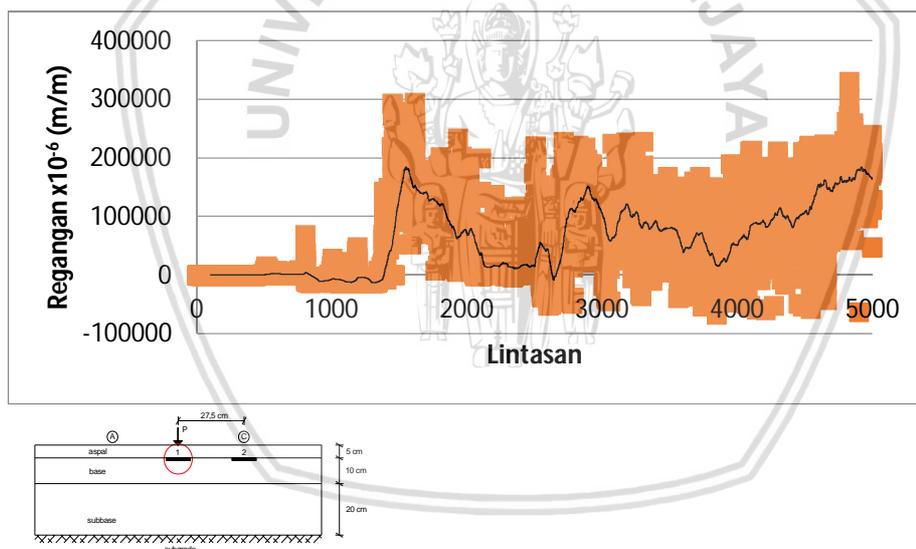
Pengukuran dilakukan menggunakan *strain gauge* yang dibaca dengan *strain meter* pada lokasi yang ditinjau yaitu pada bagian bawah aspal. Regangan yang terjadi merupakan bentuk respon terhadap beban yang bekerja. Beban ini berupa beban dinamis secara berulang, lalu dilanjutkan dengan beban statis. Adapun hasil pengukuran regangan dengan beban dinamis dapat dilihat pada Lampiran 6.

Untuk mendapatkan nilai regangan, dilakukan pembacaan awal sebelum perkerasan dilintasi dan pembacaan akhir setelah dilintasi. Adapun hasil nilai regangan didapat dari pembacaan akhir dikurangi pembacaan awal. Sebagai analisis tambahan untuk mengetahui nilai rata-rata regangan yang terjadi pada beban dinamis, dengan bantuan Ms. Excel digunakan *trendline* rata-rata dengan periode lima puluh agar plot nilai rata-rata terlihat lebih jelas.

Dari hasil pengukuran, diperoleh nilai regangan yang bernilai positif dan negatif dimana nilai positif menunjukkan arah regangan ke bawah dan negatif menunjukkan arah regangan ke atas.

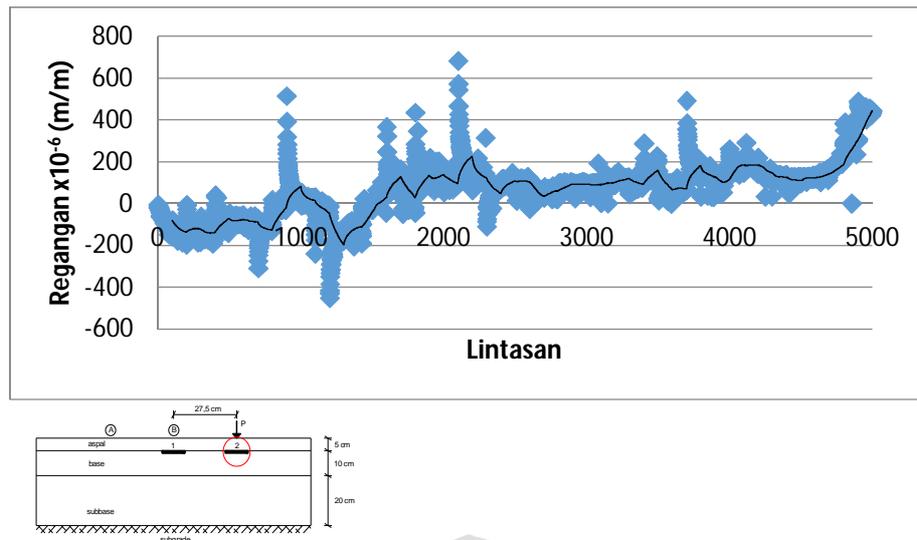
5.2.1.1 Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1

Pada saat proses penelitian benda uji perkerasan lentur porus 1, terjadi kerusakan mesin penguji pada lintasan 1428 sehingga terjadi peningkatan dan penurunan yang signifikan. Hasil pengukuran regangan pada perkerasan porus dengan beban dinamis ditunjukkan pada Gambar 5.51 hingga Gambar 5.52.



Gambar 5. 51 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B

Gambar 5.51 menunjukkan bahwa besarnya nilai regangan Sensor 1 aspal porus pada titik B antara $-6,72 \times 10^{-2}$ hingga $3,31 \times 10^{-1}$ m/m. Dari hasil pengujian, regangan maksimum saat beban berada di titik B terjadi pada Sensor 1. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa regangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau.



Gambar 5. 52 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C

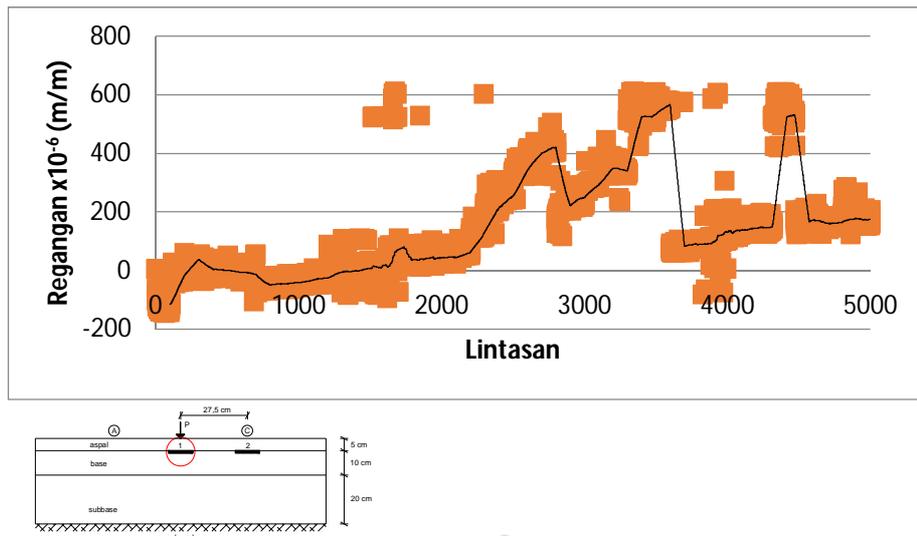
Pada Gambar 5.52 menunjukkan bahwa besarnya nilai regangan Sensor 2 aspal porous pada titik C antara $-4,50 \times 10^{-4}$ hingga $6,83 \times 10^{-4}$ m/m. Namun, dari hasil pengujian, regangan maksimum saat beban berada di titik C terjadi pada Sensor 1. Hal ini tidak sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa regangan maksimum terjadi pada sensor yang dekat dengan titik tinjau.

Dari Gambar 5.51 diperoleh nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 1 di titik B, yaitu $3,31 \times 10^{-1}$ m/m. Sedangkan, dari Gambar 5.52 diperoleh nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 2 di titik C, yaitu $6,83 \times 10^{-4}$ m/m.

Seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan, nilai regangan pun tidak selalu naik, melainkan naik turun. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu pemberian beban yang tidak berkelanjutan dalam satu waktu dan adanya pengaruh dari rambatan gelombang akibat pembebanan yang berkelanjutan menyebabkan material perkerasan belum kembali ke bentuk semula, namun telah dibebani lagi.

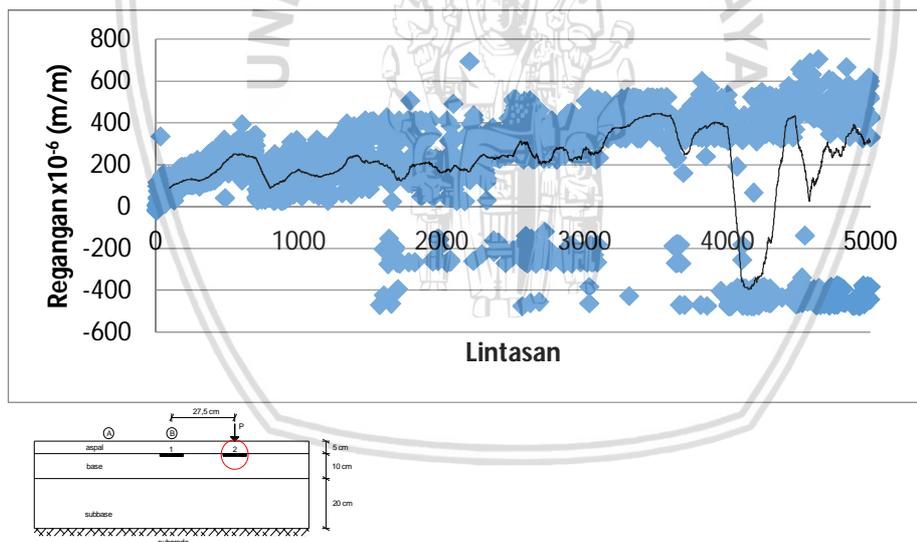
5.2.1.2 Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2

Hasil pengukuran regangan pada benda uji perkerasan porous 2 dengan beban dinamis ditunjukkan pada Gambar 5.53 hingga Gambar 5.54.



Gambar 5. 53 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B

Pada Gambar 5.53 menunjukkan bahwa besarnya nilai regangan Sensor 1 benda uji aspal porus 2 pada titik B antara $-1,44 \times 10^{-4}$ hingga $6,13 \times 10^{-4}$ m/m. Sedangkan pada Gambar 5.54, besarnya nilai regangan Sensor 2 aspal porus pada titik C antara $-4,74 \times 10^{-4}$ hingga $7,07 \times 10^{-4}$ m/m.



Gambar 5. 54 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C

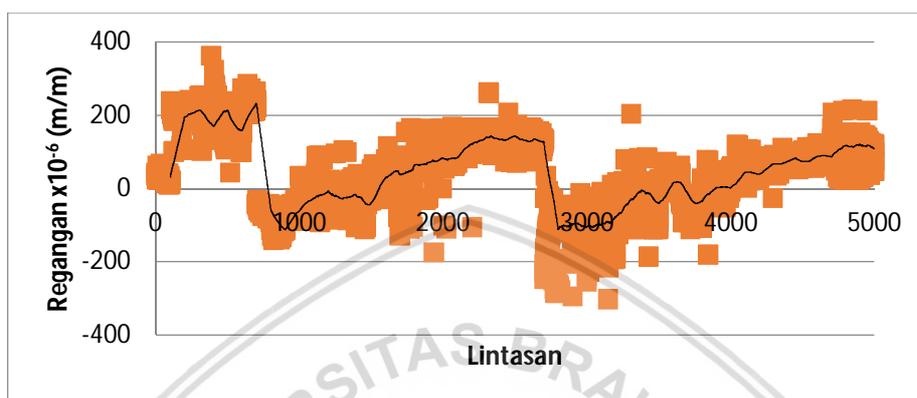
Dari Gambar 5.53 diperoleh nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 1 di titik B, yaitu $6,13 \times 10^{-4}$ m/m. Sedangkan, dari Gambar 5.54 diperoleh nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 2 di titik C, yaitu $7,07 \times 10^{-4}$ m/m.

Seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan, nilai regangan pun tidak selalu naik, melainkan naik turun. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu pemberian beban yang tidak berkelanjutan dalam satu waktu dan adanya pengaruh dari rambatan gelombang

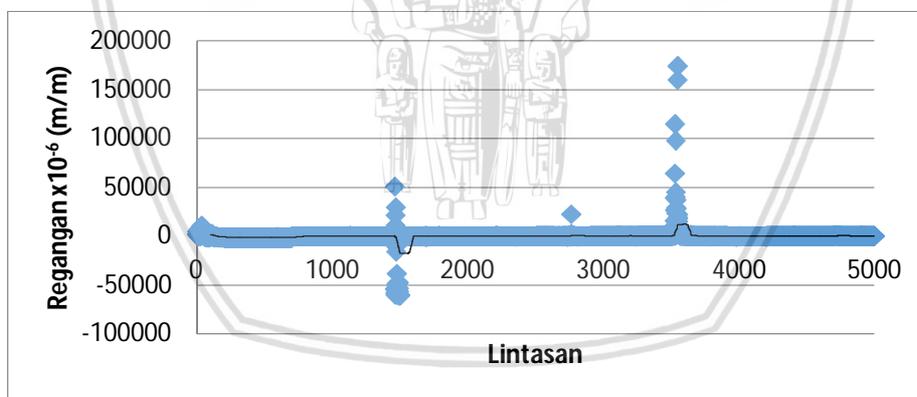
akibat pembebanan yang berkelanjutan menyebabkan material perkerasan belum kembali ke bentuk semula, namun telah dibebani lagi.

5.2.1.3 Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1

Hasil pengukuran regangan pada perkerasan konvensional dengan beban dinamis ditunjukkan pada Gambar 5.55 hingga Gambar 5.56.



Gambar 5. 55 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B



Gambar 5. 56 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C

Pada Gambar 5.55 dapat diketahui bahwa besarnya nilai regangan sensor 1 aspal konvensional pada titik B antara $-3,02 \times 10^{-4}$ hingga $3,63 \times 10^{-4}$ m/m.. Sedangkan pada Gambar 5.56 dapat diketahui bahwa terjadi selisih regangan yang cukup tinggi. Adapun penyebab selisih regangan karena pembacaan alat yang tidak dilakukan secara

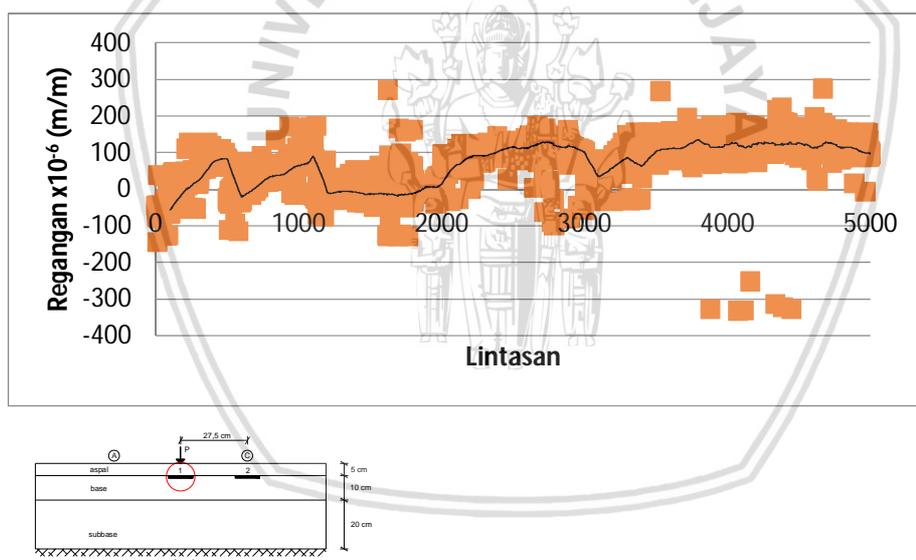
berkelanjutan. Besarnya nilai regangan Sensor 2 aspal konvensional pada titik C antara $-6,07 \times 10^{-2}$ hingga $1,74 \times 10^{-1}$ m/m.

Dari Gambar 5.55 diperoleh nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 1 di titik B, yaitu $3,63 \times 10^{-4}$ m/m. Sedangkan, dari Gambar 5.56 diperoleh nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 2 di titik C, yaitu $1,74 \times 10^{-1}$ m/m.

Seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan, nilai regangan pun tidak selalu naik, melainkan naik turun. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu pemberian beban yang tidak berkelanjutan dalam satu waktu dan adanya pengaruh dari rambatan gelombang akibat pembebanan yang berkelanjutan menyebabkan material perkerasan belum kembali ke bentuk semula, namun telah dibebani lagi.

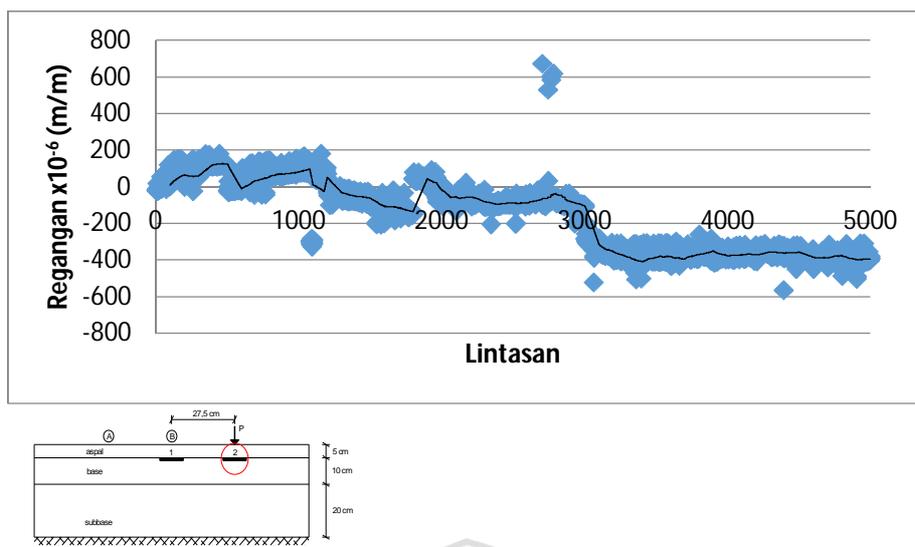
5.2.1.4 Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2

Hasil pengukuran regangan pada benda uji perkerasan konvensional 2 dengan beban dinamis ditunjukkan pada Gambar 5.57 hingga Gambar 5.58.



Gambar 5. 57 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B

Pada Gambar 5.57 diketahui bahwa dengan bertambahnya jumlah lintasan, nilai regangan cenderung meningkat. Adapun terjadinya selisih regangan yang cukup tinggi karena pembacaan alat yang tidak dilakukan secara berkelanjutan. Besarnya nilai regangan Sensor 1 aspal konvensional pada titik B antara $-3,31 \times 10^{-4}$ hingga $2,76 \times 10^{-4}$ m/m.



Gambar 5. 58 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C

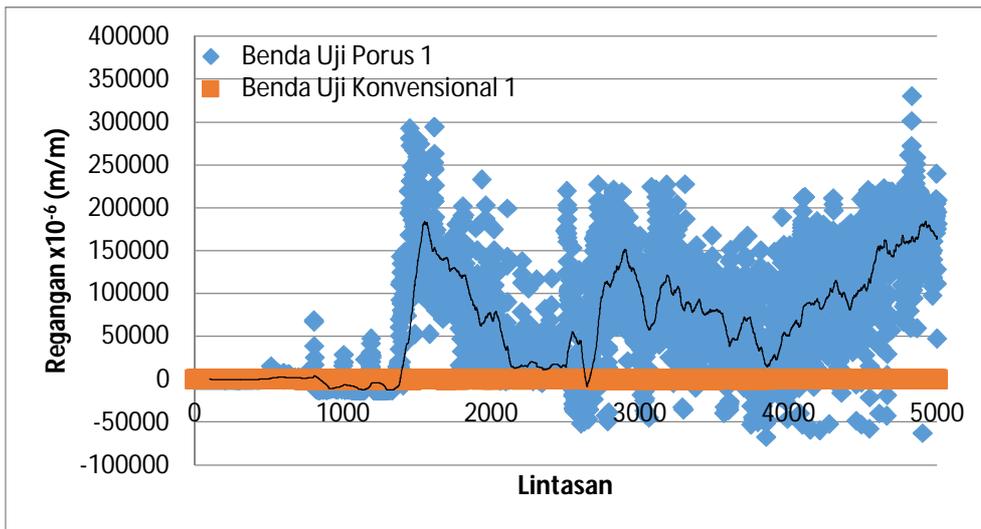
Pada Gambar 5.58 diketahui bahwa dengan bertambahnya jumlah lintasan, nilai regangan cenderung menurun. Hal ini disebabkan material perkerasan yang dilintasi beban berjalan berulang belum kembali ke bentuk semula, namun terkena beban lagi. Besarnya nilai regangan Sensor 1 aspal konvensional pada titik C antara $-5,64 \times 10^{-4}$ hingga $6,74 \times 10^{-4}$ m/m.

Dari Gambar 5.57 diperoleh nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 1 di titik B, yaitu $2,76 \times 10^{-4}$ m/m. Sedangkan, dari Gambar 5.58 diperoleh nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 2 di titik C, yaitu $6,74 \times 10^{-4}$ m/m.

Seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan, nilai regangan pun tidak selalu naik, melainkan naik turun. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu pemberian beban yang tidak berkelanjutan dalam satu waktu dan adanya pengaruh dari rambatan gelombang akibat pembebanan yang berkelanjutan menyebabkan material perkerasan belum kembali ke bentuk semula, namun telah dibebani lagi.

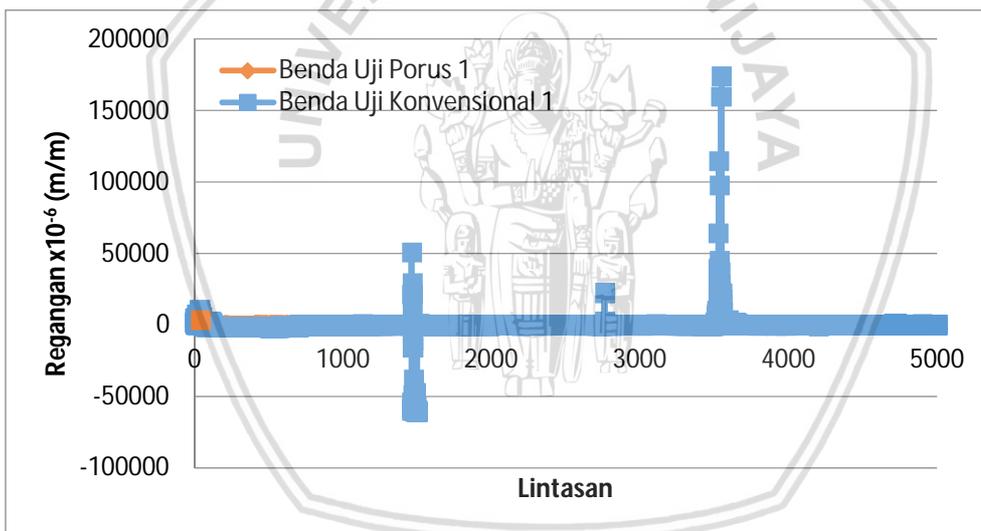
5.2.1.5 Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1

Dari hasil uji statistik yang dilakukan dengan menggunakan metode ANOVA dua arah, untuk perkerasan yang diberikan beban dinamis, diperoleh hasil bahwa terdapat perbedaan nilai regangan yang signifikan antara benda uji perkerasan lentur porus 1 dan benda uji perkerasan lentur konvensional 1.



Gambar 5. 59 Regangan Sensor 1 Saat Beban Dinamis di Titik B

Dari Gambar 5.59, dapat diketahui bahwa pada titik B dan Sensor 1, perkerasan porus memiliki nilai regangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan perkerasan konvensional, yaitu $3,31 \times 10^{-1}$ m/m lebih besar dari $3,63 \times 10^{-4}$ m/m.

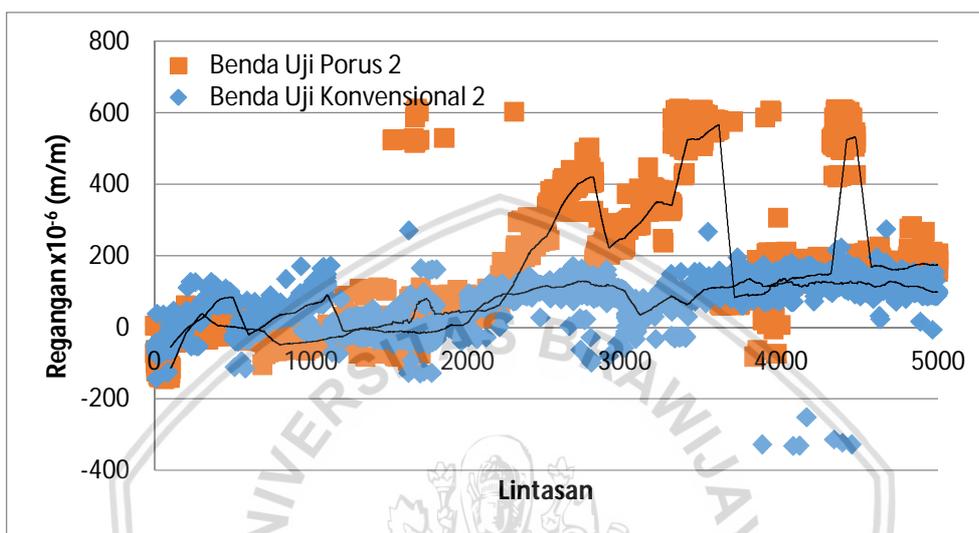


Gambar 5. 60 Regangan Sensor 2 Saat Beban Dinamis di Titik C

Sedangkan, di titik C pada Sensor 2, perkerasan porus memiliki nilai regangan yang lebih rendah dibandingkan dengan perkerasan konvensional, yaitu $6,83 \times 10^{-4}$ m/m lebih rendah dari $1,74 \times 10^{-1}$ m/m. Hal ini disebabkan karena perkerasan porus terdiri dari agregat yang berukuran seragam sehingga terdapat rongga yang dapat mempengaruhi stabilitas akibat adanya kurang *interlocking*.

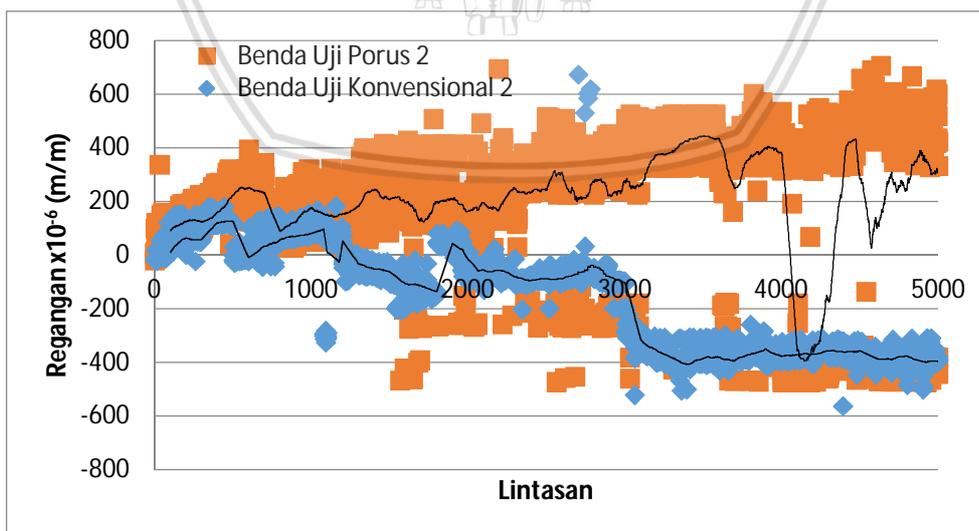
5.2.1.6 Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2

Dari hasil uji statistik yang dilakukan dengan menggunakan metode ANOVA dua arah, untuk perkerasan yang diberikan beban dinamis, diperoleh hasil bahwa terdapat perbedaan nilai regangan yang signifikan antara benda uji perkerasan lentur porus 2 dan benda uji perkerasan lentur konvensional 2.



Gambar 5. 61 Regangan Sensor 1 Saat Beban Dinamis di Titik B

Dari hasil pengujian saat beban dinamis, dapat diketahui bahwa pada titik B dan Sensor 1, perkerasan porus memiliki nilai regangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan perkerasan konvensional, yaitu $6,13 \times 10^{-4}$ m/m lebih besar dari $2,76 \times 10^{-4}$ m/m.



Gambar 5. 62 Regangan Sensor 2 Saat Beban Dinamis di Titik C

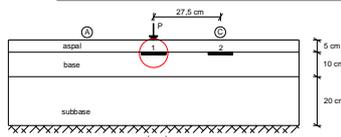
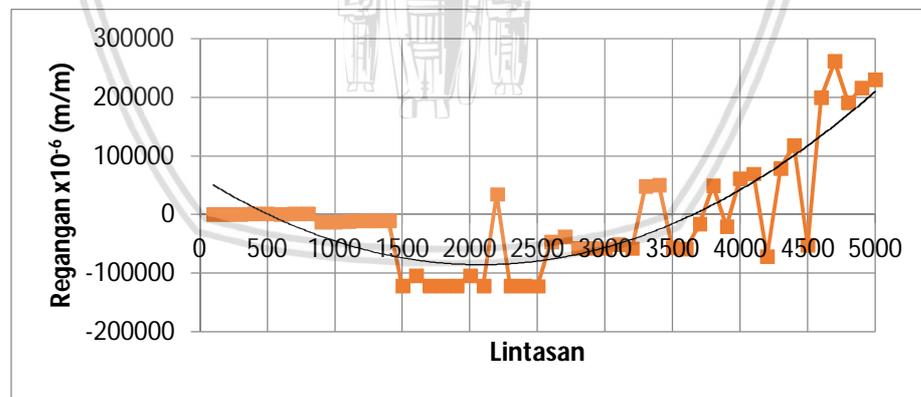
Sedangkan, di titik C pada Sensor 2, perkerasan porus memiliki nilai regangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan perkerasan konvensional, yaitu $7,07 \times 10^{-4}$ m/m lebih besar dari $6,74 \times 10^{-4}$ m/m.

5.2.2. Pengukuran Regangan pada Perkerasan yang Diberi Beban Statis

Setelah dilakukan pengukuran dengan beban dinamis maka diukur pula regangan dengan beban statis. Pengukuran ini dilakukan untuk melihat seberapa besar regangan yang terjadi jika beban yang digunakan merupakan beban statis. Pembacaan pengukuran regangan statis dilakukan saat beban berhenti setiap 100 lintasan, dan dilakukan hingga mencapai 5000 lintasan. Untuk mendapatkan nilai regangan, dilakukan pembacaan awal sebelum perkerasan dilintasi dan pembacaan akhir setelah diberikan beban statis. Adapun hasil nilai regangan didapat dari pembacaan akhir dikurangi pembacaan awal. Sebagai analisis tambahan untuk mengetahui regresi yang terjadi, dengan bantuan Ms. Excel digunakan regresi tipe polinomial sebagai tujuan prediksi dan kontrol.

Dari hasil pengukuran, diperoleh nilai regangan yang bernilai positif dan negatif dimana nilai positif menunjukkan arah regangan ke bawah dan negatif menunjukkan arah regangan ke atas.

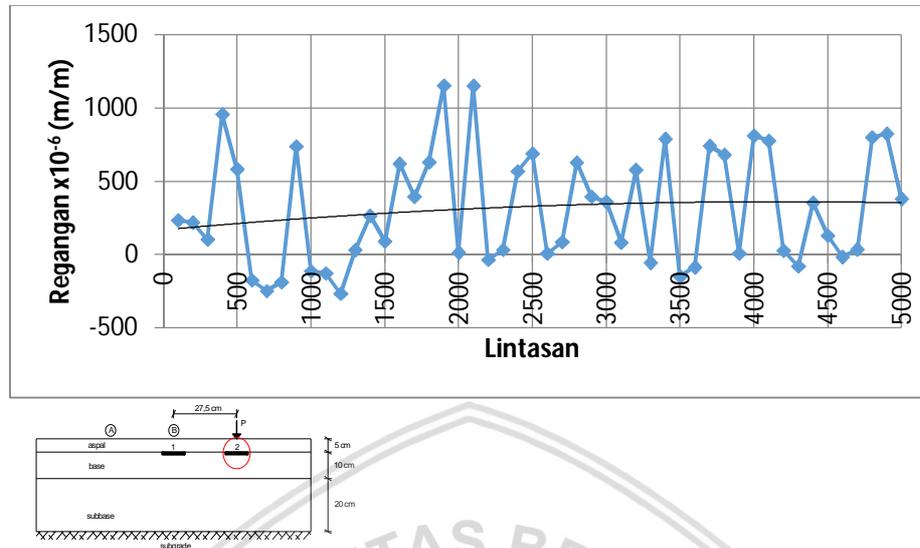
5.2.2.1 Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1



Gambar 5. 63 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B

Pada Gambar 5.63, diketahui terjadi penurunan dan peningkatan yang signifikan. Hal ini disebabkan karena pembacaan alat yang tidak dilakukan secara berkelanjutan. Adapun

besarnya nilai regangan sensor 1 pada titik B yang terjadi berkisar antara $-1,224 \times 10^{-1}$ m/m hingga $2,615 \times 10^{-1}$ m/m.



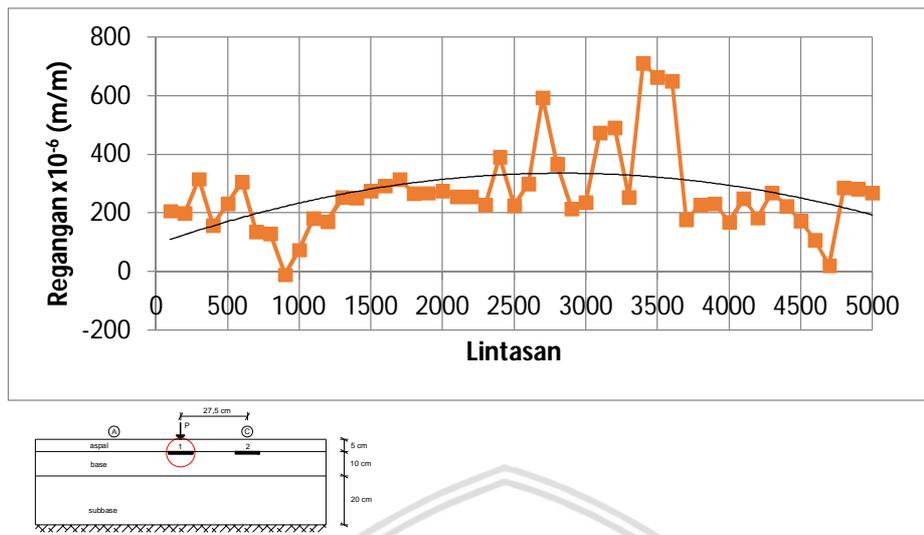
Gambar 5. 64 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C

Seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan, nilai regangan saat beban statis pada Sensor 2 di titik tinjau C cenderung stabil. Adapun besarnya nilai regangan sensor 2 pada titik C yang terjadi berkisar antara $-2,67 \times 10^{-4}$ m/m hingga $1,153 \times 10^{-3}$ m/m.

Dari Gambar 5.63 diperoleh nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 1 di titik B, yaitu $2,615 \times 10^{-1}$ m/m. Sedangkan, dari Gambar 5.64 diperoleh nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 2 di titik C, yaitu $1,153 \times 10^{-3}$ m/m.

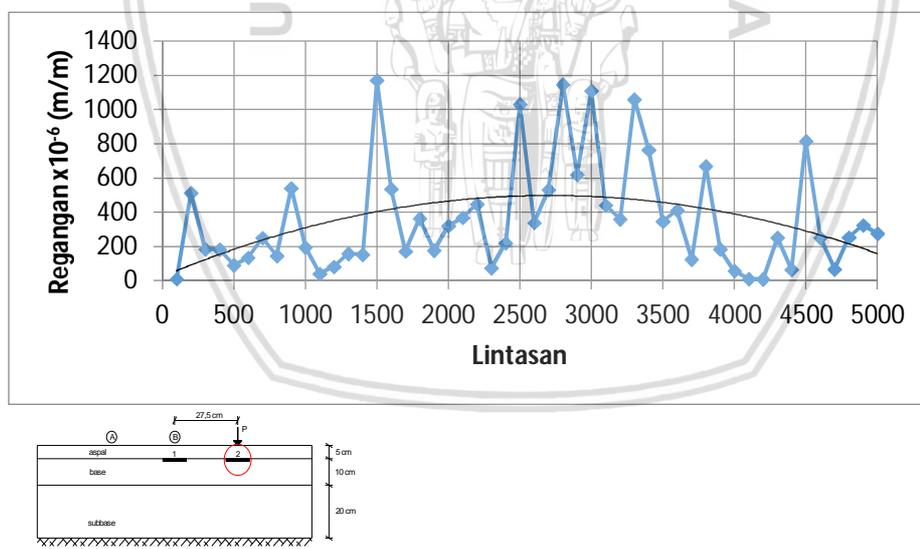
Seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan, nilai regangan pun tidak hanya selalu meningkat, namun juga menurun. Hal ini disebabkan karena pemberian beban yang tidak berkelanjutan dalam satu waktu.

5.2.2.2 Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2



Gambar 5. 65 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B

Pada Gambar 5.65, seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan, nilai regangan saat beban statis cenderung mengalami peningkatan dan penurunan. Adapun besarnya nilai regangan sensor 1 pada titik B yang terjadi berkisar antara $-1,1 \times 10^{-5}$ m/m hingga $7,12 \times 10^{-4}$ m/m.



Gambar 5. 66 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C

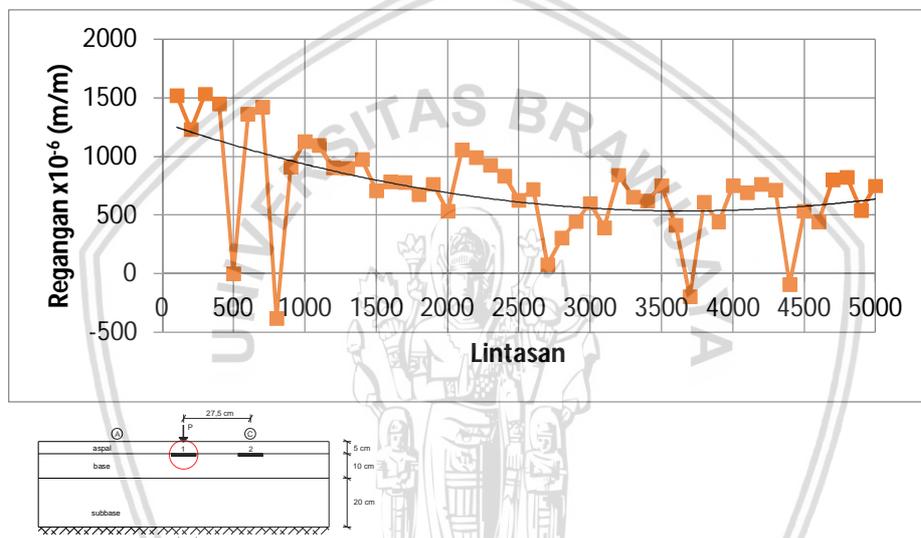
Seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan, nilai regangan saat beban statis pada Sensor 2 di titik tinjau C cenderung mengalami peningkatan dan penurunan. Hal ini disebabkan karena pembacaan alat yang tidak dilakukan secara berkelanjutan. Adapun besarnya nilai regangan sensor 2 pada titik C yang terjadi berkisar antara $1,0 \times 10^{-5}$ m/m hingga $1,17 \times 10^{-3}$ m/m.

Dari hasil pengujian saat beban statis, diperoleh nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 1 di titik B sebesar $7,12 \times 10^{-4}$ m/m. Sedangkan, nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 2 di titik C, yaitu $1,17 \times 10^{-3}$ m/m.

Seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan, nilai regangan saat beban statis pun tidak selalu naik, melainkan naik turun. Hal ini disebabkan karena pemberian beban yang tidak berkelanjutan dalam satu waktu.

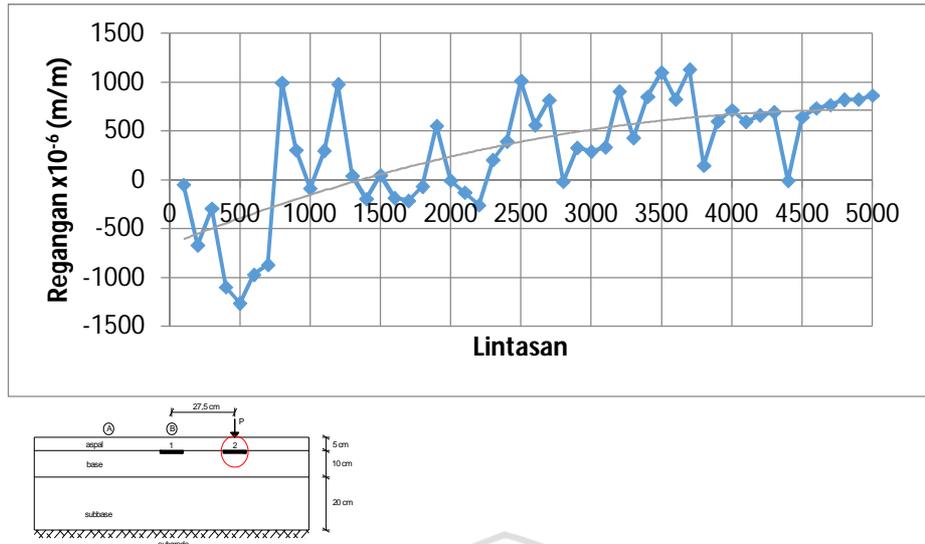
5.2.2.3 Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1

Hasil pengukuran regangan pada benda uji perkerasan lentur konvensional 1 dengan beban statis ditunjukkan pada Gambar 5.67 hingga Gambar 5.68.



Gambar 5. 67 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B

Seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan, nilai regangan cenderung mengalami peningkatan dan penurunan. Hal ini disebabkan karena pembacaan alat yang tidak dilakukan secara berkelanjutan. Besarnya nilai regangan Sensor 1 aspal porus pada titik B berkisar antara $-3,8 \times 10^{-4}$ m/m hingga $1,53 \times 10^{-3}$ m/m.



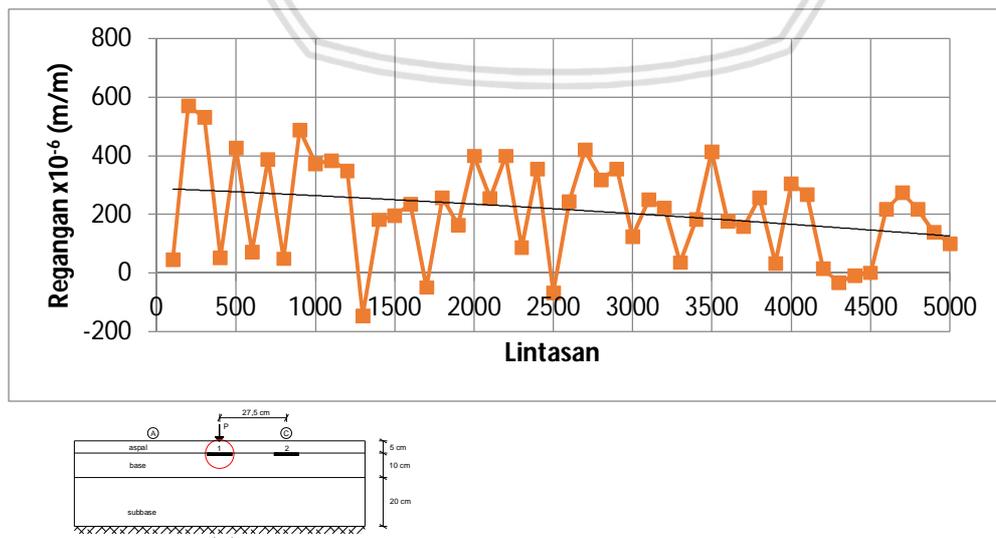
Gambar 5. 68 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C

Dapat dilihat pada Gambar 5.68 regangan saat beban statis pada Sensor 2 di titik tinjau C cenderung mengalami peningkatan. Besarnya nilai regangan yang terjadi berkisar antara $-1,26 \times 10^{-3}$ m/m hingga $1,13 \times 10^{-3}$ m/m.

Dari Gambar 5.67 diperoleh nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 1 di titik B, yaitu $1,53 \times 10^{-3}$ m/m. Sedangkan, dari Gambar 5.68 diperoleh nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 2 di titik C, yaitu $1,13 \times 10^{-3}$ m/m.

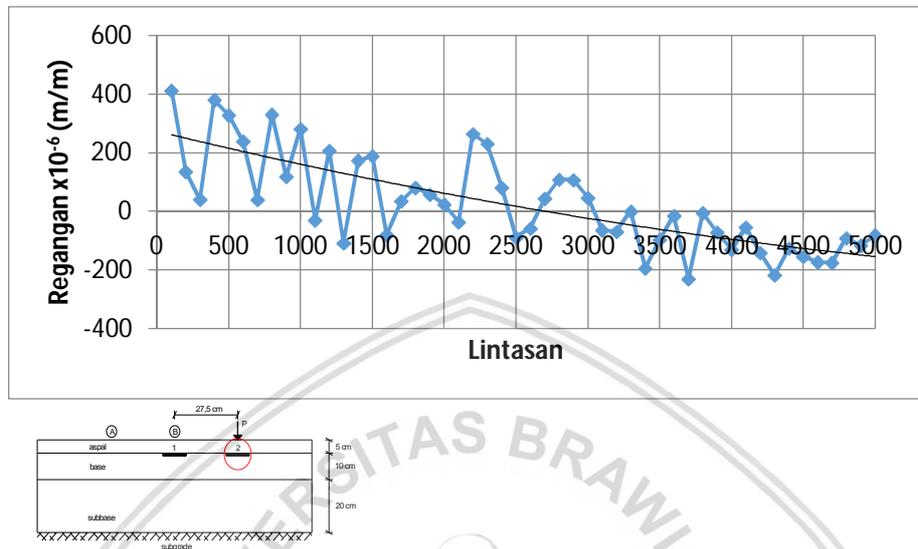
Seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan, nilai regangan saat beban statis pun tidak selalu naik, melainkan naik turun. Hal ini disebabkan karena pemberian beban yang tidak berkelanjutan dalam satu waktu.

5.2.2.4 Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2



Gambar 5. 69 Regangan Sensor 1 Saat Beban di Titik B

Seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan, nilai regangan cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena pembacaan alat yang tidak dilakukan secara berkelanjutan. Besarnya nilai regangan Sensor 1 aspal konvensional pada titik B berkisar antara $-1,46 \times 10^{-4}$ m/m hingga $5,71 \times 10^{-4}$ m/m.



Gambar 5.70 Regangan Sensor 2 Saat Beban di Titik C

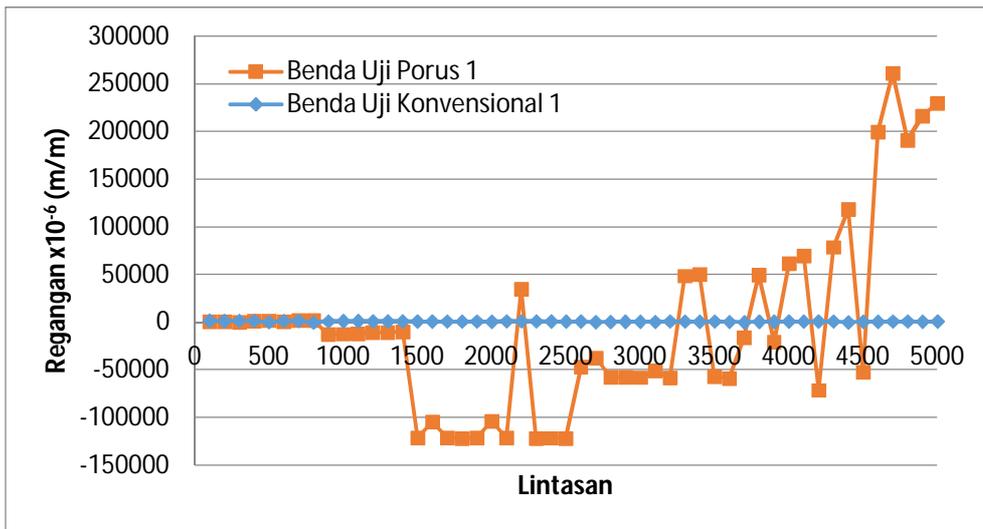
Dapat dilihat pada Gambar 5.70 regangan saat beban statis pada Sensor 2 di titik tinjau C cenderung mengalami penurunan. Adanya penurunan disebabkan karena pembacaan alat yang tidak dilakukan secara berkelanjutan. Besarnya nilai regangan yang terjadi berkisar antara $-2,30 \times 10^{-4}$ m/m hingga $4,13 \times 10^{-4}$ m/m.

Dari hasil pengujian saat beban statis, diperoleh nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 1 di titik B sebesar $5,71 \times 10^{-4}$ m/m. Sedangkan, nilai regangan positif maksimum yang terukur pada Sensor 2 di titik C, yaitu $4,13 \times 10^{-4}$ m/m.

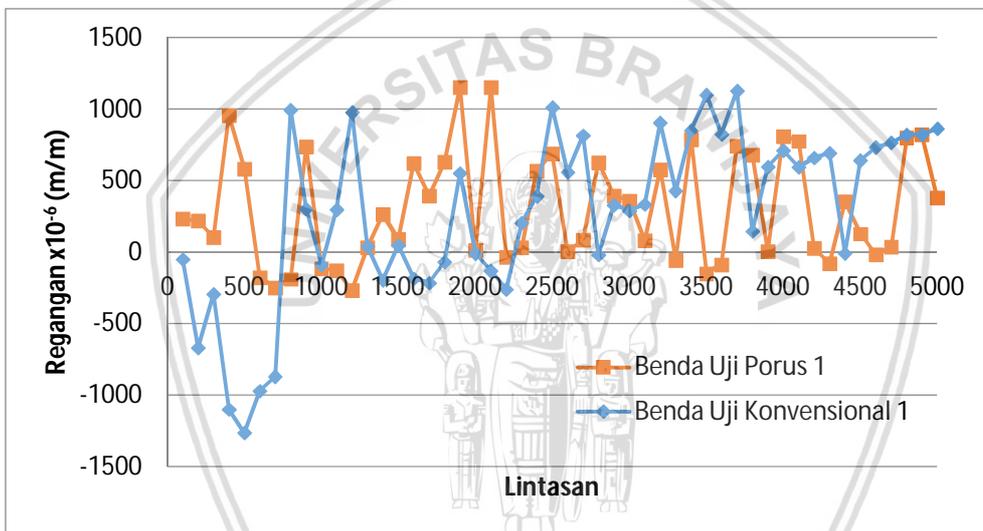
Seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan, nilai regangan pun tidak hanya selalu meningkat, namun juga menurun. Hal ini disebabkan karena pemberian beban yang tidak berkelanjutan dalam satu waktu.

5.2.2.5 Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1

Dari hasil uji statistik yang dilakukan dengan menggunakan metode ANOVA dua arah, untuk perkerasan yang diberikan beban statis, diperoleh hasil bahwa tidak terdapat perbedaan nilai regangan yang signifikan antara benda uji perkerasan lentur porus 1 dan benda uji perkerasan lentur konvensional 1.



Gambar 5. 71 Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Statis di Titik B



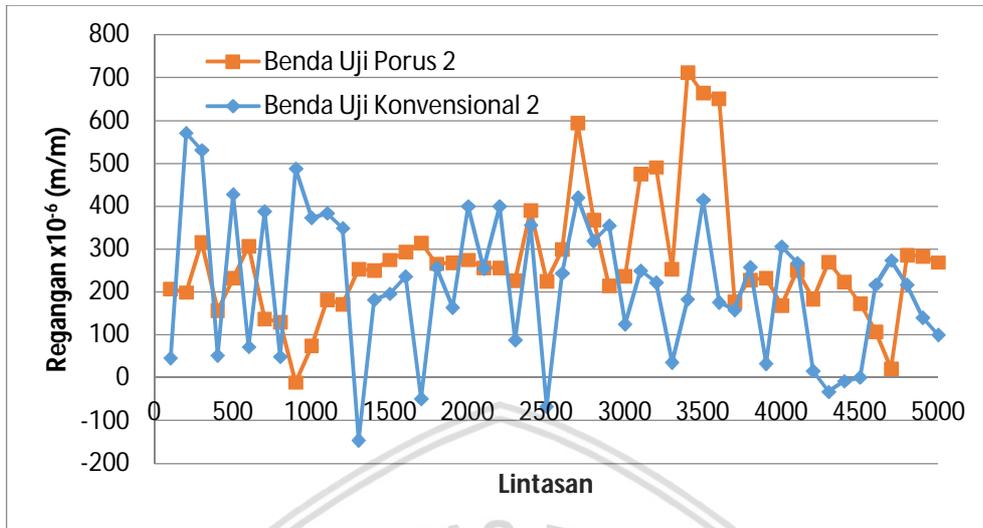
Gambar 5. 72 Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Statis di Titik C

Dari Gambar 5.71 dan Gambar 5.72, dapat diketahui bahwa pada lintasan tertentu, di titik B pada Sensor 1 dan titik C pada Sensor 2, perkerasan porus memiliki nilai regangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan perkerasan konvensional. Hal ini disebabkan karena perkerasan porus terdiri dari agregat yang berukuran seragam sehingga terdapat rongga atau ruang kosong yang dapat mempengaruhi stabilitas akibat adanya kurang *interlocking*.

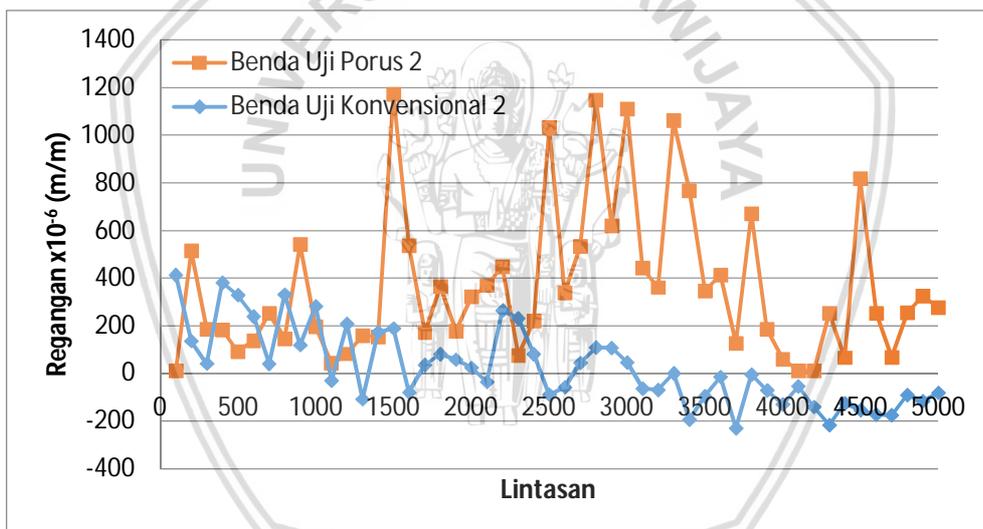
5.2.2.6 Perbandingan Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2 dan Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2

Dari hasil uji statistik yang dilakukan dengan menggunakan metode ANOVA dua arah, untuk perkerasan yang diberikan beban statis, diperoleh hasil bahwa terdapat

perbedaan nilai regangan yang signifikan antara benda uji perkerasan lentur porus 2 dan benda uji perkerasan lentur konvensional 2.



Gambar 5. 73 Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Statis di Titik B



Gambar 5. 74 Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Statis di Titik C

Dari hasil pengujian saat beban statis, dapat diketahui bahwa pada lintasan tertentu, di titik dan sensor yang sama yaitu, titik B dan Sensor 1, perkerasan porus memiliki nilai regangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan perkerasan konvensional, yaitu $7,12 \times 10^{-4}$ m/m lebih rendah dari $5,71 \times 10^{-4}$ m/m. Sedangkan, di titik C pada Sensor 2, perkerasan porus memiliki nilai regangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan perkerasan konvensional, yaitu $1,17 \times 10^{-3}$ m/m lebih besar dari $4,13 \times 10^{-4}$ m/m.

Hal ini disebabkan karena perkerasan porus terdiri dari agregat yang berukuran seragam sehingga terdapat rongga atau ruang kosong yang dapat mempengaruhi stabilitas akibat adanya kurang *interlocking*.

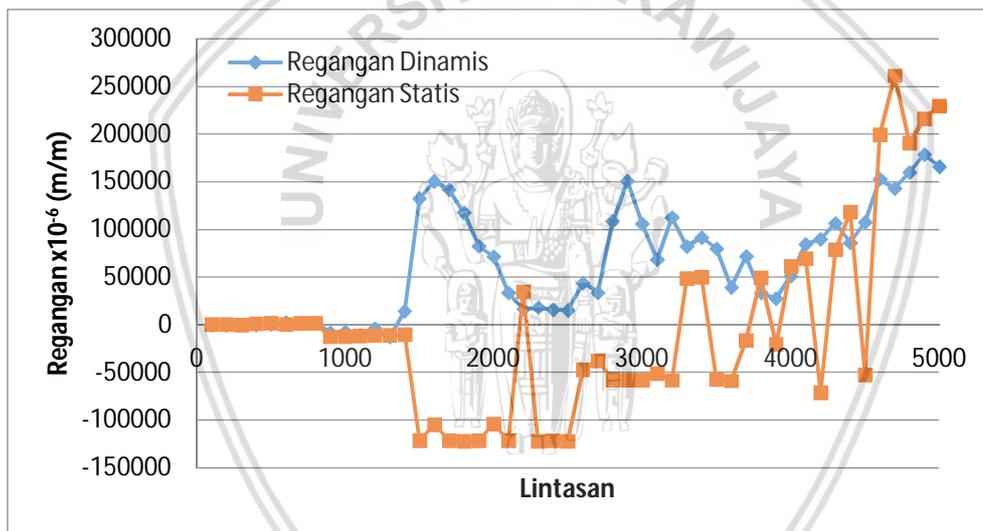
5.2.3. Perbandingan Regangan pada Perkerasan yang Diberi Beban Dinamis dan Statis

Berdasarkan teori, regangan yang terjadi akibat beban statis cenderung lebih tinggi dibandingkan regangan yang terjadi akibat beban dinamis. Hal ini terjadi karena semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai regangannya.

Perbandingan antara regangan yang terjadi akibat beban dinamis dan beban statis pada perkerasan lentur ditunjukkan pada Gambar 5.75 hingga Gambar 5.82. Regangan akibat beban dinamis yang terdapat pada grafik merupakan hasil regangan akibat beban dinamis yang telah dirata-ratakan tiap 100 lintasan.

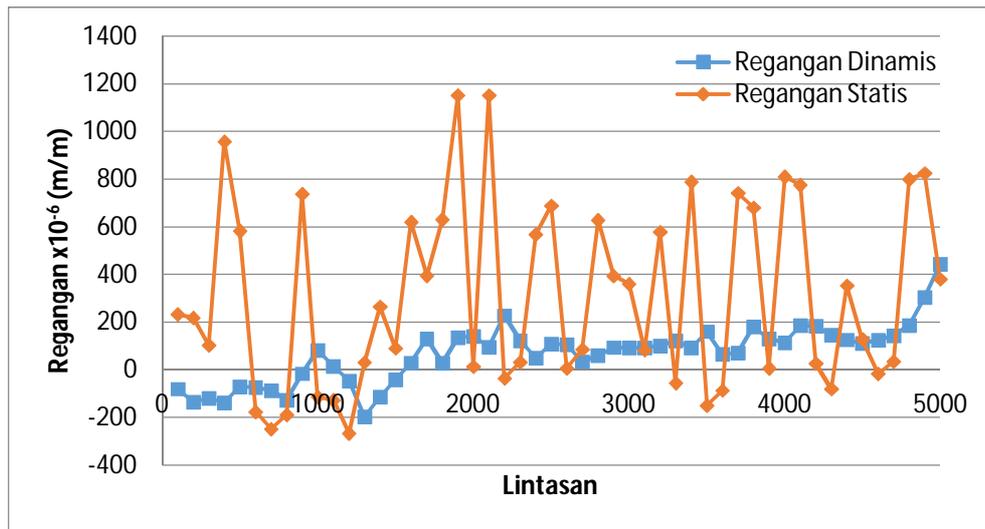
5.2.3.1 Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1

Adapun grafik perbandingan regangan pada perkerasan porus yang diberi beban dinamis dan statis ditunjukkan pada Gambar 5.75 hingga Gambar 5.76.



Gambar 5. 75 Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik B

Dari Gambar 5.75 dapat diketahui perbandingan regangan yang terjadi akibat beban dinamis dan beban statis pada Titik B. Pada lintasan 1400 hingga 3700, regangan akibat beban dinamis cenderung lebih tinggi dengan regangan statis. Hal ini tidak sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai regangannya. Hal ini disebabkan karena pada regangan dengan beban dinamis, beban diberikan secara terus menerus dengan kecepatan yang cukup tinggi sehingga regangan yang terjadi tidak memiliki waktu untuk kembali sebelum diberi beban selanjutnya.

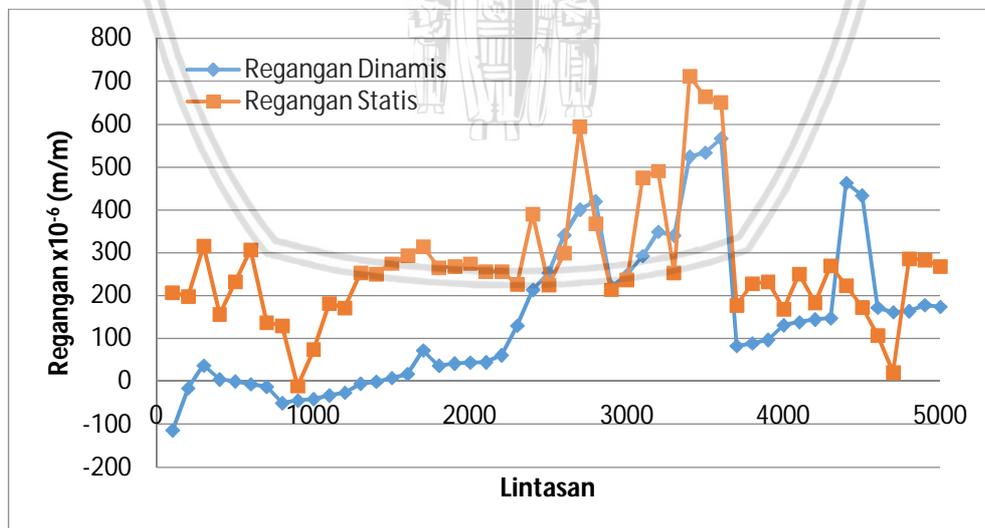


Gambar 5.76 Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik C

Dari Gambar 5.76 diketahui regangan akibat beban statis cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan regangan akibat beban dinamis. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai regangannya.

5.2.3.2 Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2

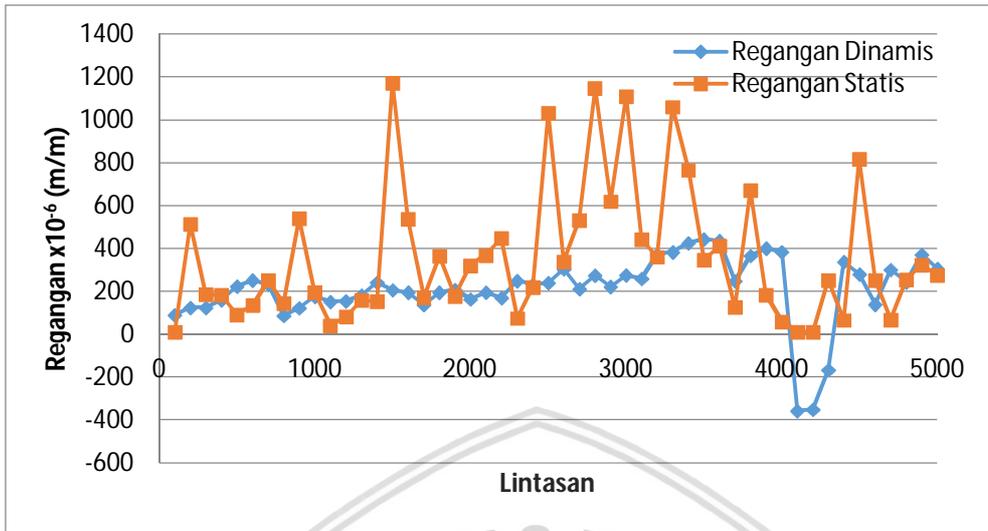
Adapun grafik perbandingan regangan pada perkerasan porus yang diberi beban dinamis dan statis ditunjukkan pada Gambar 5.77 hingga Gambar 5.78.



Gambar 5.77 Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik B

Dari Gambar 5.77 diketahui regangan akibat beban statis cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan regangan akibat beban dinamis. Hal ini sesuai dengan teori yang

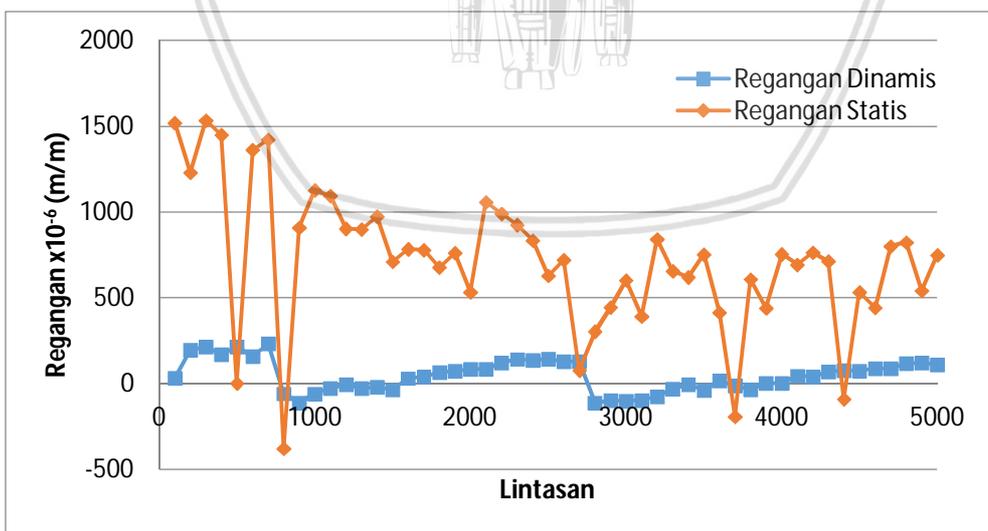
menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai regangannya.



Gambar 5. 78 Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik C

Dari Gambar 5.78 diketahui pada titik C, regangan akibat beban statis cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan regangan akibat beban dinamis. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai regangannya.

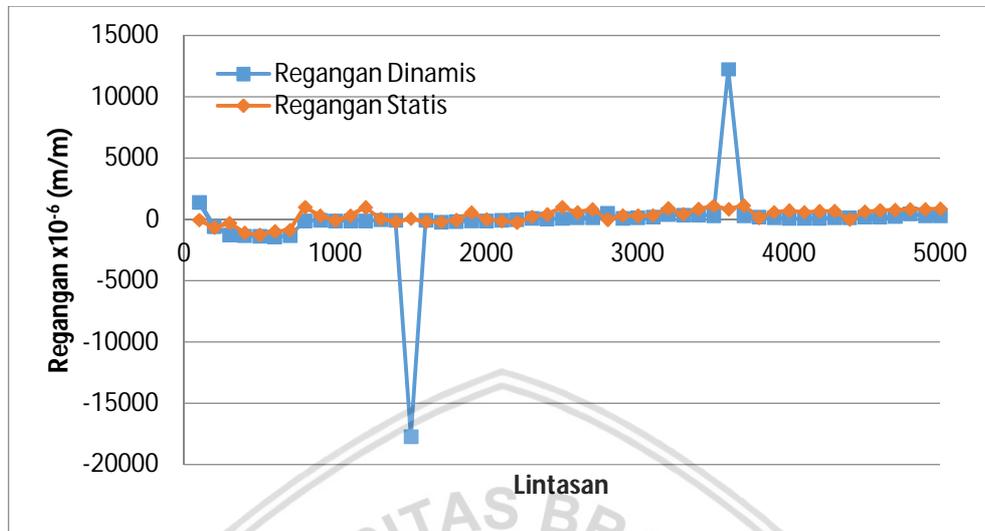
5.2.3.3 Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1



Gambar 5. 79 Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik B

Dari Gambar 5.79 diketahui pada titik B, regangan akibat beban statis cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan regangan akibat beban dinamis. Hal ini sesuai dengan teori

yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai regangannya.

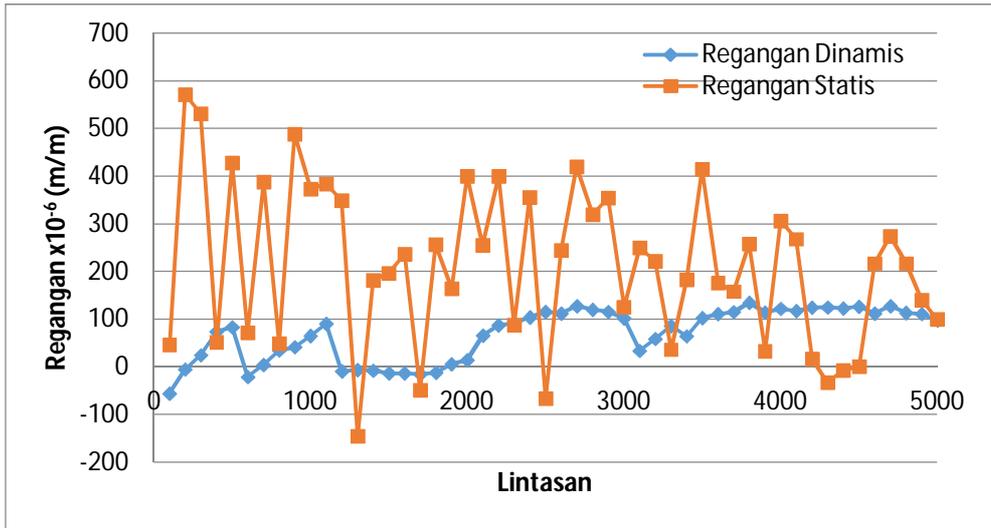


Gambar 5. 80 Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik C

Dari Gambar 5.80 diketahui pada titik C, pada lintasan ke-3600, regangan akibat beban statis cenderung lebih rendah dibandingkan dengan regangan akibat beban dinamis. Hal ini tidak sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai regangannya. Hal ini disebabkan karena pada regangan dengan beban dinamis, beban diberikan secara terus menerus dengan kecepatan yang cukup tinggi sehingga regangan yang terjadi tidak memiliki waktu untuk kembali sebelum diberi beban selanjutnya.

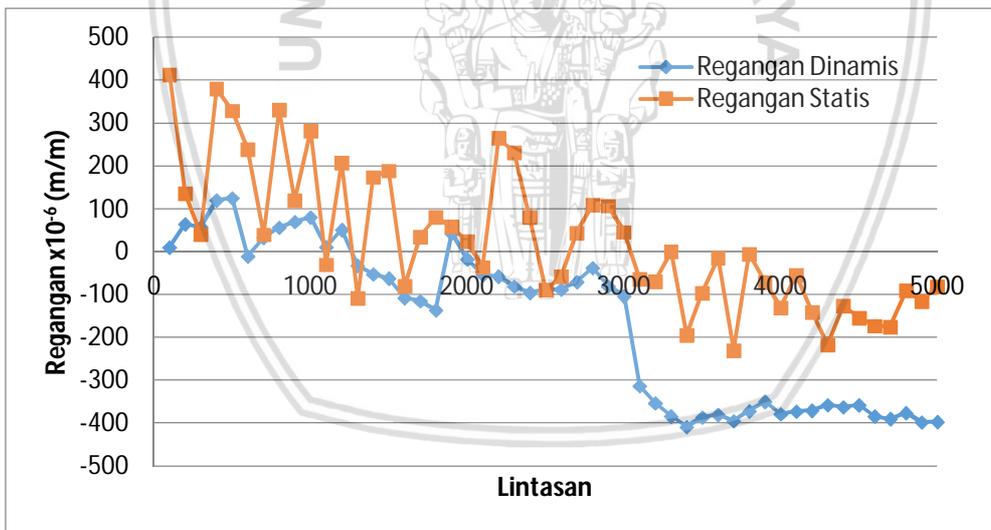
5.2.3.4 Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2

Adapun grafik perbandingan regangan pada perkerasan konvensional yang diberi beban dinamis dan statis ditunjukkan pada Gambar 5.81 hingga Gambar 5.82.



Gambar 5. 81 Regangan Pada Sensor 1 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik B

Dari Gambar 5.81 diketahui pada titik B, regangan akibat beban statis cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan regangan akibat beban dinamis. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai regangannya.

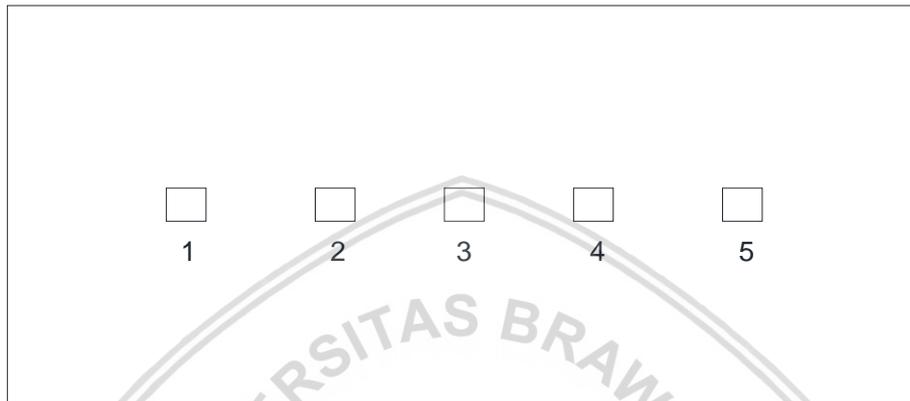


Gambar 5. 82 Regangan Pada Sensor 2 Saat Beban Dinamis dan Statis di Titik C

Dari Gambar 5.82 diketahui pada titik C, regangan akibat beban statis cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan regangan akibat beban dinamis. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin lama suatu material diberi beban, maka semakin tinggi pula nilai regangannya.

5.3. Analisis Deformasi yang Terjadi pada Permukaan Perkerasan Lentur

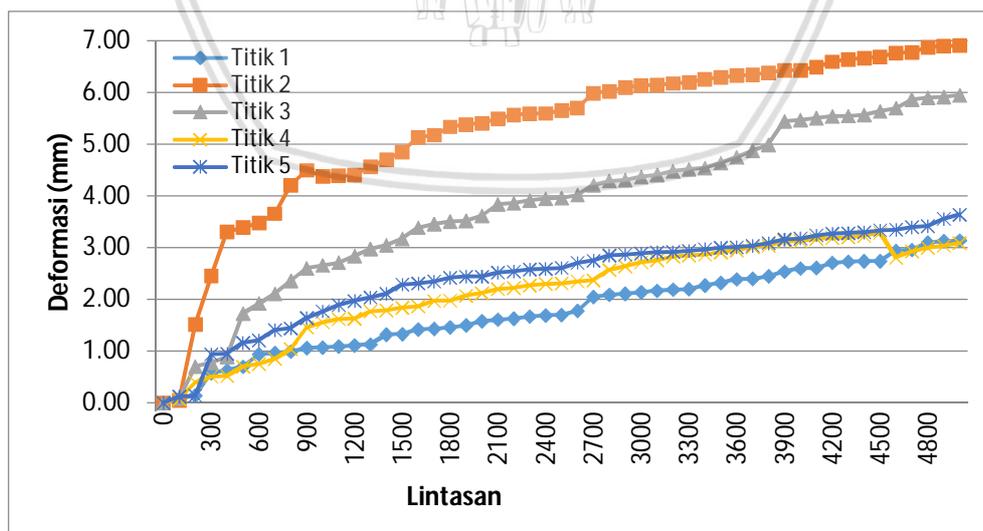
Pengukuran deformasi dilakukan menggunakan jangka sorong digital pada lima lokasi yang ditunjukkan pada Gambar 5.83. Pengukuran tersebut dilakukan tiap 100 lintasan hingga 5000 lintasan pada permukaan aspal. Selama berlangsungnya penelitian terdapat beberapa kendala diantaranya kerusakan alat saat pembacaan, waktu pembacaan data yang tidak berkelanjutan dalam satu waktu.



Gambar 5. 83 Lokasi Pengukuran Deformasi

5.3.1. Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 1

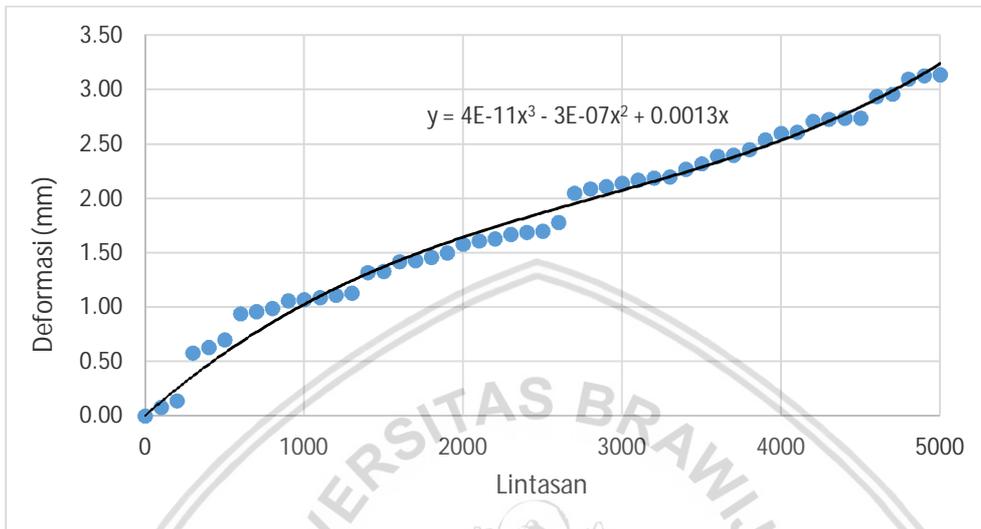
Hasil pengukuran deformasi sebagai hasil respon perkerasan lentur porus terhadap beban berjalan hingga 5000 lintasan ditunjukkan pada Gambar 5.84.



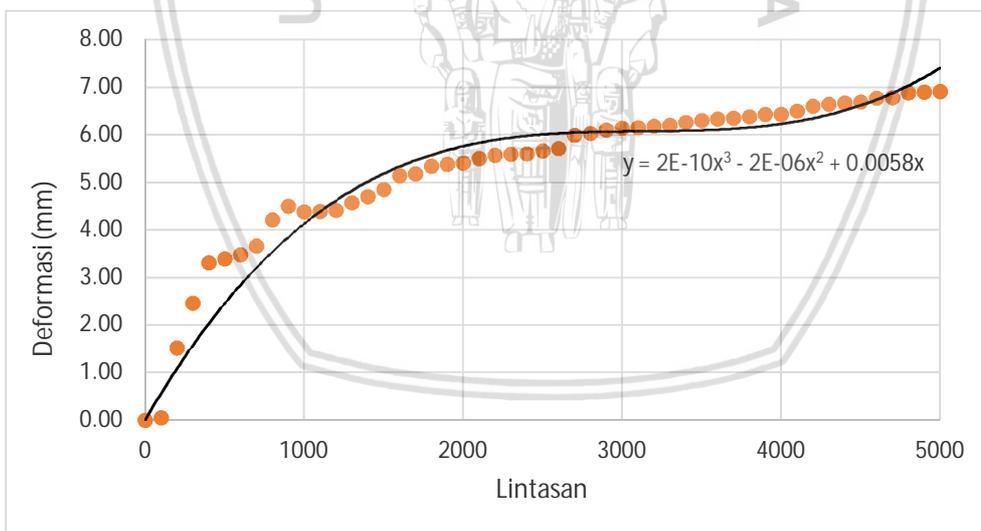
Gambar 5. 84 Hubungan antara Deformasi dengan Jumlah Lintasan pada Aspal Porus

Hubungan antara besarnya deformasi dan jumlah lintasan pada masing-masing titik ditunjukkan pada Gambar 5.85 sampai 5.89. Besarnya lendutan dari setiap titik tinjau

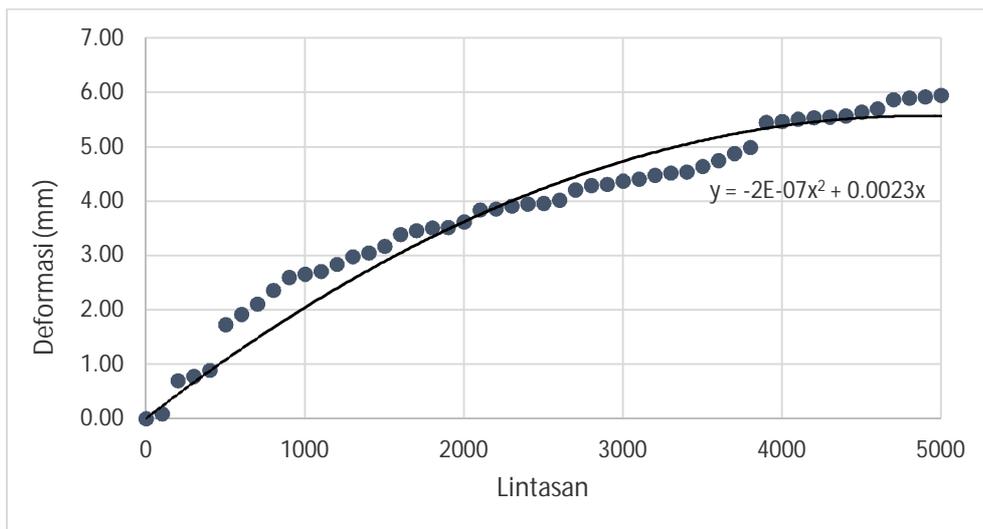
pengukuran cenderung mengalami peningkatan nilai lendutan. Hal ini membuktikan bahwa semakin lama suatu material dibebani maka deformasi atau lendutan yang terjadi akan semakin besar. Adapun dari lima titik yang diuji, didapatkan nilai deformasi maksimum pada lintasan ke-5000 terjadi pada titik 2, yaitu sebesar 6,91 mm.



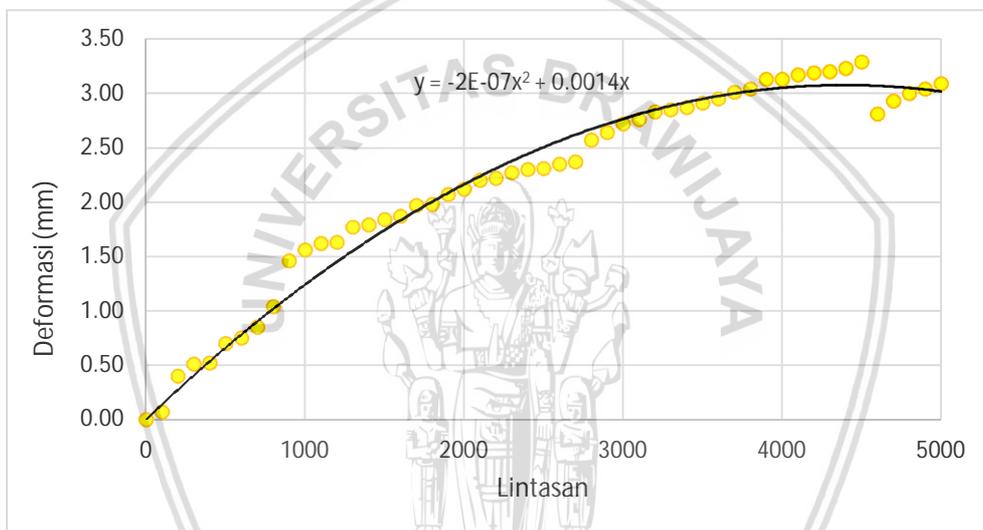
Gambar 5. 85 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 1



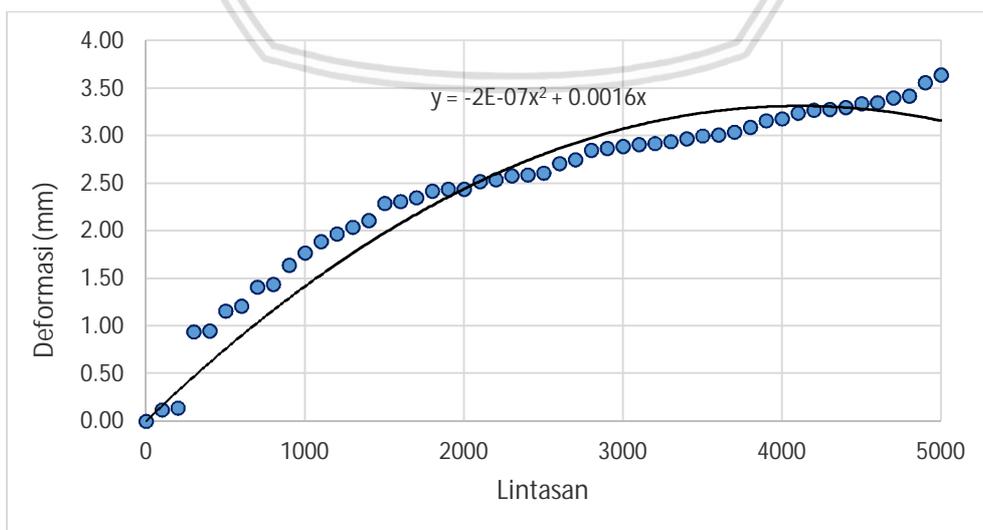
Gambar 5. 86 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 2



Gambar 5. 87 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 3



Gambar 5. 88 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 4

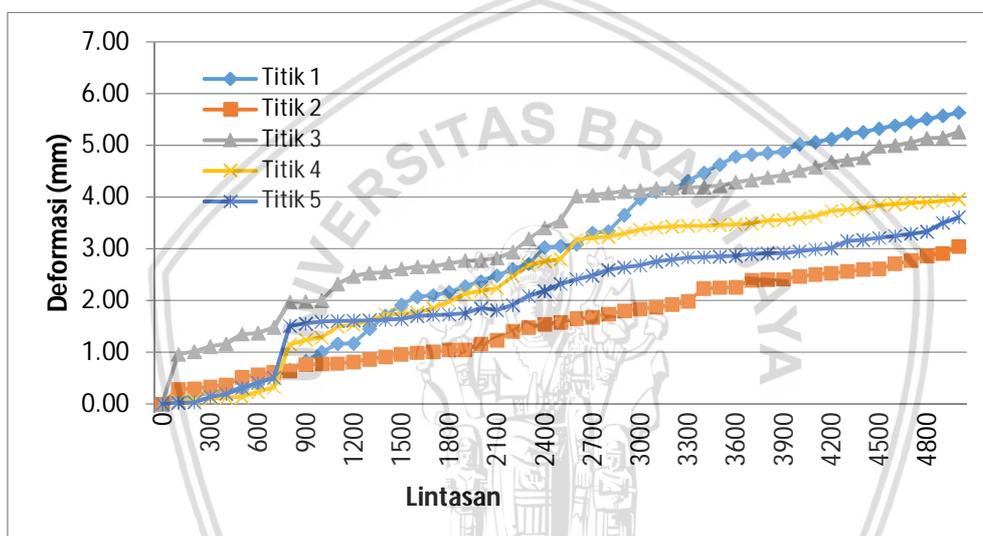


Gambar 5. 89 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 5

Dari Gambar 5.85 hingga Gambar 5.89, pada lintasan tertentu, deformasi yang terjadi meningkat cukup signifikan. Hal ini terjadi karena aspal porus terdiri dari agregat yang berukuran seragam sehingga terdapat rongga kosong pada aspal. Rongga kosong inilah yang menyebabkan aspal akan memampat atau memadat pada lintasan tertentu ketika diberikan beban.

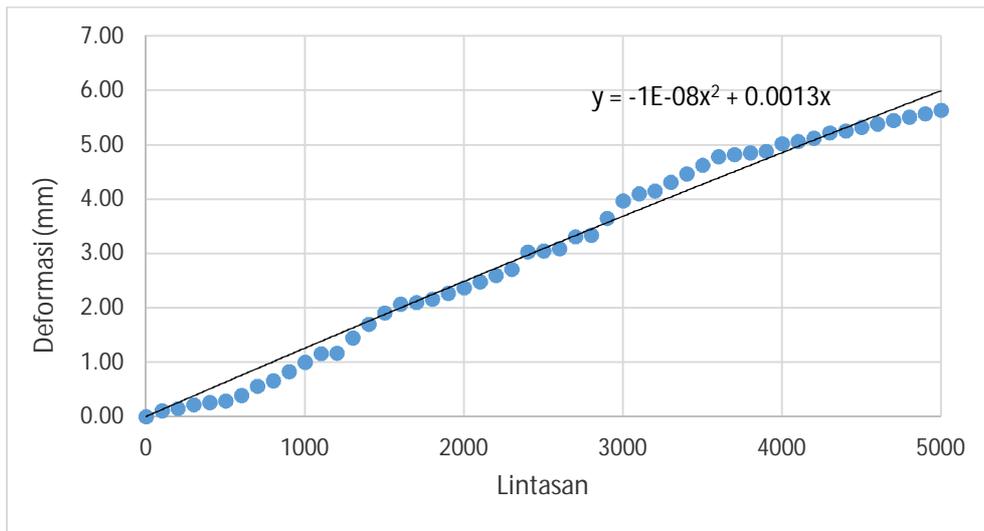
5.3.2. Benda Uji Perkerasan Lentur Porus 2

Hasil pengukuran deformasi sebagai hasil respon perkerasan lentur porus terhadap beban berjalan hingga 5000 lintasan ditunjukkan pada Gambar 5.90.

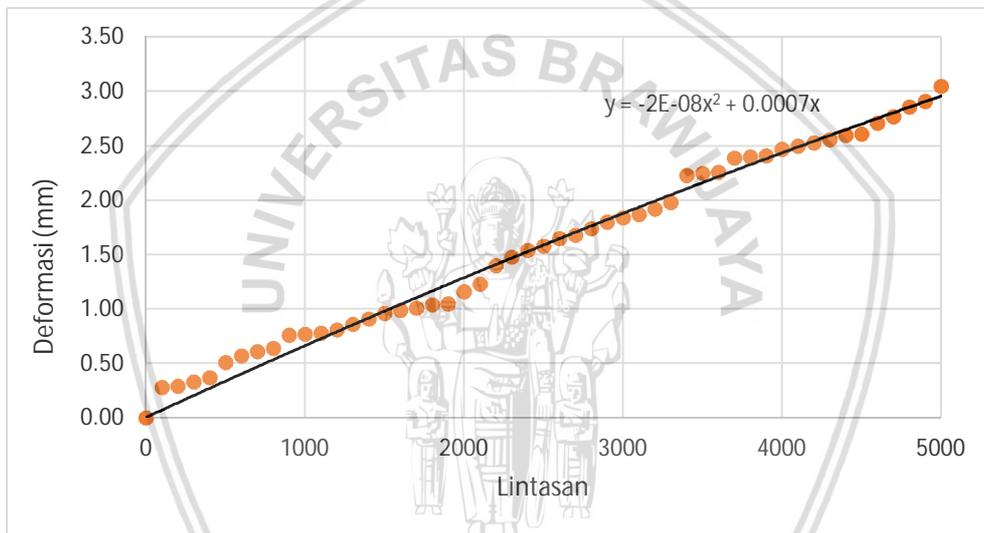


Gambar 5. 90 Hubungan antara Deformasi dengan Jumlah Lintasan pada Aspal Porus

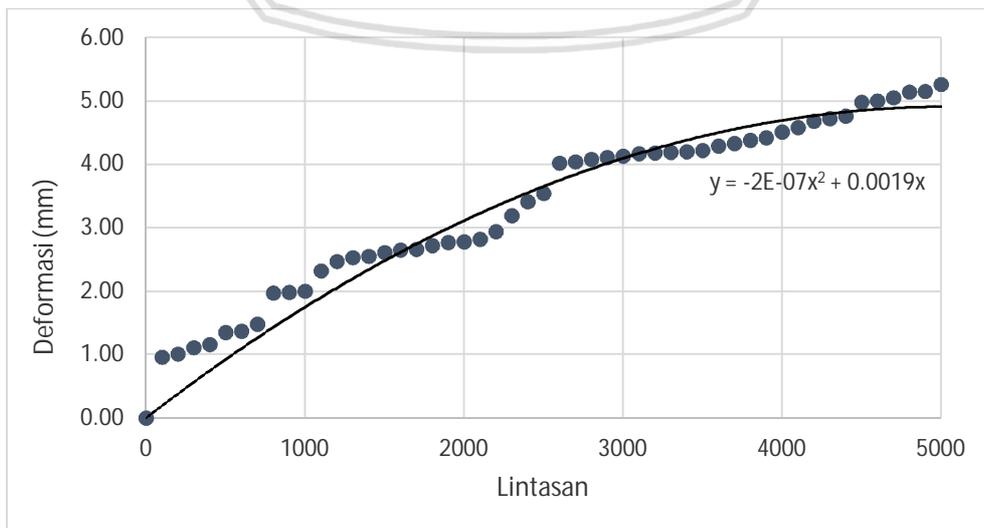
Hubungan antara besarnya deformasi dan jumlah lintasan pada masing-masing titik ditunjukkan pada Gambar 5.91 sampai 5.95. Besarnya lendutan dari setiap titik tinjau pengukuran cenderung mengalami peningkatan nilai lendutan. Hal ini membuktikan bahwa semakin lama suatu material dibebani maka deformasi atau lendutan yang terjadi akan semakin besar. Adapun dari lima titik yang diuji, didapatkan nilai deformasi maksimum pada lintasan ke-5000 terjadi pada titik 1, yaitu sebesar 5,64 mm.



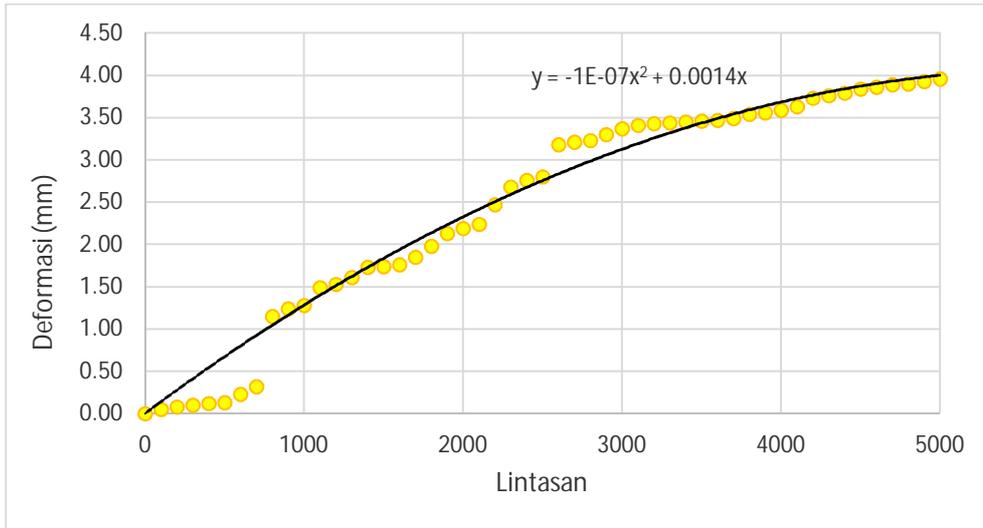
Gambar 5. 91 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 1



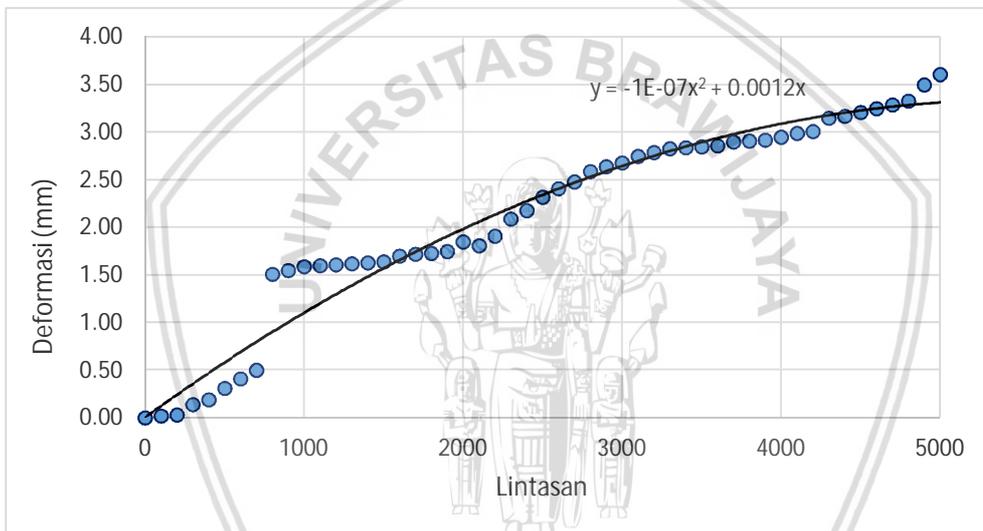
Gambar 5. 92 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 2



Gambar 5. 93 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 3



Gambar 5. 94 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 4



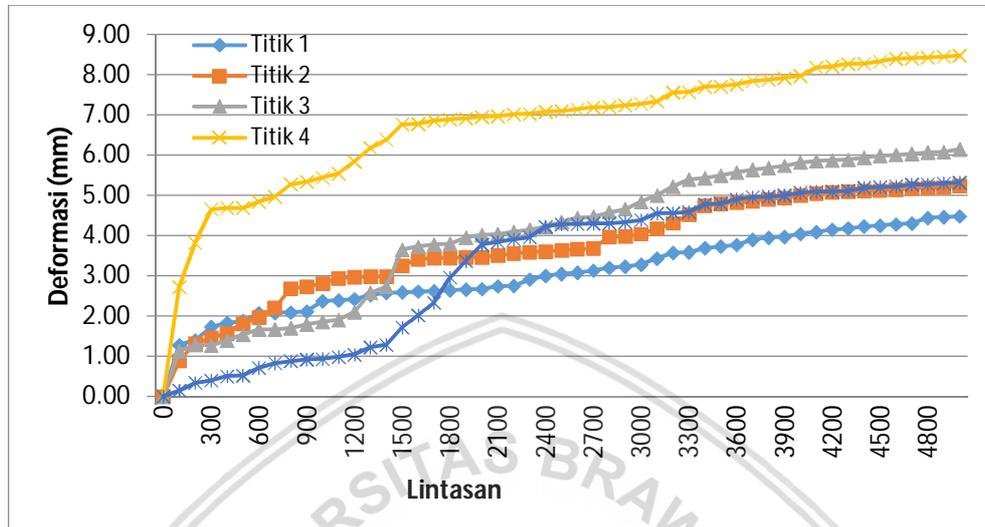
Gambar 5. 95 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 5

Dari Gambar 5.92 dan Gambar 5.93, pada lintasan awal, deformasi yang terjadi meningkat cukup signifikan. Hal ini terjadi karena aspal porus terdiri dari agregat yang berukuran seragam sehingga terdapat rongga kosong pada aspal. Dengan adanya rongga kosong pada aspal, maka pada saat pembebanan awal, aspal akan memampat dan menyebabkan kenaikan deformasi yang tinggi.

Dari Gambar 5.94 dan Gambar 5.95 diketahui bahwa pada lintasan ke-800 nilai deformasi meningkat secara signifikan. Hal ini disebabkan karena pengujian tidak dilakukan secara berkesinambungan sehingga aspal telah mengembang.

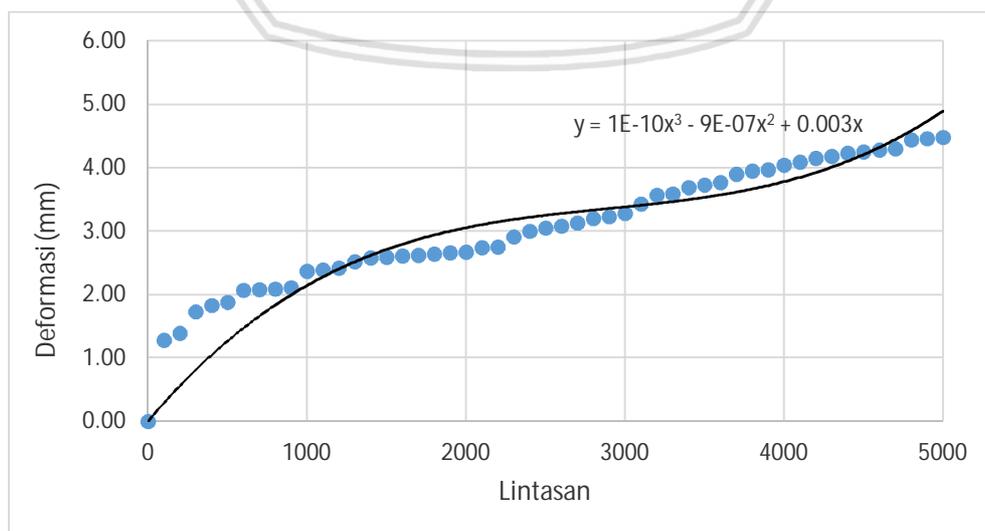
5.3.3. Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 1

Hasil pengukuran deformasi sebagai hasil respon perkerasan lentur konvensional terhadap beban berjalan hingga 5000 lintasan ditunjukkan pada Gambar 5.96.

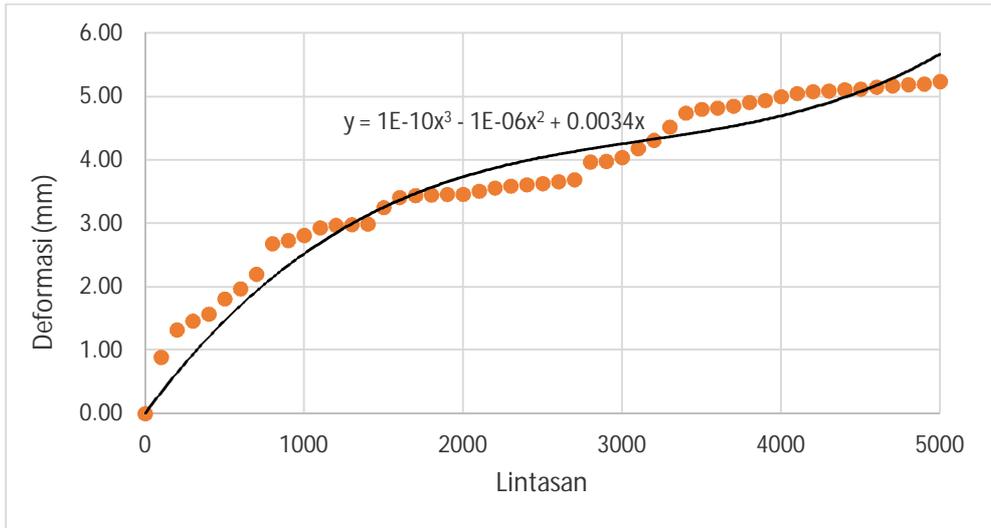


Gambar 5. 96 Hubungan antara Deformasi dengan Jumlah Lintasan pada Aspal Konvensional

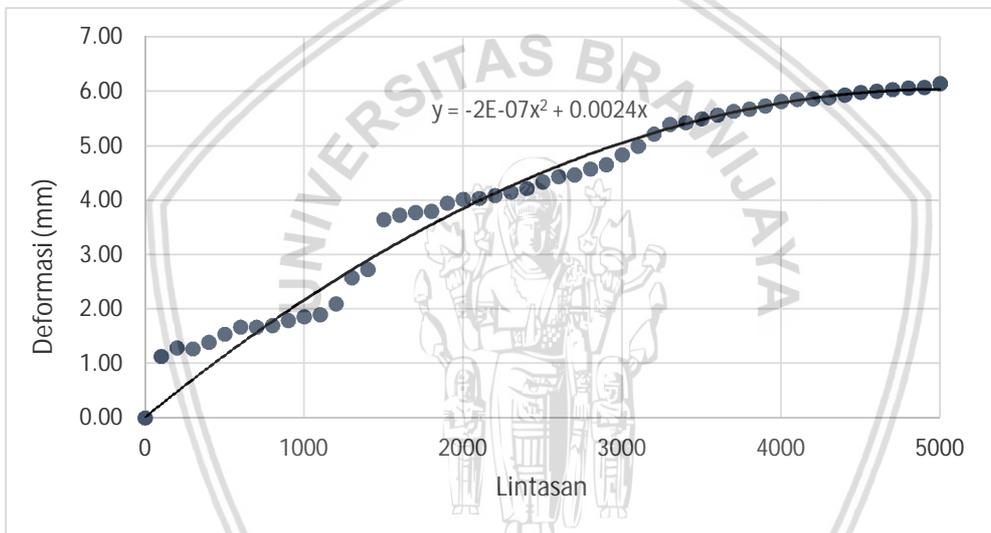
Hubungan antara besarnya deformasi dan jumlah lintasan pada masing-masing titik ditunjukkan pada Gambar 5.97 sampai 5.101. Besarnya lendutan dari setiap titik tinjau pengukuran cenderung mengalami peningkatan nilai lendutan. Hal ini membuktikan bahwa semakin lama suatu material dibebani maka deformasi atau lendutan yang terjadi akan semakin besar. Adapun dari lima titik yang diuji, didapatkan nilai deformasi maksimum pada lintasan ke-5000 terjadi pada titik 4, yaitu sebesar 8,48 mm.



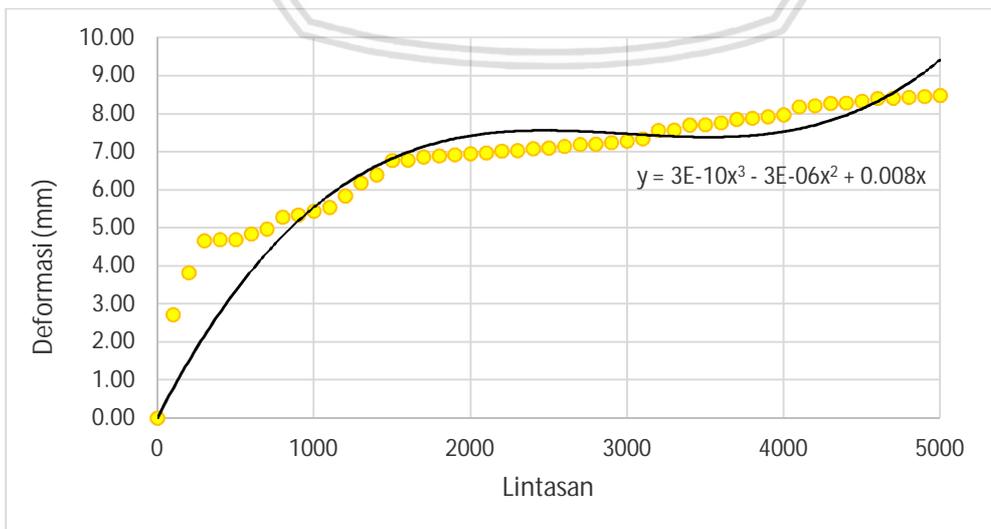
Gambar 5. 97 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 1



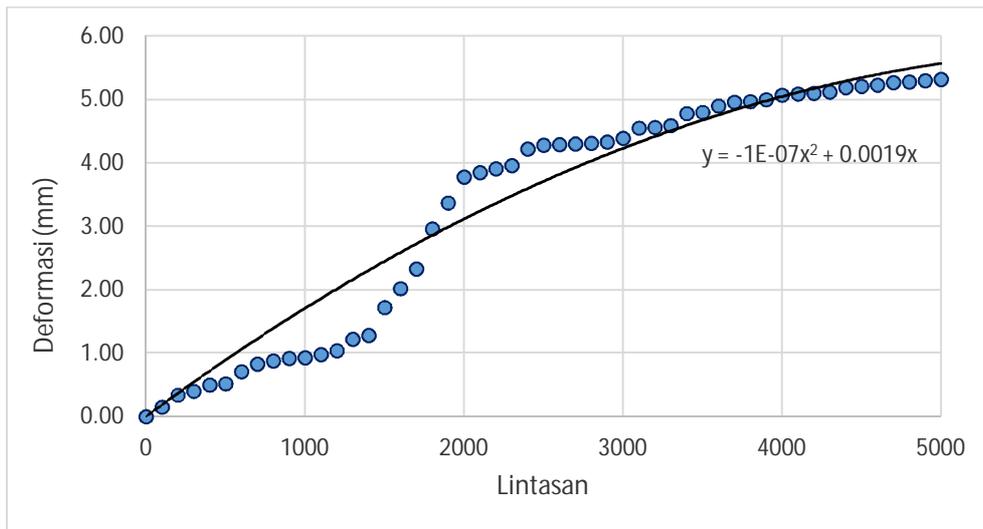
Gambar 5. 98 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 2



Gambar 5. 99 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 3



Gambar 5. 100 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 4

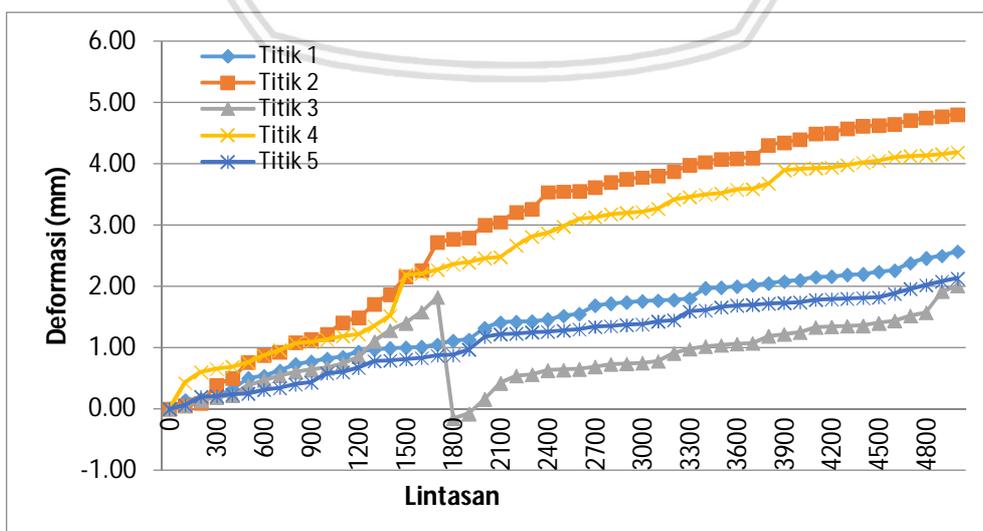


Gambar 5. 101 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 5

Dari Gambar 5.97 hingga Gambar 5.100 terlihat pada lintasan ke-100 deformasi yang terjadi meningkat cukup signifikan. Hal ini terjadi karena adanya rongga kosong pada aspal sehingga pada pembebanan awal, aspal akan memampat dan menyebabkan kenaikan deformasi yang tinggi. Sedangkan pada Gambar 5.101, lintasan ke-2000 nilai deformasi meningkat secara signifikan karena pengujian tidak dilakukan secara berkesinambungan sehingga aspal telah mengembang.

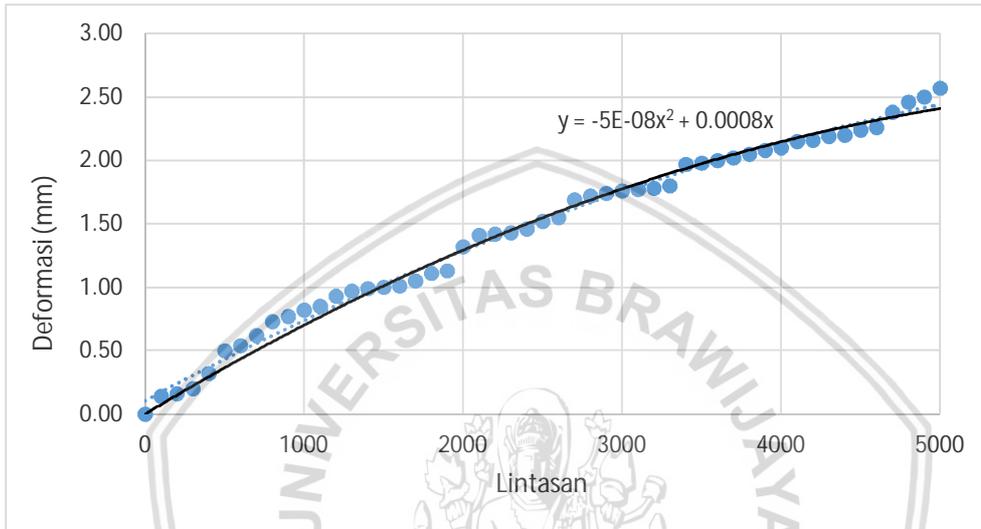
5.3.4. Benda Uji Perkerasan Lentur Konvensional 2

Hasil pengukuran deformasi sebagai hasil respon perkerasan lentur konvensional terhadap beban berjalan hingga 5000 lintasan ditunjukkan pada Gambar 5.102.

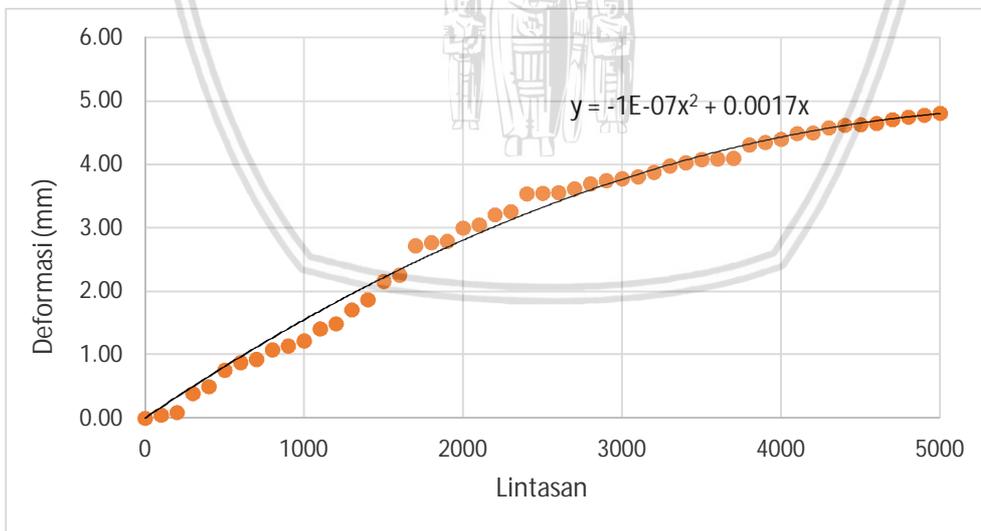


Gambar 5. 102 Hubungan antara Deformasi dengan Jumlah Lintasan pada Aspal Konvensional

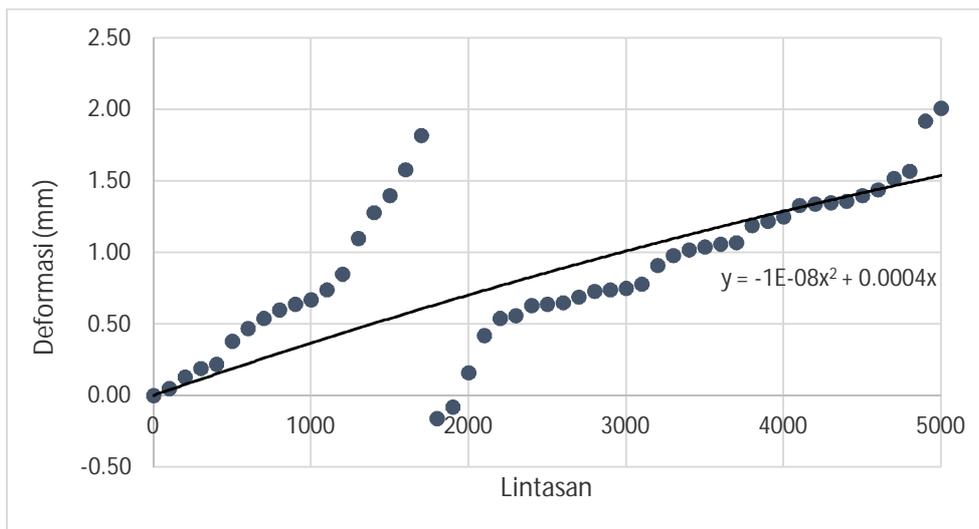
Hubungan antara besarnya deformasi dan jumlah lintasan pada masing-masing titik ditunjukkan pada Gambar 5.103 sampai 5.107. Besarnya lendutan dari setiap titik tinjau pengukuran cenderung mengalami peningkatan nilai lendutan. Hal ini membuktikan bahwa semakin lama suatu material dibebani maka deformasi atau lendutan yang terjadi akan semakin besar. Adapun dari lima titik yang diuji, didapatkan nilai deformasi maksimum pada lintasan ke-5000 terjadi pada titik 2, yaitu sebesar 4,81 mm.



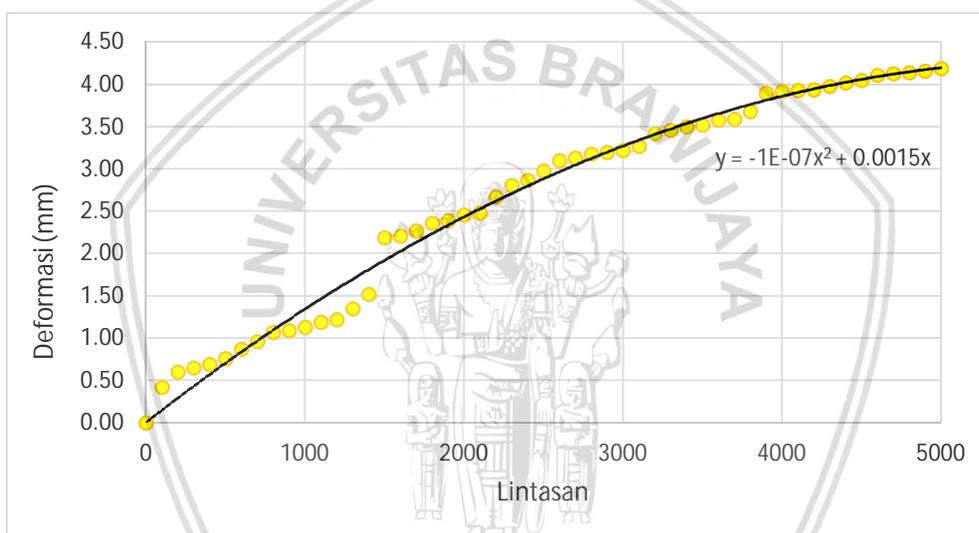
Gambar 5. 103 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 1



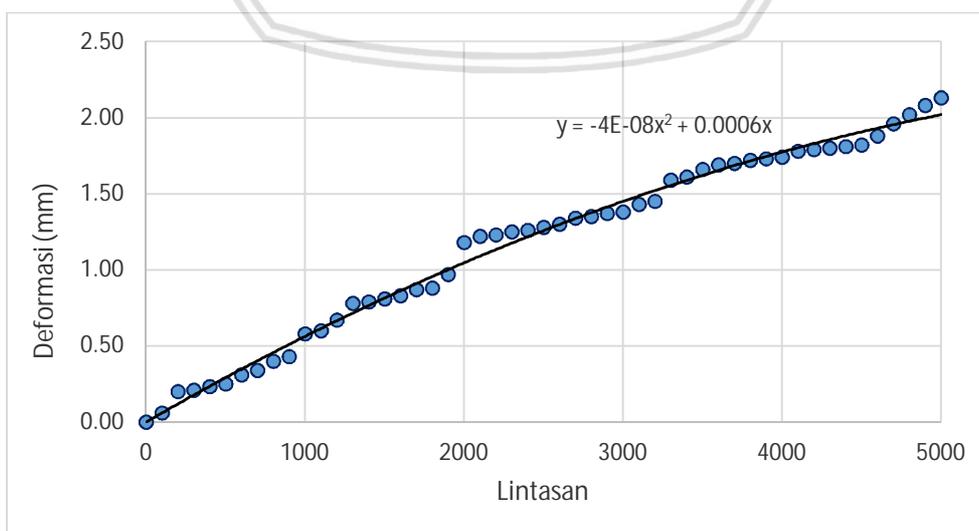
Gambar 5. 104 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 2



Gambar 5. 105 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 3



Gambar 5. 106 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 4



Gambar 5. 107 Hubungan antara Deformasi dan Jumlah Lintasan pada Titik 5

Dari Gambar 5.105 diketahui bahwa pada lintasan ke-1700 nilai deformasi meningkat secara signifikan karena pengujian tidak dilakukan secara berkesinambungan sehingga aspal telah mengembang.

5.3.5. Analisis Deformasi yang Terjadi pada Permukaan Perkerasan Lentur

Berdasarkan hasil pengukuran deformasi yang dilakukan terhadap 4 Benda Uji dapat dilihat bahwa besarnya deformasi dari setiap titik tinjau pengukuran cenderung mengalami peningkatan nilai deformasi. Hal ini membuktikan bahwa semakin lama suatu material dibebani maka deformasi atau lendutan yang terjadi pada permukaan perkerasan lentur akan semakin besar.

Adapun terjadinya penurunan pada data deformasi disebabkan oleh pengukuran yang tidak dilakukan secara berkesinambungan sehingga material mengalami proses kembali ke posisi awal. Dan ketika dilakukan pengukuran kembali maka akan terjadi penurunan nilai hasil pembacaan dari sebelumnya.

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan dapat diketahui bahwa deformasi yang terjadi pada perkerasan lentur porus cenderung lebih besar dibandingkan dengan deformasi yang terjadi pada perkerasan lentur konvensional. Namun pada beberapa titik pengamatan, perkerasan lentur konvensional memiliki nilai deformasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan perkerasan lentur porus.

Peningkatan deformasi yang terjadi di awal lintasan bernilai besar jika dibandingkan dengan lintasan setelahnya karena terjadinya proses pemadatan awal dari material dimana rongga-rongga udara antar agregat mulai memadat.

Dari hasil uji statistik yang dilakukan dengan menggunakan metode ANOVA dua arah pada benda uji perkerasan lentur porus 1 dengan benda uji perkerasan lentur konvensional 1 dan benda uji perkerasan lentur porus 2 dan benda uji perkerasan lentur konvensional 2, diperoleh hasil bahwa terdapat perbedaan nilai lendutan yang signifikan antara perkerasan lentur porus dan perkerasan lentur konvensional.

BAB VI

PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan mengenai tegangan dan regangan yang terjadi sebagai berikut :

1. Perkerasan lentur konvensional lebih padat sehingga lebih kaku maka tegangan yang sampai pada sensor menjadi kecil, sedangkan untuk perkerasan lentur porous tidak padat sehingga tidak kaku maka tegangan yang sampai pada sensor masih besar.
2. Regangan yang terjadi pada perkerasan lentur konvensional lebih kecil daripada yang terjadi pada perkerasan lentur porous.
3. Regangan yang diukur dengan skala semi lapangan akibat beban dinamis lebih kecil daripada regangan akibat beban statis.
4. Tegangan yang terjadi pada lapis pondasi merupakan tegangan tekan dimana nilai maksimum berada tepat di bawah roda dan akan semakin berkurang seiring dengan menjauhnya beban roda. Namun pada beberapa kondisi, tegangan maksimum yang terjadi tidak tepat berada di bawah roda.
5. Tegangan dengan skala semi lapangan akibat beban dinamis cenderung lebih besar daripada tegangan akibat beban statis.

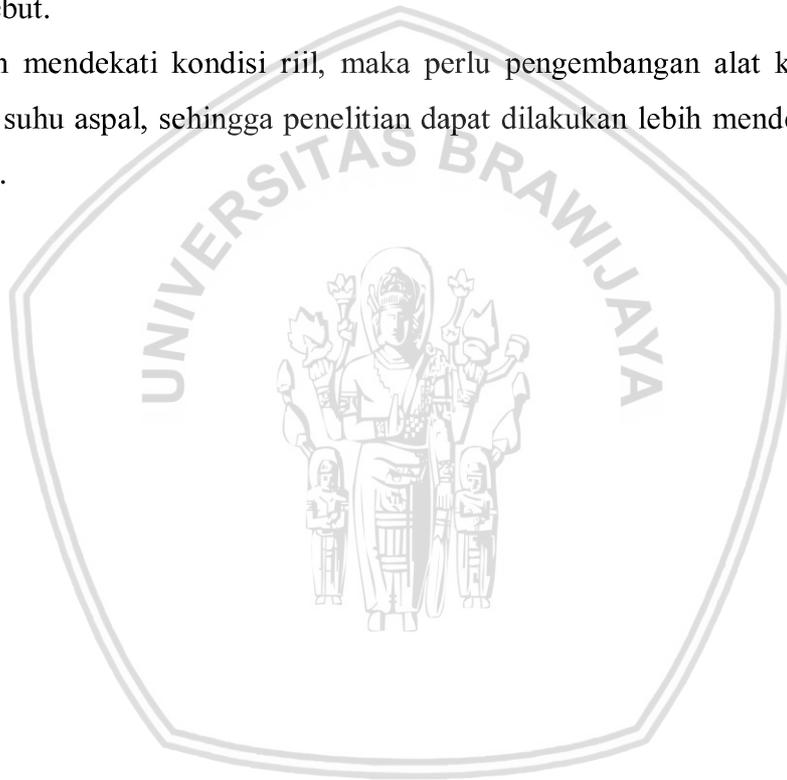
Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan mengenai deformasi yang terjadi sebagai berikut :

1. Kepadatan perkerasan lentur porous yang kecil mengakibatkan deformasi akibat beban roda yang melintas menjadi besar.
2. Deformasi yang terjadi pada perkerasan lentur konvensional lebih kecil daripada yang terjadi pada perkerasan lentur porous.
3. Deformasi yang terjadi pada permukaan aspal akibat beban roda yang melintas semakin bertambah besar seiring dengan bertambahnya jumlah lintasan.
4. Adanya jeda waktu pada pengujian akan berpengaruh pada besarnya deformasi.

6.2. Saran

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

1. Untuk mendapatkan data-data yang valid maka pembacaan data harus dikembangkan dengan penambahan peralatan khusus yang langsung menghasilkan nilai tegangan dan regangan serta grafik secara elektronik, hal ini akan mempersingkat waktu penelitian dan menghindari kesalahan pembacaan data secara manual.
2. Pada penelitian selanjutnya, sebaiknya sensor dipasang lebih jauh dari titik jatuh roda, agar hentakan akibat beban tidak mempengaruhi tegangan yang diterima oleh sensor tersebut.
3. Untuk lebih mendekati kondisi riil, maka perlu pengembangan alat khusus untuk pengaturan suhu aspal, sehingga penelitian dapat dilakukan lebih mendekati kondisi di lapangan.



DAFTAR PUSTAKA

- Amaliyah, E. F., & Widiningrum, T. A. (2015). *Analisa Tegangan Dan Regangan Pada Perkerasan Porus Dengan Skala Semi Lapangan Dan Software Ansys*.
- Basuki, R., & Machus. (2007). *Penambahan Gilsonite Resin Pada Aspal Prima 55 Untuk Meningkatkan Kekuatan Perkerasan Hot Mix*. Jurnal Aplikasi Vol 3, No.1
- Djumari, & Sarwono, D. (2009). *Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material Lokal Dengan Metode Pemampatan Kering*. Jurnal Petra Vol 9 No 1
- Ferguson, K. (2005). *Porous Pavement*. USA: Taylor and Francis
- Hardiman. (2007). *Engineering Propertied and Clogging Behaviour of Double Layer Porous Asphalt*. PhD Thesis, Universiti Sains Malaysia.
- Hardiman. (2008). *The Comparison Of Engineering Properties Between Single And Double Layer Porous Asphalt Made Of Packing Gradation*.
- Huber, G. (2000). *Performance Survey On Open Graded Friction Course Mixes*. National Co-Operative Highway Research Program, Synthesis Of Highway Practice 284. Washington DC: Transportation Research Board, National Academy Press
- Kim, M. (2007). *Three-Dimensional Finite Element Analysis Of Flexible Pavements Considering Nonlinear Pavement Foundation Behavior*.
- Liu, M., Huang, X., & Xue, G. (2016). *Effects Of Double Layer Porous Asphalt Pavement Of Urban Streets On Noise Reduction*. International Journal of Sustainable Built Environment, 183-196.
- Malik, K. (2013). *Pengaruh Variasi Gradasi Agregat Batu Pecah Terhadap Daya Dukung Dan Permeabilitas Pada Lapis Pondasi Porous Pavement*.
- Moriyoshi, A., Toshiroji, Nakai, T., Ishikawa, H., Tokumitsu, K., & Kasahara, A. (2014). *Construction And Pavement Properties After Seven Years In Porous Asphalt With Long Life*. Construction and Building Materials, 401-413.
- Qian, Z., & Lu, Q. (2015). *Design And Laboratory Evaluation Of Small Particle Porous Epoxy Asphalt Surface Mixture For Roadway Pavements*. Construction and Building Materials, 110-116.
- Rachmawati, D. D., & Dewi, F. R. (2015). *Analisa Tegangan Dan Regangan Pada Pondasi Perkerasan Porus Dengan Skala Semi Lapangan Dan Software ANSYS*.
- Ramadhan, N., & Burhanuddin, R. R. (2014). *Pengaruh Penambahan Additive Gilsonite Hma Modifier Grade Terhadap Kinerja Aspal Porus*.
- Read, J., & Whiteoak, D. (2003). *The Shell Bitumen Handbook 5th Edition*. London: Thomas Telford Publishing
- Riyana, R. E., & Arung, V. N. (2016). *Analisis Tegangan, Regangan, Dan Deformasi Pada Perkerasan Lentur Porus Dan Konvensional Dengan Skala Semi Lapangan*.



- Sugiharto, K. (2015). *Struktur Perkerasan Porus Menggunakan Pembebanan Skala Model*.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: penerbit Nova
- Tanzadeh, J., & Shahrezagamasaei, R. (2017). *Laboratory Assessment Of Hybrid Fiber And Nano-Silica On Reinforced Porous Asphalt Mixtures*. *Construction and Building Materials*, 260-270.
- 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
- Zhang, Y., van de Ven, M. F., Molenaar, A. A., & Wu, S. P. (2016). *Assessment Of Effectiveness Of Rejuvenator On Artificially Aged Porous Asphalt Concrete*. *Construction and Building Materials*, 286-292.



Lampiran 1.

Deformasi perkerasan lentur porus 1 dan perkerasan lentur konvensional 1

Uji Normalitas

Tests of Normality							
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Jenis_Aspal	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Lendutan	Porus	,116	250	,000	,954	250	,000
	Konvensional	,053	250	,089	,982	250	,003

a. Lilliefors Significance Correction

ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable: Lendutan						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	514,744 ^a	5	102,949	38,046	,000	
Intercept	6849,093	1	6849,093	2531,189	,000	
Jenis_Aspal	148,898	1	148,898	55,027	,000	
Titik	365,846	4	91,462	33,801	,000	
Error	1336,705	494	2,706			
Total	8700,541	500				
Corrected Total	1851,449	499				

a. R Squared = ,278 (Adjusted R Squared = ,271)



Lampiran 2.

Deformasi perkerasan lentur porus 2 dan perkerasan lentur konvensional 2

Uji Normalitas

Tests of Normality							
Jenis_Aspal		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Lendutan	Porus	,043	250	,200 [*]	,978	250	,001
	Konvensional	,122	250	,000	,923	250	,000

*. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable: Lendutan						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	104,065 ^a	5	20,813	11,759	,000	
Intercept	2411,924	1	2411,924	1362,706	,000	
Jenis_Aspal	58,877	1	58,877	33,265	,000	
Titik	45,188	4	11,297	6,383	,000	
Error	874,356	494	1,770			
Total	3390,346	500				
Corrected Total	978,422	499				

a. R Squared = ,106 (Adjusted R Squared = ,097)

Lampiran 3.

Tegangan Dinamis Perkerasan lentur porous 1 dan perkerasan lentur konvensional 1

Uji Normalitas

Tests of Normality							
	Jenis_Aspal	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Tegangan_Dinamis	Porus	,065	150	,200*	,979	150	,024
	Konvensional	,229	150	,000	,866	150	,000

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable: Tegangan_Dinamis						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	26,830 ^a	3	8,943	64,226	,000	
Intercept	75,234	1	75,234	540,290	,000	
Jenis_Aspal	5,497	1	5,497	39,478	,000	
Titik	21,333	2	10,666	76,600	,000	
Error	41,217	296	,139			
Total	143,282	300				
Corrected Total	68,047	299				

a. R Squared = ,394 (Adjusted R Squared = ,388)

Lampiran 4.

Tegangan Dinamis Perkerasan lentur porous 2 dan perkerasan lentur konvensional 2

Uji Normalitas

Tests of Normality							
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Jenis_Aspal	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Tegangan_Dinamis	Porus	,116	150	,000	,976	150	,010
	Konvensional	,151	150	,000	,913	150	,000

a. Lilliefors Significance Correction

ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Tegangan_Dinamis					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8,715 ^a	3	2,905	37,487	,000
Intercept	57,550	1	57,550	742,605	,000
Jenis_Aspal	5,025	1	5,025	64,846	,000
Titik	3,690	2	1,845	23,807	,000
Error	22,939	296	,077		
Total	89,204	300			
Corrected Total	31,654	299			

a. R Squared = ,275 (Adjusted R Squared = ,268)

Lampiran 5.

Tegangan Statis Perkerasan lentur porus 1 dan perkerasan lentur konvensional 1

Uji Normalitas

Tests of Normality							
	Jenis_Aspal	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Tegangan_Statis	Porus	,071	150	,063	,890	150	,000
	Konvensional	,141	150	,000	,867	150	,000

a. Lilliefors Significance Correction

ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Tegangan_Statis					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	128,616 ^a	3	42,872	193,401	,000
Intercept	82,719	1	82,719	373,156	,000
Jenis_Aspal	30,778	1	30,778	138,842	,000
Titik	97,838	2	48,919	220,680	,000
Error	65,616	296	,222		
Total	276,950	300			
Corrected Total	194,231	299			

a. R Squared = ,662 (Adjusted R Squared = ,659)

Lampiran 6.

Tegangan Statis Perkerasan lentur porous 2 dan perkerasan lentur konvensional 2

Uji Normalitas

Tests of Normality							
	Jenis_Aspal	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Tegangan_Statis	Porus	,056	150	,200*	,989	150	,301
	Konvensional	,111	150	,000	,940	150	,000

*. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable: Tegangan_Statis						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	22,980 ^a	3	7,660	100,952	,000	
Intercept	32,177	1	32,177	424,058	,000	
Jenis_Aspal	3,324	1	3,324	43,811	,000	
Titik	19,656	2	9,828	129,522	,000	
Error	22,460	296	,076			
Total	77,617	300				
Corrected Total	45,440	299				

a. R Squared = ,506 (Adjusted R Squared = ,501)

Lampiran 7.

Regangan Dinamis Perkerasan lentur porous 1 dan perkerasan lentur konvensional 1

Uji Normalitas

Tests of Normality							
Jenis_Aspal	Statistic	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Regangan_Dinamis Porus	,343	100	,000	,697	100	,000	
Konvensional	,401	100	,000	,249	100	,000	

a. Lilliefors Significance Correction

ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Regangan_Dinamis					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9,977E+10 ^a	2	4,988E+10	45,928	,000
Intercept	4,961E+10	1	4,961E+10	45,676	,000
Jenis_Aspal	4,992E+10	1	4,992E+10	45,961	,000
Titik	4,985E+10	1	4,985E+10	45,895	,000
Error	2,140E+11	197	1086135118		
Total	3,633E+11	200			
Corrected Total	3,137E+11	199			

a. R Squared = ,318 (Adjusted R Squared = ,311)

Lampiran 8.

Regangan Dinamis Perkerasan lentur porus 2 dan perkerasan lentur konvensional 2

Uji Normalitas

Tests of Normality							
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Jenis_Aspal	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Regangan_Dinamis	Porus	,067	100	,200 [*]	,980	100	,123
	Konvensional	,185	100	,000	,800	100	,000

*. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable: Regangan_Dinamis						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	2917215,40 ^a	2	1458607,699	50,976	,000	
Intercept	904122,492	1	904122,492	31,597	,000	
Jenis_Aspal	2574852,168	1	2574852,168	89,986	,000	
Titik	342363,230	1	342363,230	11,965	,001	
Error	5636915,049	197	28613,782			
Total	9458252,939	200				
Corrected Total	8554130,447	199				

a. R Squared = ,341 (Adjusted R Squared = ,334)

Lampiran 9.

Regangan Statis Perkerasan lentur porus 1 dan perkerasan lentur konvensional 1

Uji Normalitas

Tests of Normality							
Jenis_Aspal	Statistic	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Regangan_Statis	Porus	,344	100	,000	,748	100	,000
	Konvensional	,057	100	,200 [*]	,982	100	,200

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable: Regangan_Statis						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	945286665 ^a	2	472643332,3	,204	,816	
Intercept	214532826,6	1	214532826,6	,092	,761	
Jenis_Aspal	527355030,8	1	527355030,8	,227	,634	
Titik	417931633,8	1	417931633,8	,180	,672	
Error	4,569E+11	197	2319383616			
Total	4,581E+11	200				
Corrected Total	4,579E+11	199				

a. R Squared = ,002 (Adjusted R Squared = -,008)

Lampiran 10.

Regangan Statis Perkerasan lentur porous 2 dan perkerasan lentur konvensional 2

Uji Normalitas

Tests of Normality							
	Jenis_Aspal	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Regangan_Statis	Porus	,195	100	,000	,825	100	,000
	Konvensional	,081	100	,099	,977	100	,072

a. Lilliefors Significance Correction

ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects						
Dependent Variable: Regangan_Statis						
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Corrected Model	2019170,50 ^a	2	1009585,250	20,663	,000	
Intercept	9523120,820	1	9523120,820	194,907	,000	
Jenis_Aspal	1907495,120	1	1907495,120	39,040	,000	
Titik	111675,380	1	111675,380	2,286	,132	
Error	9625388,680	197	48859,841			
Total	21167680,00	200				
Corrected Total	11644559,18	199				

a. R Squared = ,173 (Adjusted R Squared = ,165)