



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH TEMPERATUR DAN PEMBEBANAN
TERHADAP SIFAT MEKANIS
BETON ASPAL CAMPURAN PANAS AC-WC DAN HRS**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia**

**NAMA : EVA AZHRA LATIFA
NPM : 0806423513**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN TRANSPORTASI
PROGRAM PASCASARJANA BIDANG ILMU TEKNIK
UNIVERSITAS INDONESIA
JANUARI 2011**

Universitas Indonesia



UNIVERSITY OF INDONESIA

**TEMPERATURE AND LOADING EFFECTS
ON THE MECHANICAL PROPERTIES
OF AC-WC AND HRS HOTMIX ASPHALT CONCRETE**

THESIS

As a part of the requirements needed to achieve master's degree in postgraduate engineering program of the Faculty of Engineering, University of Indonesia.

**NAME : EVA AZHRA LATIFA
STUDENT ID : 0806423513**

**CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
MAJORING TRANSPORTATION
POST GRADUATE ENGINEERING PROGRAM
UNIVERSITY OF INDONESIA
JANUARY 2011**

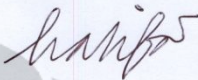
Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

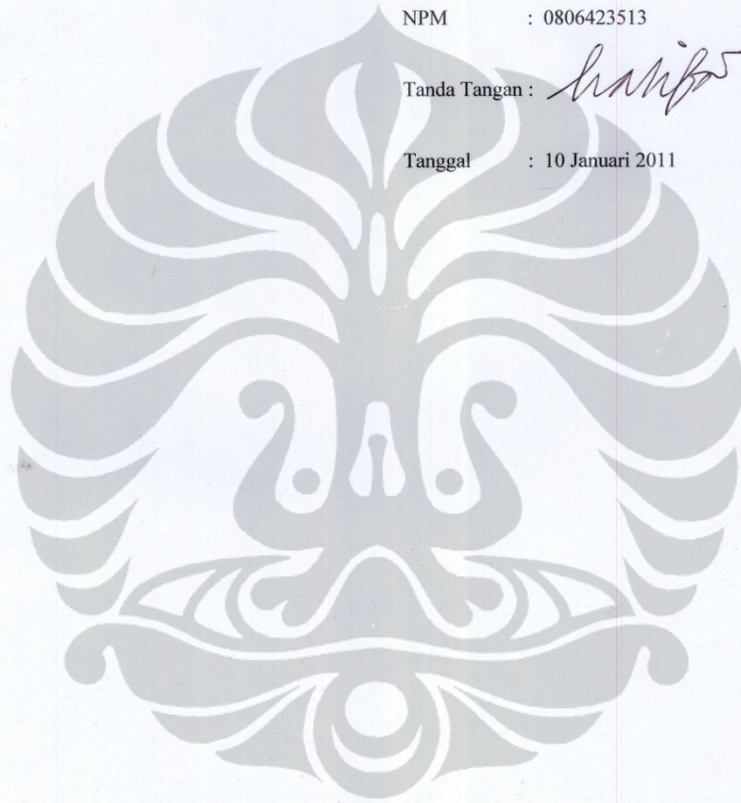
Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Eva Azhra Latifa

NPM : 0806423513

Tanda Tangan : 

Tanggal : 10 Januari 2011



AUTHENTICATION PAGE

I hereby declare that the thesis titled Temperature and Loading Effects On The Mechanical Properties Of AC-WC And HRS HotMix Asphalt Concrete is authentically my own work, and all sources both quoted and referred are stated correctly.

Name : Eva Azhra Latifa

NPM : 0806423513

Signature : 

Date : Januari,10, 2011



HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Eva Azhra Latifa

NPM : 0806423513

Program Studi : Transportasi

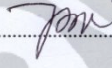
Judul Tesis : Pengaruh Temperatur dan Pembebanan terhadap Sifat Mekanis

Beton Aspal Campuran Panas AC-WC dan HRS

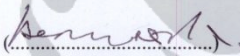
Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program PascaSarjana Bidang Ilmu Teknik, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Dewan Penguji sebagai berikut:

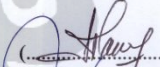
Pembimbing 1 : DR Ir Tri Tjahjono MSc

(..........)

Pembimbing 2: Ir Heddy R Agah MEng

(..........)

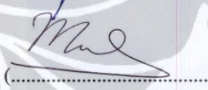
Penguji : Ir Ellen SW Tangkudung MSc

(..........)

Penguji : Ir Alan Marino MSc

(..........)

Penguji : Ir Martha Leni Siregar MSc

(..........)

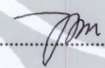
THESIS ENDORSEMENT PAGE

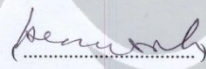
This thesis is submitted by:

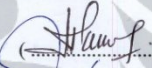
Name : Eva Azhra Latifa
Student ID : 0806423513
Course : Transportation
Thesis title : Temperature and Loading Effects on the Mechanical Properties of AC-WC and HRS Hot Mix Asphaltic Concrete.

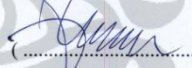
This thesis has been successfully defended before the Board of Examiners and accepted as part of the requirements needed to achieve master's degree in postgraduate engineering program of the Faculty of Engineering, University of Indonesia.

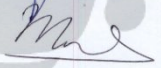
The Examiner Board members are as follows:

First Thesis Advisor : DR. Ir. Tri Tjahjono, M.Sc. (..........)

Second Thesis Advisor: Ir. Heddy R Agah M.Eng (..........)

Thesis Examiners 1 : Ir. Ellen SW Tangkudung M.Sc. (..........)

Thesis Examiners 2 : Ir. Alan Marino M.Sc (..........)

Thesis Examiners 3 : Ir. Martha Leni Siregar M.Sc (..........)

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah, alhamdulillah tesis ini dapat diselesaikan dengan judul Pengaruh Temperatur dan Pembebanan Terhadap Sifat Mekanis Beton Aspal Campuran Panas AC-WC dan HRS yang merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Master Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Program Studi Transportasi Universitas Indonesia.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tesis ini masih belum sempurna dan dalam penyelesaiannya tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karenanya pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi tingginya kepada yang terhormat:

1. Bapak Prof Dr Ir Irwan Katili DEA, selaku Koordinator Program Studi Pasca Sarjana yang telah memungkinkan terselesaikannya tesis ini.
2. Bapak DR Ir Tri Tjahjono MSc, selaku pembimbing satu yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis.
3. Bapak Ir Heddy R Agah MEng selaku pembimbing dua yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis.
4. Bapak Ir Alvinsyah MSc selaku pembimbing akademis yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis.
5. Para staf dosen Program Studi Transportasi Universitas Indonesia yang telah membekali penulis dengan ilmu pengetahuan.
6. Keluarga yang dengan kasih sayang mereka memberikan semangat dan doa hingga terselesaikannya tesis ini.
7. Semua pihak yang telah banyak membantu dan tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu terselesaikannya tesis ini.

Depok, 10 Januari 2011

Eva Azhra Latifa

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Eva Azhra Latifa
NPM : 0806423513
Program studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

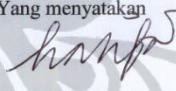
Pengaruh Temperatur dan Pembebanan Terhadap Sifat Mekanis Beton Aspal Campuran Panas AC-WC dan HRS

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 10 Januari 2011

Yang menyatakan


(Eva Azhra Latifa)

ABSTRAK

Nama : Eva Azhra Latifa
Program Studi : Transportasi
Judul : Pengaruh Temperatur dan Pembebanan Terhadap Sifat Mekanis Beton Aspal Campuran Panas AC-WC dan HRS

Tesis ini membahas pengaruh temperatur dan pembebanan terhadap sifat mekanis beton aspal campuran panas gradasi agregat menerus AC-WC dan senjang HRS. Dilakukan pengujian menggunakan Umatta serta *Wheel Tracking Device*. Data diolah dengan faktorial desain analisis. Kesimpulan: Kedua macam gradasi, variasi temperatur serta pembebanan berpengaruh signifikan terhadap regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien, stabilitas dinamis, nilai serta laju deformasi permanen dalam merespon variasi pembebanan dan temperatur, namun HRS lebih kuat dari AC-WC.

Kata kunci:

Beton aspal, gradasi agregat, temperatur, pembebanan, analisis faktorial desain, regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien, stabilitas dinamis, laju deformasi, nilai deformasi

ABSTRACT

Name : Eva Azhra Latifa
Major : Transportation
Title : Temperature and Loading Effects on the Mechanical Properties of AC-WC and HRS Hot Mix Asphaltic Concrete.

This thesis discusses the temperature and loading's influence on the hot mix asphaltic concrete's mechanical properties AC-WC dense graded and the HRS aggregate's gap. The test is done using UMATTA and Wheel Tracking Device. The data is analyzed using factorial design analysis. Conclusions: Both kinds of gradation, temperature and loading variation have significant effect on strain tensile, tensile strength, modulus resilient, dynamic stability, the rate of permanent deformation and deformation value. Both types of aggregate gradation show the same pattern and tendency to respond the loading and temperature variation, but HRS is stronger.

Keywords:

Asphalt concrete, aggregate gradation, temperature, loading, factorial design analysis, tensile strain, tensile strength, resilient modulus, dynamic stability, rate of deformation, deformation value

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GRAFIK	xviii
1. PENDAHULUAN	
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	
1.2.1 Identifikasi Masalah	2
1.2.2 Lingkup Permasalahan	3
1.2.3 Rumusan Masalah	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	4
1.4 BATASAN PENELITIAN	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 PENDAHULUAN	5
2.2 SISTEM LAPISAN PERKERASAN	6
2.3 PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP PERKERASAN	8
2.4 BETON ASPAL CAMPURAN PANAS	10
2.5 SIFAT CAMPURAN BETON ASPAL	
2.5.1 Pendahuluan	13
2.5.2 Perilaku visko elastis beton aspal.....	14
2.5.3 Sifat pembebanan	14

2.5.4	Tegangan pada lapisan beton aspal	17
2.5.5	Regangan tarik.....	19
2.5.6	Modulus Resilien.....	21
2.5.7	Poisson Ratio.....	23
2.5.8	Ketahanan terhadap deformasi permanen	24

2.6 KOMPONEN BETON ASPAL

2.6.1	Agregat	26
2.6.1.1	Pendahuluan.....	26
2.6.1.2	Sifat agregat	26
2.6.1.3	Gradasi agregat	27
2.6.2	Aspal	29
2.6.2.1	Pendahuluan.....	29
2.6.2.2	Kandungan kimia aspal.....	29
2.6.2.3	Reologi aspal.....	31
2.6.2.4	Perilaku visko elastis aspal	35
2.6.2.5	Kekakuan aspal	36
2.6.2.6	Indeks penetrasi.....	37
2.6.2.7	Titik lembek.....	38
2.6.2.8	Penetrasi.....	38

3. METODE PENELITIAN

3.1	PENDAHULUAN	40
3.2	KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS	40
3.2.1	Kerangka Pemikiran.....	40
3.2.2	Hipotesis Penelitian.....	43
3.3	PERTANYAAN PENELITIAN dan PEMILIHAN METODE PENELITIAN	44
3.3.1	Pertanyaan Penelitian	44
3.3.2	Pemilihan Strategi / Metode Penelitian	44
3.4	TAHAPAN PENELITIAN	45
3.4.1	Analisis karakteristik bahan pengujian	45

3.4.2	Persiapan kondisi awal pengujian	45
3.4.3	Persiapan pengambilan data	46
3.4.4	Prosedur pengujian	48
3.4.5	Analisis data	52
3.4.6	Menarik kesimpulan	52
3.5	ANALISIS DATA	
3.5.1	Metode Pengumpulan Data	54
3.5.2	Metode Analisis Data	54
3.5.2.1	Pendahuluan	54
3.5.2.2	Variabel penelitian	54
3.5.2.3	Rancangan faktorial (factorial design)	54
4.	PEMBAHASAN	
4.1	PENDAHULUAN	61
4.2	DATA PENGUJIAN PENDAHULUAN	61
4.2.1	Sifat fisis agregat.....	61
4.2.2	Gradasi agregat.....	62
4.2.3	Sifat fisis aspal	62
4.3	DATA UJI TARIK TAK LANGSUNG	
4.3.1	Benda uji	63
4.4	DATA UJI DEFORMASI PERMANEN	
4.4.1	Benda uji	64
4.5	MATRIKS PENGUJIAN	64
4.6	ANALISIS DATA	65
4.6.1	Pendahuluan	65
4.6.2	Analisis data uji tarik tak langsung	68
4.6.2.1	Regangan Tarik	68
4.6.2.2	Tegangan Tarik	72
4.6.2.3	Modulus Resilien.....	76
4.6.2.4	Rangkuman Regangan Tarik	80
4.6.2.5	Rangkuman Tegangan tarik	84
4.6.2.6	Rangkuman Modulus Resilien	88

4.6.2.7	Besar pengaruh variabel bebas jenis agregat, suhu, dan beban terhadap parameter regangan tarik, tegangan tarik dan modulus resilien	92
4.6.2.8	Grafik hubungan antar parameter	95
4.6.3	Analisis data uji deformasi permanen	104
4.6.4	Hubungan jenis gradasi gregat terhadap suhu dan pembebanan pada masing-masing variabel respon.....	108
4.6.4.1	Rangkuman Data Regangan Tarik.....	108
4.6.4.2	Rangkuman Data Tegangan Tarik.....	108
4.6.4.3	Rangkuman Data Modulus Resilien.....	109
KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	KESIMPULAN	110
5.2	SARAN	114
DAFTAR REFERENSI		115
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem <i>multi layer</i>	7
Gambar 2.2 Pembebanan pada <i>multi layer</i>	7
Gambar 2.3 Tegangan dan regangan pada perkerasan.....	13
Gambar 2.4 Bentuk gelombang haversine.....	15
Gambar 2.5 Hubungan pembebanan dan deformasi pada waktu pulsa.....	17
Gambar 2.6 Tegangan utama dibawah beban roda.....	18
Gambar 2.7. Distribusi tegangan dibawah beban roda.....	18
Gambar 2.8 Rotasi tegangan dibawah beban roda.....	19
Gambar 2.9 Daerah tarik pada lapisan perkerasan.....	20
Gambar 2.10 Regangan arah longitudinal dan transversal akibat beban roda.....	21
Gambar 2.11 Alat uji Umatta.....	23
Gambar 2.12 Poisson ratio.....	24
Gambar 2.13 Alat Wheel Tracking.....	25
Gambar 2.14 Hubungan antar komponen dalam material aspal.....	30
Gambar 2.15 Sifat elastis material.....	32
Gambar 2.16 Modulus elastisitas dan Modulus Resilien.....	33
Gambar 2.17. Perilaku elastis linier material dalam diagram tegangan-regangan.....	33
Gambar 2.18. Perilaku elastis non linier material dalam diagram tegangan-regangan.....	33
Gambar 2.19. Diagram tegangan – regangan material plastis.....	34
Gambar 2.20 Diagram tegangan – regangan material viskous.....	34
Gambar 2.21 Kombinasi respon material terhadap pembebanan.....	35
Gambar 2.22 Perilaku viskoelastis aspal.....	35
Gambar 2.23. Hubungan kekakuan aspal dengan temperatur.....	37
Gambar 2.24 Perlengkapan uji titik lembek aspal.....	38
Gambar 2.25 Alat uji penetrasi.....	39
Gambar 3.1 Diagram Alir Kerangka Penelitian.....	42
Gambar 3.2 matrik pengujian.....	43
Gambar 3.3. Alat Umatta dan komputer pembaca data.....	48
Gambar 3.4 Hubungan deformasi dan waktu dalam gelombang pembebanan....	49

Gambar 3.5 Hubungan antara beban dan deformasi dalam waktu pulsa.....	50
Gambar 3.6. Benda uji dan alat <i>Wheel Tracking</i>	50
Gambar 3.7 tidak terjadi interaksi antar level faktor A dan B.....	54
Gambar 3.8 terjadi interaksi antar level faktor A dan B.....	54



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Sifat beton aspal sesuai gradasi agregat.....	11
Tabel 2.2. Gradasi agregat gabungan beton aspal campuran panas.....	29
Tabel 2.3 Reaksi kimia komponen aspal.....	31
Tabel 2.4 Nilai Maltene Distribution Ratio.....	31
Tabel 4.1 Tabulasi Data Agregat	60
Tabel 4.2 Tabulasi Gradasi Agregat	60
Tabel 4.3 Tabulasi Pengujian Aspal	60
Tabel 4.4 Tabulasi Hasil Uji Marshall	61
Tabel 4.5 Matriks Pengujian	62
Tabel 4.6 Detail Variasi Variabel Bebas	62
Tabel 4.7 Pengamatan Regangan untuk 2 Jenis Agregat	65
Tabel 4.8 Pengamatan Regangan untuk Gradasi AC-WC	65
Tabel 4.9 Pengamatan Regangan untuk Gradasi HRS	66
Tabel 4.10 Pengamatan Regangan untuk 2 Jenis Agregat	66
Tabel 4.11 Pengamatan Regangan untuk Gradasi AC-WC	66
Tabel 4.12 Pengamatan Regangan untuk gradasi HRS	67
Tabel 4.13 Pengamatan Regangan untuk 2 Jenis Agregat	67
Tabel 4.14 Pengamatan Regangan untuk Gradasi AC-WC	67
Tabel 4.15 Pengamatan Regangan untuk Gradasi HRS	68
Tabel 4.16 Pengamatan Regangan untuk 2 Jenis Agregat	68
Tabel 4.18 Pengamatan Tegangan untuk 2 Jenis Agregat	69
Tabel 4.19 Pengamatan Tegangan untuk AC-WC	69
Tabel 4.20 Pengamatan Tegangan untuk HRS	70
Tabel 4.21 Pengamatan Tegangan untuk 2 Jenis Agregat	70
Tabel 4.22 Pengamatan Tegangan untuk Gradasi AC-WC	71
Tabel 4.23 Pengamatan Tegangan untuk Gradasi HRS	71
Tabel 4.24 Pengamatan untuk 2 Jenis Agregat	71
Tabel 4.25 Pengamatan untuk AC-WC	71
Tabel 4.26 Pengamatan untuk HRS	71
Tabel 4.27 Pengamatan Tegangan untuk 2 Jenis Agregat	72
Tabel 4.30 Pengamatan Modulus Resilien untuk 2 Jenis Agregat	73

Tabel 4.31 Pengamatan Modulus Resilien untuk AC-WC	73
Tabel 4.32 Pengamatan Modulus Resilien untuk HRS	73
Tabel 4.33 Pengamatan Modulus Resilien untuk 2 Jenis Agregat	74
Tabel 4.34 Pengamatan Modulus Resilien untuk AC-WC	74
Tabel 4.35 Pengamatan Modulus Resilien untuk HRS	74
Tabel 4.36 Pengamatan Modulus Resilien untuk 2 Jenis Agregat	75
Tabel 4.37 Pengamatan Modulus Resilien untuk AC-WC	75
Tabel 4.38 Pengamatan Modulus Resilien untuk HRS	75
Tabel 4.39 Pengamatan Modulus Resilien untuk 2 Jenis Agregat	76
Tabel 4.40 Pengamatan Modulus Resilien untuk AC-WC	76
Tabel 4.41. Matrik 1	76
Tabel 4.42. Matrik 2	78
Tabel 4.43. Matrik 3	79
Tabel 4.44. Matrik 4	80
Tabel 4.45. Matrik 1	80
Tabel 4.46. Matrik 2	82
Tabel 4.47. Matrik 3	83
Tabel 4.48. Matrik 4	84
Tabel 4.49. Matrik 1	84
Tabel 4.50. Matrik 2	86
Tabel 4.51. Matrik 3	87
Tabel 4.52. Matrik 4	88
Tabel 4.53. Matrik 1	88
Tabel 4.54. Matrik 2	89
Tabel 4.55. Matrik 3	89
Tabel 4.56. Matrik 4	89
Tabel 4.57. Matrik 1	89
Tabel 4.58. Matrik 2	89
Tabel 4.59. Matrik 3	89
Tabel 4.60. Matrik 4	90
Tabel 4.61. Matrik 1	90
Tabel 4.62. Matrik 2	90

Tabel 4.63. Matrik 3	90
Tabel 4.64. Matrik 4	91
Tabel 4.65. Nilai Deformasi	100
Tabel 4.67. Data Uji Deformasi Permanen, 2 Jenis agregat, suhu 25 ⁰ C, 37,5 ⁰ C dan 50 ⁰ C	100
Tabel 4.68 Rangkuman data regangan tarik	108
Tabel 4.69 Rangkuman data tegangan tarik	108
Tabel 4.70 Rangkuman data modulus resilien	108



DAFTAR GRAFIK

Grafik 1. Strain Stress Suhu 25 – 50 Beban 188-250	96
Grafik 2. Strain Stress Suhu 25 – 37,5, Beban 188-600	97
Grafik 3. Strain Stress Suhu 25C Beban 1500 dan 2000 N	98
Grafik4. strain stress suhu 50C beban 188 dan 250N	98
Grafik 5. Strain Resilien Suhu 25 – 50 Beban 188-250	99
Grafik 6. Strain Resilien Suhu 25 – 37,5 Beban 188-600 N	100
Grafik 7. Strain Resilien Suhu 25 Beban 1500-2000	101
Grafik 8. Strain Resilien Suhu 50 Beban 188-250 N	101
Grafik 9. Stress Resilien Suhu 25 – 50 Beban 188-250	102
Grafik 10. Stress Resilien 25 – 37,5 Beban 188-600	103
Grafik 11. Stress Resilien Suhu 25 Beban 1500-2000	104
Grafik 12. Stress Resilien Suhu 50 Beban 188-250 N	104
Grafik 13. Wheel Tracking ACWC dan HRS	107
Grafik 14. Wheel Tracking ACWC	107
Grafik 15. Wheel Tracking HRS	107

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Perencana jalan di Indonesia umumnya membuat umur rencana perkerasan jalan 10 tahun atau kalau dana yang tersedia tidak mencukupi, maka dibuat umur rencana perkerasan jalan 5 tahun. Menurut literatur bahwa jika dilakukan pemeliharaan dengan baik dan benar terhadap perkerasan jalan tersebut, maka akan diperoleh kinerja jalan yang baik sampai dengan kira-kira 75 % dari umur rencana (Manullang,2008).

Kekuatan dan keawetan campuran beton aspal pada lapis permukaan jalan berhubungan dengan kemampuannya untuk menahan kerusakan akibat pengaruh suhu dan pembebanan. Pada masa pelayanannya perkerasan jalan sering mengalami kerusakan berupa alur (*rutting*), gelombang (*corrugation*) dan keriting (*washboarding*) yang disebabkan oleh akumulasi deformasi permanen dari pengulangan beban lalu lintas (Suparyanto, 2008). Pembebanan berulang kali mengakibatkan terjadinya tegangan dan regangan pada struktur perkerasan ditambah dengan tegangan termal akibat temperatur membuat campuran beton aspal mengalami deformasi dan penurunan kinerja dimulai dari retak halus hingga *rutting*. Kepekaan terhadap perubahan temperatur menjadi dasar perbedaan masa layan aspal sebelum akhirnya retak dan mengeras (*aging*).

Gradasi agregat sangat mempengaruhi kekuatan dan keawetan campuran beton aspal. Agregat yang mempunyai ukuran seragam (sama) dan agregat dengan susunan butir bervariasi namun mengalami perubahan ukuran secara tiba-tiba dari besar ke kecil yang diistilahkan sebagai gradasi senjang menghasilkan volume pori antar butiran yang besar. Pori-pori antar campuran yang besar tersebut dapat direduksi dengan memperbanyak jumlah agregat halus dan agregat pengisi (*filler*). Contoh pemakaian gradasi senjang dalam campuran beton aspal adalah *Hot Rolled Asphalt* (HRS). Sementara agregat ideal dengan ukuran bervariasi secara menerus mempunyai volume pori kecil, dimana butiran kecil mengisi pori diantara butiran besar sehingga pori-porinya menjadi sedikit (kemampuannya

tinggi). Pemakaian gradasi menerus dalam campuran beton aspal antara lain berupa campuran Asphalt Cement Wearing Course (AC-WC).

Karakteristik bahan pembentuk campuran berupa agregat dan aspal perlu dianalisis karena mempunyai pengaruh besar terhadap ketahanan lapisan beton aspal pada beban berulang dan temperatur yang terjadi, yang dinyatakan sebagai modulus resilien dan deformasi permanen. Analisis terhadap modulus resilien dilakukan pada saat campuran yang mengalami pembebanan berulang dibawah variasi temperatur dan pembebanan berada pada kondisi elastis. Untuk mendapatkan pemahaman menyeluruh terhadap karakteristik beton aspal campuran panas gradasi agregat AC-WC dan HRS yang ditinjau, analisis dilanjutkan dengan meninjau ketahanan campuran terhadap deformasi permanen pada beban berulang dibawah variasi temperatur dan pembebanan sampai mengalami kerusakan.

Berdasarkan hal diatas dilakukan penelitian pengaruh temperatur dan pembebanan terhadap sifat mekanis beton aspal campuran panas AC-WC dan HRS dengan melakukan serangkaian pengujian di laboratorium. Tujuannya untuk mengetahui perilaku beton aspal yang dipengaruhi gradasi agregat, variasi pembebanan dan temperatur, ditinjau dari modulus resilien dan deformasi permanennya. Parameter yang digunakan adalah variasi gradasi agregat, suhu dan pembebanan.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

1.2.1 Identifikasi Masalah

Dalam beton aspal, agregat mengisi sekitar 90 persen berat, sehingga karakteristik agregat sangat mempengaruhi beton aspal. Agregat yang digunakan pada lapisan atas yang menerima tegangan akibat beban roda kendaraan dan temperatur akan terauskan dan kemungkinan dapat pecah. Untuk memperoleh perkerasan yang baik, agregat yang digunakan harus mempunyai gradasi butiran menerus, berbentuk *cubical*, tajam dan bersudut, bebas dari bentuk pipih, memanjang, pipih dan memanjang, memiliki kekerasan, tahan terhadap

pengausan, dan memiliki ketangguhan untuk tidak pecah maupun berubah bentuk setelah dibebani.

Beban roda kendaraan berulang yang bervariasi sepanjang jalan akan menimbulkan tegangan termal yang meningkat seiring dengan kenaikan temperatur pada lapisan permukaan yang menerus sampai pada lapis-lapis dibawahnya. Temperatur udara yang lebih besar dari 30 °C akan menghasilkan suhu perkerasan diatas 40 °C karena dipengaruhi oleh besar dan lamanya bidang kontak roda dan permukaan sebagai fungsi dari karakteristik lalu lintas dan kecepatan kendaraan.

Sifat aspal sebagai bahan viskoelastis yang mengalami perubahan perilaku dengan adanya perubahan temperatur menyebabkan aspal mengalami deformasi. Deformasi yang bekerja bersama-sama dengan tegangan akibat pembebanan berulang dan pengaruh temperatur tersebut menjadi penyebab kerusakan awal perkerasan ditandai dengan timbulnya retak halus yang jika dibiarkan akan berkembang menjadi *rutting* pada lapisan permukaan struktur perkerasan.

Agar kerusakan perkerasan berhenti hanya pada lapis permukaan dan tidak terlanjur merambat pada lapisan dibawahnya, perlu diidentifikasi kerusakan yang terjadi melalui penelitian di laboratorium berdasarkan sifat mekanis beton aspal campuran panas pada kondisi elastis yang diukur dari modulus resilien melalui uji tarik tak langsung dengan alat Umatta dan ketahanan terhadap deformasi permanen sampai campuran rusak melalui pengujian *wheel tracking*

1.2.2 Lingkup Permasalahan

Perhatian utama penelitian ini adalah bagaimana gradasi butiran agregat, perubahan suhu dan pembebanan berpengaruh terhadap modulus resilien dan deformasi beton aspal campuran panas.

1.2.3 Rumusan Masalah

Dari tinjauan diatas, permasalahan yang ingin diungkapkan dalam penelitian ini adalah :

Apakah jenis gradasi agregat baik AC-WC maupun HRS, variasi temperatur dan pembebanan berpengaruh signifikan terhadap variabel respon yang diwakili

regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan deformasi permanen, kecepatan serta nilai deformasi beton aspal campuran panas.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian pengaruh temperatur dan pembebanan terhadap sifat mekanis beton aspal campuran panas AC-WC dan HRS ini dinyatakan sebagai berikut :

Mengetahui apakah jenis gradasi agregat, variasi temperatur dan pembebanan berpengaruh signifikan terhadap variabel respon yang diwakili regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan deformasi permanen, kecepatan serta nilai deformasi beton aspal campuran panas.

1.4 BATASAN PENELITIAN

1. Penelitian difokuskan pada beton aspal campuran panas sebagai bahan yang digunakan untuk lapis permukaan jalan (surface layer).
2. Pengujian terhadap beton aspal campuran panas ini menggunakan alat Umatta dan *wheel tracking devices* di laboratorium.
3. Penelitian dititik beratkan pada pengaruh gradasi butiran agregat terhadap perubahan suhu dan variasi pembebanan pada campuran, dinyatakan dalam variabel modulus resilien dan deformasi.
4. Suhu pengujian 25°C sebagai suhu standar pengujian di laboratorium, serta $37,5^{\circ}\text{C}$ dan 50°C diasumsikan sebagai temperatur yang bekerja pada beton aspal campuran panas yang digunakan sebagai lapis permukaan struktur perkerasan
5. Variasi gradasi agregat, pembebanan dan temperatur sebagai variabel bebas untuk mengevaluasi respon beton aspal campuran panas yang dinyatakan sebagai modulus resilien dan deformasi permanen.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PENDAHULUAN

Fungsi utama lapisan struktural sistem perkerasan adalah menyebarkan beban roda kendaraan secara efisien sehingga setiap lapis tidak mengalami beban berlebihan dan rusak sebelum waktunya. Lapisan beton aspal pada permukaan perkerasan harus memiliki kekakuan yang cukup, kelenturan yang memadai, ketahanan terhadap beban lalu lintas dan perubahan suhu, kedap air, serta ketahanan terhadap deformasi permanen.

Kehilangan kelenturan aspal menyebabkan aspal tidak dapat bertahan terhadap regangan yang terjadi akibat pengaruh perubahan termal dan kelembaban, pergerakan struktur dan getaran angin. Kerusakan aspal terjadi jika batas nilai kritis regangan terlampaui yang secara dominan disebabkan oleh temperatur dan pembebanan dalam jangka panjang (Jones,1965)

Perilaku tarik dan deformasi campuran beton aspal memperlihatkan karakter linier yang berarti hubungan keduanya tergantung dari temperatur dan pembebanan (Füleki-Tkalecz,2010). Deformasi permanen terjadi setiap kali permukaan perkerasan mengalami pembebanan. Namun regangan tarik yang timbul akibat pembebanan, walaupun jauh dibawah beban maksimum dan terjadi berulang kali, akan selalu kembali lagi (recoverable) sehingga dapat dikategorikan sebagai elastis, walaupun sebagaimana diketahui, lapis perkerasan lentur bukan merupakan bahan yang elastis.

Hubungan antara tegangan yang bekerja dan regangan tarik yang diukur tergantung dari interval beban saat tegangan diaplikasikan. Karena itu penting untuk mengukur perilaku elastis dan deformasi, dibawah beban yang dimodelkan sehingga persis seperti keadaan aslinya dilapangan (Croney,1977).

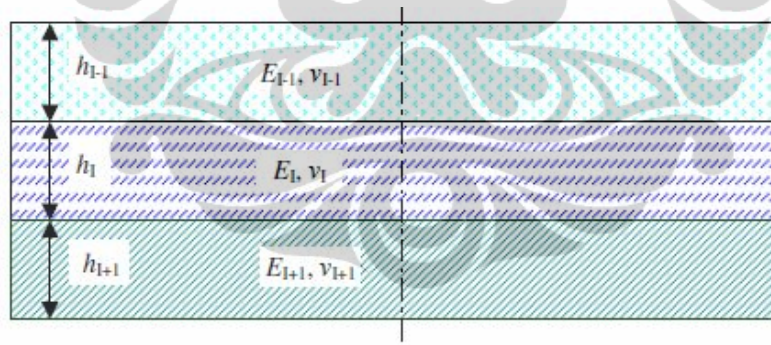
Kerusakan konstruksi perkerasan umumnya ada di lapisan permukaan atau *subgrade* atau dua-duanya. Sangat jarang terjadi kerusakan dilapisan pondasi granular (agregat), kecuali kalau lapisan agregat itu memakai campuran semen.

2.2 SISTEM LAPISAN PERKERASAN

Perkerasan lentur terdiri dari *multi layer* (layered system). Burmister memperkenalkan sistem dua lapis (1943) dan tiga lapis (1945), yang diaplikasikan dengan program komputer oleh Huang (1967) kedalam sistem *multi layer*.

Dengan model lapisan (*layered*) elastis dapat dihitung tegangan, regangan tarik, dan defleksi pada titik dimanapun pada struktur perkerasan dimana beban diaplikasikan pada permukaannya. Model ini didekati dengan persamaan matematis yang relatif sederhana dengan asumsi lapisan ditinjau dari penampang horisontal, lapisan dasar (subgrade) tebal, serta pembebanan material tidak melebihi batas elastisnya. Input yang dibutuhkan adalah sifat tiap lapisan material seperti modulus elastisitas dan Poisson ratio, ketebalan lapisan, serta kondisi beban dan perulangan pembebanan (Matthew, 2007).

Dibawah ini disajikan ilustrasi sistem lapisan multi layer dengan tebal lapisan (h) dan elastisitas (E) serta nilai Poisson Ratio (ν) yang berbeda pada setiap lapisan sesuai dengan material pembentuk lapisan tersebut.



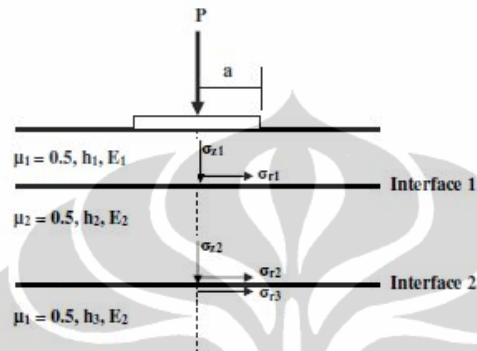
Gambar 2.1 Sistem *multi layer*. Sumber : Alkasawneh, 2006

Menurut Huang (1993) dan Matthew (2007), asumsi dasar *multi layer* sebagai berikut:

- Setiap lapis homogen, isotropik, dan elastis linier dengan modulus elastisitas E dan Poisson Ratio ν
- Berat material diabaikan dengan luas tak terhingga
- Setiap lapis punya batas ketebalan h namun lapis terbawah ketebalannya tak terhingga

- d. Beban merata q bekerja pada *circular area* dipermukaan dengan radius a
- e. Setiap lapis kontinyu pada *interfaces*, ditandai dengan tegangan vertikal, tegangan geser, *vertical* dan *radial displacement* yang sama.

Asumsi dasar sistem *multilayer* yang lapis permukaannya menerima beban roda kendaraan diilustrasikan pada gambar berikut.



Gambar 2.2 Pembebanan pada *multi layer*. Sumber : Ekwulo, et al, 2009

Pada sistem dua lapis, walaupun perkerasan terdiri dari lebih dua lapisan, namun untuk keperluan perhitungan, salah satu lapis dikombinasikan dan dianggap sebagai satu lapis. Sebagai contoh, lapis pondasi dikombinasikan dengan lapis *subgrade* untuk menentukan tegangan dan regangan tarik pada lapisan perkerasan aspal, atau lapis perkerasan aspal dikombinasikan dengan lapis pondasi sebagai satu lapisan untuk menentukan tegangan dan regangan tarik pada lapisan *subgrade*. Pada pelaksanaannya yang banyak dilakukan adalah menganggap beton aspal campuran panas sebagai lapisan tebal (*full-depth system*) yang diletakkan langsung diatas lapisan *subgrade*.

Pada sistem tiga lapis pada aksis simetri, tegangan radial identik dengan tegangan tangensial dan tegangan geser dianggap nol.

Pendekatan pada sistem *multi layer* adalah tegangan disebarkan sedemikian rupa sehingga lapis terbawah menerima beban sekecil mungkin dan lapis teratas merupakan lapisan terkuat. Dalam perencanaan usia perkerasan diperlukan informasi lengkap penyebab retak fatiq dan deformasi permanen karena regangan tarik horisontal merupakan penyebab keretakan pada dasar lapisan beton aspal.

2.3 PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP PERKERASAN

Dampak temperatur yang menyebabkan kerusakan seperti *rutting* dan retak merupakan faktor penting yang memberikan pengaruh langsung pada kapasitas struktural perkerasan. Mengutip Sha'ad,1989, Kamal (2005) menyatakan bahwa perilaku perkerasan lentur sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Pada tahun 1990, SJ Biczysko melakukan penelitian yang menyatakan bahwa diatas suhu 35⁰C kinerja aspal mulai menurun oleh deformasi dan pada suhu dibawah 10⁰C oleh jejak roda kendaraan (*tracking*). Sejalan dengan peningkatan suhu, viskositas aspal menurun dan aspal berubah seolah-olah seperti *sponge*.

Hanya modulus lapisan campuran beraspal saja yang secara signifikan dipengaruhi oleh temperatur. Makin tinggi temperatur, makin rendah modulus lapisan campuran beraspal. Sedangkan tanah dasar dan modulus lapisan agregat tidak begitu terpengaruh oleh temperatur (Kosasih, 2008)

Retak termal perkerasan aspal merupakan kerusakan besar karena tidak hanya berdampak pada perkerasan yang terlihat, tapi juga mempercepat kerusakan pada struktur perkerasan. Retak pada permukaan perkerasan dapat membuat air masuk kedalam lapis pondasi maupun subbase yang dapat memperlemah kekuatan lapis pondasi dan awal dari kerusakan perkerasan (Zhong, Geng,2009).

Retak termal yang dianalisis dengan model mekanistik dapat dikategorikan sebagai teori viskoelastis satu lapis maupun *multi layer*. Penggunaan model ini pada sistem satu lapis memberi indikasi kerugian yaitu penanganan berfokus pada lapisan beton aspal saja, dan suhu terdistribusi seragam untuk seluruh kedalaman perkerasan. Pada teori elastis *multi layer* gradasi temperatur dipertimbangkan berbeda pada setiap lapis dan merupakan metode untuk menghitung tegangan termal.

Zhong dan Geng (2009) menggunakan metode matrik kekakuan untuk menghitung tegangan termal aksisimetri pada *multi layer* elastis dengan kombinasi beban dan temperatur. Zhong bersama Wong (2000) juga melakukan penelitian menggunakan metode transfer matrik untuk melihat perilaku perkerasan aspal dibawah variasi temperatur. Kelemahan sistem *multi layer* adalah menganggap material tidak terpengaruh oleh suhu, sebab sebagaimana

diketahui retak termal perkerasan terutama terjadi pada suhu rendah dimana campuran aspal mulai mengalami kegetasan (brittleness) sama dengan material elastis, sehingga masuk akal jika dianalisis berdasarkan teori elastis *multi layer*.

Banyak penelitian dilakukan untuk melihat hubungan antara suhu udara dan suhu perkerasan. Fluktuasi temperatur maksimum bulanan di Indonesia umumnya berkisar antara 30,7 °C – 32,0°C dengan deviasi standar antara 0,32 – 0,47 °C. Sementara temperatur minimum 21,7⁰ – 22,9⁰C dengan deviasi standar antara 0,45⁰ – 0,95⁰ C. Aschuri (2003) mengutip Witczak (1982) yang menyatakan pada program DAMA, TAI menghitung temperatur perkerasan pada kedalaman z dengan rumus

$$MMPT = MMAT \left(1 + \frac{1}{Z+4} \right) - \frac{34}{Z+4} + 6$$

Dimana MPPT = Monthly Mean Pavement Temperature dan MMAT = Mean Annual Air Temperature

Aschuri juga mengutip Ahmed (1995) yang melakukan penelitian pada 5 tempat dalam satu segmen jalan dan mendapatkan bahwa temperatur tertinggi berada pada 2 cm dibawah lapis beton aspal. Dari penelitian tersebut ia mendapatkan persamaan :

$$MMPT(^{\circ}C) = MMAT (^{\circ}C) + 5^{\circ}C$$

Selain itu Aschuri (2003) juga mengutip Soedjatmiko (1999) yang melakukan penelitian pada kondisi suhu terpanas dengan interval 3 jam selama 3 bulan pada kedalaman perkerasan yang berbeda dan memperoleh persamaan regresi hubungan antara suhu lapisan beton aspal dengan temperatur udara sebagai berikut :

$$Tp15 = 2,9726 Tu - 45,377$$

$$R^2 = 0,7752$$

$$Tp75 = 1,1107 Tu + 6,705$$

$$R^2 = 0,2625$$

$$Tp150 = 0,2683 Tu + 28,003$$

$$R^2 = 0,0348$$

dimana :

Tu = Temperatur udara (°C)

Tp = Temperatur perkerasan (°C)

Dari paparan diatas dapat disimpulkan bahwa suhu sangat berpengaruh terhadap kinerja struktur perkerasan, sehingga penting untuk mengetahui suhu perkerasan yang sebenarnya, karena suhu yang bekerja terutama pada lapis permukaan perkerasan jauh lebih tinggi dari suhu udara pada saat yang sama.

2.4 BETON ASPAL CAMPURAN PANAS

Beton aspal (AC) atau LASTON merupakan campuran panas antara agregat kasar, agregat halus, aspal semen dan filler. Gradasi campuran beton aspal AC bersifat menerus, sehingga lebih padat dan memerlukan bahan pengikat aspal yang relatif sedikit. Sementara Hot Rolled Sheet (HRS) atau dilungkungan Bina Marga disebut LATASTON, merupakan campuran panas antara agregat kasar, agregat halus, aspal semen dan filler. HRS bergradasi senjang, sehingga memerlukan bahan pengikat aspal lebih banyak daripada AC.

Menurut Sukirman (2003) sesuai sifat agregat campuran, kondisi struktural, permeabilitas dan lain-lain sifat beton aspal ditinjau dari gradasi agregat ditabelkan dibawah ini.

Tabel 2.1 : Sifat beton aspal sesuai gradasi agregat

Sifat	Gradasi buruk	Gradasi baik
Stabilitas	Buruk	Baik
Permeabilitas	Baik	Buruk
Kepadatan	Buruk	Baik
Rongga pori	Besar	Sedikit

Sumber : Silvia Sukirman (2003)

Beton aspal (AC) dan HRS mempunyai sifat teknis yang berbeda, dilihat dari stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, workabilitas dan permeabilitas. Namun di Indonesia gradasi senjang agregat yang digunakan pada HRS tidak ekstrim sebagaimana yang digunakan pada negara asalnya, sehingga perbedaan dengan sifat beton aspal AC juga tidak terlampau besar.

Beton aspal campuran panas diharapkan memiliki sifat-sifat sebagai berikut (Sulistiono, dkk, 2009):

- a. Stabilitas yaitu kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi permanen yang disebabkan oleh lalu lintas, baik beban yang bersifat statis maupun dinamis tanpa berubah bentuk, sehingga campuran tidak mudah aus, bergelombang, melendut, bergeser dan lain-lain. Aspal beton (AC) mempunyai stabilitas yang relatif lebih tinggi dibandingkan HRS, hal ini dipengaruhi oleh gradasinya yang rapat (menerus).
- b. Durabilitas yaitu ketahanan campuran untuk mempertahankan kualitasnya dari disintegrasi atas unsur-unsur pembentuknya yang diakibatkan oleh beban lalu lintas dan pengaruh cuaca. Campuran aspal harus mampu bertahan terhadap perubahan yang disebabkan oleh proses penuaan (aging) dimana aspal akan menjadi keras. Hal ini disebabkan oleh pengaruh oksidasi dari udara dan proses penguapan yang berakibat menurunnya daya lekat dan kekenyalan aspal. Disebabkan oleh pengaruh gradasi, aspal beton AC mempunyai permeabilitas yang lebih besar dibandingkan HRS karena itu mudah dilalui air. Saat terkena sinar matahari, air tersebut menguap sambil membawa partikel-partikel kecil senyawa aspal, sehingga perkerasan menjadi getas. Karena itu aspal beton AC kurang begitu tahan pengaruh cuaca dibandingkan dengan HRS.
- c. Fleksibilitas adalah kemampuan kemampuan campuran aspal untuk melentur mengikuti beban lalu lintas tanpa mengalami keretakan yang disebabkan oleh :

1. Beban yang berlangsung lama yang berakibat terjadinya kelelahan pada lapis pondasi atau pada tanah dasar yang disebabkan oleh pembebanan sebelumnya.
 2. Lendutan berulang yang disebabkan oleh waktu pembebanan lalu lintas yang berlangsung singkat.
 3. Adanya perubahan volume campuran.
- d. Workabilitas adalah kemudahan campuran untuk dikerjakan, dihampar dan dipadatkan. Disebabkan oleh perbedaan gradasi, aspal beton AC yang bergradasi menerus lebih sulit untuk dikerjakan, dibandingkan dengan HRS yang bergradasi senjang dengan butiran agregat halus lebih banyak.
- e. *Impermeability* yaitu campuran aspal harus bersifat kedap air untuk melindungi lapisan perkerasan dibawahnya dari kerusakan yang disebabkan oleh air yang akan mengakibatkan campuran menjadi kehilangan kekuatan dan kemampuan untuk menahan beban lalu lintas.

Temperatur pemadatan merupakan faktor penting yang mempengaruhi pemadatan. Kepadatan hanya bisa terjadi pada saat aspal dalam keadaan cukup cair sehingga aspal tersebut dapat berfungsi sebagai pelumas. Jika aspal sudah dalam keadaan cukup dingin maka kepadatan akan sulit dicapai. Temperatur campuran beraspal panas merupakan satu-satunya faktor yang paling penting dalam pemadatan, karena mempengaruhi viskositas aspal yang digunakan. Menaikkan temperatur pemadatan mengakibatkan partikel agregat dalam campuran beraspal panas dapat dipadatkan lebih baik lagi. Kerapatan (density) pada saat pemadatan terjadi pada suhu lebih tinggi dari 275 F (135 C). Kerapatan menurun dengan cepat ketika pemadatan dilakukan pada suhu lebih rendah (Suparyanto, 2008).

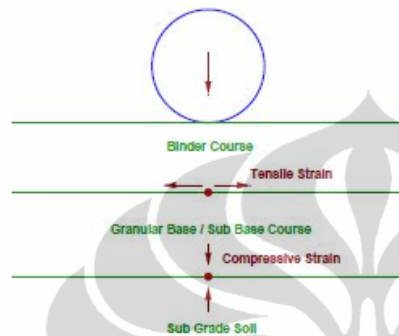
2.5 SIFAT CAMPURAN BETON ASPAL

2.5.1 Pendahuluan

Kinerja campuran beton aspal dipengaruhi perubahan suhu udara dan suhu lapis permukaan serta tegangan akibat beban roda kendaraan sepanjang perkerasan tersebut. Beban roda kendaraan sepanjang perkerasan menyebabkan

terjadinya variasi tegangan pada seluruh material dalam sistem perkerasan (Yin, et al, 2007). Pada dasar lapis aspal terjadi tegangan tarik, sedangkan di dasar pondasi dan diatas subgrade terjadi regangan tekan. Selain itu setiap pembebanan berpotensi menimbulkan deformasi permanen.

Tegangan dan regangan yang terjadi pada struktur perkerasan disajikan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.3 Tegangan dan regangan pada perkerasan. Sumber: Matthew, 2007

Penentuan respon perkerasan terhadap beban dan temperatur sangat diperlukan dalam desain mekanistik perkerasan lentur. Respon ini terutama dipengaruhi sifat visko elastis campuran beton aspal pada perubahan temperatur.

Dalam penelitian ini untuk menilai respon material dalam campuran beton aspal terhadap perubahan beban, temperatur permukaan dan deformasi permanen, parameter yang digunakan adalah hubungan tegangan dan regangan yang menghasilkan modulus resilien melalui pengujian dengan alat Umatta dan hubungan antara deformasi permanen dengan temperatur dengan alat *wheel tracking device* (WTM).

2.5.2 Perilaku visko elastis beton aspal

Sifat campuran beton aspal menjadi khas karena pengaruh aspal yang bersifat viskoelastis yang berfungsi sebagai perekat dalam campuran. Sifat ini berubah tergantung dari komposisi, temperatur, tingkat dan frekuensi pembebanan. Pada suhu rendah, beban yang bekerja kecil dengan frekuensi perulangan pembebanan tinggi, bersifat viskoelastis linier. Namun pada suhu tinggi, frekuensi perulangan pembebanan rendah tetapi beban yang bekerja besar, sifatnya cenderung menjadi nonlinier elasto viskoplastis (Garba & Horvli, 2002).

Modulus elastisitas campuran aspal secara drastis turun menjadi 800 MPa dari 5500 MPa ketika suhu meningkat dari 30⁰C menjadi 60⁰C (Wahhab & Balghunaim, 1995). Yang Lu dan Peter J Wright (2000) mengutip Brown & Snaith (1978) yang melakukan serangkaian penelitian, menyatakan bahwa pada beberapa kondisi temperatur, regangan tarik aspal lebih sensitif dibandingkan dengan perubahan pembebanan, dan dari berbagai komposisi, respon terhadap variasi pembebanan lebih besar pada temperatur yang berbeda.

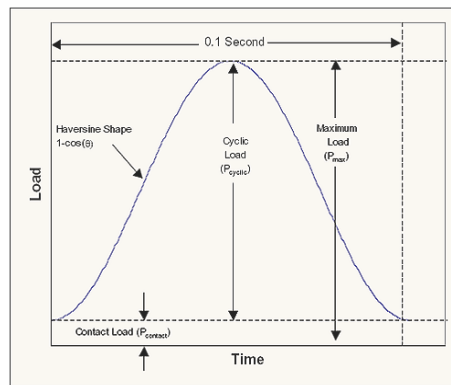
2.5.3 Sifat pembebanan

Jenis dan lamanya beban berulang yang menyebabkan terjadinya tegangan pada lapisan beton aspal disimulasikan sebagai gelombang haversine, segitiga ataupun bujur sangkar. Hubungan waktu pulsa (pulse time) dalam pembebanan sinusoidal adalah konsisten dan merupakan dasar praktis dalam menentukan pendekatan waktu pulsa (pulse time)

Frekuensi pembebanan ditentukan dari panjang *rest period* antara pulsa pembebanan, dan merupakan faktor utama yang sangat penting dalam pengujian material. Frekuensi tergantung dari besarnya tegangan dan didekati dari informasi lalulintas dan sebaran pembebanan.

Huang (1993) mengutip beberapa penelitian yang dilakukan Barksdale, Brown, dan McLean. Barksdale (1971) melakukan penelitian terhadap tegangan pulsa vertikal melalui pendekatan dengan bentuk gelombang haversine dan triangular dengan asumsi material viskous. Waktu tegangan pulsa dihubungkan dengan kecepatan kendaraan dan kedalaman lapisan. Waktu pembebanan (pulse time) berbanding terbalik dengan kecepatan.

Bentuk gelombang haversine untuk satu siklus beban dengan waktu pembebanan 0,1 detik yang merupakan asumsi untuk lapis beton aspal diilustrasikan pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.4 Bentuk gelombang haversine Sumber

<http://www.fhwa.dot.gov/pavement>

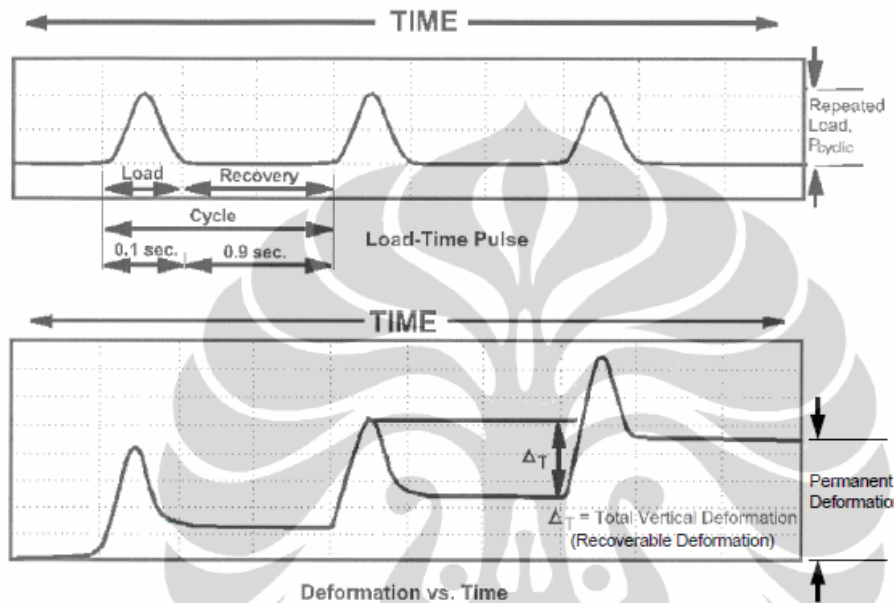
Sementara Brown (1973) menyatakan waktu pembebanan (pulse time) lapisan struktur aspal merupakan fungsi dari ketebalan lapisan dimana beban didistribusikan ke tiap-tiap lapisan yang kecepatan rambatnya dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan.

Waktu pembebanan (pulse time) berdasarkan rata-rata waktu pulsa untuk tegangan vertikal dan horisontal bervariasi pada kedalaman lapisan beton aspal. Untuk lapisan yang tebal, waktu pembebanan (pulse time) hasil penelitian Barksdale lebih lama dari hasil penelitian Brown. McLean (1974) yang mendekati dengan bentuk gelombang bujur sangkar dan mengambil bentuk gelombang segitiga Barksdale pada kecepatan 30 mph (48 kph) sebagai acuan, menyatakan waktu pembebanan (pulse time) yang jauh lebih singkat pada kecepatan yang sama.

Pada kenyataannya kecepatan kendaraan sangat bervariasi dan kedalaman lapisan kadang-kadang tidak diketahui dengan pasti. Kecepatan kendaraan mempengaruhi kecepatan rambat gelombang, karena itu pada perencanaan dilakukan pendekatan bahwa lamanya waktu pembebanan (pulse time) gelombang haversine untuk satu siklus pembebanan 0,1 detik dan periode *recovery* gelombang 0,9 detik untuk lapisan aspal. Sementara waktu pembebanan (pulse time) untuk pondasi (base / subbase) 0,2 detik dan 0,25 detik untuk *subgrade* (Matthew, 2007).

Ilustrasi dibawah menjelaskan dalam satu periode siklus pembebanan yang menghasilkan satu gelombang pembebanan, terdiri dari dua hal penting, yaitu

waktu pembebanan (pulse time) selama 0,1 detik dan periode recovery selama 9 detik untuk lapis permukaan campuran beton aspal. Pada saat beban puncak pada titik yang ditinjau, terjadi deformasi maksimum. Jika siklus ini terjadi berulang kali akan terbentuk deformasi permanen yang bertambah besar. Akumulasi deformasi permanen akan menimbulkan retak dan menyebabkan *rutting* pada lapis permukaan perkerasan.

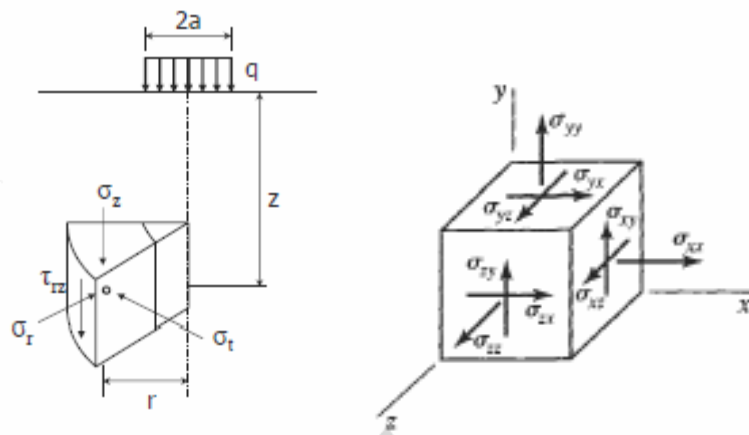


Gambar 2.5 Hubungan pembebanan dan deformasi pada waktu pulsa. Sumber : Matthew,2007

Karena kedalaman yang diartikan sebagai tebal lapisan merupakan salah satu fungsi dari waktu pembebanan (pulse time), maka waktu pembebanan (pulse time) hampir tidak berpengaruh pada modulus resilien lapisan granular pondasi, sedikit pada lapisan tanah halus *subgrade* tergantung dari kelembabannya, dan cukup berpengaruh pada lapisan beton aspal. Sementara periode gelombang recovery tidak memberikan pengaruh yang signifikan (Huang,1993)

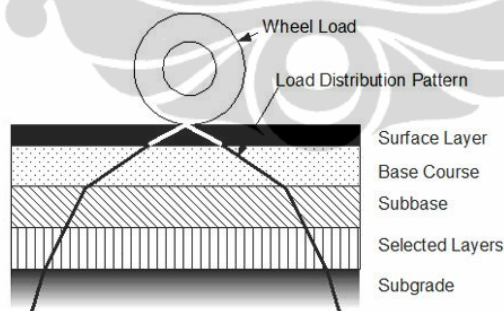
2.5.4 Tegangan pada lapisan beton aspal

Hal pertama dalam menganalisis lapis perkerasan lentur adalah menganggap bahwa materialnya homogen dan bersifat elastis. Tegangan, regangan tarik dan defleksi terjadi dibawah beban roda kendaraan (circular loaded area) pada sumbu simetri dimana terjadi tiga tegangan, σ_z , σ_r , σ_t , dan tegangan geser τ_{rz} (Huang,1993) ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.6 Tegangan utama dibawah beban roda. Sumber Blazejowsky, 1996, Pilkey,2005

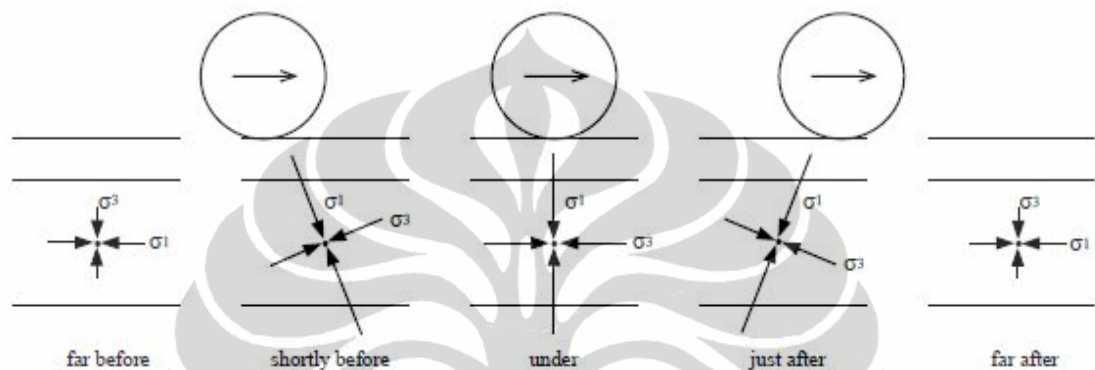
Pada perkerasan lentur, pola distribusi pembebanan berubah pada tiap lapis karena kekuatannya berbeda-beda. Material paling kuat dengan kelenturan paling rendah berada di lapisan bagian atas dan yang terlemah dengan kekakuan paling rendah pada lapis terbawah. Pada gambar 2.7 dapat dilihat bahwa beban roda pada lapis atas berada pada areal yang kecil dan menghasilkan tegangan terbesar. Makin kebawah, areal pembebanan makin luas sehingga distribusi tegangan menghasilkan tegangan yang rendah dan cukup diterima oleh material yang lebih lemah



Gambar 2.7. Distribusi tegangan dibawah beban roda. Sumber <http://www.nra.co.za>

Tegangan utama yang bekerja dan bagaimana tegangan berotasi akibat beban roda kendaraan sebelum, tepat dibawah roda dan setelah roda bergerak disajikan pada gambar 2.8 dibawah ini

Pola distribusi tegangan yang terjadi saat beban roda jauh dari titik yang ditinjau ditunjukkan oleh posisi 1 paling kiri (gambar 2.8) yaitu tegangan vertikal σ_1 dan tegangan aksial σ_3 berada pada posisi dasar. Mendekati titik tinjauan pada posisi 2 tegangan vertikal bergerak menuju besaran maksimum namun tetap membentuk besaran sudut sama terhadap tegangan aksial. Pada posisi 3 roda tepat diatas titik yang ditinjau, tegangan vertikal dan aksial bekerja penuh. Posisi 4 dan 5 saat roda meninggalkan titik yang ditinjau adalah kebalikan dari posisi 2 dan 1



Gambar 2.8 Rotasi tegangan dibawah beban roda. Sumber Blazejowsky, 1996

Kerusakan perkerasan akan jauh lebih besar jika beban roda bergerak secara lambat. Penelitian menunjukkan jika kecepatan bertambah dari 2 kph menjadi 24 kph, tegangan dan defleksi akan berkurang sebesar 40 persen (Matthew, 2007).

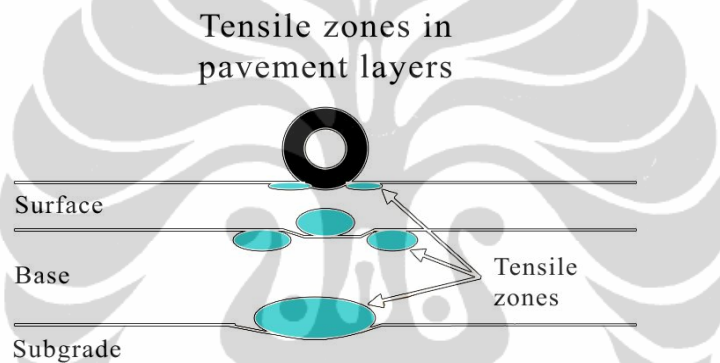
Saat merespon pembebanan baik statis maupun berulang, campuran beton aspal akan mengalami deformasi permanen yang merupakan akumulasi dari waktu dan jumlah perulangan pembebanan. Akumulasi dari deformasi permanen itulah yang menyebabkan terjadinya retak fatiq dan *rutting* pada perkerasan aspal. Deformasi permanen juga dipengaruhi oleh sifat dan komposisi bahan baik aspal sebagai perekat, maupun agregatnya, serta tingkat pemadatan dan jumlah pori (Garba R & Horvli I, 2002).

2.5.5 Regangan tarik

Regangan tarik didefinisikan dalam istilah regangan tarik normal dan regangan tarik geser. Regangan tarik normal adalah perubahan panjang per panjang semula, tanpa satuan dinyatakan sebagai ϵ . Jika benda memanjang

regangan tarik dinyatakan positif, demikian sebaliknya. Regangan tarik geser didefinisikan sebagai tangen dari perubahan sudut saat benda berdeformasi. Regangan tarik geser sangat kecil yang umumnya ditemukan biasanya kurang dari 0,001 sehingga tangen perubahan sudut sama dengan perubahan sudut radian. Regangan tarik geser positif diasosiasikan dengan dimensi geser positif (Pilkey,2005). Berdasarkan pengujian tekanan maupun tarik uniaxial, M Perl dan A Sides menyatakan bahwa regangan tarik aksial total terdiri dari regangan tarik elastis, plastis, viskoelastis dan viskoplastis.

Pada struktur perkerasan, tegangan dan regangan tarik terjadi pada tiap lapisan seperti disajikan pada gambar 2.9, namun yang dibahas pada penelitian ini hanya yang terjadi pada lapisan beton aspal saja pada lapis permukaan perkerasan.

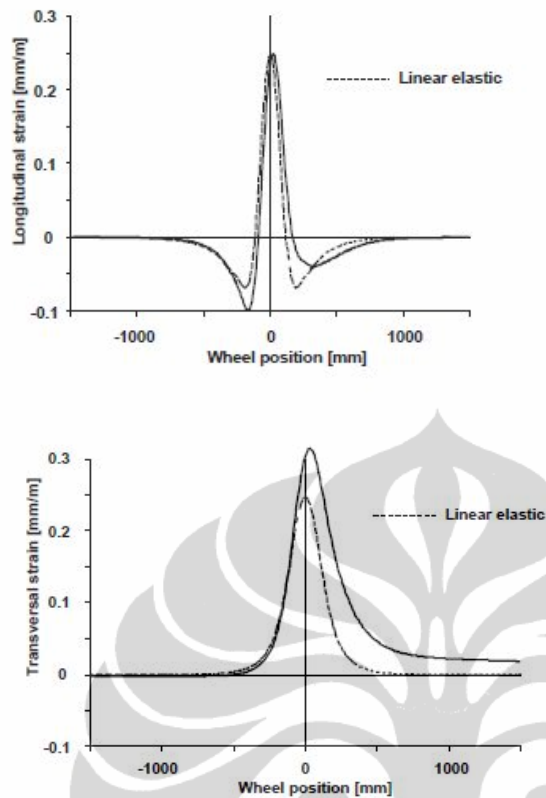


Gambar 2.9 Daerah tarik pada lapisan perkerasan. Sumber : Irwin

Regangan tarik terjadi pada dasar dan bagian atas lapisan aspal dan terus membesar karena perilaku reologi campuran beton aspal. Saat beban berulang berlanjut, regangan yang terjadi pada permukaan lapisan beton aspal lebih besar dari bagian bawah. Penelitian menunjukkan bahwa perkembangan regangan pada permukaan dan dasar lapisan aspal merupakan fungsi dari karakteristik struktur perkerasan (Blazejowsky, 1996)

Regangan tarik pada dasar lapisan beton aspal merupakan awal terjadinya retak mikro. Pada pembebanan berulang, retak mikro tersebut bergabung dan menyebar dengan cepat menjadi retak yang dapat terlihat pada permukaan jalan. Penelitian selanjutnya mendapatkan pada kondisi tertentu retak juga dimulai dari lapisan atas dan menyebar ke bagian bawah.

Gambar 2.10 memperlihatkan skema regangan yang terjadi pada arah longitudinal dan transversal akibat beban roda.



Gambar 2.10 Regangan arah longitudinal dan transversal akibat beban roda.
 Sumber Blazejowsky, 1996

Lebar daerah sebaran regangan tergantung dari areal kontak roda dan kecepatan kendaraan. Bentuk asimetri pada grafik regangan longitudinal dipengaruhi oleh sifat viskoelastis aspal

Regangan transversal maksimum lebih besar dari regangan longitudinal maksimum, menandakan bahwa material viskoelastis. Regangan transversal butuh waktu penyebaran lebih lama yang menyebabkan material menjadi lebih lunak sehingga regangannya menjadi lebih besar. Regangan maksimum tidak terjadi pada $x = 0$ tapi setelahnya. Perlambatan (time delay) ini merupakan ciri viskoelastis, yang akan menjadi lebih lama saat suhu meningkat dan atau kecepatan kendaraan melambat.

Dengan demikian regangan tarik yang terjadi di dasar lapisan beton aspal menjadi hal penting yang harus dipertimbangkan saat perencanaan dan analisis kerusakan untuk mencegah retak fatiq.

Ada dua tipe regangan tarik utama, yang pertama berdasarkan tiga komponen utama tegangan normal dan geser, sedangkan yang kedua yang lebih populer adalah regangan tarik horisontal utama berdasarkan tegangan normal horisontal dan geser saja. Karena keseluruhan regangan tarik sedikit lebih besar dari regangan tarik horisontal, maka untuk keamanan, yang digunakan dalam perhitungan adalah keseluruhan regangan tarik (Huang,1993)

2.5.6 Modulus Resilien

Modulus resilien didefinisikan sebagai energi yang dapat diserap per satuan volume tanpa membuat distorsi permanen. Dapat dihitung dari kurva tegangan regangan dari nol sampai batas elastis dan membaginya dengan volume asli benda uji (<http://composite.about.com>). Modulus resilien juga didefinisikan sebagai perbandingan dari beban berulang tegangan deviator terhadap regangan tarik (recoverable strain), (<http://www.dot.state.mn.us>). Menurut Pilkey(2005), modulus resilien adalah energi maksimum regangan per unit volume yang diserap sampai batas elastis pada uji tarik dan sama dengan daerah elastis pada kurva tegangan regangan, menunjukkan banyaknya energi yang terserap tanpa mengalami deformasi plastis. Modulus resilien secara umum dapat dihitung sebagai :

$$U_r = \frac{\sigma_y^2}{2E} = \frac{1}{2}\sigma_y\epsilon$$

dimana :

σ_y adalah tegangan yield
E adalah modulus elastisitas,
dan ϵ regangan

Pada masa lalu tidak banyak penelitian terhadap perilaku modulus resilien campuran beton aspal pada pembebanan dan temperatur yang bervariasi karena keterbatasan peralatan (Kamal et al,2005). Modulus resilien merupakan salah satu parameter mekanistik penting mulai dari desain sampai evaluasi kinerja campuran beraspal meliputi perbaikan, dan kemampuan layan perkerasan.

Modulus resilien secara langsung berhubungan dengan kemampuan material menerima penyebaran beban berhubungan dengan tegangan dan

regangan dan memperlihatkan bagaimana material mengalami deformasi akibat pembebanan. Hubungan ini bervariasi tergantung dari temperatur dan kecepatan kendaraan per waktu yang menunjukkan perilaku visko elastis material. Temperatur mempunyai pengaruh yang besar terhadap modulus kekakuan dan modulus resilien beton aspal pada lapisan perkerasan aspal (Wahhab,2001).

Perilaku resilien sama dengan perilaku elastis, dengan adanya pengecualian terjadinya sedikit deformasi permanen setelah setiap siklus pembebanan. Karena itu istilah modulus resilien berlawanan dengan modulus elastis (Irwin).

Demikian pentingnya fungsi modulus resilien dalam struktur perkerasan sehingga hampir semua metode perencanaan tebal perkerasan dan model respon perkerasan terhadap beban dengan teori elastis sebagai dasar teorinya menggunakan parameter ini sebagai input parameter utamanya (Kamal,et al, 2005).

Alat yang umum digunakan untuk menentukan besarnya modulus resilien campuran beton aspal di laboratorium adalah alat Umatta (Universal Material Testing Machine) berdasarkan SNI 03-6836-2002, AASHTO TP31 dan ASTM D4123. Gambar 2.11 memperlihatkan alat uji Umatta yang digunakan untuk menentukan modulus resilien campuran beton aspal



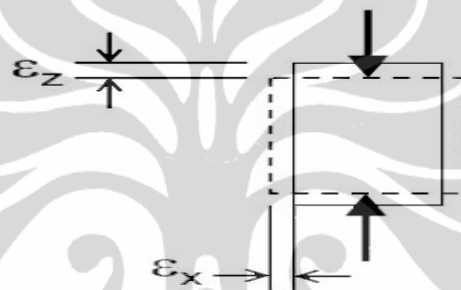
Gambar 2.11 Alat uji Umatta. Sumber : Pusjatan Departemen PU

2.5.7 Poisson Ratio

Jika material diberi beban tekan atau beban tarik ia akan meregang pada arah lateral dan longitudinal. Rasio antara regangan tarik lateral dan longitudinal

disebut Poisson ratio. Regangan tarik bertanda terbalik, sehingga harus diberi tanda negatif agar menghasilkan nilai Poisson (ν) positif (Irwin). Makin kecil nilai ν menunjukkan material makin kaku, demikian juga sebaliknya. Poisson ratio merupakan konstanta material yang ditentukan secara eksperimen. Beton dengan perekat semen Portland memiliki nilai ν sekitar 0,15, logam 0,25 – 0,35 sementara karet dan beberapa perhitungan lapis beton aspal dianggap memiliki ν 0,5 (Pilkey,2005). Namun dalam melakukan pengambilan data pengujian tegangan dan regangan yang menghasilkan modulus resilien, Poisson ratio diambil 0,4 sesuai dengan SNI yang digunakan sebagai acuan pengujian.

$$\epsilon_x = -\nu \epsilon_z$$



Gambar 2.12 Poisson ratio. Sumber : Irwin

2.5.8 Ketahanan terhadap deformasi permanen

Kekuatan campuran beton aspal agar tahan terhadap deformasi permanen sangat tergantung banyak faktor antara lain mutu campuran, temperatur udara, beban lalu lintas, kelembaban dan oksidasi aspal (Suroso,2010). Untuk mengetahui ketahanan campuran tersebut terhadap deformasi permanen, dilakukan pengujian dengan menggunakan alat *Wheel Tracking Machine* di laboratorium. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengukur kemampuan beton aspal menahan repetisi beban lalu lintas. Nilai deformasi diperoleh dari kedalaman permukaan benda uji yang terbentuk akibat beban repetisi

Secara garis besar pengujian dilakukan pada contoh campuran beraspal berukuran 30 cm x 30 cm x 5 cm, yang dilalui berulang kali oleh roda penguji terbuat dari karet keras yang mempunyai diameter 20 cm dengan lebar tapak roda 5 cm ± 0,1 cm dan dibebani 520 N ± 5 N.

Menurut buku Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, (2007) suatu campuran untuk lalulintas berat dikatakan tahan terhadap deformasi permanen apabila hasil deformasi permanen suatu campuran $\leq 0,033$ mm/menit dan stabilitas Dinamis minimal 2500 lintasan / mm. Kenaikan kekuatan menunjukkan bahwa campuran tahan terhadap deformasi permanen. Dari hasil pengujian Wheel Tracking tersebut dapat diperoleh Stabilitas Dinamis (lintasan/mm) dan Kecepatan Deformasi (mm/menit).

$$\text{Stabilitas dinamis} = 42 \times (T60 - T45)D / 60 - D45$$

$$\text{Kecepatan Deformasi} = (D60 - D45) / 60 - 45$$

Dimana :

T 60 = lamanya pengujian 60 menit

T45 = lama pengujian 45 menit

D60 = Deformasi pada waktu pengukuran 60 menit

D45 = Deformasi pada waktu pengukuran 45 menit

Alat uji disajikan pada gambar 2.13 dibawah ini.



Gambar 2.13 Alat Wheel Tracking. Sumber FHWA

2.6 KOMPONEN BETON ASPAL

2.6.1 Agregat

2.6.1.1 Pendahuluan

Yang dimaksud dengan agregat alam adalah material mineral seperti pasir dan batu pecah yang digunakan dengan perekat seperti semen, kapur, atau aspal untuk menghasilkan material baru seperti beton semen atau beton aspal. (Matthew, 2007).

2.6.1.2 Sifat agregat

Agregat kasar sangat penting dalam membentuk kinerja campuran beton aspal karena stabilitas campuran diperoleh dari *interlocking* antar agregat. Fungsi utama agregat halus adalah memberikan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen campuran melalui *interlocking* dan gesekan antar partikel. *Filler* berfungsi mengurangi jumlah rongga dalam campuran, namun jumlah *filler* harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan. Kadar *filler* yang terlampau tinggi cenderung menyebabkan campuran menjadi getas dan akibatnya akan mudah retak akibat beban lalu lintas, pada sisi lain kadar *filler* yang terlampau rendah menyebabkan campuran menjadi lembek pada temperatur yang relatif tinggi (Utomo, 2008).

Agregat yang digunakan harus memiliki kelekatan yang baik terhadap aspal, kekekalan terhadap perubahan cuaca, pengaruh fisik dan kimia dari air hujan dan air tanah, memenuhi syarat susunan butir, bersih, kering, kuat, awet serta bebas dari bahan organik yang merugikan.

Latifa (2009) menyatakan bahwa sifat – sifat agregat yang mempengaruhi mutu campuran beton aspal terdiri dari:

a. Bentuk butiran dan keadaan permukaan

Butiran agregat biasanya berbentuk bulat (agregat yg berasal dari sungai/pantai), tidak beraturan, bersudut tajam dengan permukaan kasar, ada yg berbentuk pipih dan lonjong. Bentuk butiran berpengaruh pada luas permukaan agregat, kestabilan/ketahanan (durabilitas,) dan kekuatan campuran.

b. Berat jenis agregat

Berat jenis adalah perbandingan berat suatu benda dengan berat air murni pada volume yang sama pada suhu tertentu. Berat jenis agregat dibedakan menjadi berat jenis SSD, yaitu berat jenis agregat dalam kondisi jenuh kering

permukaan, berat jenis semu, yaitu berat jenis agregat yang memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan volume agregat dalam keadaan kering, serta berat jenis bulk, yaitu berat jenis agregat yang memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan seluruh volume agregat. Berat jenis agregat tergantung oleh : jenis batuan, susunan mineral agregat, struktur butiran dan porositas batuan.

c. Porositas, kadar air dan daya serap air

Adalah jumlah kadar pori-pori yang ada pada agregat, baik pori-pori yang dapat tembus air maupun aspal yang dinyatakan dengan persen terhadap volume agregat.

d. Gradasi Agregat

Pada campuran, gradasi agregat berhubungan dengan pori-pori diantara agregat, porositas campuran dan pori-pori terisi aspal.

e. Kepadatan

Untuk beton aspal yang baik, sangat ditentukan oleh kepadatan agregatnya (jumlah berat dalam volume). Kepadatan tergantung dari jenis dan gradasi agregat, sehingga disarankan untuk tidak menggunakan batu bulat dengan ukuran yang sama karena akan banyak membentuk rongga-rongga kosong. Disarankan menggunakan batu yang dipecah menjadi debu dan butir-butir batu persegi yang tidak sama bentuknya sehingga rongga-rongga kosong akan terisi oleh batu pecah yang lebih halus.

2.6.1.3 Gradasi agregat

Gradasi merupakan variabel yang sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis beton aspal (Guler,2008). Pengausan dan pecahnya agregat saat pemadatan dan dalam masa layan akibat pembebanan berulang roda kendaraan berpengaruh besar terhadap perubahan gradasi dan volume yang berakibat pada perubahan porositas. Besarnya modulus elastisitas campuran secara nyata juga sangat tergantung dari gradasi agregat sehingga selain sifat aspal sebagai perekat, perencanaan matrik agregat akan mempengaruhi besaran tegangan *yield* campuran.

Penentuan distribusi ukuran agregat mempengaruhi kekakuan jenis campuran aspal. Gradasi menerus akan menghasilkan campuran dengan kekakuan yang lebih besar dibandingkan gradasi senjang. Dari segi kelelahan, kekakuan adalah suatu hal yang penting karena akan mempengaruhi tegangan dan regangan yang diderita campuran beraspal panas akibat beban dinamik lalu lintas (Utomo,2008).

Gradasi agregat dapat dibedakan atas :

- a. Gradasi seragam (*uniform graded*) adalah agregat dengan ukuran yang hampir sama/sejenis atau mengandung agregat halus yang sedikit jumlahnya sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka. Agregat dengan gradasi seragam akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang dan berat volume kecil.
- b. Gradasi menerus (*well graded*) merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang seimbang, sehingga dinamakan juga agregat bergradasi baik. Gradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas tinggi, kurang kedap air, sifat drainase jelek dan berat volume besar.
- c. Gradasi senjang (*gap graded*), merupakan campuran yang tidak memenuhi dua kategori di atas. Agregat bergradasi buruk yang umum digunakan untuk lapisan perkerasan lentur merupakan campuran dengan satu fraksi butiran hilang atau sedikit. Gradasi seperti ini disebut juga gradasi senjang. Gradasi senjang akan menghasilkan lapis perkerasan yang mutunya terletak antara kedua jenis di atas.

Badan Penelitian Dan Pengembangan, Pusat Litbang Jalan Dan Jembatan Departemen Pekerjaan Umum dalam Divisi 6 Perkerasan beraspal Edisi Desember 2007 mencantumkan Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas. Spesifikasi ini mengikuti trend perkembangan metoda perencanaan yang terutama diarahkan untuk mengantisipasi kerusakan berupa deformasi plastis. Walaupun demikian upaya tersebut dilakukan dengan tidak mengorbankan keawetan dan ketahanan campuran terhadap fatiq

Gradasi Agregat Gabungan

Gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal, ditunjukkan dalam Tabel 2.1

Tabel 2.2. Gradasi agregat gabungan beton aspal campuran panas.

Ukuran Saringan		% Berat Yang Lolos						
		Latasir (SS)		Lafaston (HRS)		LASTON (AC) ²		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5							100
1"	25						100	90 - 100
¾"	19			100	100	100	90 - 100	Maks.90
½"	12,5			90 - 100	90 - 100	90 - 100	Maks.90	
3/8"	9,5		100	75 - 85	65 - 100	Maks.90		
No.4	4,75	100						
No.8	2,36			50 - 72 ¹	35 - 55 ¹	28 - 58	23 - 49	19 - 45
No.16	1,18							
No.30	0,600			35 - 60	15 - 35			
No.200	0,075	10 - 15	8 - 13	6 - 12	2 - 9	4 - 10	4 - 8	3 - 7
						DAERAH YANG DIHINDARI		
No.4	4,75					-	-	39,5
No.8	2,36					39,1	34,6	26,8 - 30,8
No.16	1,18					25,6 - 31,6	22,3 - 28,3	18,1 - 24,1
No.30	0,600					19,1 - 23,1	16,7 - 20,7	13,6 - 17,6
No.50	0,300					15,5	13,7	11,4

Sumber : BinaMarga, 2007

Daerah penolakan terletak di antara pertengahan saringan dan saringan 0,3 mm. Gradasi yang melewati daerah penolakan disebut "*humped gradation*" karena bentuk *hump* (punggung bukit) daerah ini. Di dalam campuran, daerah penolakan ini menunjukkan terlalu banyak pasir halus dari seluruh total pasir, sehingga mengalami kesulitan dalam pemadatan dan mengurangi ketahanan terhadap deformasi selama umur rencana. Gradasi yang mengikuti garis kepadatan (*density*) maksimum seringkali memberikan *VMA* (*void in mineral aggregate*) yang tidak mencukupi untuk memberikan kadar aspal yang sesuai dalam menghasilkan keawetan campuran beraspal panas.

2.6.2 Aspal

2.6.2.1 Pendahuluan

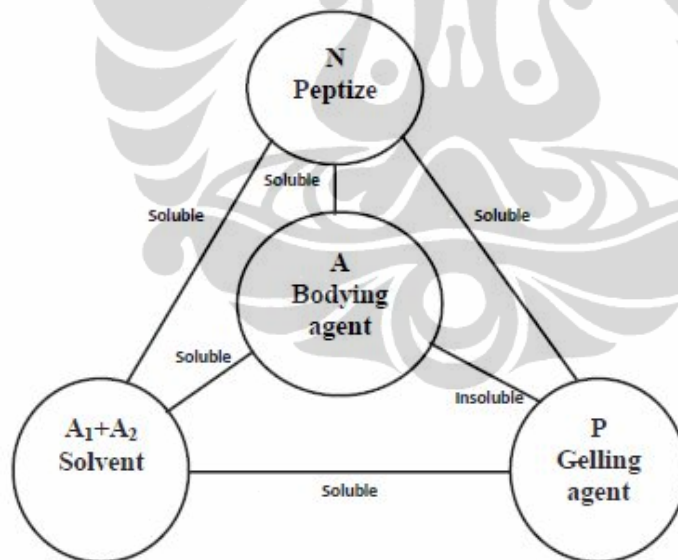
Aspal minyak merupakan material residu hasil penyulingan minyak bumi yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh bahan sumber dari sumur minyaknya. Pemisahan material yang berbeda dari minyak mentah dilakukan pada temperatur dan tekanan tinggi tanpa mengalami perubahan komposisi kimia dari tiap material tersebut (Ali). Walaupun mempunyai viskositas dan penetrasi yang sama pada temperatur tertentu kepekaan aspal terhadap temperatur berbeda-beda tergantung

dari jenisnya yang dipengaruhi oleh komposisi kimia aspal (Sukirman,2003). Aspal yang mengandung lilin (wax) lebih peka terhadap perubahan temperatur dibandingkan dengan aspal yang tidak mengandung lilin.

2.6.2.2. Kandungan kimia aspal

Kandungan utama aspal adalah asfaltene yang sebagian besar terdiri dari senyawa karbon yang bersifat semen (perekat) dalam bentuk padat, dan maltene sebagai pelarut yang umumnya terdiri dari resin dalam bentuk nitrogen dan accidafin 1, serta *oil* dalam bentuk accidafin 2 dan parafin, tergantung sifat sumur minyaknya (Latifa,2005).

Nitrogen mendispersikan butiran asfaltene di dalam maltene menjadi butiran-butiran kecil, sedangkan accidafin satu dan dua dengan cara yang berbeda melarutkan butiran asfaltene. Parafin membungkus gel aspal sehingga mengurangi sifat rekatannya. Hubungan antar komponen aspal ditunjukkan dalam gambar 2.14



Gambar 2.14 Hubungan antar komponen dalam material aspal. Sumber : Ali

Resin yang berwarna kuning atau coklat tua memberikan sifat adhesi dari aspal dan merupakan bagian yang paling mudah hilang atau berkurang selama masa layan. Sementara *oil* yang berwarna lebih muda merupakan media asfaltene dan resin. Pengerasan aspal dapat terjadi karena oksidasi, penguapan, dan

perubahan kimia lainnya. Reaksi kimia dapat merubah resin menjadi asfaltene, dan *oil* menjadi resin. Tingkat kecepatan reaksi kimia komponen aspal ditunjukkan oleh tabel 2.7

Tabel 2.3 Reaksi kimia komponen aspal

Fraction	General Description	Chemical Reaction
Asphaltenes	Higher molecular weight	Low
Nitriqn bases	Maltenes fraction	High
1 st acidaffins	Unsaturated residual hydrocarbons	High
2 nd acidaffins	Slightly unsaturated hydrocarbons	Low
Paraffin's	Saturated hydrocarbons	Low

Sumber : Ali

Komposisi asfaltene dan maltene mempengaruhi durabilitas aspal terhadap pengaruh lingkungan dan pembebanan dalam fungsi waktu. Komposisi resin dan oil dinyatakan dengan *Maltene Distribution Ratio* (MDR), lebih kecil sama dengan 1,5. Makin kecil nilai MDR mutu aspal secara kimia makin baik (Sukirman,2003). Kinerja aspal dalam nilai MDR ditunjukkan oleh tabel 2.6

$$MDR = P_R = (N + A_1) / (P + A_2) \quad P_R \leq 1,5$$

P_R	Performance
0.4 – 1.0	Superior asphalt type
1.0 - 1.2	Good type
1.2 – 1.5	Satisfactory type
> 1.5	Not acceptable

Tabel 2.4 Nilai Maltene Distribution Ratio, Sumber : Ali

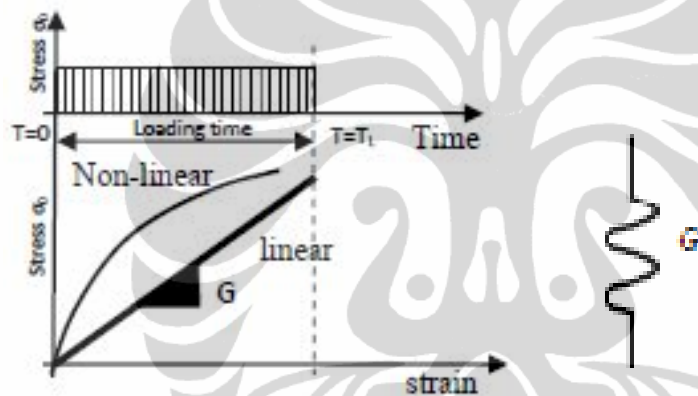
2.6.2.3 Reologi aspal

Pendahuluan

Yang dimaksud dengan reologi menurut R. Schowalter (1978) adalah studi tentang aliran material yang umumnya *liquid*, tetapi dapat juga material lunak atau *solid* namun berada pada kondisi mengalir dan tidak berubah secara elastis. Reologi berarti juga hubungan kualitatif dan kuantitatif antara deformasi dan tegangan material serta derivatnya (wordnetweb.princeton.edu/perl/webwn), sedangkan Ali menyatakan sebagai pola hubungan tegangan dan regangan dalam fungsi waktu.

Respon material terhadap pembebanan

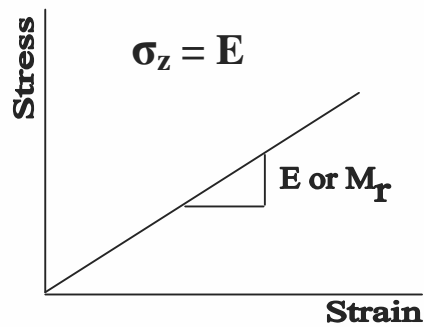
1. Material Elastis



Gambar 2.15 Sifat elastis material. Sumber Ali

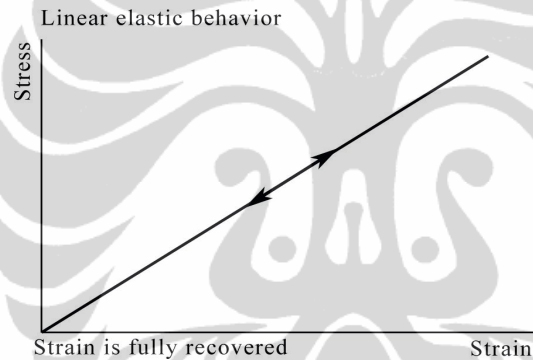
Hampir semua material bersifat elastis sehingga dapat dibebani sampai batas tertentu tanpa menimbulkan deformasi permanen (Sahar,2008). Diilustrasikan sebagai *spring* yang memperlihatkan regangan tarik seketika (*instantaneous strain*) saat dibebani dan kembali ke bentuk semula segera setelah beban dilepaskan. Gambar 2.15 memperlihatkan diagram tegangan-regangan material elastis linier dan non linier.

Pada material elastis linier hubungan tegangan dan regangan tidak terpengaruh waktu, serta mengikuti Hukum Hooke dimana secara proporsional tegangan linier dengan regangan. Modulus Young = modulus elastisitas $E = \sigma_\tau / \epsilon_\tau$. Dalam hal tertentu modulus elastisitas disebut modulus resilien. Gambar 2.16 memperlihatkan modulus elastisitas dalam diagram tegangan –regangan.



Gambar 2.16 Modulus elastisitas dan Modulus Resilien. Sumber : Ali

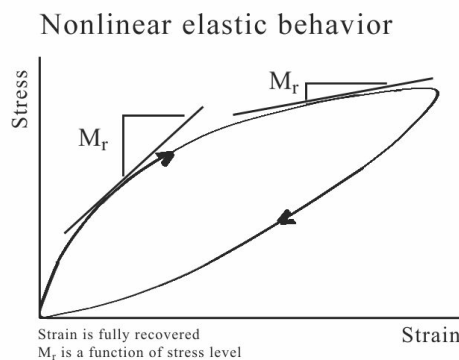
Perilaku bahan elastis linier saat dibebani disajikan pada gambar 2.17. Pada saat dibebani akan timbul regangan, namun setelah beban diangkat regangan material akan segera sepenuhnya kembali seperti bentuk semula



Gambar 2.17. Perilaku elastis linier material dalam diagram tegangan-regangan.

Sumber: Ali

Perilaku material non elastis ditunjukkan pada gambar 2.18. Hubungan tegangan dan regangan tidak linier, namun setelah beban diangkat regangan kembali ke bentuk semula secara tidak linier pula.



Gambar 2.18. Perilaku elastis non linier material dalam diagram tegangan-

regangan. Sumber: Ali

2. Material Plastis

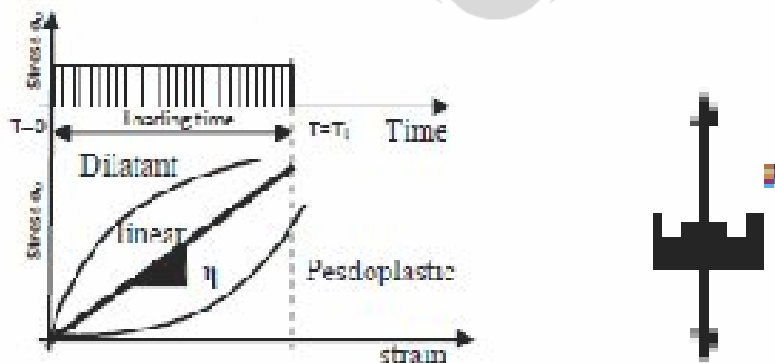
Material plastis mengalami deformasi permanen setelah beban diangkat, ditunjukkan pada gambar 2.19



Gambar 2.19. Diagram tegangan – regangan material plastis. Sumber : Ali

3. Material Viskous

Pada material viskous seperti minyak, pada tegangan statis akan berubah bentuk dan regangannya bertambah seiring dengan waktu dengan laju pertambahan yang makin melambat. Pada gambar 2.20 diilustrasikan dengan *dashpot* dimana gaya sebanding dengan kecepatan mengalir (dilatant), menyerap energi, namun bergerak dari arah yang berlawanan sehingga memperlambat gerakan. Hubungan tegangan dan regangan merupakan fungsi waktu. Saat dibebani tidak terjadi regangan seketika namun mengalami deformasi permanen. Mengikuti Hukum Newtonian dimana $\tau_{\text{shear stress}} = \partial_{\text{viscosity}} = \partial_v / \partial_\tau$

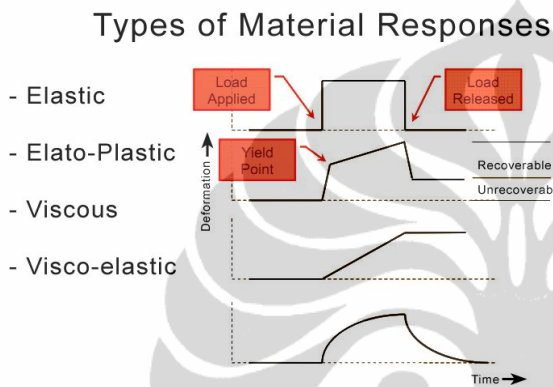


Gambar 2.20 Diagram tegangan – regangan material viskous

a. Elastis- Plastis material (Elasto-plastis)

b. Viscous Elastis material (Viscoelastis Materials)

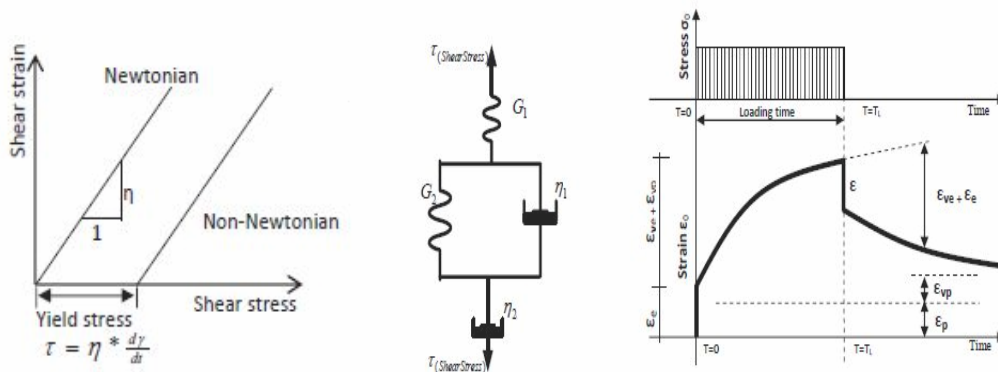
Gambar 2.21 memperlihatkan kombinasi material elastis dan plastis (dinyatakan dengan elastoplastis) serta elastis dan viskous yang dinyatakan sebagai viskoelastis dimana setelah tidak dibebani terjadi regangan yang tidak balik (irrecoverable strain) sebagian. Pada kombinasi material elastis dan viskous terlihat bahwa regangan merupakan fungsi waktu, dan terjadi regangan tidak balik setelah beban diangkat.

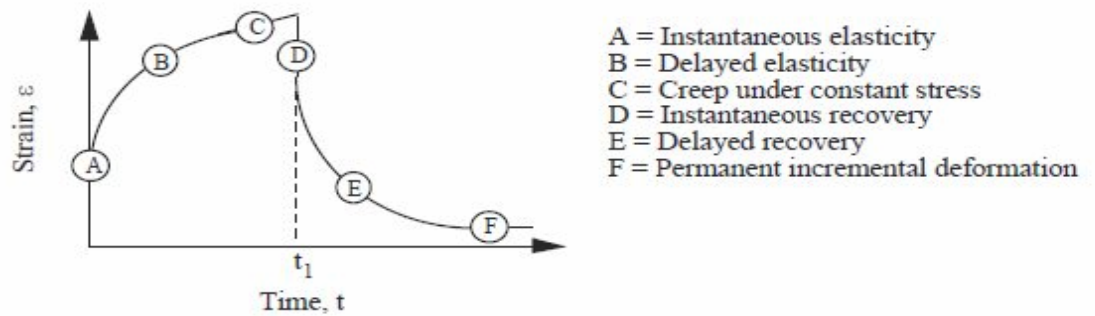


Gambar 2.21 Kombinasi respon material terhadap pembebanan. Sumber Ali

2.6.2.4 Perilaku Viskoelastis Aspal

Aspal merupakan material dengan sifat kombinasi elastis dan viskous, disebut viskoelastis yang memiliki kombinasi sifat keduanya dan berubah bentuk tergantung dari waktu saat beban diberikan..Perilaku viskoelastis aspal disajikan oleh gambar 2.22





Gambar 2.22 Perilaku viskoelastis aspal. Sumber : Ali; Collop, et al (1992)

Regangan yang terjadi saat tegangan diberikan pada daerah elastis menunjukkan regangan seketika (instantaneous), dan sisanya bertambah seiring dengan waktu namun laju pertumbuhannya melambat pada daerah viskous dengan penyimpangan waktu diantara tegangan dan regangan (Yin,2007). Gel aspal menunjukkan perubahan konsistensi (kekentalan) seiring dengan perubahan waktu. Deformasi bertambah dengan cepat sejalan dengan bertambahnya tegangan geser yang menyebabkan struktur internalnya mengalami kerusakan. Dengan bertambahnya deformasi resilien akan berkurang (Ali)

Collop (1992) membuat model linier visko elastis yang menghasilkan *creep compliance* sebagai kebalikan dari kekakuan pada temperatur berbeda. Perilaku ini tampak dengan jelas pada model Burger dengan Newtonian flow, yang menunjukkan adanya regangan yang tidak balik (irrecoverable strains)

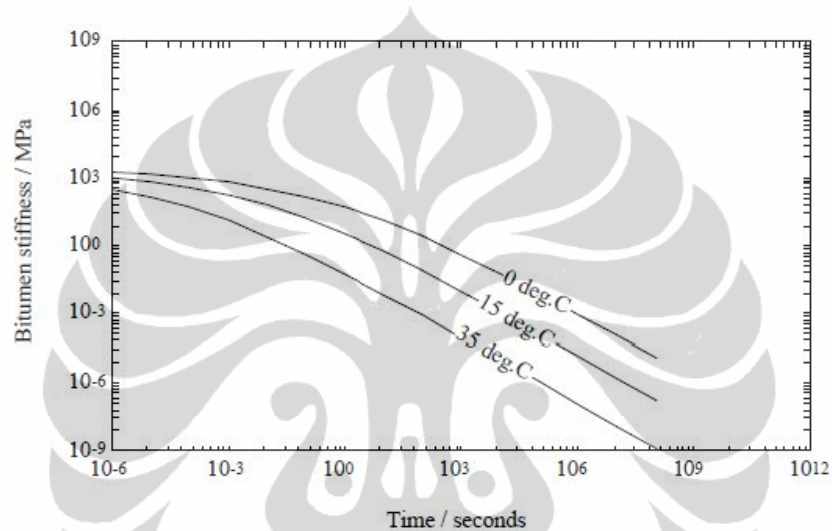
Perilaku viskoelastis aspal yang merupakan fungsi waktu saat dibebani, juga tergantung dari suhu saat pembebanan berlangsung. Kinerja bahan viskoelastis linier berdasarkan pada dua konsep. Yang pertama homogen atau proporsional, dan yang kedua superposisi dimana respon jumlah dari dua input adalah ekuivalen dengan respon individual input (Collop, 1992).

2.6.2.5 Kekakuan aspal

Diperoleh dari tegangan konstan uniaksial yang didefinisikan sebagai rasio tegangan dengan regangan kumulatif, yang tergantung dari prosedur pembebanan, waktu atau frekuensi pembebanan dan temperatur (Collop et al 1992).

Collop et al (1992) meneliti kekakuan aspal pada tiga temperatur berbeda, suhu titik lembek 58⁰C dan PI 0,5 ditunjukkan oleh gambar 2.23. Pada

pembebanan dengan waktu pendek, kurva horisontal, menunjukkan perilaku elastis, pada waktu pembebanan lama kurva menjadi lurus dengan slope minus satu (pada skala log), mengindikasikan murni viskous. Waktu pembebanan di tengah-tengah memperlihatkan perilaku visko elastis dengan regangan signifikan dari deformasi elastis dan viskous. Perilaku ini dimana respon yang diberikan sama pada temperatur yang berbeda disebut sebagai ‘prinsip superposisi waktu dan temperatur’ dan mengindikasikan bahwa aspal mempunyai termo reologi sederhana.



Gambar 2.23. Hubungan kekakuan aspal dengan temperatur : Sumber Collop et al (1992)

2.6.2.6 Indeks Penetrasi

Setiap jenis aspal memiliki kepekaan yang berbeda-beda terhadap perubahan temperatur, walaupun memiliki penetrasi dan viskositas yang sama, karena kepekaan sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan kimia yang dikandung aspal tersebut.

Aspal yang mengandung lilin (wax) lebih peka terhadap temperatur dibandingkan dengan aspal yang tidak mengandung lilin. Kepekaan temperatur menjadi dasar perbedaan umur aspal untuk menjadi retak / mengeras. Parameter pengukur kepekaan aspal terhadap temperatur adalah indeks penetrasi

Penetration index = PI)

$$\frac{20 - PI}{10 + PI} = 50 \frac{\text{LogPenRB} - \text{LogPen}25^{\circ}\text{C}}{\text{TRB} - 25}$$

Di mana

PI = Indeks Penetrasi

TRB = Temperatur titik lembek aspal, ° C

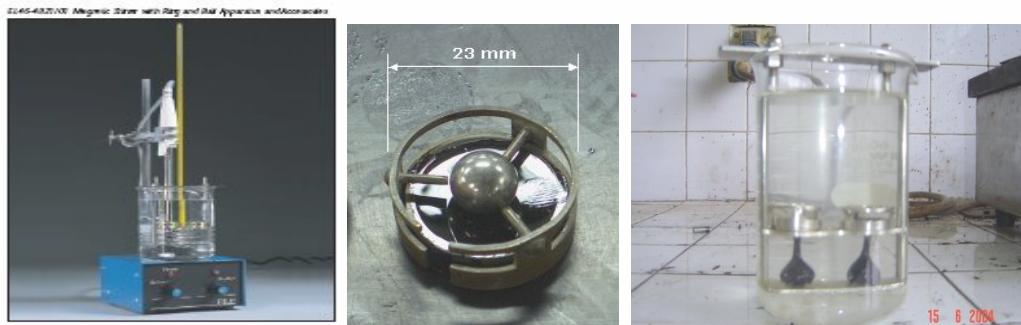
Pen25°C = Nilai penetrasi pada suhu 25 °C dengan pembebanan 100 gram selama 5 detik

PenRB = Nilai penetrasi pada suhu TRB, pada pembebanan 100 gram selama 5 detik, jika tidak ada data, nilai dapat diasumsikan = 80

Nilai PI antara - 1 dan + 1 adalah nilai PI yang umum dimiliki oleh aspal yang digunakan untuk material perkerasan jalan.

2.6.2.7 Titik lembek

Titik lembek aspal merupakan indikator saat aspal mulai meleleh dan didefinisikan sebagai temperatur saat aspal tidak mampu menahan beban bola baja sebesar 3,5 gram (WSDOT asphalt specification). Aspal merupakan senyawa dari beberapa unsur dan tidak mempunyai titik lebur sehingga tidak mengalami fase padat-cair saat dipanaskan. Saat temperatur meningkat aspal secara bertahap melembek atau mulai meleleh. Dengan alasan ini penentuan titik lembek menjadi mutlak perlu terutama jika proses produksi beton aspal akan diulang kembali. Pengujian ini digunakan untuk menentukan kekentalan aspal sebagai satu ukuran keseragaman saat distribusi atau persediaan bahan baku (ASTM, 2007). Ilustrasi penentuan titik lembek aspal ditunjukkan oleh gambar 2.24.



Gambar 2.24 Perlengkapan uji titik lembek aspal.

Sumber: http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/03_materials

2.6.2.8 Penetrasi

Pengujian penetrasi aspal merupakan pengujian tertua terhadap sifat fisis aspal yang dilakukan sejak tahun 1888 oleh HC Bowen. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan besarnya kekentalan aspal pada suhu tertentu dibawah beban tertentu, sebagai contoh temperatur standar 25⁰Celcius dengan beban 100 gram dan waktu penetrasi jarum 5 detik. Kedalaman penetrasi menunjukkan kinerja aspal. Aspal dengan nilai penetrasi tinggi disebut lunak dan digunakan untuk suhu rendah, sementara aspal dengan nilai penetrasi rendah disebut keras dan digunakan untuk suhu tinggi. (WSDOT,2010). Pengujian dapat dilakukan dengan cepat dan murah sehingga sering dilakukan dilapangan. Penetrasi umumnya diuji dengan alat penetrometer seperti ditunjukkan oleh gambar 2.25

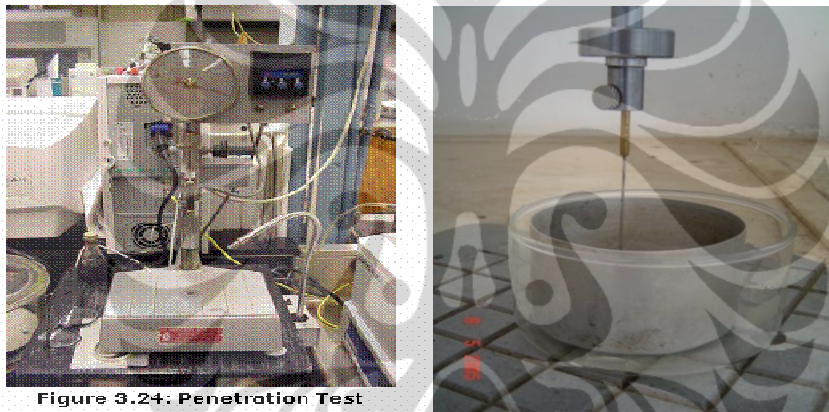


Figure 3.24: Penetration Test

Gambar 2.25 Alat uji penetrasi.

Sumber: http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/03_materials

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 PENDAHULUAN

Penelitian terhadap pengaruh gradasi butiran dan temperatur terhadap sifat mekanis beton aspal campuran panas ini menggunakan penyelesaian statistika inferensial parametris yaitu menganalisis dan mengambil kesimpulan serta membuat keputusan berdasarkan penganalisisan yang telah dilakukan.

Pengujian untuk mendapatkan data dilakukan di laboratorium. Modulus resilien serta regangan dan tegangan tarik campuran beton aspal diperoleh dari pengujian kuat tarik tak langsung menggunakan Umatta (Universal Material Testing Machine). Sedangkan ketahanan terhadap deformasi permanen serta laju deformasi dan nilai deformasi akibat beban lalulintas diukur dari pengujian WTM (Wheel Tracking Machine). Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Perkerasan dan Bahan Jalan, Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum.

Data yang didapatkan dari hasil pengujian kemudian dianalisis berdasarkan rancangan faktorial, dimaksudkan untuk menentukan faktor mana diantara sejumlah faktor yang secara potensial memberikan efek pada respon. Karena terdapat lebih dari satu unit eksperimen untuk setiap perlakuan, maka digunakan analisis varians (ANOVA) untuk menguji efek utama dan efek interaksi dalam model.

3.2 KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS

3.2.1 Kerangka Pemikiran

Dalam perencanaan jalan perkerasan lentur dengan *multi layer system*, kondisi kritis lapis permukaan yang ditinjau adalah regangan tarik yang menghasilkan tegangan tarik pada dasar lapis permukaan sebagai upaya mencegah terjadinya retak fatiq (Huang, 1993). Tinjauan juga perlu dilakukan terhadap

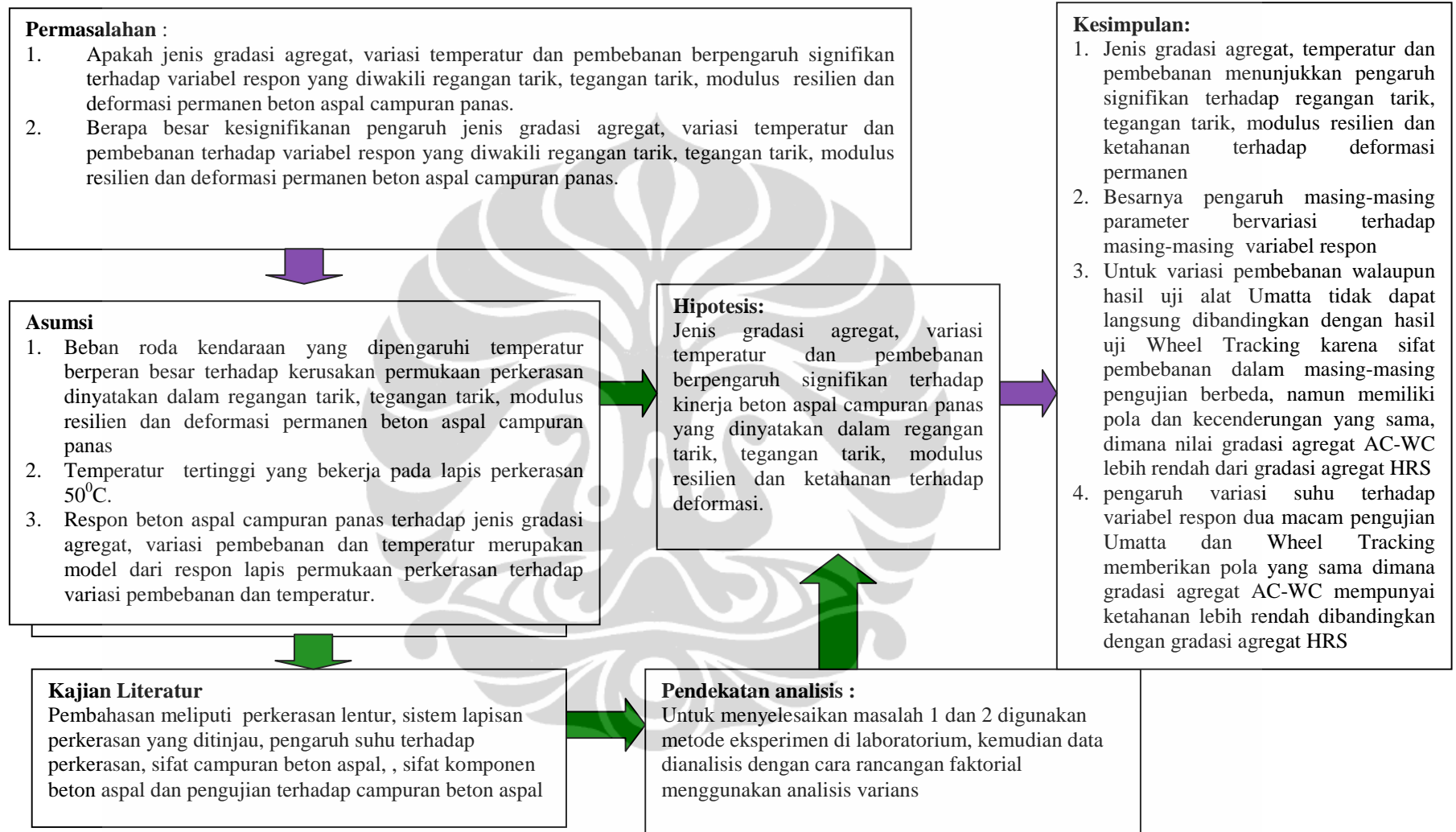
ketahanan lapisan beton aspal pada beban berulang yang terjadi, dinyatakan sebagai modulus resilien dan deformasi permanen.

Analisis terhadap modulus resilien dilakukan pada saat campuran yang mengalami pembebebanan berulang dibawah variasi temperatur dan pembebanan berada pada kondisi elastis. Untuk mendapatkan pemahaman menyeluruh terhadap karakteristik beton aspal campuran panas gradasi agregat AC-WC dan HRS yang ditinjau, analisis dilanjutkan dengan meninjau ketahanan campuran terhadap deformasi permanen pada beban berulang dibawah variasi temperatur dan pembebanan sampai mengalami kerusakan.

Dengan mengasumsikan beton aspal yang digunakan sudah melalui suatu seleksi sehingga berada pada kondisi optimum, maka ingin diketahui dampak dari agregat, temperatur dan beban yang bervariasi terhadap kinerja campuran beton aspal, dinyatakan oleh nilai regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan ketahanan terhadap deformasi permanen dengan parameter variasi gradasi agregat, suhu dan pembebanan.

Data yang diperoleh dianalisis agar diperoleh hubungan antara regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan deformasi permanen terhadap variasi gradasi agregat, temperatur dan pembebanan.

Diagram alir kerangka penelitian disajikan dihalaman berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Kerangka Penelitian

3.2.2 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kerangka pemikiran seperti diatas, hipotesis penelitian dirumuskan sebagai berikut :

Jenis gradasi agregat, variasi temperatur dan pembebanan berpengaruh signifikan terhadap kinerja beton aspal campuran panas yang dinyatakan dalam regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan ketahanan terhadap deformasi.

Hipotesis penelitian di *breakdown* sesuai dengan parameter yang diambil. Dengan demikian hipotesis parsial sebagai berikut :

1. Jenis gradasi agregat berpengaruh signifikan terhadap regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan ketahanan terhadap deformasi permanen beton aspal campuran panas
2. Variasi temperatur berpengaruh signifikan terhadap regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan ketahanan terhadap deformasi permanen beton aspal campuran panas
3. Variasi pembebanan berpengaruh signifikan terhadap regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan ketahanan terhadap deformasi permanen beton aspal campuran panas

Untuk membuktikan hipotesis diatas disusun matrik pengujian sebagai berikut:

Parameter	gradasi	Suhu	beban	Hasil
				Regangan tarik
gradasi				Tegangan tarik
suhu				Modulus resilien
beban				Deformasi permanen

Gambar 3.2 matrik pengujian

3.3 PERTANYAAN PENELITIAN dan PEMILIHAN METODE PENELITIAN

3.3.1 Pertanyaan Penelitian

Untuk menguji hipotesis tersebut, pertanyaan yang harus dijawab dalam penelitian ini, yaitu :

1. Apakah jenis gradasi agregat, variasi temperatur dan pembebanan berpengaruh signifikan terhadap variabel respon yang diwakili regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan deformasi permanen beton aspal campuran panas.
2. Berapa besar kesignifikan pengaruh jenis gradasi agregat, variasi temperatur dan pembebanan terhadap variabel respon yang diwakili regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan deformasi permanen beton aspal campuran panas.

3.3.2 Pemilihan Strategi / Metode Penelitian

Dalam menyelesaikan penelitian ini diperlukan strategi/metode penelitian yang sesuai. Metode penelitian merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu. Menurut Saunders (2003), strategi penelitian harus mengandung tujuan yang jelas, sumber pengambilan data jelas, dan batasan jelas yang tidak dapat dihindarkan (akses pengambilan data, waktu, lokasi, dana, etika). Strategi penelitian dibagi kedalam pendekatan eksperimen, survei, studi kasus, teori dasar, etnografi, riset kegiatan, studi lintas disiplin ilmu, studi eksplorasi, deskriptif, dan penjelasan. Untuk penelitian ini dipilih metode eksperimen melalui serangkaian pengambilan data primer di laboratorium.

Metode eksperimen

Penelitian dengan metode eksperimen secara tipikal meliputi definisi hipotesis teoritis, menyeleksi sampel kedalam bentuk individu dari populasi yang diketahui, mengalokasikan sampel kedalam kondisi eksperimental yang berbeda, memperkenalkan perubahan rencana dari satu atau lebih variabel, mengukur variabel dalam jumlah kecil, dan mengontrol variabel lain (Saunders, 2003). Penelitian ini menggunakan strategi/ metode eksperimen dalam upaya menjawab pertanyaan, menyelesaikan masalah dan mencapai tujuan penelitian.

3.4 TAHAPAN PENELITIAN

Dalam upaya menyelesaikan masalah dan mencapai tujuan penelitian, tahapan penelitian diuraikan sebagai berikut:

3.4.1 Analisis karakteristik bahan pengujian

Bahan penelitian yang digunakan adalah agregat kasar, agregat halus, abu batu, dan aspal minyak jenis AC yang untuk mencairkannya dilakukan dengan cara pemanasan. Untuk mendapatkan data tentang sifat fisis bahan-bahan tersebut dilakukan pengujian di laboratorium dengan rincian sebagai berikut :

- a. Pengujian agregat kasar, meliputi kekerasan agregat, berat jenis semu, berat jenis bulk, kadar lumpur, kadar organik, dan analisa ayak untuk mendapatkan distribusi butiran (gradasi)
- b. Pengujian agregat halus, meliputi berat jenis semu, berat jenis bulk, kadar lumpur, kadar organik, dan analisa ayak untuk mendapatkan distribusi butiran (gradasi)
- c. Pengujian abu batu, meliputi berat jenis semu, berat jenis bulk, kadar lumpur, kadar organik, dan analisa ayak untuk mendapatkan distribusi butiran (gradasi)
- d. Pengujian aspal, meliputi berat jenis, penetrasi, titik lembek, titik nyala dan titik bakar, serta daktilitas

Semua pengujian dilakukan berdasarkan SNI dan ASTM. Dari data yang diperoleh diketahui karakteristik bahan yang akan digunakan, sehingga langkah berikutnya dapat dilakukan.

3.4.2 Persiapan kondisi awal pengujian

Untuk melihat hubungan antara parameter pengujian meliputi variasi gradasi agregat, temperatur, dan beban terhadap kinerja beton aspal campuran panas, diperlukan kondisi benda uji yang sama, sehingga tidak timbul variabel baru akibat tidak seragamnya kondisi benda uji.

Dari data sifat fisis bahan dilakukan rancangan campuran beton aspal panas menggunakan metode Marshall. Untuk mendapatkan kondisi terbaik, gradasi agregat beton aspal AC-WC yang digunakan diambil pada batas atas dan batas bawah zona larangan gradasi Laston AC-WC Bina Marga edisi Desember 2007. Sementara gradasi agregat untuk Hot Rolled Sheet (HRS) digunakan gradasi agregat untuk Laston WC Bina Marga edisi Desember 2007. Setelah rancangan campuran dihitung, didapatkan persentase aspal yang diuji berkisar dari 5 – 7,5 % dengan interval 0,5%. Aspal yang digunakan diambil dari dua sumber yang berbeda, yaitu aspal dari Pertamina dan Shell yang walaupun sifat fisisnya hampir sama, namun diyakini memiliki sifat kimia berbeda

Kemudian dilakukan pengujian stabilitas dan kelelahan dengan cara Marshall untuk mendapatkan jumlah persentase aspal optimum yang menghasilkan kinerja campuran terbaik

3.4.3 Persiapan pengambilan data

Setelah mendapatkan nilai persentase optimum aspal dari kedua campuran dengan gradasi diatas zona larangan Laston AC-WC dan HRS Laston WC sebagai acuan untuk pengujian selanjutnya, dilakukan persiapan dengan membuat sejumlah benda uji dengan persentase aspal optimum, yaitu 6,4 % untuk gradasi Laston AC-WC dan 6,8% untuk gradasi HRS Laston WC menggunakan aspal Shell.

Pengujian dilakukan menggunakan alat Umatta untuk mendapatkan data regangan tarik, tegangan tarik dan modulus resilien. Pengujian berikutnya menggunakan alat *Wheel Tracking devices* untuk mendapatkan data deformasi permanen campuran.

Selain variasi gradasi agregat, parameter berikutnya adalah variasi pembebanan untuk menentukan modulus resilien dan data turunannya, serta variasi temperatur untuk menentukan modulus resilien dan deformasi permanen.

Variasi pembebanan dimulai dari 187,5N, 250N, 450N, 600N, 1500N dan 2000N, sebagai beban maksimum yang mampu diterima alat Umatta. Variasi temperatur diambil 25⁰C, 37,5⁰C dan 50⁰C.

Dasar penentuan suhu :

- Suhu 25⁰C merupakan suhu standar pengujian aspal menurut SNI 03-6836-2002.
- Suhu pengujian *Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixture* ASTM D 4123-82 adalah 5, 25, 40⁰C.
- Suhu standar untuk pengujian deformasi permanen sesuai JICA 83 dengan *Wheel Tracking devices* adalah 25⁰C.
- Dengan menganggap temperatur tertinggi bulanan (MMAT = Mean Annual Air Temperature) 32,0⁰C dengan deviasi standar antara 0,32 – 0,47 ⁰C (Aschuri,2003), diambil rumus dari hasil pengujian Sujatmiko (1999) dimana

$$\begin{aligned} T_{p15} &= 2,9726 T_u - 45,377 \\ &= 2,9726(32) - 45,377 \end{aligned}$$

Didapatkan *Monthly Mean Pavement Temperature* (MMPT) \approx 50⁰C

- Titik tengah antara 25⁰C dan 50⁰C = 37,5⁰C
- Dengan demikian suhu pengujian ditetapkan 25⁰C, 37,5⁰C dan 50⁰C

Dasar penentuan beban :

- Penentuan beban didasarkan pada kemampuan alat Umatta menerima beban pada suhu tertinggi pengujian yang menyebabkan pemuaian benda uji, agar regangan tarik horizontal yang terjadi pada suhu tertinggi pengujian masih dapat dibaca oleh alat uji.
- Beban maksimum yang dapat diberikan alat uji Umatta adalah 2000N pada suhu 25⁰C. Sebagai variasi pembebanan diambil 0,75 dari beban maksimum = 1500N
- Pada suhu pengujian 37,5⁰C beban maksimum diambil 0,3 dari 2000 N = 600 N. Variasi pembebanan diambil 0,75 dari beban maksimum = 450N

- Pada suhu pengujian 50⁰C beban terendah diambil 0,3 dari 600N \approx 187,5 N dengan pertimbangan regangan tarik horizontal pada suhu pengujian tertinggi masih mampu dibaca oleh alat uji. Beban maksimum pada suhu 50⁰C ini = $187,5 : 0,75 = 250$ N.
- Dengan demikian variasi pembebanan untuk pengujian 187,5N, 250N, 450N, 600N, 1500N dan 2000N

Dasar penentuan Poisson's Ratio :

- Diambil 0,4 sesuai dengan yang diatur dalam SNI 03-6836-2002.

3.4.4 Prosedur pengujian

Pengujian dengan alat Umatta yang dilakukan adalah uji tarik tak langsung terhadap beton aspal campuran panas untuk mendapatkan data berupa besaran tegangan tarik, regangan tarik dan modulus resilien serta uji *wheel tracking* untuk menentukan ketahanan terhadap deformasi permanen dari sejumlah benda uji yang diperiksa dengan parameter variasi gradasi agregat, suhu, dan pembebanan. Benda uji tarik tak langsung berukuran tebal berkisar 62 mm dan diameter berkisar 101 mm yang dibuat dengan memenuhi prosedur pembuatan benda uji Marshall. Sementara benda uji untuk pengukuran deformasi permanen berukuran 300 x 300 x 50 mm.

Pengujian menggunakan alat Umatta dilakukan dengan pembebanan berulang mengacu pada prosedur uji menurut metoda ASTM D4213 dan SNI 03-6836-2002. Pada pengujian dengan alat Umatta proses pembebanan untuk setiap benda uji terdiri dari 2 tahap pembebanan, yaitu tahap *preconditioning* dan tahap pengujian utama.

Tahap *preconditioning* diperlukan untuk mempersiapkan benda uji agar bacaan data yang dihasilkan sudah dalam kondisi yang stabil/seragam. Input data diawali dengan pengondisian 5 pulsa dilanjutkan dengan pengujian utama beban 5 pulsa, periode pengondisian pulsa 2000 ms, periode pulsa sama dengan frekuensi pembebanan diambil 1000 dan 3000 ms setara dengan 1 dan 0,3 Hz pada masing-

masing matrik pengujian, *rise time* 40 ms, beban dari 187 sampai 2000 N, Poisson Ratio diambil 0,4 sesuai SNI. Suhu pengujian diambil 25, 37,5, dan 50 °C.

Gambar 3.3 memperlihatkan alat Umatta didalam ruangan pengatur suhu (chamber), dan komputer sebagai piranti pembaca data.



Gambar 3.3. Alat Umatta dan komputer pembaca data. Sumber : Lab Pujatan, PU

Data diperoleh langsung secara otomatis dari perhitungan komputer meliputi modulus resilien, *rise time peak*, *time of loading*, tegangan tarik,, *peak force* dan *total recoverable strain*.

Modulus resilien dihitung berdasarkan SNI 03-6836-2002 :

$$E = Fx \frac{(\mu + 0.27)}{(LxH)}$$

Dimana :

E = modulus resilien (MPa)

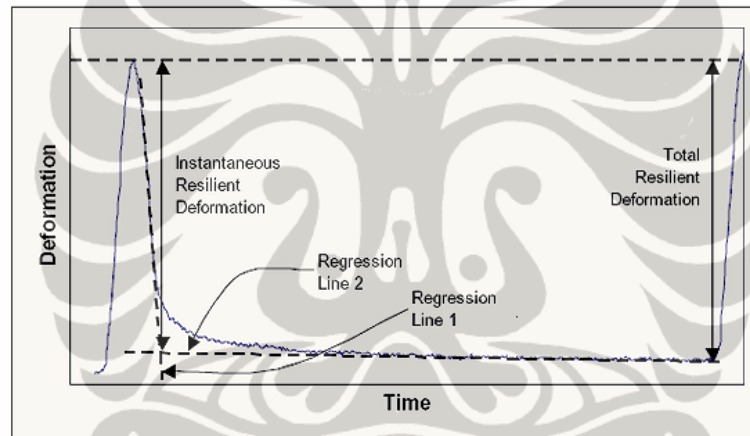
F = beban maksimum (N)

μ = poisson's ratio

L = panjang benda uji

H = total regangan tarik horizontal (mm)

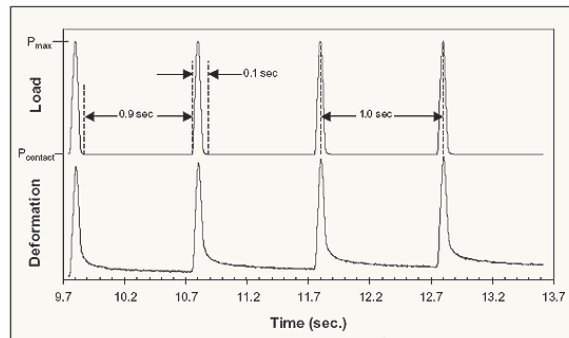
Gambar 3.4 menyajikan hubungan antara deformasi dan waktu dalam satu gelombang pembebanan yang menunjukkan deformasi resilien seketika. Menurut SNI 03-6836-2002, yang dimaksud dengan deformasi resilien horisontal adalah perbedaan antara puncak deformasi horisontal pada suatu pulsa pembebanan dengan deformasi horisontal pada akhir periode pengulangan pulsa tersebut



Gambar 3.4 Hubungan deformasi dan waktu dalam gelombang pembebanan.

Sumber <http://www.fhwa.dot.gov/pavement>

Gambar 3.5 memperlihatkan hubungan antara beban dan deformasi dalam siklus beban yang dinyatakan dengan pulsa dimana waktu pulsa 0,1 detik dan periode recovery 0,9 detik. Dapat dilihat bahwa deformasi tidak balik (irrecoverable) bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah pulsa dan waktu dalam siklus pembebanan.



Gambar 3.5 Hubungan antara beban dan deformasi dalam waktu pulsa.

Sumber <http://www.fhwa.dot.gov/pavement>

Pada pengujian dengan alat *wheel tracking* contoh campuran beraspal berukuran 30 cm x 30 cm x 5 cm, dilalui berulang kali oleh roda penguji terbuat dari karet keras yang mempunyai diameter 20 cm dengan lebar tapak roda 5 cm ± 0,1 cm dan dibebani 520 N ± 5 N. Dari hasil pengujian *Wheel Tracking* tersebut dapat diperoleh Stabilitas Dinamis (lintasan/mm) dan Kecepatan Deformasi (mm/menit).

$$\text{Stabilitas dinamis} = 42 \times (T60 - T45)D 60 - D45$$

$$\text{Kecepatan Deformasi} = (D60 - D 45) 60 - 45$$

Dimana :

T 60 = lamanya pengujian 60 menit

T45 = lama pengujian 45 menit

D60 = Deformasi pada waktu pengukuran 60 menit

D45 = Deformasi pada waktu pengukuran 45 menit

Gambar 3.6 memperlihatkan alat *Wheel Tracking* didalam ruangan pengatur suhu (chamber)



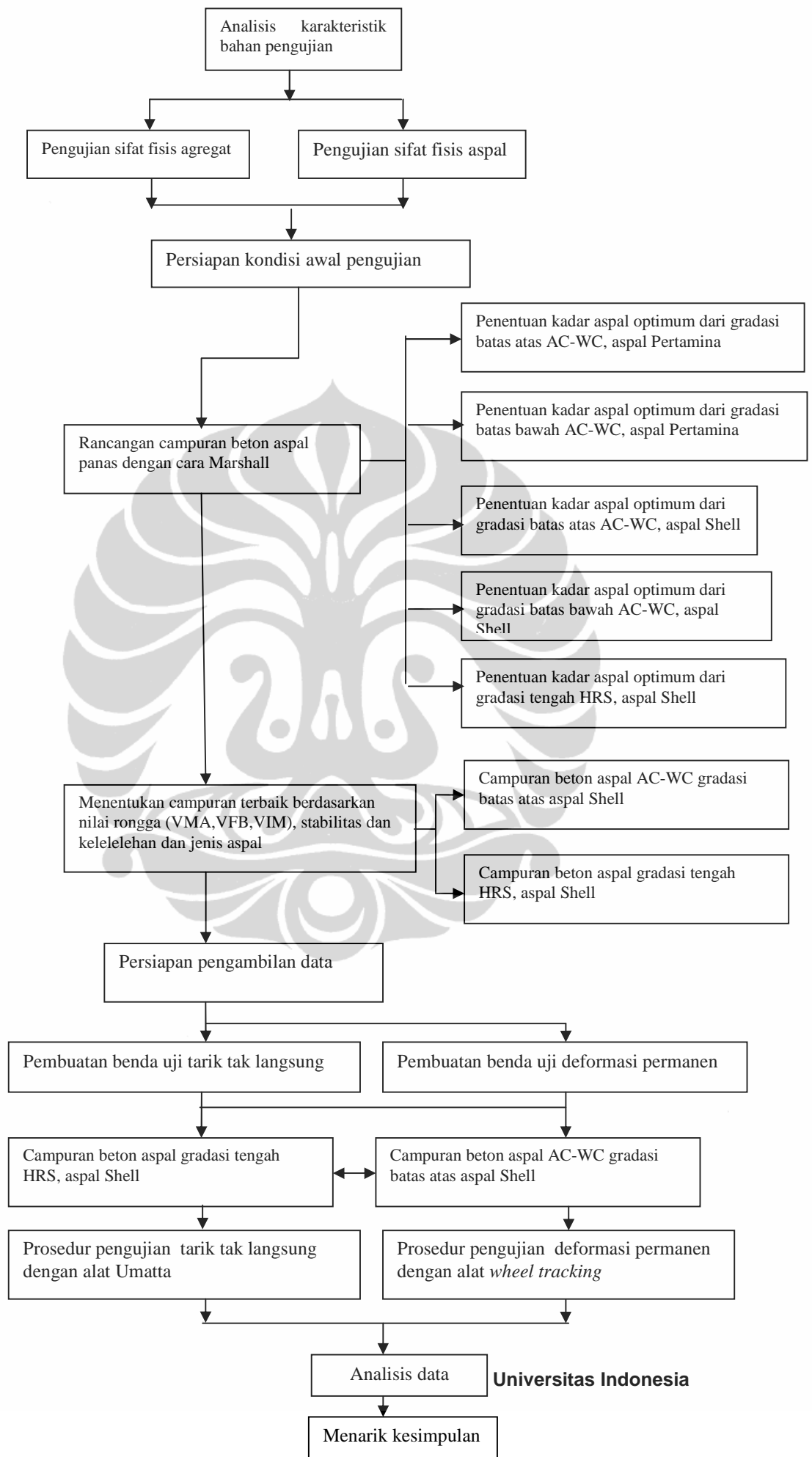
Gambar 3.6. Benda uji dan alat *Wheel Tracking*. Sumber : Lab Pusjatan Dep.PU

3.4.5 Analisis data

Data yang dihasilkan dianalisis dengan rancangan faktorial, dimaksudkan untuk menentukan faktor mana diantara sejumlah faktor yang secara potensial memberikan efek pada respon, untuk melihat hubungan antara parameter yang ditinjau dengan *output* yang dihasilkan. Karena terdapat lebih dari satu unit eksperimen untuk setiap perlakuan, maka digunakan analisis varians (ANOVA) untuk menguji efek utama dan efek interaksi dalam model.

3.4.6 Menarik kesimpulan

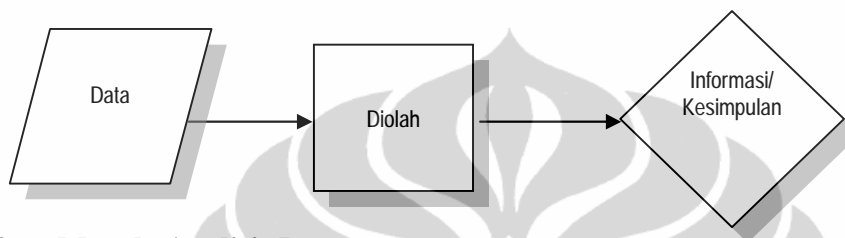
Setelah data dianalisis ditarik kesimpulan sesuai dengan tujuan dan masalah penelitian. Bagan alir dari tahapan penelitian diatas dibuat sebagai berikut



3.5 ANALISIS DATA

3.5.1 Metode Pengumpulan Data

Data yang diambil adalah data primer yaitu data yang dikumpulkan sendiri oleh peneliti langsung dari sumber pertama, dengan melakukan eksperimen di laboratorium. Secara umum transformasi data menjadi informasi mempunyai alur sebagai berikut:



3.5.2 Metode Analisis Data

3.5.2.1 Pendahuluan

Data primer yang diambil dari pengujian laboratorium menghasilkan data regangan tarik, tegangan tarik dan modulus resilien, serta deformasi permanen beton aspal campuran panas dengan parameter variasi gradasi agregat, temperatur, dan pembebanan. Untuk mendapatkan hubungan antara masing-masing parameter dan *output* data dilakukan analisis rancangan faktorial yang merupakan bagian dari metode statistik parametrik.

3.5.2.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam proses pemodelan ini terdiri dari 2 (dua) variabel, yaitu: variabel terikat (*dependent variable*), dan variabel bebas (*independent variable*). Variabel terikat adalah regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan deformasi permanen.

Sementara variabel bebasnya (*independent variable*) berupa variasi gradasi agregat, temperatur, dan variasi pembebanan.

3.5.2.3 Rancangan faktorial (Factorial Design)

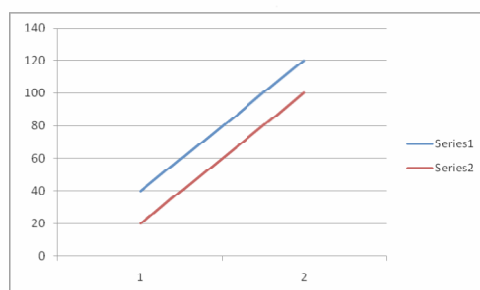
Rancangan faktorial atau disebut juga percobaan faktorial adalah mengamati pengaruh beberapa faktor dalam penelitian yang sama secara serentak, biasanya

dengan menggunakan analisis varians (ANOVA) atau analisis keragaman.

ANOVA digunakan sebagai suatu aturan untuk menempatkan perlakuan ke dalam satuan-satuan percobaan yang bertujuan untuk mengukur pengaruh perlakuan pada percobaan. Perlakuan tunggal atau variabel bebas dinamakan faktor, yang mungkin memiliki beberapa level. Jika faktor (variabel bebas) yang digunakan lebih dari satu, disebut ANOVA Faktorial. Percobaan faktorial adalah percobaan yang perlakuannya terdiri atas semua kemungkinan kombinasi level dari beberapa faktor. Tujuan percobaan untuk melihat interaksi antar faktor yang dicobakan.

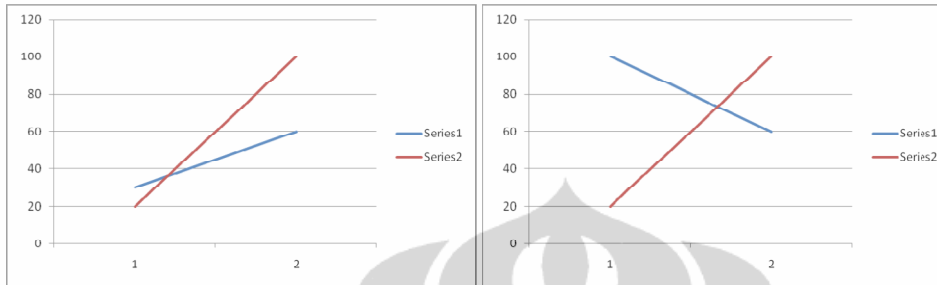
Adakalanya kedua faktor saling sinergi terhadap respon (positif), namun adakalanya juga keberadaan salah satu faktor justru menghambat kinerja faktor lain (negatif). Adanya kedua mekanisme itu cenderung meningkatkan pengaruh interaksi antar kedua faktor. Yang dimaksud dengan interaksi adalah mengukur kegagalan pengaruh salah satu faktor untuk tetap sama pada setiap perlakuan faktor lainnya. Dengan kata lain interaksi antara faktor adalah apakah pengaruh faktor tertentu tergantung dari level faktor lainnya. Sebaliknya jika tidak terjadi interaksi berarti pengaruh suatu faktor tetap pada setiap level faktor yang lain.

Misal ada 2 peubah bebas, Faktor A yang terdiri dari a level dan faktor B yang terdiri dari b level dan kedua faktor tersebut diduga saling berinteraksi. Bila tidak terjadi interaksi antar level-level, suatu faktor saling sejajar satu sama lainnya diilustrasikan pada gambar 3.7 .



Gambar 3.7 tidak terjadi interaksi antar level faktor A dan B

Sebaliknya bila ada interaksi, maka hubungan faktor A dan Faktor B tidak saling sejajar, secara sederhana ditunjukkan dengan ilustrasi gambar 3.8.



Gambar 3.8 terjadi interaksi antar level faktor A dan B

Secara umum, analisis varians menguji dua varians (atau ragam) berdasarkan hipotesis nol bahwa kedua varians itu sama. Varians pertama adalah varians antarcontoh (*among samples*) dan varians kedua adalah varians di dalam masing-masing contoh (*within samples*). Dengan ide semacam ini, analisis varians dengan dua contoh akan memberikan hasil yang sama dengan uji-t untuk dua rerata (*mean*).

Supaya sah (*valid*) dalam menafsirkan hasilnya, analisis varians menggantungkan diri pada empat asumsi yang harus dipenuhi dalam perancangan percobaan:

1. Data berdistribusi normal, karena pengujiannya menggunakan uji F-Snedecor
2. Varians atau ragamnya homogen, dikenal sebagai homoskedastisitas, karena hanya digunakan satu penduga (*estimate*) untuk varians dalam contoh
3. Masing-masing contoh saling bebas, yang harus dapat diatur dengan perancangan percobaan yang tepat
4. Komponen-komponen dalam modelnya bersifat aditif (saling menjumlah).
- 5.

Prosedur uji ANOVA

Secara umum prosedur uji ANOVA terdiri dari tujuh tahap, yaitu:

1. **Pernyataan hipotesis nol dan hipotesis alternatif:**

Uji hipotesis dimaksudkan untuk melihat efek utama masing-masing faktor dan efek interaksi antar faktor. Misal:

Efek utama A : $H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$

$$H_1: \tau_i \neq 0$$

Efek utama B : $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$

$$H_1: \beta_j \neq 0$$

Efek interaksi A dan B : $H_0: (\tau \beta)_{ij} = 0$ utk semua i,j

$$H_1: (\tau \beta)_{ij} \neq 0$$

Jika hipotesis alternatif diterima maka berarti sekurang-kurangnya terdapat satu mean populasi yang berbeda dari populasi lainnya.

2. Pemilihan tingkat kepentingan (level of significance)

Diambil tingkat kepentingan 0,05

3. Penentuan distribusi pengujian yang digunakan.

Yang digunakan adalah distribusi F dengan mengetahui:

- a. Tingkat kepentingan (level of significance)
- b. Derajat kebebasan (degree of freedom) yang digunakan sebagai $df_{mm} = k - 1$,
dimana k = jumlah populasi/sampel
- c. Derajat kebebasan (degree of freedom) yang digunakan sebagai $df_{den} = T - k$,
dimana T = jumlah total anggota sampel diseluruh populasi yang diuji
dan k = jumlah populasi/sampel

4. Pendefinisian daerah Penolakan atau kritis

Daerah penerimaan dan penolakan dibatasi oleh nilai kritis F_{cr} atau F hitung

5. Pernyataan aturan keputusan (decision rule)

Tolak H_0 dan terima H_1 jika $F > F_{cr}$. Jika tidak demikian terima H_0

6. Perhitungan rasio uji (RU)

Rumus yang digunakan untuk menghitung rasio uji (nilai F) adalah

$$F \text{ test} = \frac{\sigma^2_{\text{antara}}}{\sigma^2_{\text{dalam}}}$$

7. Pengambilan keputusan

Jika nilai rasio uji berada di daerah penerimaan maka hipotesis nol diterima, sedangkan jika berada di daerah penolakan maka hipotesis nol ditolak.

Uji Asumsi Klasik

Pengujian asumsi klasik ini dilakukan sebagai berikut:

a) Uji Multikolinieritas (*Multicollinearity*).

Multikolinieritas adalah suatu keadaan dimana satu atau lebih variabel bebas dapat dinyatakan sebagai kombinasi linier dari variabel bebas lainnya. Indikasi multikolinieritas ditunjukkan dengan koefisien *Tolerance* dan *Variance Inflation Factor*. Asumsi non Multikolinieritas, artinya diantara variabel bebas X_1 tidak terjadi korelasi yang besar atau mendekati sempurna. Untuk mengetahuinya dapat dilihat dari nilai *Variance Inflation Factor (VIF)* yang disyaratkan nonmulti-kolinier jika koefisien toleransi $T \geq 10\%$ atau koefisien $VIF < 10$ (Hair, Anderson, Tatham dan Black, 1992). Ketentuan tersebut karena $T_x VIF = 1$

b) Uji Autokorelasi (*Autocorrelation*).

Autokorelasi adalah suatu keadaan dimana variabel gangguan antar periode (*time series*) atau antar sampel berdekatan (*crosssectional*) memiliki korelasi, atau dengan kata lain variabel gangguan tidak random. Jika ternyata dalam suatu model mengandung autokorelasi, akibatnya parameter yang di estimasi menjadi bias dan variannya tidak minimum. Uji Autokorelasi, dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi korelasi antara komponen pengganggu (e) dari satu observasi terhadap observasi berikutnya.

Untuk mengetahuinya digunakan uji Durbin Watson $DW = 2(1-p)$

Gujarati (1988) mengemukakan bahwa apabila hasil perhitungan DW disekitar = 2 atau $2 = 2 - 2r$ jadi $r = 0$ berarti tidak ada autokorelasi, namun jika $DW = 0$ maka terjadi autokorelasi positif sempurna ($r = +1$) sebaliknya jika $DW = 4$ maka terjadi autokorelasi negatif sempurna ($r = -1$). Dianggap non autokorelasi apabila koefisien Durbin Watson diantara 1 dan 3 atau $1 \leq D \leq 3$.

c) Uji Heteroskedastisitas (*Heteroscedasticity*).

Heteroskedastisitas adalah distribusi gangguan (faktor gangguan) tidak memiliki varian yang sama atau variannya tidak konstan. Untuk mendeteksi gejala heteroskedastisitas dapat digunakan Uji Park. Secara spesifik dikatakan bahwa koefisien korelasi yang tinggi menandakan adanya heteroskedastisitas.

Uji heteroskedastisitas dapat juga dilakukan dengan menggunakan *scatterplot*, jika data menyebar tanpa membentuk pola hubungan tertentu dalam *scatterplot* menandakan tidak terjadi korelasi (nonsignifikan) antar variabel prediktor (variabel bebas) dengan residual. Kondisi demikian berarti tidak terjadi heteroskedastisitas (heteroskedastisitas). Asumsi Homoskedastisitas atau $e \sim N(0, \sigma^2)$, artinya, varian e adalah konstan dari pengamatan yang satu ke pengamatan yang lain.

Uji heteroskedastisitas, dilakukan untuk mengetahui apakah komponen pengganggu (e) mempunyai varians yang sama atau tidak. Untuk mengetahuinya digunakan penyebaran data dalam *scatterplot* yang disyaratkan tidak membentuk pola tertentu dan tersebar di atas dan di bawah titik nol dari sumbu tegak (Santoso, 2000 : 208-211).

d) Uji normalitas

Uji normalitas digunakan untuk menguji asumsi kenormalan data digunakan grafik normal P.P Plot- hasil pengujian menunjukkan adanya sebaran data yang normal yaitu suatu pendekatan fungsi dari suatu kumpulan data yang memiliki ciri khas. Pengamatan yang paling banyak dijumpai memiliki nilai disekitar garis diagonal (Santoso, 2004:339). Dalam penelitian ini alat uji yang digunakan adalah Smirnov Kolmogorov untuk mengetahui apakah asumsi kenormalan tercapai atau tidak

e) Uji Duncan

Apabila hubungan antar faktor dan interaksinya signifikan maka dilanjutkan dengan uji berganda Duncan untuk menentukan pengambilan keputusan menerima atau menolak H_1 . Uji Duncan didasarkan pada sekumpulan nilai beda nyata yang ukurannya semakin besar, tergantung pada jarak di antara pangkat-pangkat dari dua nilai tengah yang dibandingkan. Dapat digunakan untuk menguji perbedaan diantara semua pasangan perlakuan yang mungkin tanpa memperhatikan jumlah perlakuan.



BAB IV PEMBAHASAN

4.1 PENDAHULUAN

Dari uji laboratorium, hasil pengujian pendahuluan disajikan mulai dari data sifat fisis agregat, sifat fisis aspal, dan karakteristik beton aspal pada persentase aspal optimum yang mendasari pembuatan benda uji untuk pengujian tarik tak langsung dengan alat Umatta dan deformasi permanen dengan *wheel tracking devices*. Setelah itu ditampilkan data regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan deformasi permanen yang didapatkan dari kedua macam pengujian diatas dengan variabel bebas dua jenis gradasi agregat, variasi temperatur dan pembebanan. Data dianalisis untuk melihat hubungan antara variabel bebas terhadap variabel terikat berupa regangan tarik, tegangan tarik, dan modulus resilien. Sementara hubungan variabel bebas dengan deformasi permanen dibahas tersendiri. Pada bagian akhir data dari kedua jenis pengujian dikompilasi untuk menarik kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.

4.2 DATA PENGUJIAN PENDAHULUAN

Secara umum agregat dan aspal yang diuji memenuhi syarat dan dapat digunakan.

4.2.1 Sifat fisis agregat

Data pengujian sifat fisis agregat disajikan dalam tabel 4.1.

Tabel 4.1 Tabulasi Data Agregat

Pengujian	Agregat kasar	Agregat Tepung batu	Halus Semen Portland	Agregat pengisi	Keterangan
BJ semu	2,51	2,53	3,15	2,52	Min 2,50

Berat isi padat	1,37	1,50	1,25	1,43	Min 1,42
kg/l	1,75	2,6	---	2,9	Min 8%
Kadar lumpur %					

4.2.2 Gradasi agregat

Dari hasil analisa ayak agregat kasar, agregat halus dan agregat pengisi yang digabung berdasarkan spesifikasi Bina Marga Edisi Desember 2007 tentang Laston AC WC, didapatkan gradasi diatas dan dibawah daerah larangan (restriction Zone). Gradasi diatas dan dibawah zona larangan berada diluar daerah larangan, memenuhi syarat dan dapat digunakan. Gradasi hasil penelitian dicantumkan pada Tabel 4.2 :

Tabel 4.2 Tabulasi Data Agregat

Ukuran ayakan	Laston AC- WC			Lataston HRS	
	Gradasi diatas daerah larangan	Gradasi dibawah daerah larangan	Syarat	Syarat	Nilai tengah gradasi
25 mm	100	100	100	100	100
19	95	95	100	100	100
12,5	85	85	90-100	90-100	95
9,5	60	60	Maks 90	75-85	85
No 4	-	-	-	-	-
No 8	45	33	28-58 31,6	50-72	66
No 16	36	21	25,6-31,6	-	-
No 30	29	15	19,1-23,1	35-60	52
No 50	20	11	15,5	-	-
No 100	-	-	-	-	-
No 200	10	8	4-10	6-12	9

Warna merah pada spesifikasi adalah daerah larangan (restriction zone)

4.2.3 Sifat fisis aspal

Pengujian aspal dicantumkan pada tabel 4.3. Sifat fisis aspal memenuhi persyaratan Bina Marga edisi Desember 2007. Secara fisik karakteristik kedua

macam aspal hampir sama, hanya aspal Shell mempunyai ketahanan terhadap suhu sedikit lebih tinggi dari aspal Pertamina

Tabel 4.3 Tabulasi pengujian aspal

Pengujian	Aspal Pertamina	Aspal Shell	Persyaratan
Berat jenis	1,02	1,01	Min 1,0
Penetrasi	59	61	60-79
Titik lembek, °C	49	53	48-58
Daktalitas, cm	90	100	Min 100
Titik nyala dan titik bakar °C	210 -250	340 – 368	Min 200

Hasil Uji Marshall

Hasil pengujian menunjukkan bahwa gradasi agregat AC-WC yang berada diatas zona larangan dengan aspal Shell memberikan hasil terbaik dibandingkan dengan gradasi dibawah zona larangan dan kondisi aspal optimum diambil 6,4%. Sementara gradasi agregat HRS menunjukkan nilai optimum pada kandungan aspal 6,8%. Harga-harga pengujian dicantumkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Tabulasi hasil uji Marshall

Nama Pengujian	Hasil Pengujian		Persyaratan Bina Marga 2007
	AC-WC	HRS	
Void in Mineral Aggregate, VMA, %	15,96	18,2	Min 15
Void In Mixture VIM, %	5,19	3,8	3,5 – 5,5
Void Filled with Binder, VFB, %	67,51	79,2	Min 65
Stabilitas, kg	873	1151,6	Min 800
Kelelehan, mm	4,04	3,6	Min 3,0
Marshall Quotion, kg/mm	234	323,1	Min 250

Dari data yang tersaji, dapat dilihat bahwa data umumnya memenuhi persyaratan walaupun nilai kekakuan Marshall gradasi agregat AC-WC sedikit lebih kecil yang disyaratkan.

4.3 DATA UJI TARIK TAK LANGSUNG

4.3.1 Benda uji

Dengan berdasarkan hasil uji Marshall untuk dua jenis gradasi agregat pada persentase aspal yang menghasilkan stabilitas dan kelelahan optimum dibuat benda uji untuk pengujian non destruktif tarik tak langsung dengan alat Umatta. Benda uji berukuran diameter 101,6 mm (4 inci) dengan tebal 62 mm. Berdasarkan variasi pada matriks pengujian, setiap variasi diuji dengan benda uji sebanyak 3 buah. Data pengujian dibahas pada analisis data.

4.4 DATA UJI DEFORMASI PERMANEN

4.4.1 Benda uji

Dengan berdasarkan hasil uji Marshall untuk dua jenis gradasi agregat pada persentase aspal yang menghasilkan stabilitas dan kelelahan optimum dibuat benda uji untuk pengujian deformasi permanen menggunakan alat *Whell tracking*. Benda uji berukuran 30 cm x 30 cm x 5 cm. Untuk setiap variasi suhu, dibuat tiga benda uji. Data pengujian dibahas pada analisis data.

4.5. MATRIKS PENGUJIAN

Parameter pengujian dari kedua jenis pengujian diatas dan hasil yang didapatkan adalah regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan deformasi permanen dengan variabel bebas dua jenis gradasi agregat, variasi suhu dan pembebanan.

Hubungan antara hasil yang diinginkan dari parameter pengujian sebagai variabel terikat, dengan variabel bebas digambarkan dalam matriks pengujian (Tabel 4. 5) :

Tabel 4. 5 Matriks Pengujian

variabel	gradasi	Suhu	beban	Hasil
				Regangan tarik
gradasi				Tegangan tarik
suhu				Modulus resilien
beban				Deformasi permanen

Variasi pembebanan pada setiap suhu tidak sama karena kemampuan alat uji Umatta hanya mampu memberikan hasil data maksimum pada variasi pembebanan dan temperatur seperti tabel dibawah ini. Detail pada masing-masing variasi variabel bebas dicantumkan pada Tabel 4. 6.

Tabel 4. 6 Detail variasi variabel bebas

Gradasi AC-WC							Gradasi HRS						
suhu		beban					suhu		beban				
25C	187,5	250	450	600	1500	2000	25C	187,5	250	450	600	1500	2000
37,5C	187,5	250	450	600	--	--	37,5C	187,5	250	450	600	--	---
50 C	187,5	250	--	--	--	--	50 C	187,5	250	--	--	--	--

4.6 ANALISIS DATA

4.6.1 Pendahuluan

Untuk mengolah data uji deformasi permanen langsung dikelompokkan dan dibandingkan hasilnya. Analisis disajikan setelah keseluruhan data uji tarik tak langsung ditampilkan.

Data uji tarik tak langsung diolah dengan cara rancangan faktorial menggunakan analisis varians atau analisis ragam lebih dari satu faktor. Pembahasan terhadap data dikelompokkan pada berbagai variasi temperatur dan pembebanan dengan tujuan memperoleh data yang homogen untuk keperluan perhitungan, serta untuk memberikan hasil yang mewakili sesuai dengan tujuan penelitian. Data dikelompokkan dalam 4 bagian, dinyatakan sebagai matrik 1 sampai dengan matrik 4.

Matrik 1 berisi variasi suhu 25⁰C sampai dengan 50⁰C dengan beban rendah yang diwakili oleh 187,5 sampai dengan 250 N. Matrik 2 berisi variasi suhu 25⁰C sampai dengan 37,5⁰C dengan beban 187,5 sampai dengan 600 N yang merupakan beban maksimum yang mampu dicapai alat uji pada suhu 37,5⁰C.

Matrik 3 berisi suhu 25⁰C dengan beban 1500 sampai dengan 2000 N yang merupakan beban maksimum yang mampu dicapai alat uji pada suhu 25⁰C. Matrik 3 merepresentasikan beban tinggi pada suhu rendah. Matrik 4 berisi suhu 50⁰C dengan beban 187,5 sampai dengan 250 N yang merupakan beban maksimum yang mampu dicapai alat uji pada suhu 50⁰C. Matrik 4 merepresentasikan beban rendah pada suhu tinggi.

1. Anova untuk data lengkap pada ketiga macam suhu (25 C; 37,5C; 50C) dengan 2 macam pembebanan(188 N; 250N). Matrik 1

SUHU	25		37,5		50	
BEBAN	188	250	188	250	188	250
Faktor	Banyaknya Level				Level	
1. jenis gradasi agregat	2				HRS	AC-WC
2. Variasi Suhu	3				25	37,5
3. Variasi Beban	2				188	250

Sehingga perlakuannya **2X3X2**

Perlakuan 1 : HRS,25,188

Perlakuan 2: HRS,37.5,188

Perlakuan 3: HRS,50,188

Perlakuan 4: HRS,25,250

Perlakuan 5: HRS,37.5,250

Perlakuan 6: HRS,50,250

Perlakuan 7 : AC-WC,25,188

Perlakuan 8: AC-WC,37.5,188

Perlakuan 9: AC-WC,50,188

Perlakuan 10: AC-WC,25,250

Perlakuan 11: AC-WC,37.5,250

Perlakuan 12: AC-WC,50,250

2. Anova dengan suhu yang dibandingkan 25 dan 37.5C, Beban 188 250 450 dan 600N. Matrik 2

SUHU	25				37,5			
BEBAN	188	250	450	600	188	250	450	600

Faktor	Banyaknya Level				Level			
1. Jenis gradasi agregat	2				HRS AC-WC			

2. Variasi Suhu	2	25				37,5			
3. Variasi Beban	4	188	250	450	600	188	250	450	600

Sehingga perlakuannya **2X2X4**

- Perlakuan 1 : HRS,25,188
- Perlakuan 2: HRS,37.5,188
- Perlakuan 3: HRS,25,250
- Perlakuan 4: HRS,37.5,250
- Perlakuan 5: HRS, 25,450
- Perlakuan 6: HRS,37.5,450
- Perlakuan 7 : HRS, 25,600
- Perlakuan 8: HRS,37.5,600
- Perlakuan 9: AC-WC, 25,188
- Perlakuan 10: AC-WC, 37.5,188
- Perlakuan 11: AC-WC, 25,250
- Perlakuan 12: AC-WC, 37.5,250
- Perlakuan 13: AC-WC, 25,450
- Perlakuan 14: AC-WC, 37.5,450
- Perlakuan 15: AC-WC, 25,600
- Perlakuan 16: AC-WC, 37.5,600

3. Anova dengan suhu 25 C , beban 1500 Dan 2000 N. Matrik 3. Beban tinggi suhu rendah

SUHU	25	
BEBAN	1500	2000

Faktor	Banyaknya Level	Level			
1. jenis gradasi agregat	2	HRS	AC-WC		
2. Variasi Suhu	1	25	25		
3. Variasi Beban	2	1500	2000	1500	2000

Sehingga perlakuannya **2x1x2**

- Perlakuan 1 : HRS,25,1500
- Perlakuan 2 : HRS,25, 2000
- Perlakuan 3: AC-WC, 25,1500
- Perlakuan 4: AC-WC, 25, 2000

4. Anova dengan suhu 50 C , beban 188 Dan 250 N. Matrik 4. Beban rendah suhu tinggi

SUHU	50	
BEBAN	188	250

Faktor	Banyaknya Level	Level			
1. jenis gradasi agregat	2	HRS	AC-WC		
2. Variasi Suhu	1	50			
3. Variasi Beban	2	188	250	188	250

Sehingga perlakuannya **2x1x2**

Perlakuan 1 : HRS,50,188

Perlakuan 2 : HRS, 50, 250

Perlakuan 3: AC-WC, 50,188

Perlakuan 4: AC-WC, 50, 250

Setelah itu dengan model pengelompokan yang sama data diolah untuk masing-masing jenis gradasi agregat AC-WC dan HRS untuk mendapatkan analisis yang lebih spesifik.

4.6.2 Analisis data uji tarik tak langsung

Data uji tarik tak langsung yang diperoleh di breakdown dalam masing-masing parameter regangan tarik, tegangan tarik dan modulus resilien yang di rangkum pada tabel dan grafik.

Sesuai dengan tujuan penelitian, penentuan kesignifikanan pengaruh variabel bebas jenis gradasi agregat, variasi temperatur dan pembebanan terhadap variabel terikat regangan tarik, tegangan tarik, dan modulus resilien, ditentukan berdasarkan kolom kesignifikanan pada tabel pengamatan dibawah ini. Signifikansi atau tingkat kepentingan (level of significance) menyatakan probabilitas maksimum yang ditetapkan untuk mengambil resiko terjadinya kesalahan. Signifikansi diperoleh setelah nilai F yang didapatkan dari hasil perhitungan dibandingkan dengan nilai F dari tabel yang merupakan tolok ukur untuk menerima hipotesis asumsi yang diuji (H0) atau menolak hipotesis H0 dan menerima hipotesis alternatif (H1). Batasnya adalah nilai signifikansi 0,05 dimana mendekati nilai 0,00 menunjukkan pengaruh yang signifikan dan nilai lebih besar dari 0,05 menunjukkan tidak berpengaruh signifikan

4.6.2.1 Regangan Tarik

1.

SUHU	25		37,5		50	
BEBAN	188	250	188	250	188	250

1.a. Tabel 4.7 Pengamatan regangan untuk 2 jenis agregat

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Agregat	93.060	.000	.511	Signifikan
Suhu	1652.022	.000	.974	Signifikan
Beban	71.392	.000	.445	Signifikan
Agregat * Beban	4.218	.043	.045	Signifikan
Agregat * Suhu	20.368	.000	.314	Signifikan
Suhu * Beban	6.189	.003	.122	Signifikan
Agregat * Suhu * Beban	6.532	.002	.128	Signifikan

a. R Squared = ,979 (Adjusted R Squared = ,976)

1.b. Tabel 4.8 Pengamatan regangan untuk gradasi AC-WC

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Suhu	114.792	.000	.852	Signifikan
Beban	9.658	.003	.194	Signifikan
Suhu * Beban	6.812	.003	.254	Signifikan

a. R Squared = ,853 (Adjusted R Squared = ,820)

1.c. Tabel 4.9 Pengamatan regangan untuk gradasi HRS

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Suhu	1741.252	.000	.987	Signifikan
Beban	99.590	.000	.689	Signifikan
Suhu * Beban	23.897	.000	.515	Signifikan

a. R Squared = ,988 (Adjusted R Squared = ,985)

2.

SUHU	25				37,5			
BEBAN	188	250	450	600	188	250	450	600

2.a. Tabel 4.10 Pengamatan regangan untuk 2 jenis agregat:

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Agregat	209.418	.000	.646	Signifikan
Suhu	2944.551	.000	.962	Signifikan
Beban	446.751	.000	.921	Signifikan
agregat * beban	19.918	.000	.342	Signifikan
agregat * suhu	149.963	.000	.566	Signifikan
suhu * beban	116.332	.000	.752	Signifikan
agregat * suhu * beban	11.916	.000	.237	Signifikan

a. R Squared = ,982 (Adjusted R Squared = ,979)

2.b. Tabel 4.11 Pengamatan regangan untuk gradasi AC-WC

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Suhu	5044.786	.000	.991	Signifikan
Beban	809.693	.000	.981	Signifikan
suhu * beban	296.032	.000	.949	Signifikan

a. R Squared = ,994 (Adjusted R Squared = ,992)

2.c. Tabel 4.12 Pengamatan regangan untuk gradasi HRS

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Suhu	1741.252	.000	.987	Signifikan
Beban	99.590	.000	.689	Signifikan
Suhu * Beban	23.897	.000	.515	Signifikan

a. R Squared = ,988 (Adjusted R Squared = ,985)

3.

SUHU	25
BEBAN	1500 2000

3.a.

Tabel 4.13 Pengamatan regangan untuk 2 jenis agregat

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Agregat	59.989	.000	.779	Signifikan

Beban	757.631	.000	.978	Signifikan
Agregat * Beban	2.262	.151	.117	Tidak Signifikan

a. R Squared = ,979 (Adjusted R Squared = ,971)

3.b. Tabel 4.14 Pengamatan regangan untuk gradasi AC-WC

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
------------------	----------	---------------	---------------------	------------

Beban	142.364	.000	.836	Signifikan
-------	---------	-------------	------	-------------------

a. R Squared = ,836 (Adjusted R Squared = ,830)

3.c. Tabel 4.15 Pengamatan regangan untuk gradasi HRS

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
------------------	----------	---------------	---------------------	------------

Beban	6.576	.020	.268	Signifikan
-------	-------	-------------	------	-------------------

a. R Squared = ,268 (Adjusted R Squared = ,227)

4.

SUHU	50 C
BEBAN	188 250

4.a. Tabel 4.16 Pengamatan regangan untuk 2 jenis agregat

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
------------------	----------	---------------	---------------------	------------

Agregat	40.878	.000	.602	Signifikan
Beban	8.460	.007	.239	Signifikan
Agregat * Beban	3.009	.094	.100	Tidak Signifikan

a. R Squared = ,669 (Adjusted R Squared = ,583)

4.b. Tabel 4.17 Pengamatan regangan untuk gradasi AC-WC

Pada matrik 4, untuk mengetahui pengaruh beban, dilakukan uji t (t test), dengan membandingkan nilai rata-rata (mean) beban 188 terhadap beban 250.

Variabel Strain: Ragam tidak sama (tidak homogen), nilai sig. Uji levene 0,001 lebih kecil dari $\alpha=0,05$.

Nilai rata-rata (mean) beban 188 berbeda signifikan dg beban 250 N (sig. 0,000 < $\alpha=0,05$). Jadi pada suhu 50 C beban berpengaruh signifikan terhadap strain.

4.c. Pengamatan regangan untuk gradasi HRS

Variabel Strain: Ragam tidak sama (tidak homogen), nilai sig. Uji Levene 0,034 lebih kecil dari $\alpha=0,05$.

Nilai rata-rata (mean) beban 188 berbeda signifikan dg beban 250 N (sig. 0,005 < $\alpha=0,05$). Jadi pada suhu 50 C beban berpengaruh signifikan terhadap strain.

4.6.2.2 Tegangan Tarik

1.

SUHU	25		37,5		50	
BEBAN	188	250	188	250	188	250

1.a.

Tabel 4.18 Pengamatan

tegangan untuk 2 jenis agregat

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Agregat	26.179	.000	.227	Signifikan
Suhu	4.375	.015	.090	Signifikan
Beban	160.876	.000	.644	Signifikan
Agregat * Beban	.380	.539	.004	Tidak Signifikan
Agregat * Suhu	1.585	.211	.034	Tidak Signifikan
Suhu * Beban	.393	.676	.009	Tidak Signifikan
Agregat * Suhu * Beban	.865	.424	.019	Tidak Signifikan

a. R Squared = ,726 (Adjusted R Squared = ,680)

1.b. Tabel 4.19 Pengamatan tegangan untuk AC-WC

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Suhu	6.656	.003	.250	Signifikan
Beban	72.186	.000	.643	Signifikan
Suhu * Beban	.012	.988	.001	Tidak Signifikan

1.c. Tabel 4.20 Pengamatan tegangan untuk HRS

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Suhu	.968	.388	.041	Tidak Signifikan

Beban	82.342	.000	.647	Signifikan
Suhu * Beban	1.008	.373	.043	Tidak Signifikan

a. R Squared = ,703 (Adjusted R Squared = ,643)

2.

SUHU	25				37,5			
BEBAN	188	250	450	600	188	250	450	600

2.a. Tabel 4.21 Pengamatan tegangan untuk 2 jenis agregat

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Agregat	17.590	.000	.133	Signifikan
Suhu	6.017	.016	.050	Signifikan
Beban	1617.313	.000	.977	Signifikan
agregat * beban	.255	.858	.007	Tidak Signifikan
agregat * suhu	.347	.557	.003	Tidak Signifikan
suhu * beban	.905	.441	.023	Tidak Signifikan
agregat * suhu * beban	.562	.641	.014	Tidak Signifikan

a. R Squared = ,980 (Adjusted R Squared = ,976)

2.b. Tabel 4.22 Pengamatan tegangan untuk gradasi AC-WC :

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Suhu	7.557	.008	.136	Signifikan
Beban	887.352	.000	.982	Signifikan
suhu * beban	3.340	.027	.173	Signifikan

a. R Squared = ,984 (Adjusted R Squared = ,980)

2.c. Tabel 4.23 Pengamatan tegangan untuk gradasi HRS :

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Suhu	5.549	.022	.087	Signifikan
Beban	946.890	.000	.980	Signifikan

suhu * beban	1.513	.221	.073	Tidak Signifikan
--------------	-------	------	------	------------------

a. R Squared = ,983 (Adjusted R Squared = ,980)

3.

SUHU	25
BEBAN	1500 2000

3.a. Tabel 4.24 Pengamatan untuk 2 jenis agregat

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Agregat	4.736	.044	.218	Signifikan
Beban	100.233	.000	.855	Signifikan
Agregat * Beban	.396	.537	.023	Tidak Signifikan

a. R Squared = ,863 (Adjusted R Squared = ,807)

3.b. Tabel 4.25 Pengamatan untuk AC-WC :

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Beban	173.817	.000	.861	Signifikan

a. R Squared = ,861 (Adjusted R Squared = ,856)

3.c. Tabel 4.26 Pengamatan untuk HRS :

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Beban	1333.981	.000	.987	Signifikan

a. R Squared = ,987 (Adjusted R Squared = ,986)

4.

SUHU	50 C
BEBAN	188 250

4.a. Tabel 4.27 Pengamatan tegangan untuk 2 jenis agregat

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Agregat	22.005	.000	.449	Signifikan
Beban	66.907	.000	.712	Signifikan

Agregat * Beban 1.155 **.292** .041 **Tidak Signifikan**

a. R Squared = ,794 (Adjusted R Squared = ,740)

4.b. Tabel 4.28 Pengamatan tegangan untuk AC-WC :

Variabel Stress: Ragam tidak sama (tidak homogen), nilai sig. Uji levene 0,003 lebih kecil dari $\alpha=0,05$.

Nilai rata-rata (mean) beban 188 berbeda signifikan dg beban 250 N (sig. 0,000 < $\alpha=0,05$). Jadi pada suhu 50 C beban berpengaruh signifikan terhadap stress.

4.c. Tabel 4.29 Pengamatan tegangan untuk HRS :

Variabel Stress: Ragam tidak sama (tidak homogen), nilai sig. Uji levene 0,008 lebih kecil dari $\alpha=0,05$.

Nilai rata-rata (mean) beban 188 berbeda signifikan dg beban 250 N (sig. 0,004 < $\alpha=0,05$). Jadi pada suhu 50 C beban berpengaruh signifikan terhadap stress.

4.6.2.3 Modulus Resilien

1.

SUHU	25		37,5		50	
BEBAN	188	250	188	250	188	250

1.a. Tabel 4.30 Pengamatan modulus resilien untuk 2 jenis agregat

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Agregat	25.218	.000	.221	Signifikan
Suhu	635.989	.000	.935	Signifikan
Beban	.041	.839	.000	Tidak Signifikan
Agregat * Beban	.414	.522	.005	Tidak Signifikan
Agregat * Suhu	3.309	.041	.069	Signifikan
Suhu * Beban	.186	.831	.004	Tidak Signifikan
Agregat * Suhu * Beban	1.546	.219	.034	Tidak Signifikan

a. R Squared = ,944 (Adjusted R Squared = ,935)

1.b. Tabel 4.31 Pengamatan modulus resilien untuk AC-WC

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Suhu	958.612	.000	.980	Signifikan
Beban	1.756	.193	.042	Tidak Signifikan
Suhu * Beban	4.172	.023	.173	Signifikan

a. R Squared = ,981 (Adjusted R Squared = ,977)

1.c. Tabel 4.32 Pengamatan modulus resilien untuk HRS

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Suhu	.879	.000	.908	Signifikan
Beban	.056	.815	.001	Tidak Signifikan
Suhu * Beban	.207	.814	.009	Tidak Signifikan

a. R Squared = ,911 (Adjusted R Squared = ,893)

2

SUHU	25				37,5			
BEBAN	188	250	450	600	188	250	450	600

2.a. Tabel 4.33 Pengamatan modulus resilien untuk 2 jenis agregat

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Agregat	33.625	.000	.226	Signifikan
Suhu	825.700	.000	.878	Signifikan
Beban	.110	.954	.003	Tidak Signifikan
agregat * beban	.639	.592	.016	Tidak Signifikan
agregat * suhu	1.965	.164	.017	Tidak Signifikan
suhu * beban	.666	.575	.017	Tidak Signifikan
agregat * suhu * beban	.704	.552	.018	Tidak Signifikan

a. R Squared = ,894 (Adjusted R Squared = ,876)

2.b. Tabel 4.34 Pengamatan modulus resilien untuk AC-WC :

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Suhu	1635.721	.000	.971	Signifikan
Beban	3.106	.035	.163	Signifikan
suhu * beban	2.097	.113	.116	Tidak Signifikan

a. R Squared = ,972 (Adjusted R Squared = ,965)

2.a. Tabel 4.35 Pengamatan modulus resilien untuk HRS :

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Suhu	249.857	.000	.812	Signifikan
Beban	.080	.971	.004	Tidak Signifikan
suhu * beban	.442	.724	.022	Tidak Signifikan

a. R Squared = ,817 (Adjusted R Squared = ,783)

3.

SUHU	25
BEBAN	1500 2000

3.a. Tabel 4.36 Pengamatan modulus resilien untuk 2 jenis agregat

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Agregat	107.440	.000	.863	Signifikan
Beban	909.511	.000	.982	Signifikan
Agregat * Beban	23.070	.000	.576	Signifikan

a. R Squared = ,983 (Adjusted R Squared = ,976)

3.b. Tabel 4.37 Pengamatan modulus resilien untuk AC-WC :

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Beban	28.066	.000	.501	Signifikan

a. R Squared = ,501 (Adjusted R Squared = ,483)

3c. Tabel 4.38 Pengamatan modulus resilien untuk HRS :

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Beban	.014	.907	.001	Tidak Signifikan

a. R Squared = ,001 (Adjusted R Squared = -,055)

4

SUHU	50 C
BEBAN	188 250

4.a. Tabel 4.39 Pengamatan modulus resilien untuk 2 jenis agregat

Sumber Keragaman	F hitung	Signifi kansi	Partial Eta Squared	Keterangan
Agregat	171.966	.000	.864	Signifikan
Beban	.154	.698	.006	Tidak Signifikan
Agregat * Beban	4.048	.054	.130	Tidak Signifikan

a. R Squared = ,866 (Adjusted R Squared = ,831)

4b. Tabel 4.40 Pengamatan modulus resilien untuk AC-WC :

Variabel Resilien: Ragam sama (homogen), nilai sig. Uji levene 0,000 lebih kecil dari $\alpha=0,05$.

Nilai rata-rata (mean) beban 188 berbeda signifikan dg beban 250 N (sig. 0,023 < $\alpha=0,05$). Jadi pada suhu 50 C beban berpengaruh signifikan terhadap resilien.

4c. Pengamatan modulus resilien untuk HRS :

Variabel Resilien: Ragam sama (homogen), nilai sig. Uji levene 0,297 lebih besar dari $\alpha=0,05$.

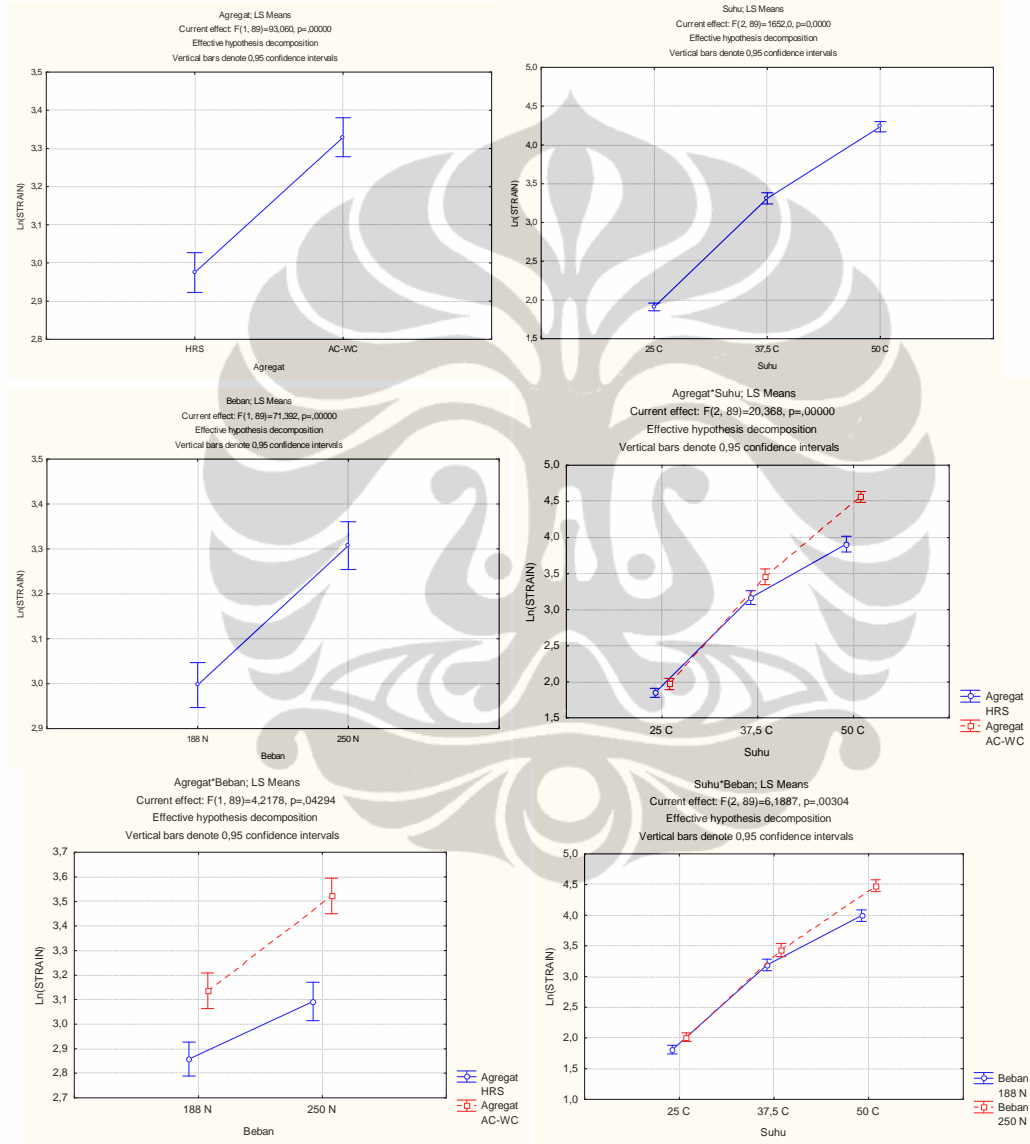
Nilai rata-rata (mean) beban 188 berbeda signifikan dg beban 250 N (sig. 0,045 < $\alpha=0,05$). Jadi pada suhu 50 C beban berpengaruh signifikan terhadap resilien.

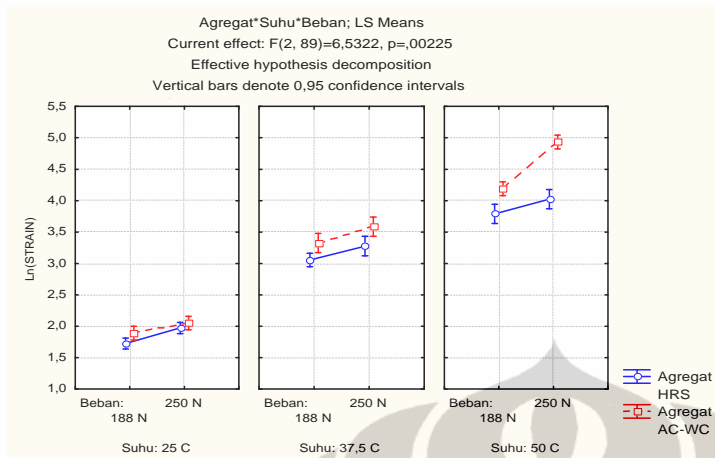
4.6.2.4 Rangkuman Regangan Tarik :

Tabel 4.41. Matrik 1

No	Keragaman	Kesignifikanan suhu 25, 37,5 50C; beban 188, 250 N
1	Agregat	2 Jenis Agregat Signifikan
2	Suhu	Signifikan AC-WC Signifikan HRS

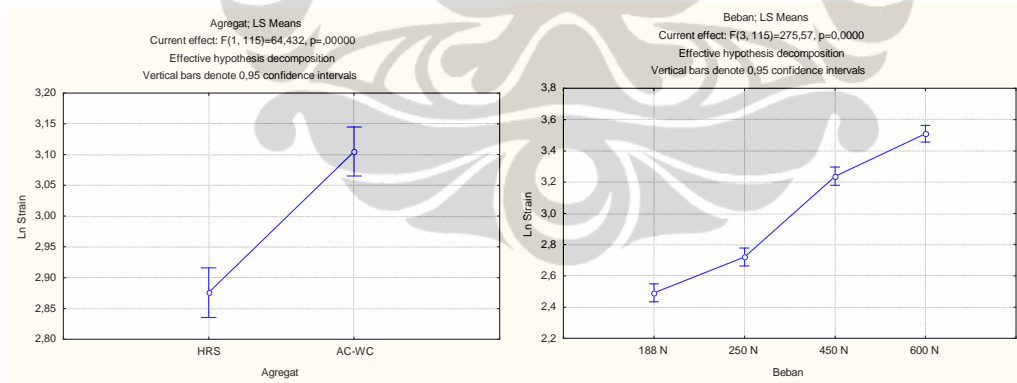
3	Beban	Signifikan	Signifikan	Signifikan
4	agregat * beban	Signifikan		
5	agregat * suhu	Signifikan		
6	suhu * beban	Signifikan	Signifikan	Signifikan
7	agregat * suhu * beban	Signifikan		

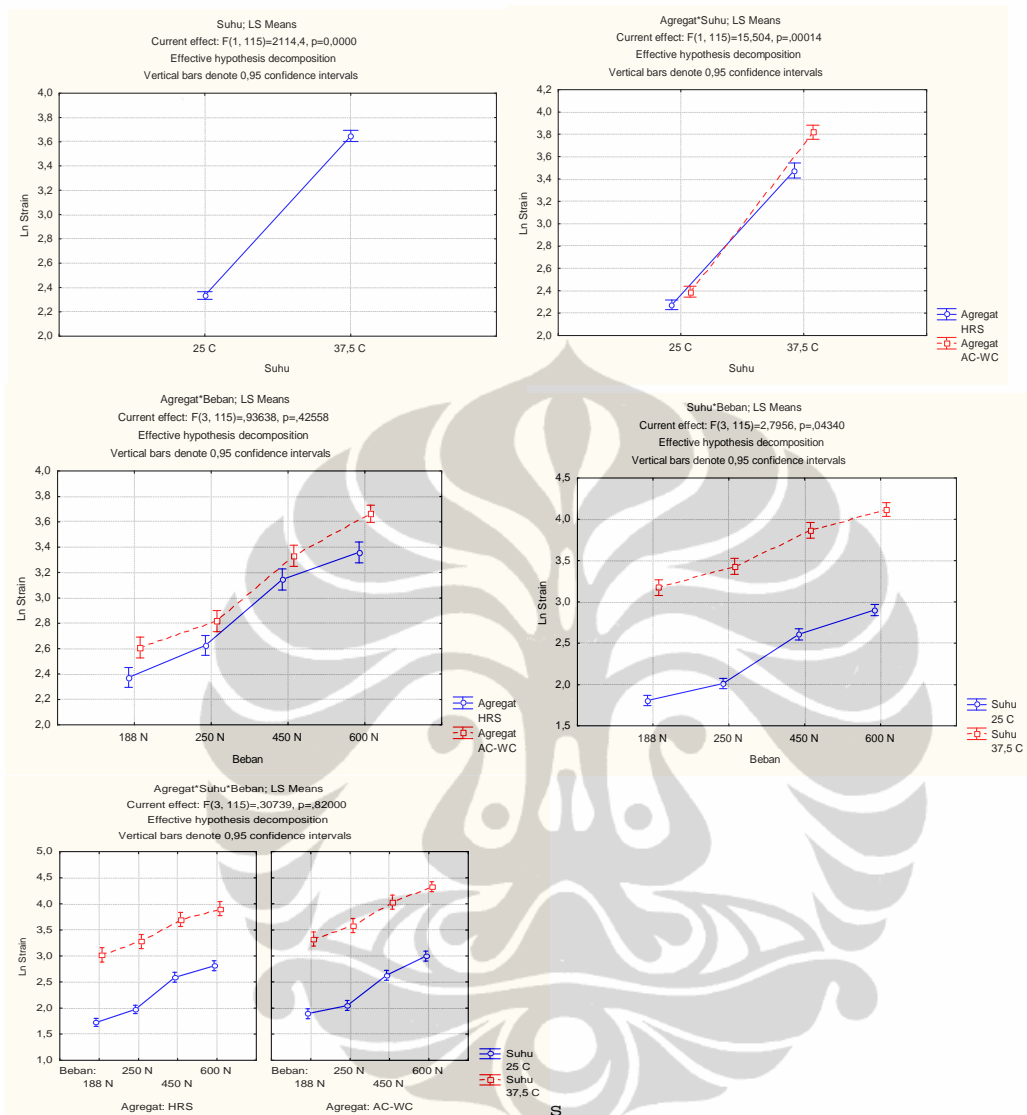




Tabel 4.42. Matrik 2

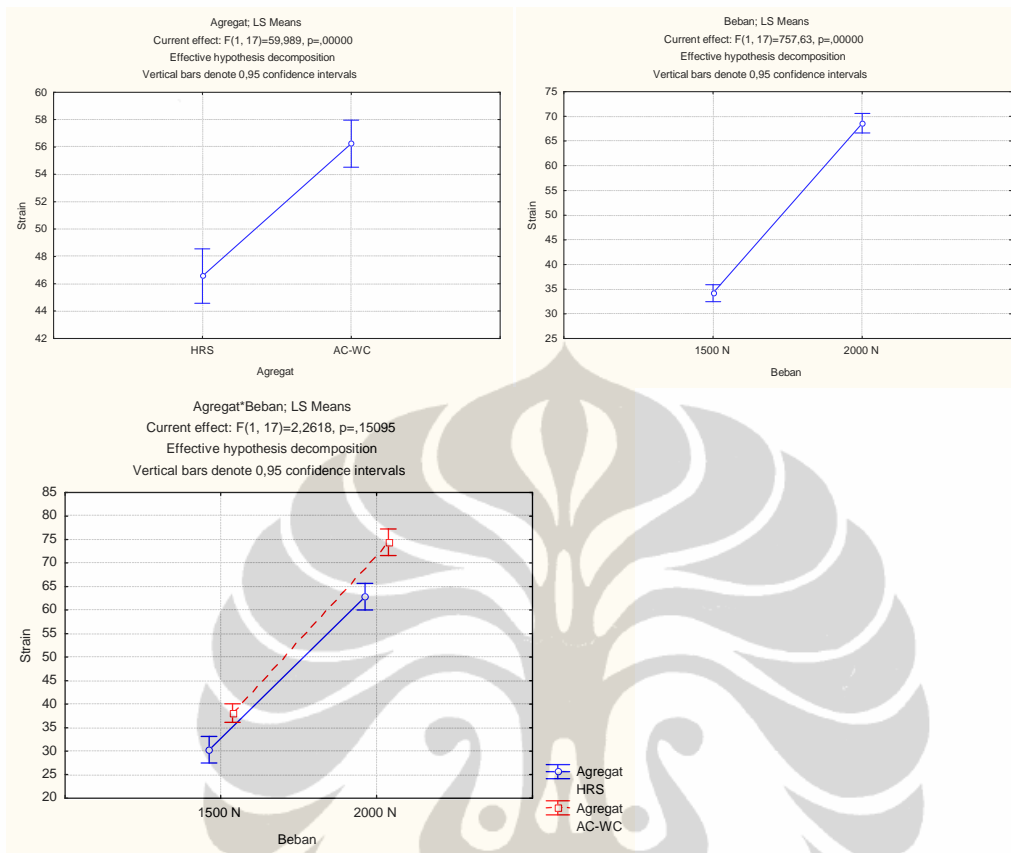
No	Keragaman	Kesignifikanan suhu 25, 37,5 ; beban 188, 250 AC-WC	450, 600N HRS
1	Agregat	Signifikan	
2	Suhu	Signifikan	Signifikan
3	Beban	Signifikan	Signifikan
4	agregat * beban	Signifikan	
5	agregat * suhu	Signifikan	
6	suhu * beban	Signifikan	Signifikan
7	agregat * suhu * beban	Signifikan	





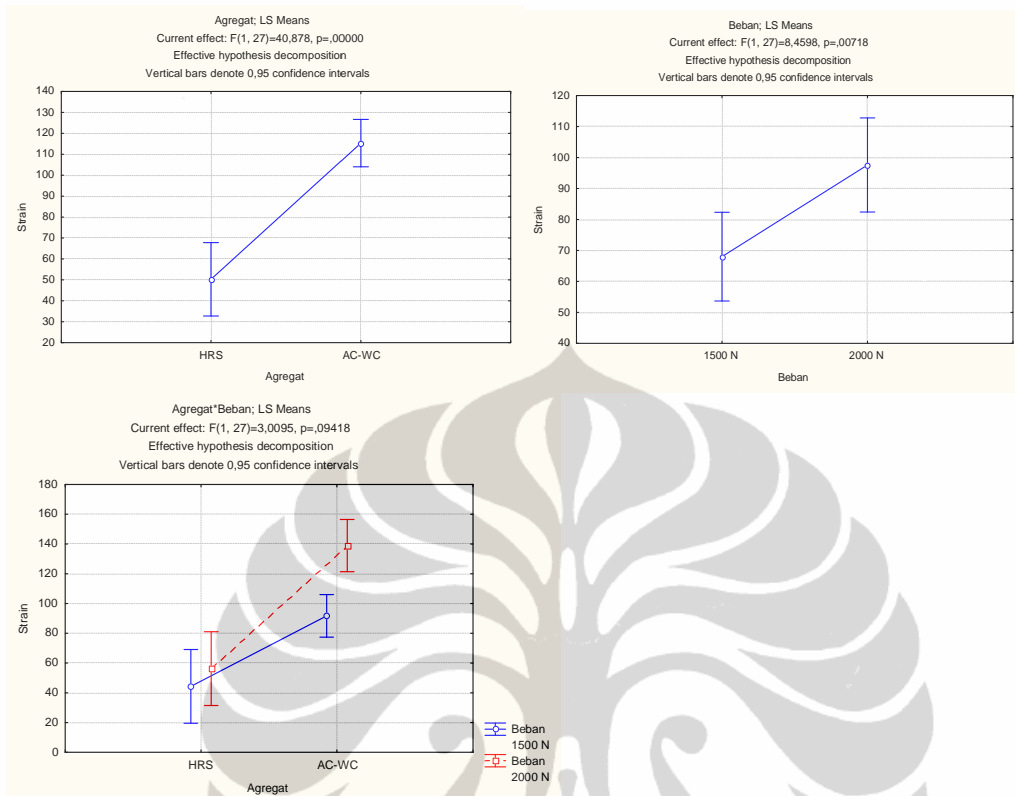
Tabel 4.43. Matrik 3

No	Keragaman	Kesignifikanan suhu 25, beban 1500, 2000 2 Jenis Agregat	AC-WC	HRS
1	Agregat	Signifikan		
3	Beban	Signifikan	Signifikan	Signifikan
4	agregat * beban	Tidak Signifikan		



Tabel 4.44. Matrik 4

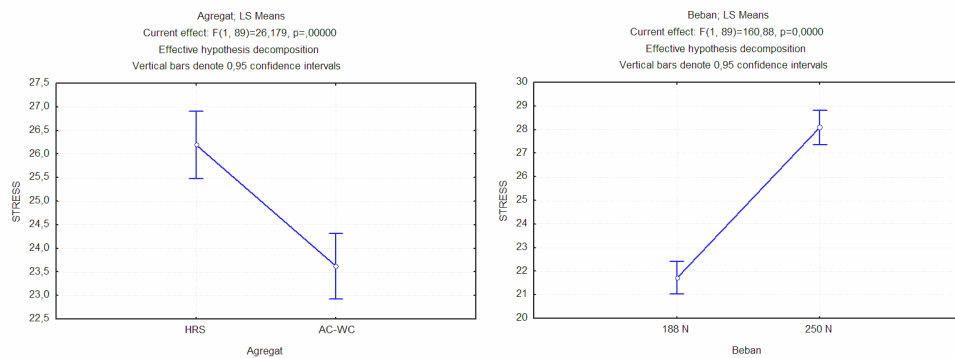
No	Keragaman	Kesignifikanan suhu 50, beban 188, 250		
		2 Jenis Agregat	AC-WC	HRS
1	Agregat	Signifikan		
3	Beban	Signifikan	Signifikan	Signifikan
4	agregat * beban	Tidak Signifikan		

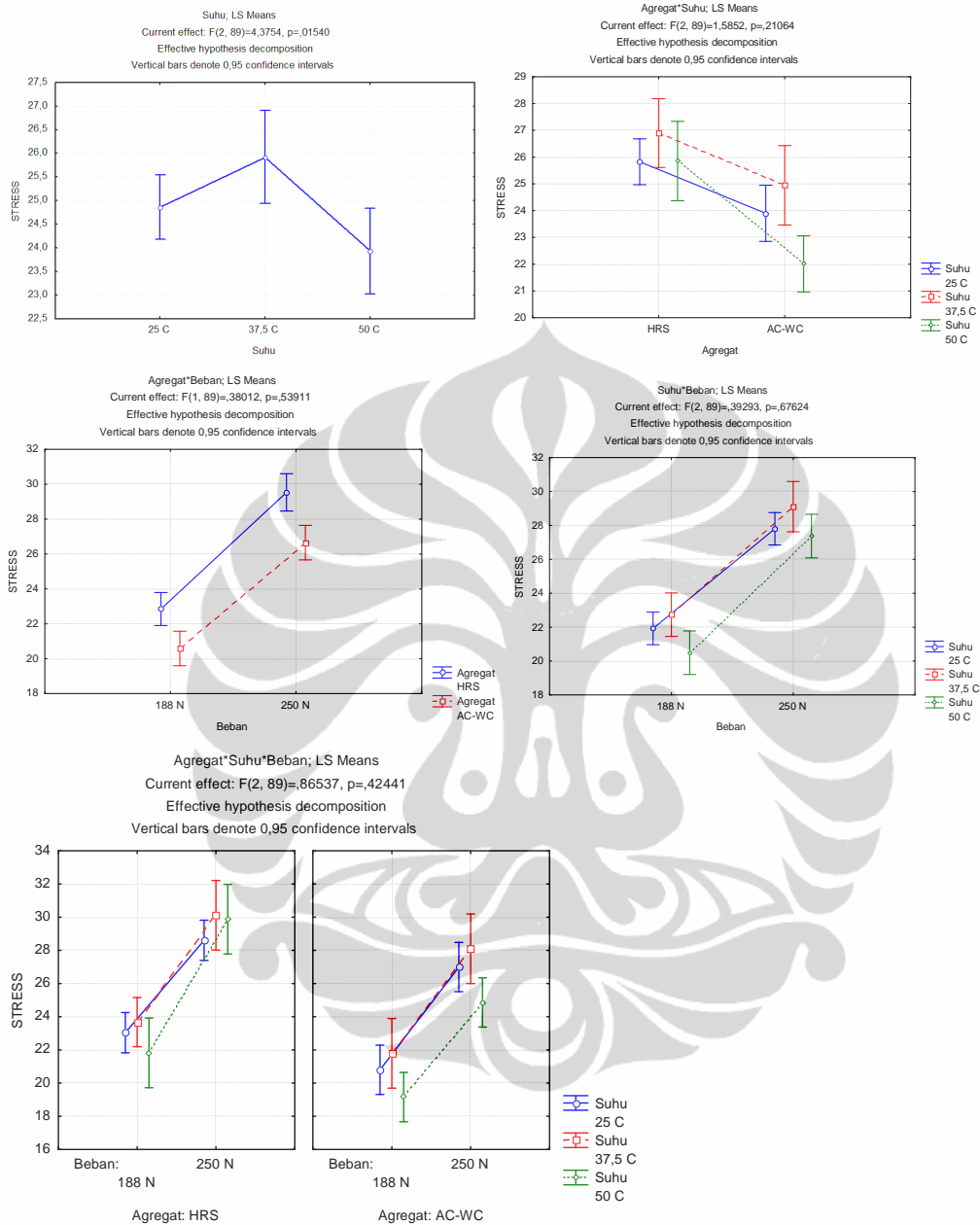


4.6.2.5 Rangkuman Tegangan tarik :

Tabel 4.45. Matrik 1

No	Keragaman	Kesignifikanan suhu 25, 37,5 50C; beban 188, 250 N	2 Jenis Agregat	AC-WC	HRS
1	Agregat	Signifikan			
2	Suhu	Signifikan		Signifikan	Tidak Signifikan
3	Beban	Signifikan		Signifikan	Signifikan
4	agregat * beban	Tidak Signifikan			
5	agregat * suhu	Tidak Signifikan			
6	suhu * beban	Tidak Signifikan		Tidak Signifikan	Tidak Signifikan
7	agregat * suhu * beban	Tidak Signifikan			

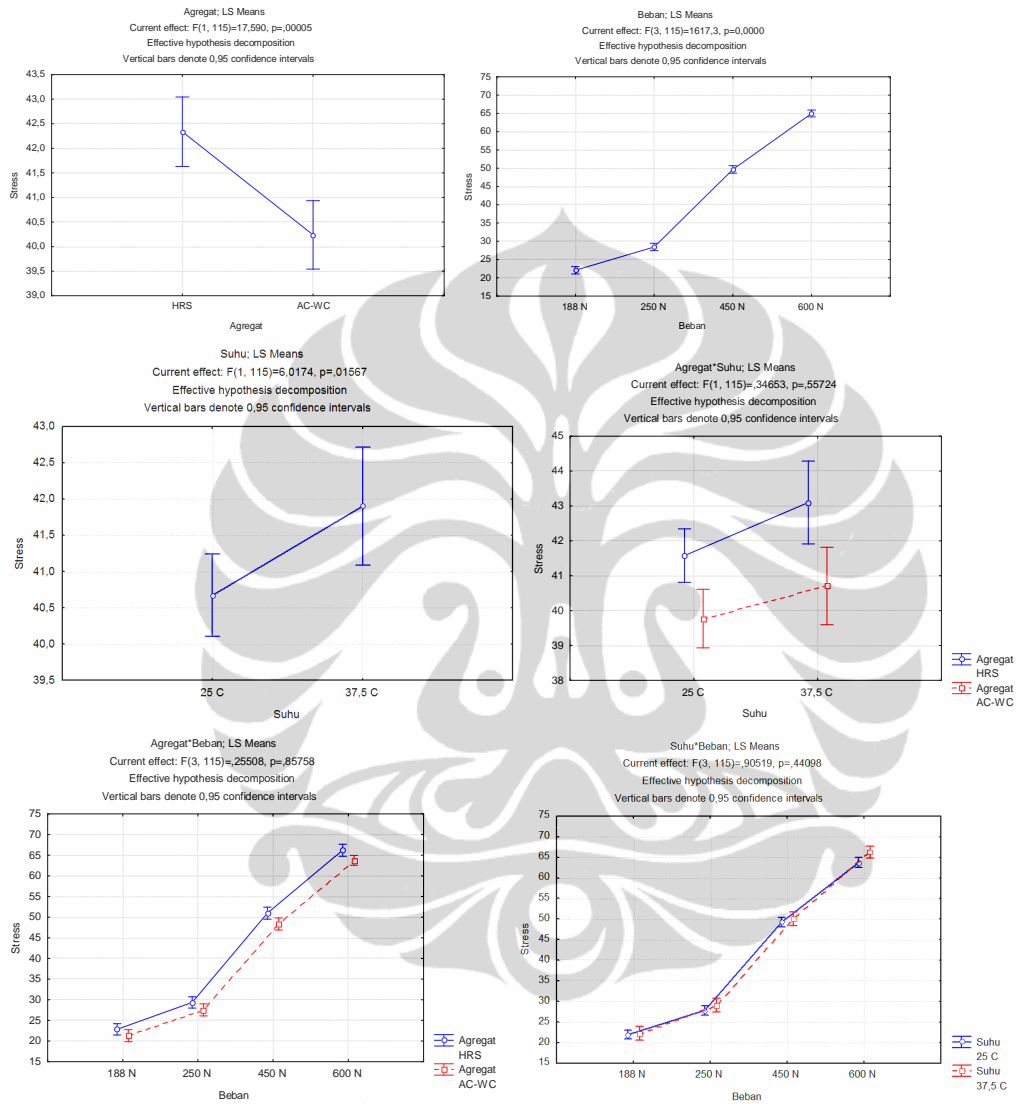


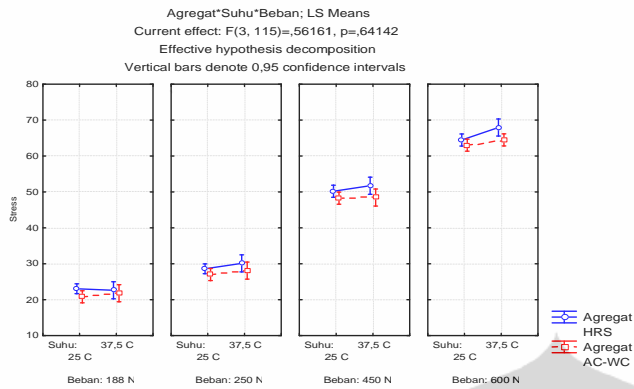


Tabel 4.46. Matrik 2

No	Keragaman	Kesignifikan suhu 25, 37,5 beban 188, 250 450, 600N		
		2 Jenis Agregat	AC-WC	HRS
1	Agregat	Signifikan		
2	Suhu	Signifikan	Signifikan	Signifikan
3	Beban	Signifikan	Signifikan	Signifikan
4	agregat * beban	Tidak Signifikan		
5	agregat * suhu	Tidak Signifikan		

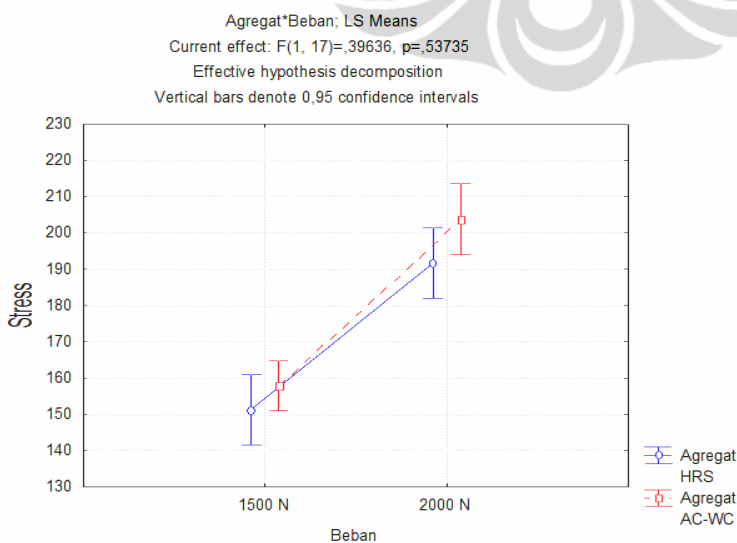
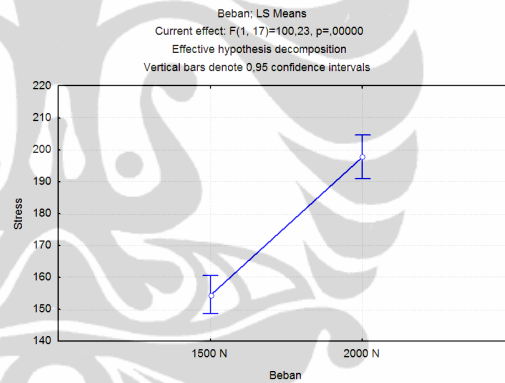
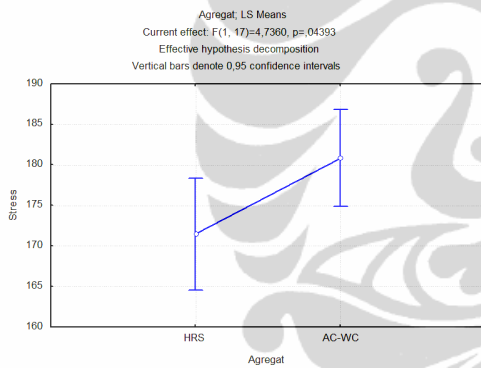
6	suhu * beban	Tidak Signifikan	Signifikan	Tidak Signifikan
7	agregat * suhu * beban	Tidak Signifikan		





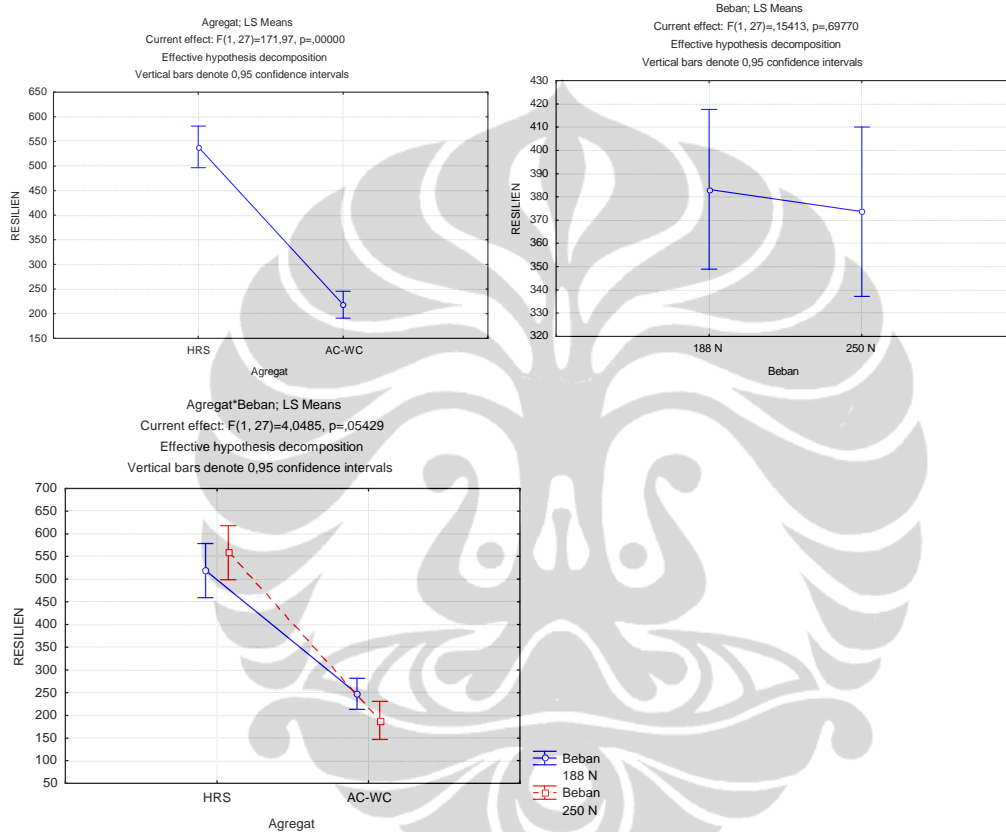
Tabel 4.47. Matrik 3

Kesignifikanan suhu 25, beban 1500, 2000				
No	Keragaman	2 Jenis Agregat	AC-WC	HRS
1	Agregat	Signifikan		
3	Beban	Signifikan	Signifikan	Signifikan
4	agregat * beban	Tidak Signifikan		



Tabel 4.48. Matrik 4

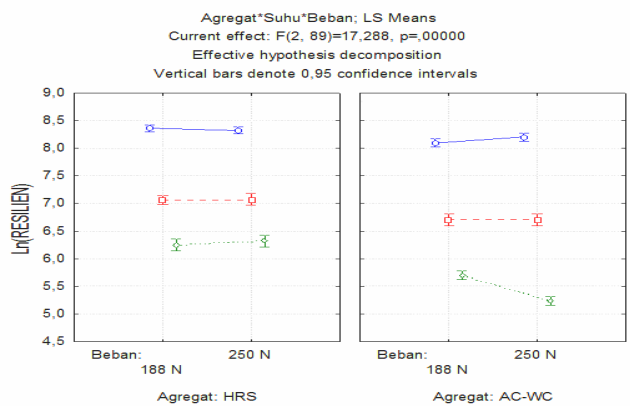
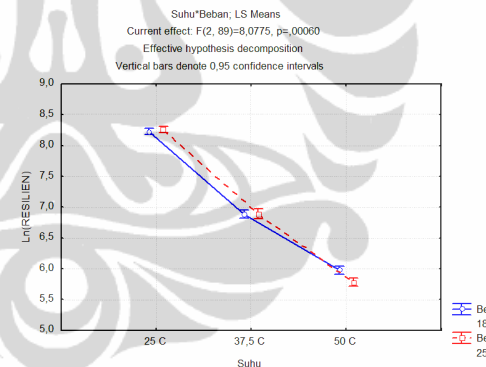
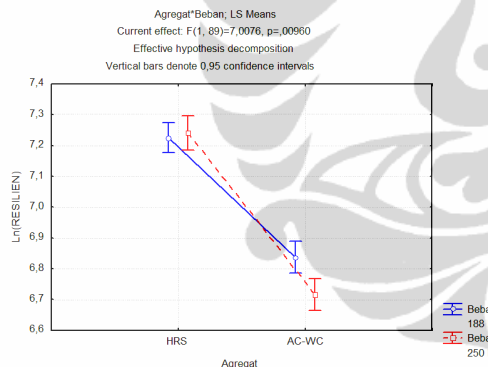
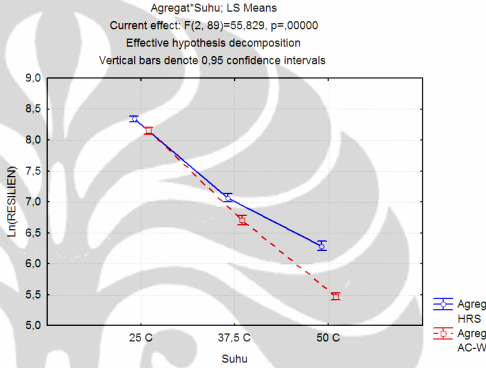
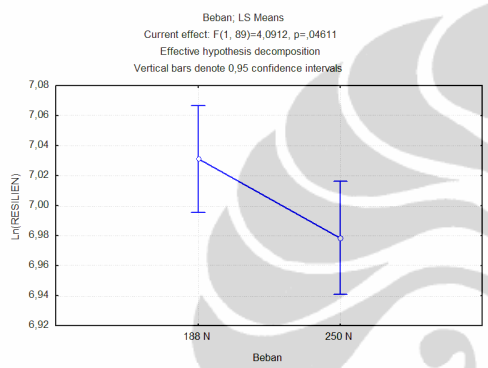
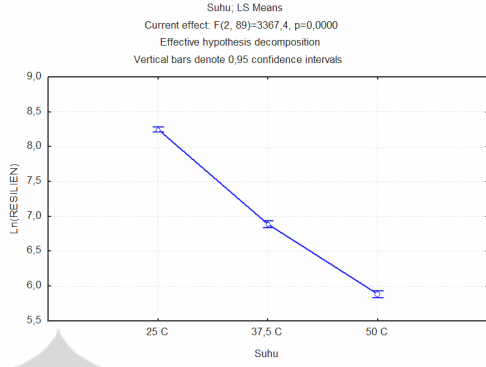
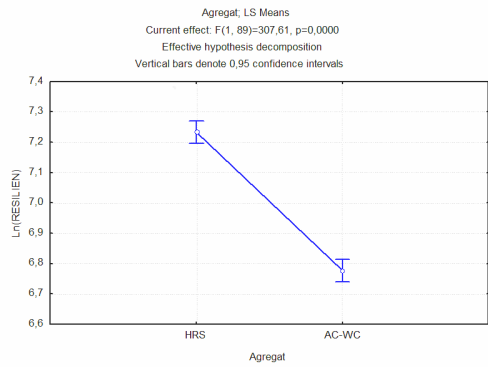
No	Keragaman	Kesignifikanan suhu 50, beban 188, 250 2 Jenis Agregat	AC-WC	HRS
1	Agregat	Signifikan		
3	Beban	Signifikan	Signifikan	Signifikan
4	agregat * beban	Tidak Signifikan		



4.6.2.6 Rangkuman Modulus Resilien :

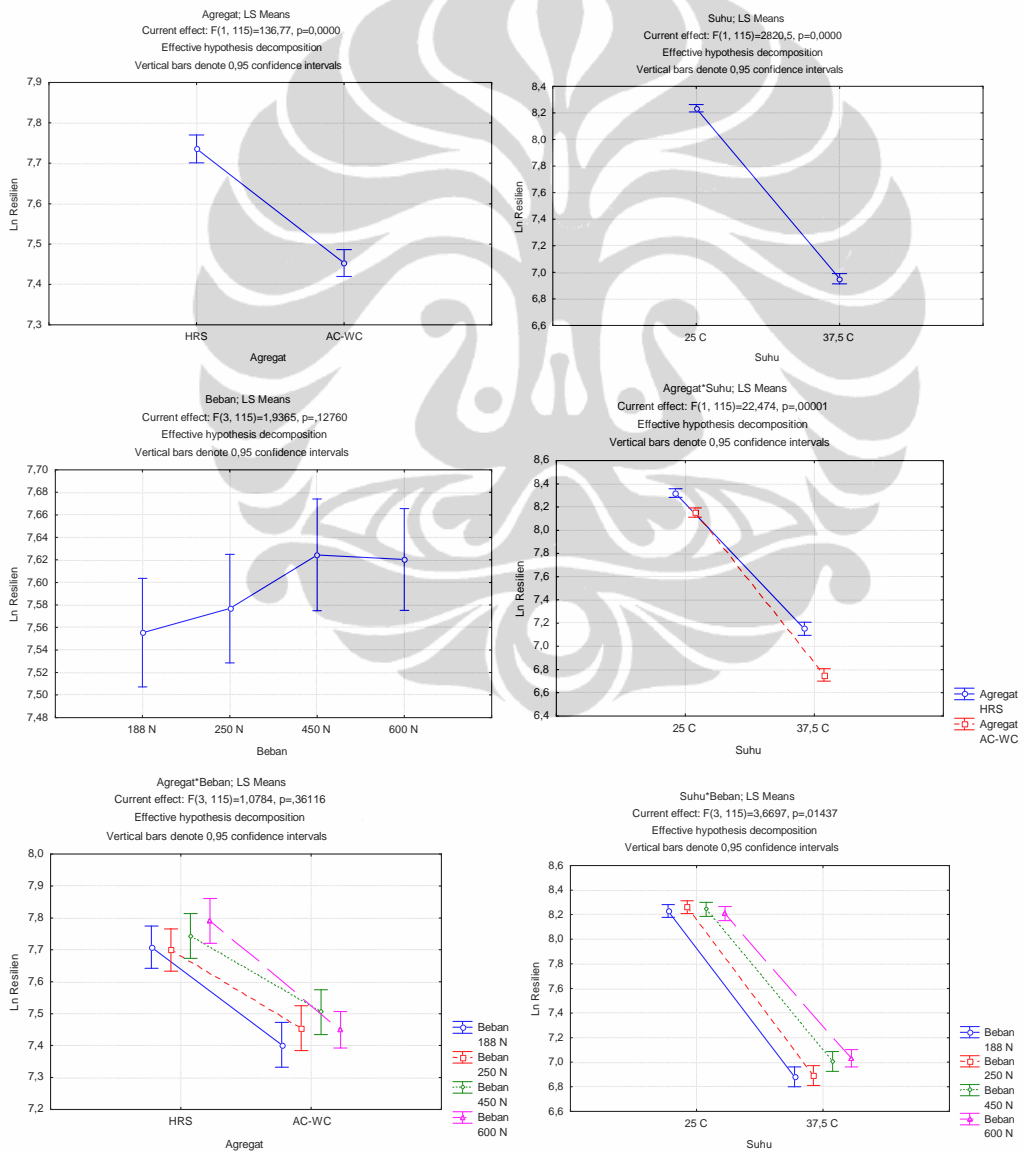
Tabel 4.49. Matrik 1

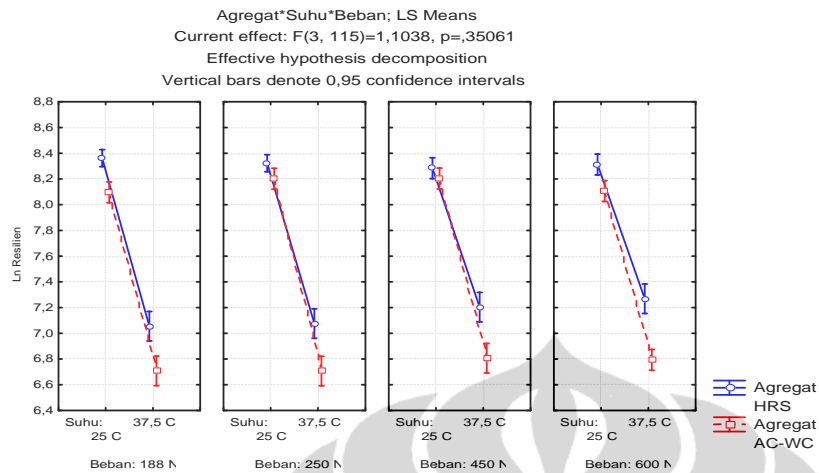
No	Keragaman	Kesignifikanan suhu 25, 37,5 2 Jenis Agregat	50C; beban 188, AC-WC	250 N HRS
1	Agregat	Signifikan		
2	Suhu	Signifikan	Signifikan	Signifikan
3	Beban	Tidak Signifikan	Tidak Signifikan	Tidak Signifikan
4	agregat * beban	Tidak Signifikan		
5	agregat * suhu	Signifikan		
6	suhu * beban	Tidak Signifikan	Signifikan	Tidak Signifikan
7	agregat * suhu * beban	Tidak Signifikan		



Tabel 4.50. Matrik 2

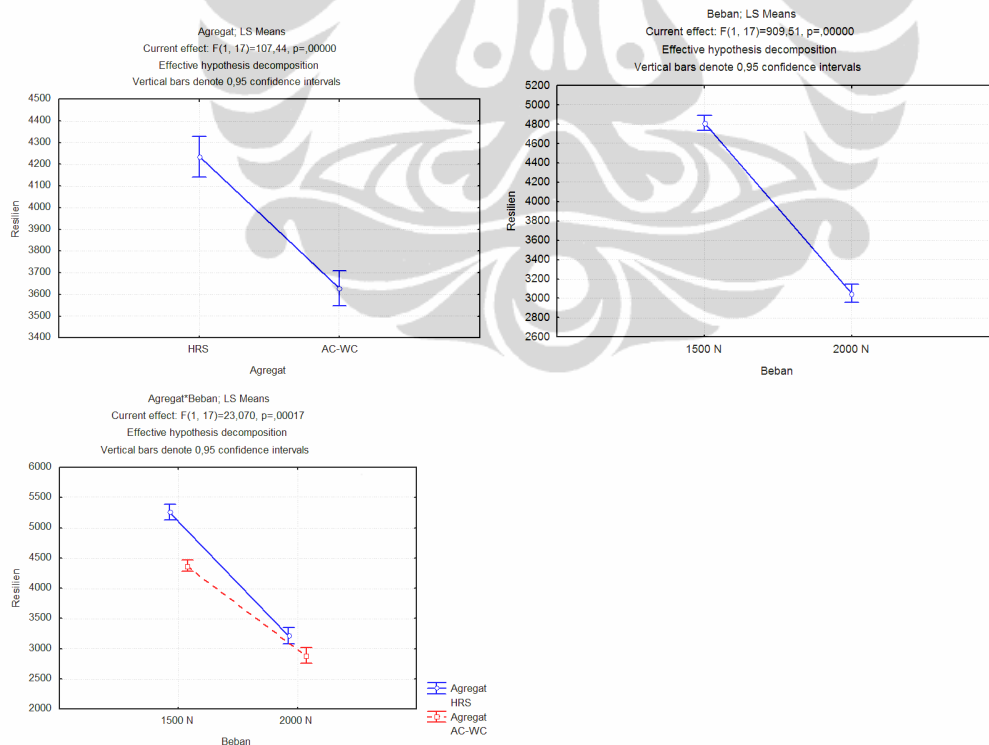
No	Keragaman	Kesignifikanan suhu 25, 37,5 ; beban 188, 250 450, 600N	2 Jenis Agregat AC-WC	HRS
1	Agregat	Signifikan		
2	Suhu	Signifikan	Signifikan	Signifikan
3	Beban	Tidak Signifikan	Signifikan	Tidak Signifikan
4	agregat * beban	Tidak Signifikan		
5	agregat * suhu	Tidak Signifikan		
6	suhu * beban	Tidak Signifikan	Tidak Signifikan	Tidak Signifikan
7	agregat * suhu * beban	Tidak Signifikan		





Tabel 4.51. Matrik 3

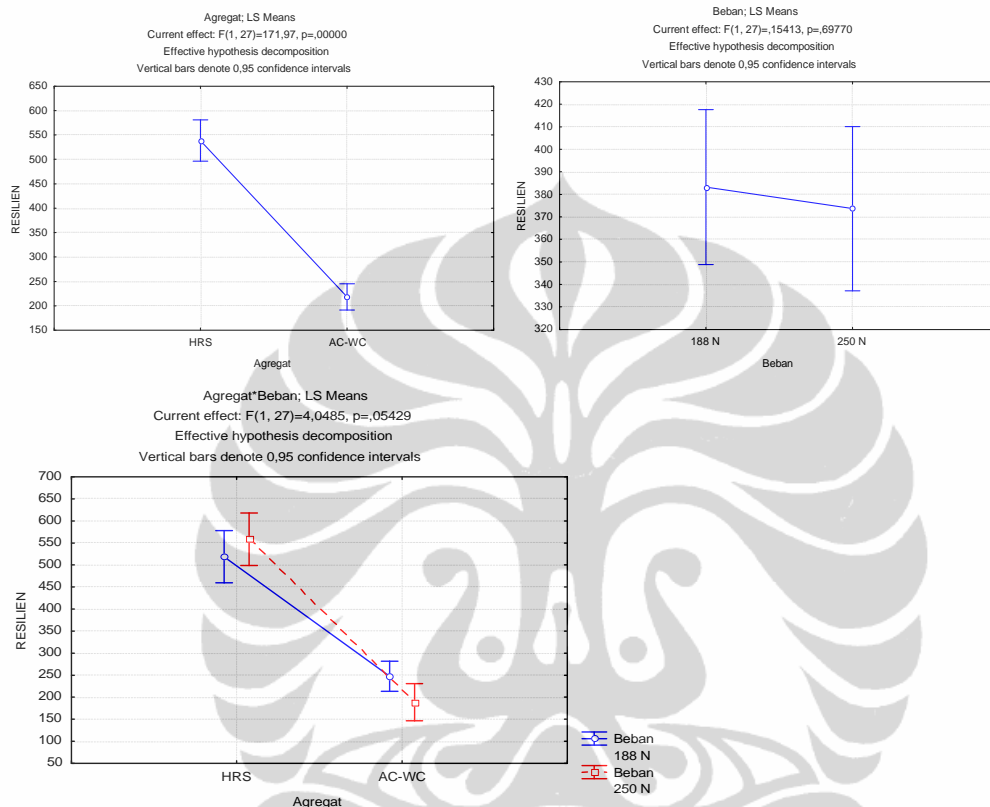
No	Keragaman	Kesignifikanan suhu 25, beban 1500, 2000 2 Jenis Agregat	AC-WC	HRS
1	Agregat	Signifikan		
3	Beban	Signifikan	Signifikan	Tidak Signifikan
4	agregat * beban	Tidak Signifikan		



Tabel 4.52. Matrik 4

No	Keragaman	Kesignifikanan suhu 50, beban 188, 250 2 Jenis Agregat	AC-WC	HRS
----	-----------	---	-------	-----

1	Agregat	Signifikan		
3	Beban	Tidak Signifikan	Signifikan	Signifikan
4	agregat * beban	Tidak Signifikan		



4.6.2.7 Besar pengaruh variabel bebas jenis agregat, suhu, dan beban terhadap parameter regangan tarik, tegangan tarik dan modulus resilien

1. PENGARUH TERHADAP REGANGAN TARIK

Tabel 4.53 Matrik 1 :

2 jenis agregat	ACWC& HRS
Agregat, suhu dan beban berpengaruh 100% thdp regangan	<ol style="list-style-type: none"> 1. Suhu berpengaruh 100% thdp regangan 2. Beban ACWC pengaruhnya lebih kecil (sig 0,03) dibandingkan HRS (sig 0,00)

Tabel 4.54. Matrik 2

2 jenis agregat	ACWC& HRS
Agregat, suhu dan beban berpengaruh 100% thdp regangan	Suhu dan beban sama, berpengaruh 100% thdp regangan

Tabel 4.55. Matrik 3

2 jenis agregat	ACWC& HRS
Agregat dan beban berpengaruh 100% thdp regangan	Beban HRS pengaruhnya lebih kecil (sig 0,02) dibandingkan ACWC (sig 0,00)

Tabel 4.56. Matrik 4 :

2 jenis agregat	ACWC& HRS
Agregat dan beban berpengaruh 100% thdp regangan	Beban HRS pengaruhnya lebih kecil (sig 0,005) dibandingkan ACWC (sig 0,00)

2. PENGARUH TERHADAP TEGANGAN TARIK**Tabel 4.57. Matrik 1 :**

2 jenis agregat	ACWC& HRS
1. Agregat dan beban berpengaruh 100% thdp tegangan	1. Beban berpengaruh 100% thdp tegangan
2. Suhu pengaruhnya lebih kecil (sig 0,015) dibandingkan agregat dan beban (sig 0,00)	2. Suhu ACWC pengaruhnya lebih besar (sig 0,003) dibandingkan HRS (sig 0,388) yang tidak memberikan pengaruh signifikan

Tabel 4.58. Matrik 2 :

2 jenis agregat	ACWC& HRS
1. Agregat dan beban berpengaruh 100% thdp tegangan	1. Beban berpengaruh 100% thdp tegangan
2. Suhu pengaruhnya lebih kecil (sig 0,016) dibandingkan agregat dan beban (sig 0,00)	2. Suhu ACWC pengaruhnya lebih besar (sig 0,008) dibandingkan HRS (sig 0,022)

Tabel 4.59. Matrik 3 :

2 jenis agregat	ACWC& HRS
1. Beban berpengaruh 100% thdp tegangan	1. Beban berpengaruh 100% thdp tegangan
2. Agregat pengaruhnya lebih kecil (sig 0,044) dibandingkan dengan beban (sig 0,00)	

Tabel 4.60. Matrik 4

2 jenis agregat	ACWC& HRS
Agregat dan beban berpengaruh 100% thdp tegangan	Beban HRS pengaruhnya lebih kecil (sig 0,004) dibandingkan ACWC (sig 0,00)

3. PENGARUH TERHADAP MODULUS RESILIEN

Tabel 4.61. Matrik 1

2 jenis agregat	ACWC& HRS
1. Agregat dan suhu berpengaruh 100% thdp resilien	1. Suhu berpengaruh 100% thdp resilien
2. Beban pengaruhnya tidak signifikan (sig 0,839) dibandingkan agregat dan suhu (sig 0,00).	2. Walaupun keduanya tidak signifikan beban ACWC pengaruhnya lebih besar(sig 0,193) dibandingkan HRS (sig 0,815)

Tabel 4.62 Matrik 2

2 jenis agregat	ACWC& HRS
1. Agregat dan suhu berpengaruh 100% thdp resilien	1. Suhu berpengaruh 100% thdp resilien
2. Beban pengaruhnya tidak signifikan (sig 0,954) dibandingkan agregat dan suhu	2. Beban ACWC pengaruhnya lebih besar (sig 0,035) dibandingkan HRS (sig 0,971) yang tidak berpengaruh signifikan

Tabel 4.63 Matrik 3

2 jenis agregat	ACWC& HRS
1. Agregat dan beban berpengaruh 100% thdp resilien	1. Beban ACWC berpengaruh 100% thdp resilien dibandingkan dengan beban HRS (sig 0,907) yang tidak signifikan

Tabel 4.64. Matrik 4

2 jenis agregat	ACWC& HRS
1. Agregat berpengaruh 100% thdp modulus resilien	Beban HRS pengaruhnya lebih kecil (sig 0,045) dibandingkan ACWC (sig 0,023)
2. Beban tidak memberikan pengaruh (sig 0,698) terhadap modulus resilien	

4.6.2.8 Grafik hubungan antar parameter

Hubungan antara masing-masing parameter regangan tarik – tegangan tarik; regangan tarik –modulus resilien dan tegangan tarik – modulus resilien yang

berasal dari data hasil pengujian di rangkum dan disajikan dalam bentuk grafik. Penggambaran data berasal dari detail hubungan antara variasi temperatur dan pembebanan untuk masing-masing jenis gradasi agregat AC-WC dan HRS yang ditampilkan kembali dari tabel 4.6.

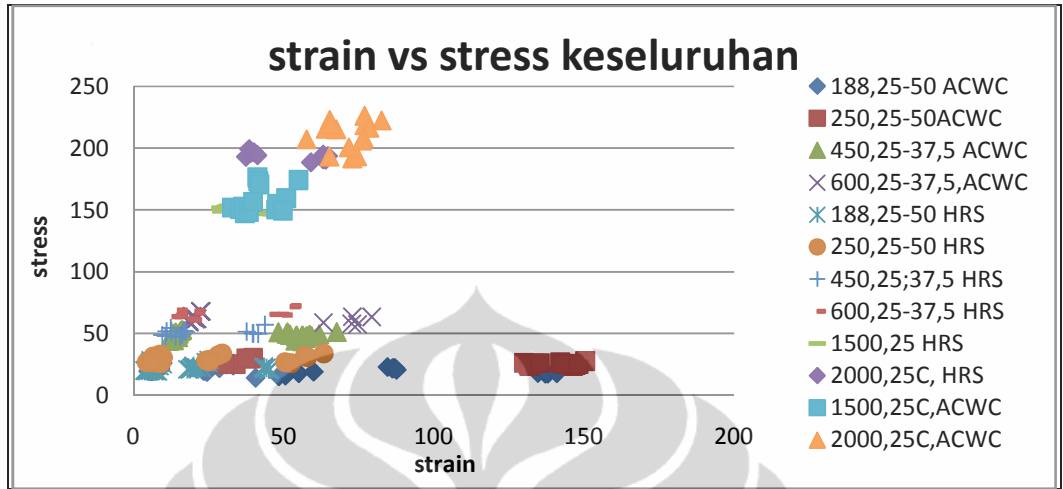
Tabel 4.6. Detail variasi variabel bebas

Gradasi AC-WC							Gradasi HRS						
suhu		beban					suhu		beban				
25C	187,5	250	450	600	1500	2000	25C	187,5	250	450	600	1500	2000
37,5C	187,5	250	450	600	--	--	37,5C	187,5	250	450	600	--	---
50 C	187,5	250	--	--	--	--	50 C	187,5	250	--	--	--	--

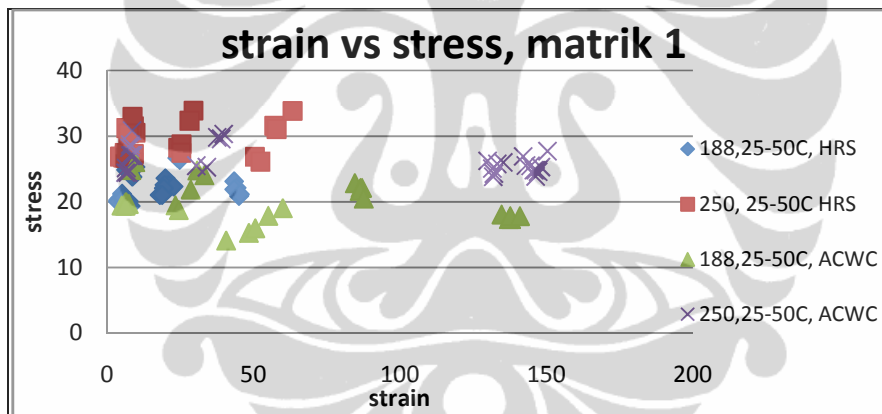
Grafik hubungan regangan tarik – tegangan tarik dan tegangan tarik – modulus resilien tidak menggambarkan suatu pola tertentu. Grafik hubungan regangan tarik –modulus resilien walaupun membuat suatu pola namun dari ketiga macam hubungan ini tidak dapat langsung ditarik kesimpulan karena di dalamnya terkandung karakteristik sifat agregat dan aspal yang perlu dianalisis lebih jauh.

Data yang digambarkan dalam grafik hubungan antar variabel terikat ini merupakan pengantar untuk analisa lebih dalam pengolahan data dengan analisis rancangan faktorial. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian, analisis dilakukan dengan membagi dalam kelompok-kelompok matrik 1 sampai 4 seperti pembahasan di awal analisis data.

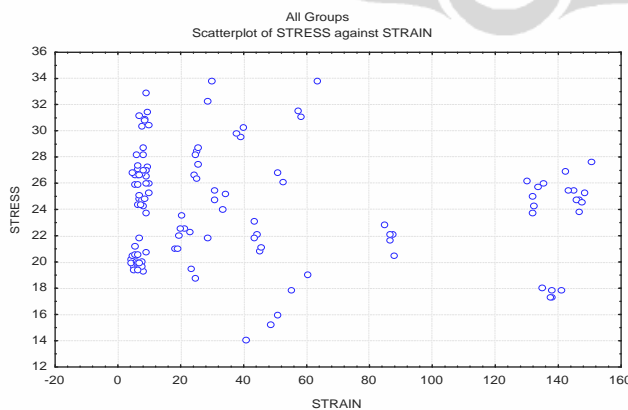
1. Data hubungan regangan tarik – tegangan tarik



(1a)

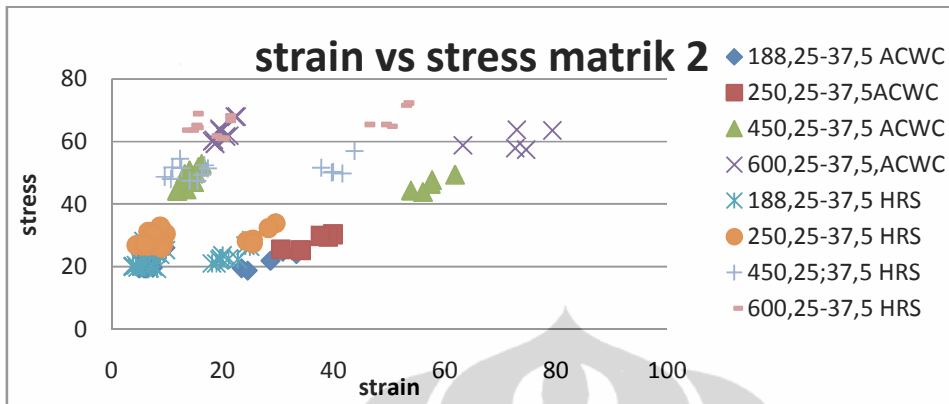


(1b)

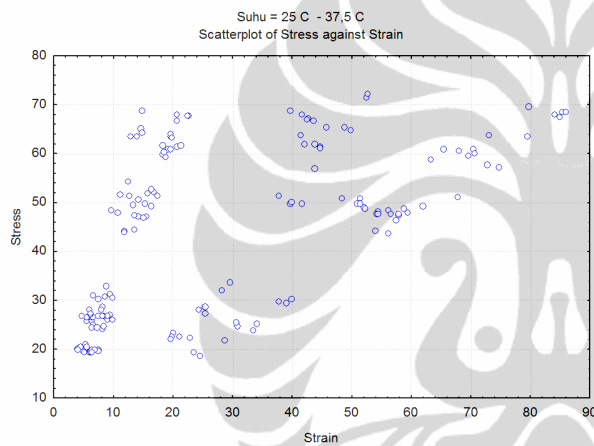


(1c)

Grafik 1(a,b,c). Strain Stress Suhu 25 – 50 Beban 188-250N

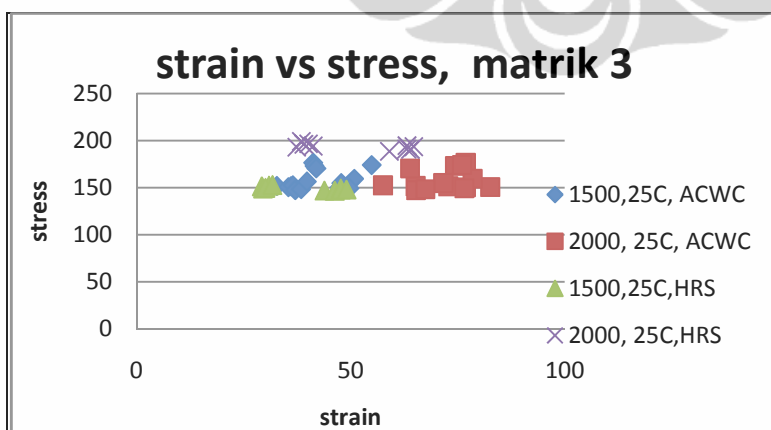


(2a)

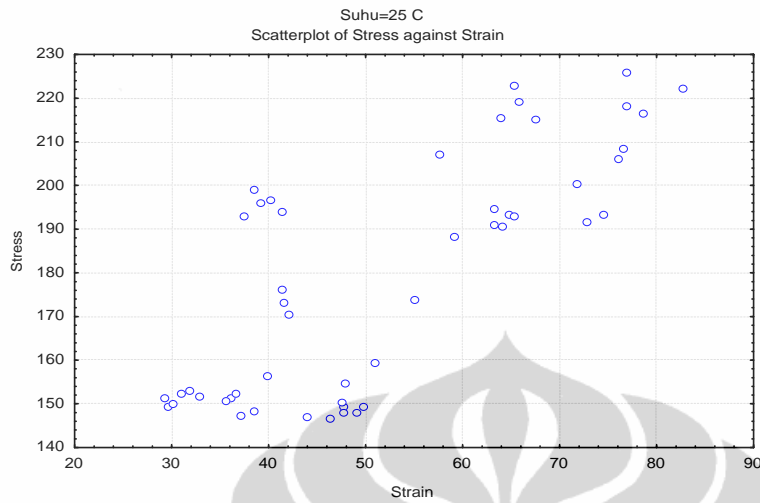


(2b)

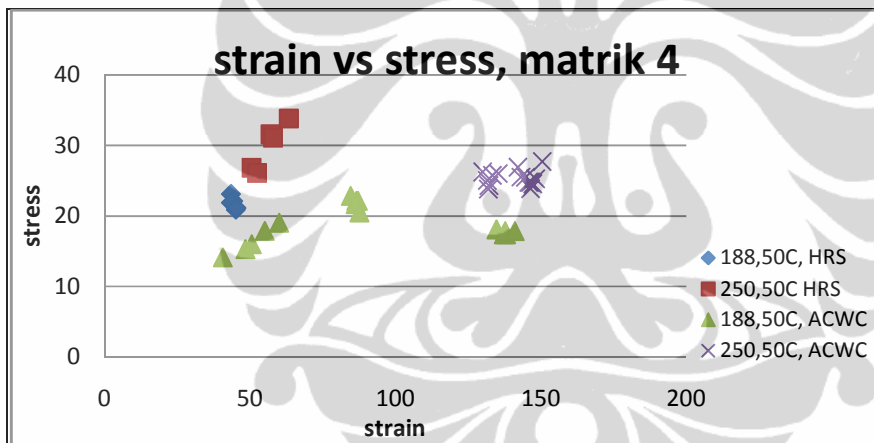
Grafik2 (a,b). Strain Stress Suhu 25 – 37,5, Beban 188-600



(3a)



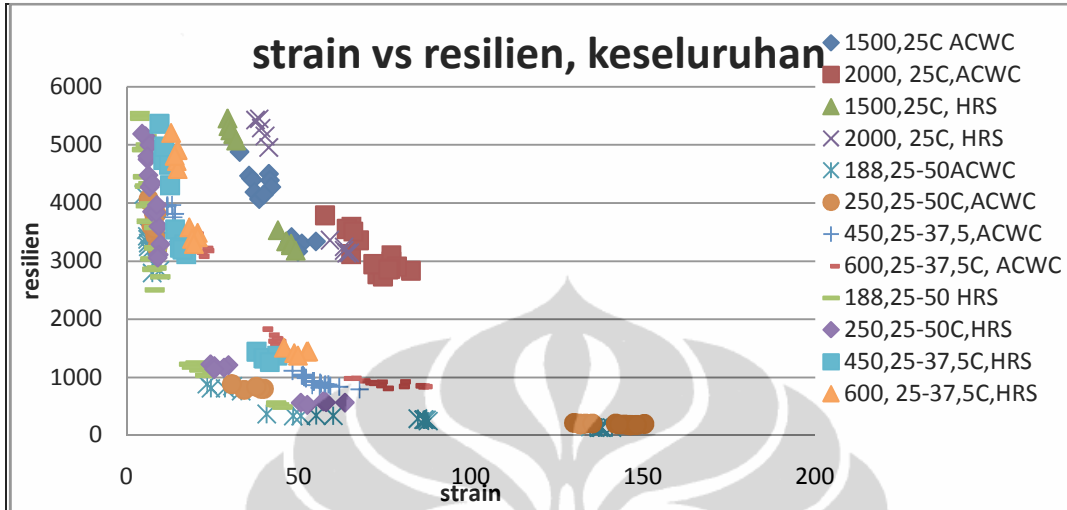
(3b)
Grafik 3(a,b). Strain stress suhu 25C beban 1500 dan 2000N



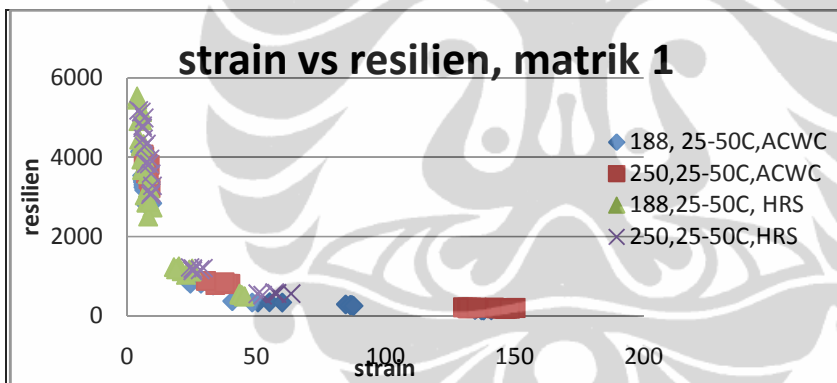
Grafik4. strain stress suhu 50C beban 188 dan 250N

Hubungan regangan tarik- tegangan tarik tidak menunjukkan pola tertentu baik pada tinjauan keseluruhan maupun untuk tiap kelompok matrik 1, matrik2, matrik 3 dan matrik 4. Namun secara umum nilai regangan tarik- tegangan tarik jenis agregat AC-WC mempunyai nilai lebih kecil dari jenis agregat HRS. Nilai regangan tarik- tegangan tarik pada suhu dan beban rendah lebih besar dari suhu dan beban tinggi

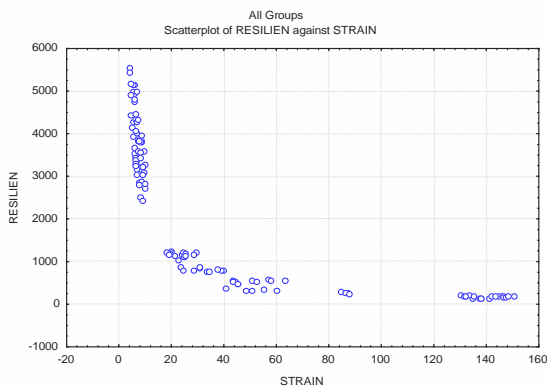
2. Hubungan regangan tarik –modulus resilien



(5a)

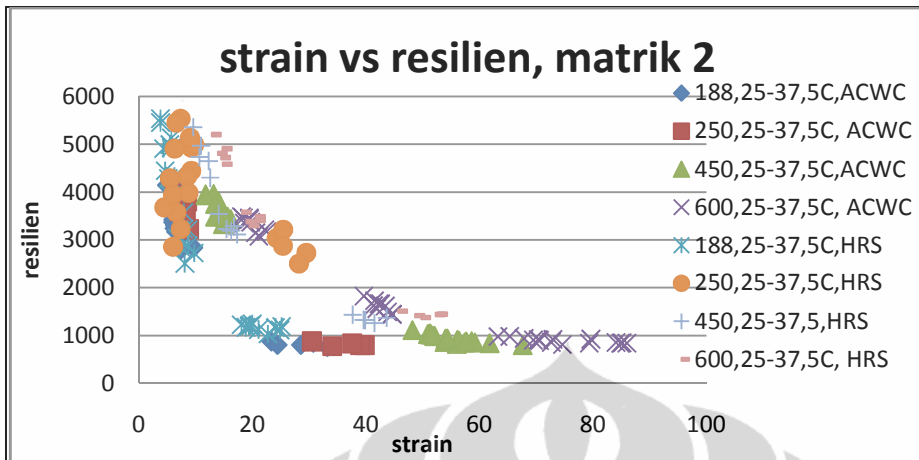


(5b)

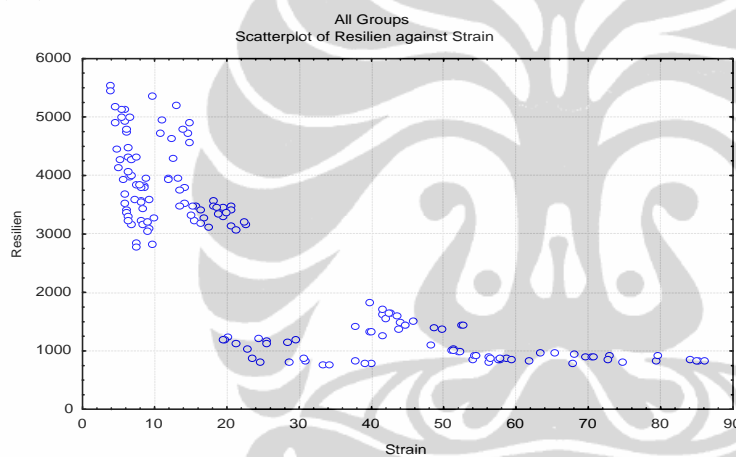


(5c)

Grafik 5 (a,b,c). Strain Resilien Suhu 25 – 50 Beban 188-250N

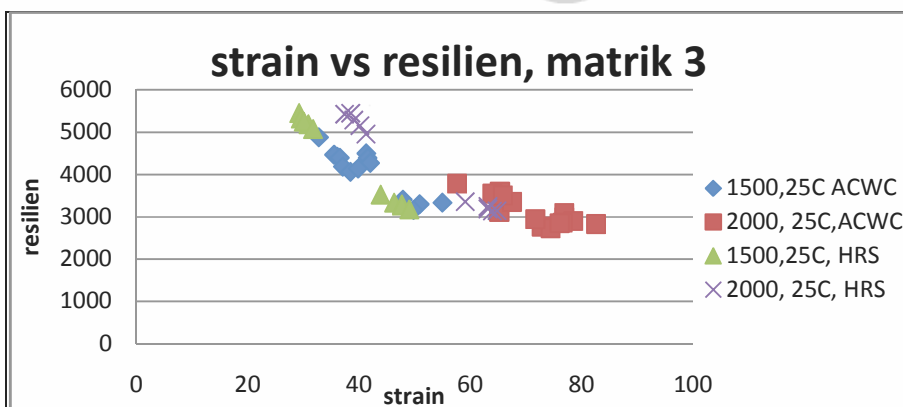


(6a)

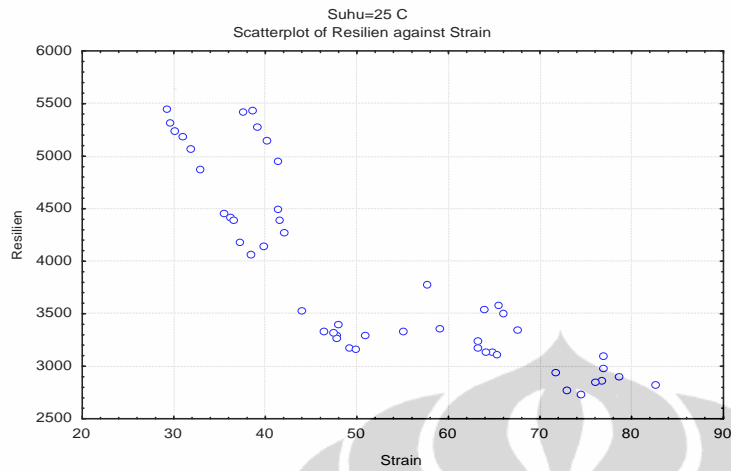


(6b)

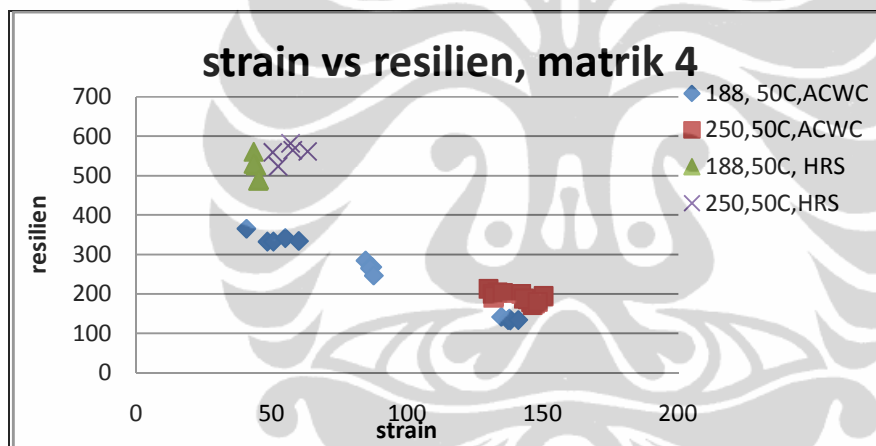
Grafik 6(a,b). Strain Resilien Suhu 25 – 37,5 Beban 188-600 N



(7a)



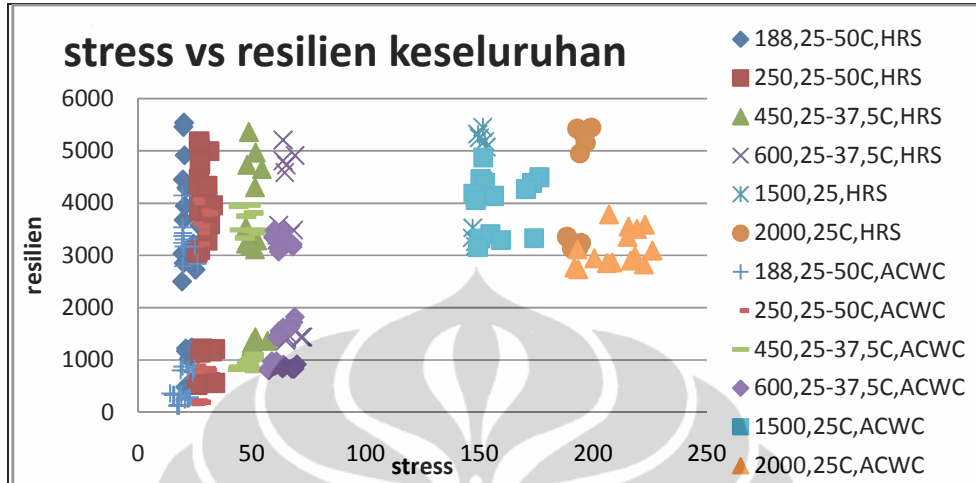
(7b)
Grafik 7(a,b). Strain Resilien Suhu 25 Beban 1500-2000



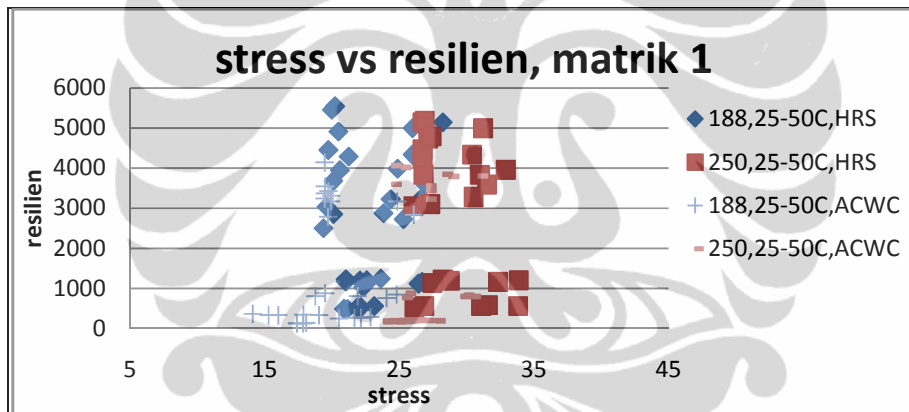
Grafik 8. Strain Resilien Suhu 50 Beban 188-250 N

Hubungan regangan tarik- modulus resilien menunjukkan suatu pola tertentu baik pada tinjauan keseluruhan maupun untuk tiap kelompok matrik 1, matrik2, matrik 3, dan matrik 4 dimana nilai regangan tarik berbanding terbalik dengan nilai modulus resilien. Pada suhu rendah beban rendah, nilai regangan tarik kecil dan nilai modulus resilien besar. Sebaliknya pada suhu tinggi dan beban besar nilai regangan tarik besar dan modulus resilien rendah.

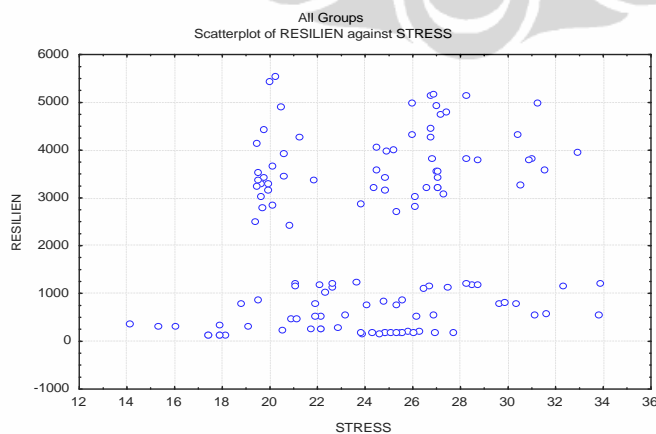
3. Hubungan tegangan tarik – modulus resilien



(9a)

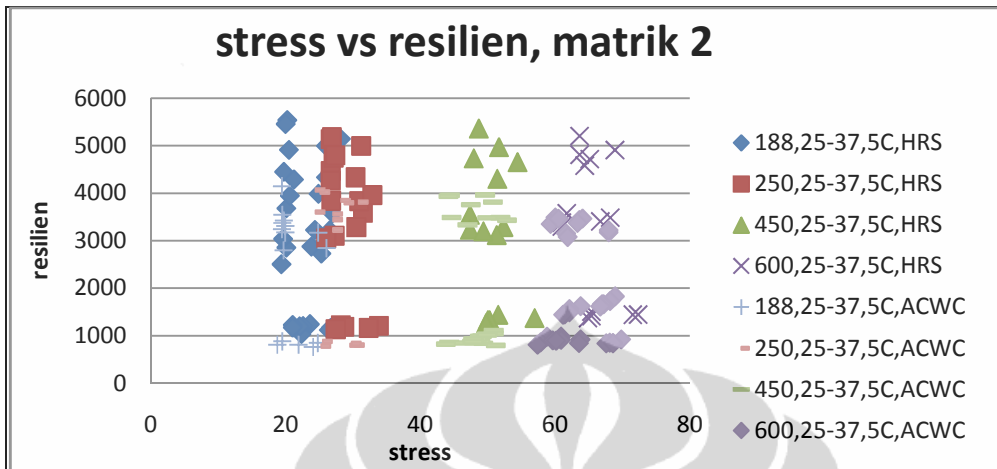


(9b)

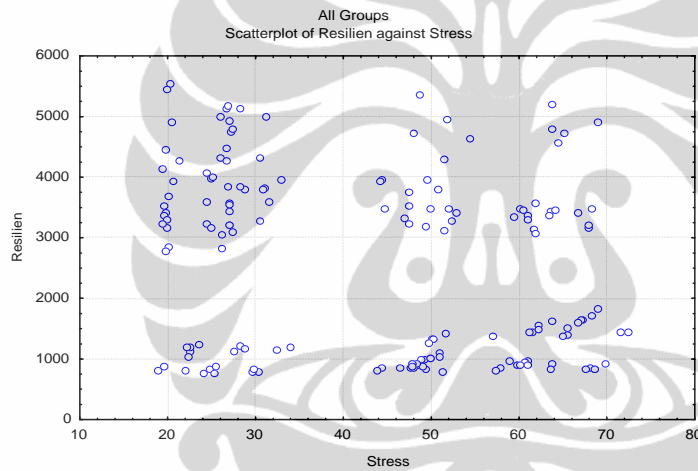


(9c)

Grafik 9 (a,b,c). Stress Resilien Suhu 25 – 50 Beban 188-250

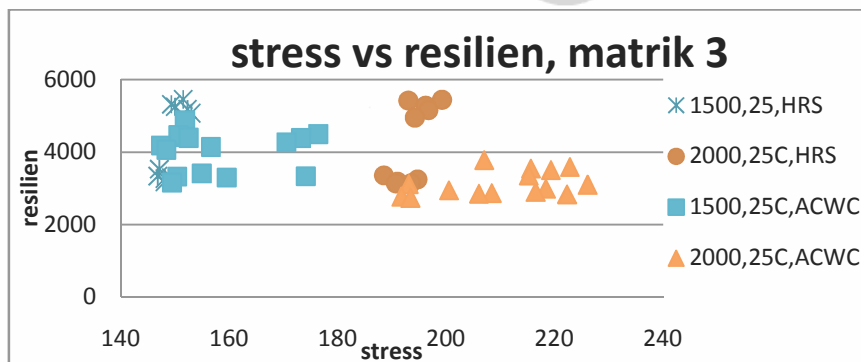


(10a)

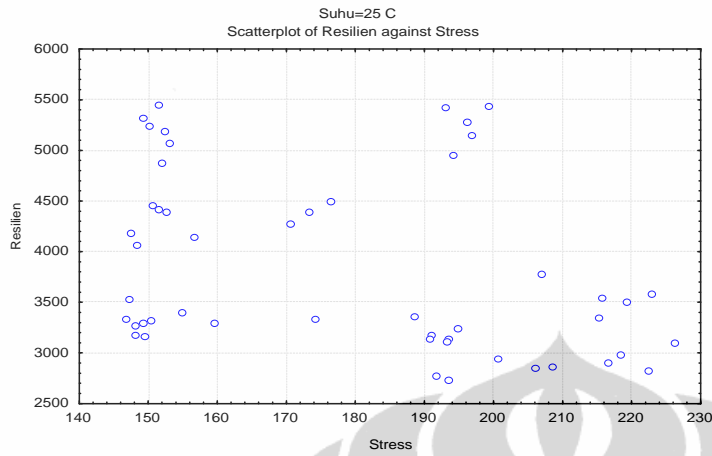


(10b)

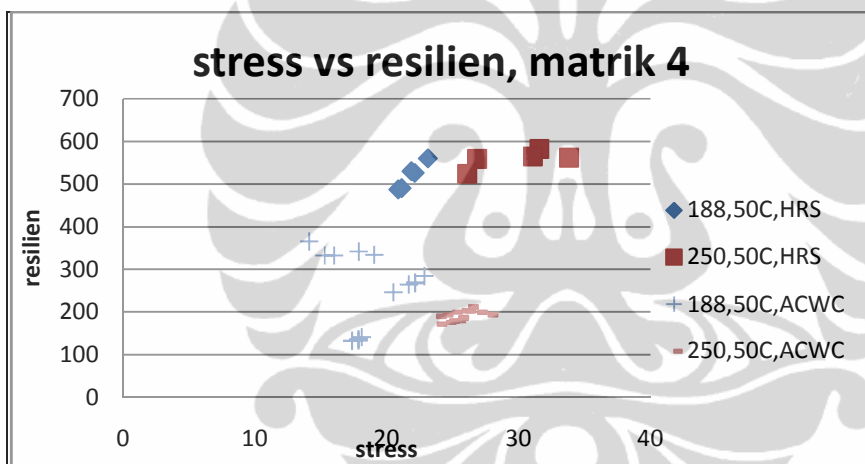
Grafik 10 (a,b). Stress Resilien 25 – 37,5 Beban 188-600



(11a)



(11b)
Grafik 11(a,b). Stress Resilien Suhu 25 Beban 1500-2000



Grafik 12. Stress Resilien Suhu 50 Beban 188-250 N

Hubungan tegangan tarik- modulus resilien tidak menunjukkan pola tertentu baik pada tinjauan keseluruhan maupun untuk tiap kelompok matrik 1, matrik2, matrik 3 dan matrik 4. Namun secara umum nilai tegangan tarik- modulus resilien jenis agregat AC-WC lebih kecil dari jenis agregat HRS. Nilai tegangan tarik- modulus resilien pada suhu dan beban rendah lebih besar dari suhu dan beban tinggi

4.6.3 Analisis data uji deformasi permanen

Untuk penentuan kesignifikanan pengaruh variabel bebas jenis gradasi agregat, variasi temperatur dan pembebanan terhadap variabel deformasi pemanen sesuai dengan tujuan penelitian, ditentukan berdasarkan kolom kesignifikanan pada tabel pengamatan dibawah ini. Nilai kesignifikanan telah dibahas pada sub bab 4.6.2.

Tabel anova nilai deformasi disajikan dalam Tabel 4.66.

Tabel 4.65. Nilai deformasi

No	Sumber Keragaman	F-Hitung	Signifikansi	Partial Eta Squared	Keterangan
1	Agregat	5.128	.030	.125	Signifikan
2	Suhu	19.451	.000	.519	Signifikan
3	Agregat * Suhu	.072	.931	.004	Tidak Signifikan

a. R Squared = ,551 (Adjusted R Squared = ,489)

Sementara data uji deformasi permanen meliputi stabilitas dinamis, nilai deformasi dan kecepatan laju deformasi di rangkum dalam Tabel 4.67.

Tabel 4.67 Data uji deformasi permanen, 2jenis agregat, suhu 25 C, 37,5C dan 50 C

Waktu (menit)	Jumlah Lintasan	Deformasi (mm)					
		25 C		37,5 C		50C	
		HRS	AC-WC	HRS	AC-WC	HRS	AC-WC
0	0	0	0	0	0	0	0
1	21	0,26	0,28	0,2	0,34	0,52	0,64
5	105	0,41	0,52	0,43	0,63	0,87	1,08
10	210	0,48	0,63	0,55	0,78	1,06	1,32
15	315	0,51	0,71	0,63	0,87	1,19	1,47
30	530	0,59	0,82	0,77	1,04	1,43	1,75
45	945	0,62	0,89	0,85	1,14	1,57	1,92
60	1200	0,66	0,93	0,93	1,23	1,68	2,04
Stabilitas dinamis	lintasan/menit	15750	12600	7875,0	7000	5727,3	5250
Laju deformasi	mm/menit	0,0027	0,0033	0,0053	0,0060	0,0073	0,0080
Nilai deformasi	mm	0,50	0,73	0,61	0,87	1,24	1,56

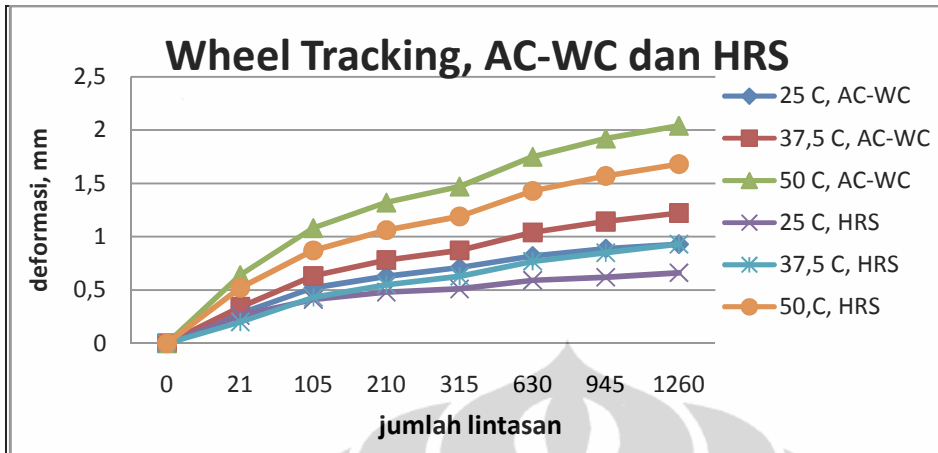
Dari tabel perhitungan data diatas dapat dilihat bahwa nilai stabilitas dinamis gradasi AC-WC lebih kecil dari gradasi HRS pada semua suhu. Pada suhu 25⁰C gradasi AC-WC 12.600 lintasan/menit, sementara gradasi HRS 15.750 lintasan/menit. Pada suhu 37,5C gradasi AC-WC 7000 lintasan/menit , sementara gradasi HRS 7875,0 lintasan/menit . Pada suhu 50 C gradasi AC-WC 5250 lintasan/menit, sementara gradasi HRS 5727,3 lintasan/menit.

Nilai laju deformasi gradasi AC-WC lebih besar dari gradasi HRS pada semua suhu. Suhu 25⁰C gradasi AC-WC 0.0033 mm/menit. sementara gradasi HRS 0,0027 mm/menit. Pada suhu 37,5C gradasi AC-WC 0,0060 mm/menit, sementara gradasi HRS 0,0053 mm/menit. Pada suhu 50 C gradasi AC-WC 0,0080 mm/menit, sementara gradasi HRS 0,0073 mm/menit

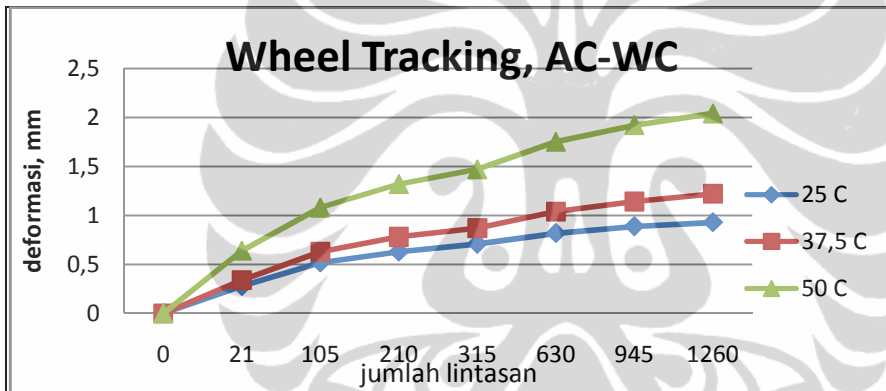
Nilai deformasi gradasi AC-WC lebih besar dari gradasi HRS pada semua suhu. Suhu 25⁰C gradasi AC-WC 0,73 mm sementara gradasi HRS 0,50mm. Pada suhu 37,5C gradasi AC-WC 0,87mm, sementara gradasi HRS 0,61 mm. Pada suhu 50 C gradasi AC-WC 1,56 mm, sementara gradasi HRS 1,24 mm/menit

Secara keseluruhan dari tabel nilai stabilitas dinamis, kecepatan laju deformasi dan nilai deformasi menunjukkan bahwa pada suhu tinggi stabilitas dinamis, kecepatan laju deformasi dan nilai deformasi makin besar. Sedangkan agregat AC-WC menunjukkan stabilitas dinamis lebih kecil serta kecepatan laju deformasi dan nilai deformasi lebih besar dibandingkan agregat HRS.

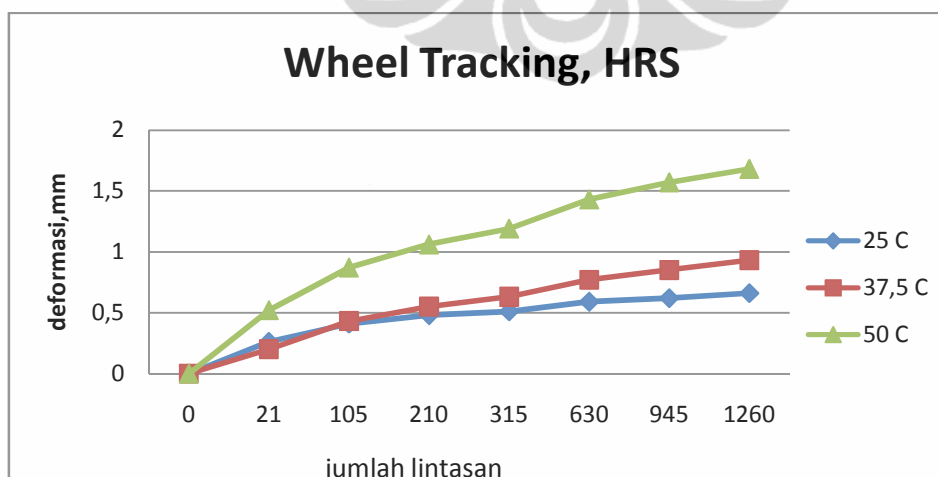
Berikut disajikan grafik hubungan deformasi permanen dengan jenis gradasi agregat dan suhu pengujian



Grafik 13.Wheel Tracking ACWC dan HRS



Grafik 14.Wheel Tracking ACWC



Grafik 15.Wheel Tracking HRS

Hubungan deformasi permanen dengan dua jenis agregat dan suhu pengujian menunjukkan bahwa makin tinggi suhu pengujian maka nilai deformasi makin besar. Sedangkan agregat AC-WC menunjukkan deformasi permanen lebih besar dari agregat HRS.

4.6.4. Hubungan jenis gradasi gregat terhadap suhu dan pembebanan pada masing-masing variabel respon

4.6.4.1. Rangkuman data regangan tarik

Tabel 4.68 Rangkuman data regangan tarik

Suhu	Beban	AC-WC	HRS
25	188	6,7465	6,419
	250	7,8169	7,369867
	450	13,95	13,5852
	600	20,034	16,867
	1500	42,12867	38,609
	2000	71,456	51,062
37,5	188	28,088	21,383
	250	36,202	26,574
	450	55,36238	40
	600	62,0836	49,804
50	188	91,69867	44,3
	250	140,5667	56,242

4.6.4.2 Rangkuman data tegangan tarik

Tabel 4.69 Rangkuman data tegangan tarik

Suhu	Beban	AC-WC	HRS
25	188	20,803	23,0115
	250	26,996	29
	450	48,264	50,199
	600	63,024	64,461
	1500	157,8133	149,55
	2000	210,42	193,77
37,5	188	21,794	23,676

	250	28,098	30,116
	450	48,43048	52
4	600	63,7912	67,936
.			
650	188	18,676	21,824
.	250	25,33267	29,88

4.6.4.3. Rangkuman data modulus resilien

Tabel 4.70 Rangkuman data modulus resilien

Suhu	Beban	AC-WC	HRS
25	188	3300,8	3985,2
	250	3658,7	4175
	450	3663	4038,8
	600	3318,4	4138,4
	1500	4015,067	4288,5
	2000	3125,6	4232,3
37,5	188	819,9	1168,2
	250	818,84	1183,6
	450	926,1048	1345
	600	1175,916	1436
50	188	247,58	518,9
	250	818,84	558,48

Dari tabel terlihat bahwa untuk semua variasi temperatur dan semua variasi suhu, nilai regangan tarik gradasi agregat AC-WC lebih besar dari gradasi HRS. Nilai tegangan tarik gradasi agregat AC-WC lebih kecil dari gradasi HRS. Nilai modulus resilien gradasi agregat AC-WC lebih kecil dari gradasi HRS.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari tujuan penelitian yaitu mengetahui apakah jenis gradasi agregat, variasi temperatur dan pembebanan berpengaruh signifikan terhadap variabel respon yang diwakili regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan deformasi permanen, kecepatan serta nilai deformasi beton aspal campuran panas dapat dinyatakan bahwa :

A. Kesignifikanan Pengaruh Variabel Bebas Terhadap Variabel Respon

1. Kedua jenis gradasi agregat berpengaruh signifikan terhadap regangan tarik, tegangan tarik dan modulus resilien pada semua kelompok bahasan dari matrik 1 sampai matrik 4.
2. Semua variasi temperatur berpengaruh signifikan terhadap regangan tarik, tegangan tarik dan modulus resilien pada semua kelompok bahasan dari matrik 1 sampai matrik 4.
3. Semua variasi pembebanan berpengaruh signifikan terhadap regangan tarik dan tegangan tarik pada semua kelompok bahasan dari matrik 1 sampai matrik 4, kecuali terhadap modulus resilien. Ketidak signifikanan variasi pembebanan terhadap modulus resilien ini diuraikan sebagai berikut :
 - a. Pada matrik 1 (beban rendah semua temperatur) kedua jenis agregat tidak berpengaruh signifikan terhadap modulus resilien.
 - b. Pada matrik 2 (suhu 25 dan 37,5⁰C, beban 187,5 sampai 600N) dan matrik 3 (suhu rendah beban tinggi) gradasi AC-WC berpengaruh signifikan namun gradasi HRS pengaruhnya tidak signifikan terhadap modulus resilien.
 - c. Pada matrik 4 (suhu tinggi beban rendah) beban masing-masing gradasi agregat AC-WC dan HRS berpengaruh signifikan namun ditinjau dari kedua jenis gradasi agregat pengaruhnya tidak signifikan

4. Kedua jenis gradasi agregat dan variasi temperatur berpengaruh signifikan terhadap nilai deformasi permanen.
5. Stabilitas dinamis berbanding terbalik dengan laju deformasi permanen dalam merespon variasi temperatur. Makin tinggi temperatur maka stabilitas dinamis makin kecil sementara laju deformasi permanen kedua jenis agregat makin besar.

B. Kesignifikanan Pengaruh Interaksi Antar Variabel Bebas Terhadap Variabel Respon

1. Interaksi agregat dan beban:
 - a. berpengaruh signifikan terhadap regangan tarik pada matrik 1 dan 2 dari dua jenis agregat, maupun pada gradasi ACWC dan HRS
 - b. berpengaruh tidak signifikan terhadap regangan tarik matrik 3 dan 4, tegangan tarik dan modulus resilien pada semua matrik dari 1 sampai 4, baik dari dua jenis agregat maupun pada gradasi ACWC atau HRS.
2. Interaksi agregat dan suhu:
 - a. berpengaruh signifikan terhadap regangan tarik pada matrik 1 dan 2 dari dua jenis agregat, maupun pada gradasi ACWC dan HRS. Berpengaruh signifikan terhadap modulus resilien matrik 1, dua jenis agregat.
 - b. berpengaruh tidak signifikan terhadap tegangan tarik dan modulus resilien pada matrik 1 dan 2, baik dari dua jenis agregat maupun pada gradasi ACWC atau HRS.
3. Interaksi suhu dan beban :
 - a. berpengaruh signifikan terhadap regangan tarik pada matrik 1 dan 2 dari dua jenis agregat, maupun pada gradasi ACWC dan HRS. Berpengaruh signifikan terhadap tegangan tarik matrik 2 gradasi ACWC

- b. berpengaruh tidak signifikan terhadap tegangan tarik dan modulus resilien pada matrik 1 dan 2, baik dari dua jenis agregat maupun pada gradasi ACWC atau HRS.
4. Interaksi agregat, suhu dan beban :
- a. berpengaruh signifikan terhadap regangan tarik pada matrik 1.
 - b. berpengaruh tidak signifikan terhadap tegangan tarik dan modulus resilien pada matrik 1.

C. Besar Kesignifikanan Pengaruh Variabel Bebas Terhadap Variabel Respon

1. Dapat dinyatakan bahwa kedua jenis gradasi agregat, variasi temperatur dan pembebanan berpengaruh 100% terhadap regangan tarik pada matrik 1, matrik 2, matrik 3 dan matrik 4 sementara variasi beban dari gradasi agregat HRS pengaruhnya lebih kecil dari gradasi agregat AC-WC.
2. Kedua jenis gradasi agregat dan pembebanan berpengaruh 100% terhadap tegangan tarik, sementara variasi temperatur pengaruhnya lebih kecil, pada kelompok bahasan matrik 1 dan matrik 2 (suhu 25 dan 37,5⁰C, beban 187,5 sampai 600N). Pada matrik 3 dan matrik 4 (suhu rendah beban tinggi dan suhu tinggi beban rendah). jenis agregat mempunyai pengaruh lebih kecil dibandingkan pembebanan terhadap tegangan tarik. Beban dari gradasi HRS pengaruhnya lebih kecil dari beban gradasi AC-WC terhadap tegangan tarik.
3. Kedua jenis agregat dan variasi temperatur berpengaruh 100% terhadap modulus resilien pada kelompok bahasan matrik 1, matrik 2, matrik 3, dan matrik 4. Walaupun beban tidak berpengaruh signifikan, namun beban gradasi agregat HRS lebih kecil pengaruhnya dibandingkan gradasi agregat AC-WC terhadap modulus resilien matrik 1 dan 2. Sementara pada matrik 3 dan 4 beban gradasi agregat AC-WC berpengaruh 100% terhadap modulus resilien, namun beban gradasi agregat HRS tidak berpengaruh terhadap modulus resilien

4. Semakin tinggi temperatur, maka nilai stabilitas dinamis makin kecil dan laju serta nilai deformasi semakin besar. Gradasi agregat HRS mempunyai ketahanan lebih besar terhadap pengaruh temperatur dibandingkan dengan gradasi agregat AC-WC.
5. Kedua jenis gradasi agregat dan variasi temperatur berpengaruh 100% terhadap stabilitas dinamis, nilai dan laju deformasi permanen.

D. Hubungan antara variabel bebas dengan variabel respon terhadap hasil uji dengan menggunakan alat Umatta dan *Wheel Tracking*

Dari tabel data pengujian menggunakan alat uji Umatta yang menghasilkan regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan alat uji *Wheel Tracking* yang menghasilkan stabilitas dinamis, laju deformasi dan nilai deformasi, dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk variasi pembebanan nilai uji alat Umatta walaupun tidak dapat langsung dibandingkan dengan alat uji *Wheel Tracking* karena sifat pembebanan dalam masing-masing pengujian berbeda, namun memiliki pola dan kecenderungan yang sama, dimana nilai gradasi agregat AC-WC lebih rendah dari gradasi agregat HRS. Nilai regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan deformasi permanen cenderung tinggi pada saat beban rendah, dan cenderung kecil pada saat beban tinggi. Kecepatan dan nilai deformasi cenderung kecil saat beban rendah, namun besar saat beban tinggi.
2. Pada suhu 25⁰C, 37,5⁰C dan 50⁰C nilai regangan tarik, tegangan tarik, dan modulus resilien, memberikan pola dan kecenderungan sama dengan nilai stabilitas dinamis, laju deformasi dan nilai deformasi, dimana nilai gradasi agregat AC-WC lebih rendah dari gradasi agregat HRS. Nilai regangan tarik, tegangan tarik, modulus resilien dan deformasi permanen cenderung tinggi pada saat temperatur rendah, dan cenderung kecil pada saat temperatur tinggi. Kecepatan dan nilai deformasi cenderung kecil saat temperatur rendah, namun besar saat temperatur tinggi.

3. Pengaruh variasi temperatur dan pembebanan terhadap variabel respon dari pengujian dengan alat Umatta menunjukkan pola dan kecenderungan sama dengan pengujian Wheel Tracking. Dari kedua macam gradasi, gradasi agregat AC-WC mempunyai ketahanan lebih rendah dibandingkan dengan gradasi agregat HRS. Dapat disimpulkan bahwa pengujian Wheel Tracking yang seolah-olah merupakan kelanjutan pengamatan dengan alat Umatta, memberikan bukti bahwa kedua macam gradasi memberikan respon yang sama dibawah pengaruh variasi temperatur dan pembebanan.

5.2 SARAN

Perlu dilakukan uji lanjutan lebih spesifik terhadap masing-masing reologi aspal dan karakteristik agregat untuk mengetahui dengan pasti siapa yang paling memberikan kontribusi terhadap kesignifikanan pengaruh gradasi agregat, variasi temperatur dan pembebanan terhadap regangan tarik, tegangan tarik dan modulus resilien beton aspal campuran panas.

DAFTAR REFERENSI

- Ali, Abdulhaq Hadi Abed, *Asphalt Technology*, Lecture, Baghdad, Al-Mustansiriya University.
- Alkasawneh, Wael, P.E., Ernie Pan1, Feng Han, Ronghua Zhu, Roger Green, P.E. 2006, *Flexible Pavement Response to Elastic Modulus Variation with Depth*, The University of Akron, Ohio Department of Transportation, Ohio
- Aschuri, Imam, Yamin, RAnwar, Haryanto, Dody, 2003, *Temperature and Time Loading Influence on Stiffness Modulus of Asphalt Concrete Mixture and Design life By Using Analytical Method on Indonesian Tropical Condition*, J of Transportation Engineering, ASCE, 2003
- ASTM D 4123-82 *Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixture*
- ASTM D 3461-97 (2007), *Standard Test Method for Softening Point of Asphalt and Pitch (Mettler Cup-and-Ball Method*
- Basuki, Rachmad, Machsus, 2007, *Penambahan Gilsonite Resin Pada Aspal Prima 55 untuk Meningkatkan Kualitas Perkerasan Hot Mix*, J Aplikasi, Vol 3 No 1, Agustus 2007.
- Blazejowsky, K, Nilsson, R, Hopman, P, Sybilsky, 1996, *Visco-elastic Analysis of Typical Polish Flexible Pavements Using VEROAD, P*, International Conference Durable and Safety Road Pavements, Kielce, Polandia
- Boresi, Arthur P, Schmidt, Richard J., 2003, *Advances Mechanics of Materials*, edisi 6, John Wiley & Sons, Danvers
- Brown, E. R, Foo, Kee Y, 1989, *Evaluation of Variability in Resilient Modulus Test Results (ASTM D 41 23)*, NCAT Report No. 91-6 October 1989
- Collop, A.C, Cebon, D, Hardy, M.S.A. 1992, *A Visco-elastic Approach to Rutting in Flexible Pavements* J Cued/C-Mech H/TR 49 September 1992
- Crony, David, 1977, *The Design and Performance of Road Pavement*, London, Her Majesty's Stationary office

- Ekwulo, Emmanuel O, Eme, Dennis B.,2009, *Fatigue and rutting strain analysis of flexible pavements designed using CBR methods*, African Journal of Environmental Science and Technology Vol. 3 (12), pp. 412-421, December, 2009
- Erlingsson, Sigurdur, 2004, *Mechanistic Pavement Design Methods – A Road to Better Understanding of Pavement Performance* , J Via Nordika, Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Iceland, Reykjavik.
- Füleki, Peter, Tkalecz, 2010, *Rheological Analysis of Bitumen to Improve the Hungarian Asphalt Mixture Design*, J The Young European Arena of Resarch, Szechenyi Istvan University, Gyor, 2010
- Garba, R & Horvli,I 2002, *Prediction of Rutting Resistance of Asphalt Mixtures*, Swets & Zeitlinger, Lisse
- Harinaldi,2005, *Prinsip-prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains*, Jakarta, Erlangga
- Haleh Azari1 et al, 2003, *Optimum Compaction Temperature for Modified Binders*, J of Transportation Engineering, ASCE, 2003
- <http://www.nra.co.za/live/content>, (diunduh 24 -6-2010), *Pavement Functions*.
- <http://www.fhwa.dot.gov/pavement>, **Protocol P07, Test Method for Determining the Creep Compliance, Resilient Modulus and Strength of Asphalt Materials Using the Indirect Tensile Test Device (AC07)**
- Huang, Yang, H, 1993, *Pavement Analysis and Design*, New Jersey Prentice Hall,
- Kamal, M. A. Yasin, Babar, Shazib,Faisal 2005, *Resilient Behaviour of Asphalt Concrete Under Repeated Loading & Effects of Temperature*, J of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, 2005.
- Kosasih, Djunaedi, 2008, *Kajian Pengaruh Temperatur dan Beban Survai Terhadap Modulus Elastisitas Lapisan Beraspal Perkerasan Lentur Jalan*
- Kosasih, Djunaedi, 2008, *Proses Desain Struktur Perkerasan Lentur yang Memperhitungkan Variasi Modulus Perkerasan akibat Pengaruh Temperatur*, *J dinamika Teknik Sipil*, Vol 8, No 1, Januari 2008
- Latifa, Eva,A, 2005, *Teknologi Bahan II*, Depok, Politeknik Negeri Jakarta

- Latifa, Eva A, dkk, 2009, *Dampak Gradasi Agregat dengan Dua Variasi Aspal Terhadap Sifat Campuran Beton Aspal*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil, Vol 04 April 2010
- Lynne H. Irwin, *The Resilient Modulus Test*, lecture, Cornell Local Roads Program, Cornell University
- Manullang, Gompul Dairi, 2008, *Uji Marshall Hasil Core Drill Lapangan 23 Ruas Jalan Prov. NAD*, robbicahyadi.files.wordpress.com
- Matthew, Tom V, 2007, *Introduction to Transportation Engineering CE320* Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India, March 22, 2007
- Montgomery, Douglas C, 1997, *Design and Analysis of Experiments*, USA, John Willey & Sons
- Nesnas, Kamal, Nunn, Mike 1996, *Modelling the Time Dependent Behaviour of Asphalt and Pavement Permanent Deformation Under a Rolling Wheel*
- Onn, Abdul Rani, 2007, *The Effectiveness of Pavement Rehabilitation at Kuala Lumpur Karak Highwa*, Masters thesis, Universiti Teknologi Malaysia.
- Pilkey, Walter D, 2005, *Formulas for Stress, Strain, and Structural Matrices*, New Jersey, John Willey & Sons
- Sahar, Hanafi, 2008, *The Effect of Temperature on the Resilient Modulus of Flexible Road Pavement*, tesis, Universiti Teknologi Malaysia
- Saunders, M, Lewis, P, Thornhill, A, 2003, *Research Methods for Business Students*, Prentice Hall, Harlow, England
- Siswosubrotho, Bambang I, dkk, 2005, *Workability and Resilient Modulus of Asphalt Concrete Mixtures Containing Flaky Aggregates Shape*, J of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, 2005
- SNI 03-6836-2002, *Pengujian Kuat Tarik Tak Langsung*, Departemen Perindustrian, 2002
- Subagio, Bambang S, Kosasih, Djunaedi, *Development of Stiffness Modulus and Plastic Deformation Characteristics of Porous Asphalt Mixture Using Tack Super*, Institut Teknologi Bandung
- Sukirman, Silvia, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Jakarta, Granit

- Sulistiono, Djoko, FM, Amalia, Tajunnisa, Yuyun, 2009, *Tinjauan Teknis dan Ekonomi Penggunaan Aspal Beton dan Hot Rolled Sheet Sebagai Bahan Pelapisan Ulang Permukaan Jalan (Kasus Ruas Widang – Gresik Sta 7+150 s/d Sta 10+200)*, J Aplikasi, Vol 7, No1, Agustus 2009, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Suparyanto, 2008, *Pengaruh Penggunaan Aspal Pertamina AC 60/70 Dan Aspal Shell AC 60/70 Terhadap Deformasi Permanen Campuran Beton Aspal (Spesifikasi Bina Marga 2007) Dikaitkan Dengan Temperatur Pemadatan Menggunakan Alat Uji Wheel Tracking*, Tesis, Sistem dan Teknik Transportasi, Program Pasca Universitas Gajah Mada.
- Suroso, Wasiah, Tjitjik, 2010, *Peningkatan Kinerja Campuran Beraspal dengan Karet Alam dan Karet Sintetis*, J Pusjatan, April 2010.
- Utomo, R Antarikso, 2008, *Studi Komparasi Pengaruh Gradasi Gabungan di Laboratorium dan Gradasi Hot Bin Asphalt Mixing Plant Campuran Laston AC-WC terhadap karakteristik Uji Marshall*, tesis, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Veronika, Alin, dkk 2009, *Metode Analisa*, Diktat kuliah, UI, Depok
- Viswanathan, B, *Evaluation of Resilient modulus of Flexible Pavements by Back-calculation Technique*, Ohio University
- Yamin, R. Anwar, Asrar, Yolly Detra Rentang Elastis Campuran Beraspal untuk Pengujian Modulus Kekakuan Resilien di Indonesia
- Yin, Hao, Sulaimanian, Mansour, Kumar, Tanmay, 2007, *The Effect of Loading Time on Flexible Pavement Dynamic Response: a Finite Element Analysis*, J Mech Time-Depend Mater, vol 11, 2007
- Zhong, Yang, Geng, Litao, 2009, *Thermal stresses of asphalt pavement under dependence of material characteristics on reference temperature*, J Mech Time-Depend Mater (2009) 13: 81–91